



دانشگاه گیلان  
۱۳۵۳\_۱۹۷۴

چاپ اول

# آبیاری بارانی

تألیف:

دکتر محمدرضا خالیدیان  
علیرضا مریدنژاد  
دانشیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان  
شرکت مهندسين مشاور سامان آبراه

مرکز نشر دانشگاه گیلان

آبیاری بارانی

# Sprinkle Irrigation

By:

Mohammadreza Khaledian, Ph. D Alireza Moridnejad, M. Sc

University of Guilan Press



تألیف: دکتر محمدرضا خالیدیان، علیرضا مریدنژاد

از ویژگی‌های بارز کتاب آبیاری بارانی این است که بسیاری از مطالب آن از تجربیات طرح‌های مطالعاتی و اجرایی جدید داخل کشور حاصل شده است. به همین دلیل فقط سامانه‌هایی مطرح شده است که در حال حاضر در کشور کاربرد دارند. برای مثال، فصل ششم کتاب در خصوص اجرای شبکه آبیاری بارانی، براساس آخرین تجربیات اجرایی حال حاضر کشور تهیه شده است. در فصل هفتم برنامه ریزی آبیاری نیز بر اساس اطلاعات به روز شده و شرایط ایستگاه‌های هواشناسی داخلی طراحی شده است. این ویژگی در سراسر کتاب مشهود است و تجربیات کسب شده از طرح‌های در دست طراحی و نظارت بر اجرای شرکت مهندسين مشاور سامان آبراه حاصل شده که بدین وسیله از این مشاور محترم که در تهیه کتاب پشتیبانی و مساعدت نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.



9 786001 533457

ISBN: 978-600-153-345-7



# آبیاری بارانی

تألیف:

دکتر محمدرضا خالدیان

دانشیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

علیرضا مریدنژاد

شرکت مهندسين مشاور سامان آبراه

مرکز نشر دانشگاه گیلان

۱۴۰۴



دانشگاه گیلان  
1353-1974

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۵۳-۳۴۵-۷

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : خالديان، محمدرضا، ۱۳۵۷ -                                                                                                 |
| عنوان و نام پديدآور | : آبياري باراني / تاليف محمدرضا خالديان، عليرضا مريدنژاد؛ ويراستار علمي علي شاهنظري؛ ويراستار ادبي سيدهمحدثه ميرجعفري شال. |
| مشخصات نشر          | : رشت: دانشگاه گيلان، انتشارات، ۱۴۰۴.                                                                                      |
| مشخصات ظاهري        | : ۳۶۲ ص.                                                                                                                   |
| شابک                | : 978-600-153-345-7                                                                                                        |
| وضعيت فهرست نويسي   | : فپا                                                                                                                      |
| يادداشت             | : واژه نامه.                                                                                                               |
| يادداشت             | : کتابنامه: ص. ۳۲۵-۳۳۵.                                                                                                    |
| يادداشت             | : نمايه.                                                                                                                   |
| موضوع               | : آبياري باراني                                                                                                            |
|                     | <b>Sprinkler irrigation</b>                                                                                                |
|                     | آبياري باراني-- ايران                                                                                                      |
|                     | <b>Sprinkler irrigation-- Iran</b>                                                                                         |
| شناسه افزوده        | : مريدنژاد، عليرضا، -۱۳۳۲                                                                                                  |
| شناسه افزوده        | : شاهنظري، علي، ۱۳۵۱ -، ويراستار                                                                                           |
| شناسه افزوده        | : دانشگاه گيلان. انتشارات                                                                                                  |
| زده بندي کنگره      | : SF 619<br>A 16                                                                                                           |
| زده بندي ديويي      | : ۶۳۱/۵۸۷                                                                                                                  |
| شماره کتابشناسي ملي | : ۱۰۲۲۹۱۷۴                                                                                                                 |

مرکز نشر دانشگاه گیلان

|               |                                         |
|---------------|-----------------------------------------|
| عنوان کتاب    | : آبياري باراني                         |
| مؤلفان        | : دکتر محمدرضا خالديان، عليرضا مريدنژاد |
| ويراستار علمي | : دکتر علي شاهنظري                      |
| ويراستار ادبي | : سيدهمحدثه ميرجعفري شال                |
| نوبت چاپ      | : اول، ۱۴۰۴                             |
| ناشر          | : مرکز نشر دانشگاه گيلان                |
| شمارگان       | : ۱۰۰۰ جلد                              |

\* هر گونه چاپ و تکثير صرفاً در اختيار مرکز نشر دانشگاه گيلان است.

## فهرست مطالب

| عنوان                                                          | صفحه    |
|----------------------------------------------------------------|---------|
| پیشگفتار نویسندگان.....                                        | ذ.....  |
| <b>فصل اول: کلیات</b>                                          |         |
| ۱-۱- مقدمه.....                                                | ۲.....  |
| ۱-۲- آبیاری.....                                               | ۳.....  |
| ۱-۲-۱- انواع روش‌های آبیاری.....                               | ۳.....  |
| ۱-۳- تاریخچه و روند توسعه آبیاری بارانی در دنیا و ایران.....   | ۴.....  |
| ۱-۴- مزایا و معایب.....                                        | ۵.....  |
| ۱-۴-۱- مزایای آبیاری بارانی.....                               | ۶.....  |
| ۱-۴-۲- معایب آبیاری بارانی.....                                | ۷.....  |
| ۱-۵- انواع سامانه‌های آبیاری بارانی.....                       | ۷.....  |
| ۱-۵-۱- آبیاری بارانی کلاسیک متحرک.....                         | ۷.....  |
| ۱-۵-۲- آبیاری بارانی کلاسیک نیمه‌متحرک.....                    | ۷.....  |
| ۱-۵-۳- آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک.....          | ۸.....  |
| ۱-۵-۴- آبیاری بارانی کلاسیک کاملاً ثابت.....                   | ۸.....  |
| ۱-۵-۵- آبیاری بارانی آبفشان غلتان (ویل موو).....               | ۸.....  |
| ۱-۵-۶- آبیاری بارانی آبفشان قرقره‌ای (گان یا تفنگی).....       | ۹.....  |
| ۱-۵-۷- آبیاری بارانی دوار (سنتریوت).....                       | ۹.....  |
| ۱-۵-۸- آبیاری بارانی خطی (لینیر).....                          | ۱۰..... |
| ۱-۵-۹- آبیاری بارانی هیپودرام یا سنتر-لینیر.....               | ۱۰..... |
| ۱-۶- قسمت‌های مختلف یک سامانه آبیاری بارانی.....               | ۱۲..... |
| ۱-۷- مطالعات لازم برای طراحی و اجرای سامانه آبیاری بارانی..... | ۱۳..... |
| <b>فصل دوم: انواع سامانه‌های روزآمد آبیاری بارانی</b>          |         |
| ۱-۲- مقدمه.....                                                | ۱۸..... |

|         |                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸..... | ۲-۲- سامانه‌های آبیاری بارانی سنتریوت                                                      |
| ۱۹..... | ۳-۲- برخی ویژگی‌های سامانه سنتریوت                                                         |
| ۲۱..... | ۴-۲- عدم آبیاری گوشه‌های زمین                                                              |
| ۲۱..... | ۵-۲- تاریخچه توسعه سامانه سنتریوت                                                          |
| ۲۷..... | ۶-۲- قسمت‌های مختلف سنتریوت                                                                |
| ۲۸..... | ۲-۶-۱- پاشنه                                                                               |
| ۲۹..... | ۲-۶-۲- برج مرکزی                                                                           |
| ۲۹..... | ۲-۶-۳- برج‌ها                                                                              |
| ۳۰..... | ۲-۶-۴- دهانه‌ها                                                                            |
| ۳۱..... | ۲-۶-۵- آبپاش‌ها                                                                            |
| ۳۱..... | ۲-۶-۶- دهانه معلق                                                                          |
| ۳۲..... | ۲-۶-۷- آبپاش انتهایی                                                                       |
| ۳۵..... | ۲-۷- محدودیت شیب برای کاربرد سامانه سنتریوت                                                |
| ۳۵..... | ۲-۸- اتصال دو دهانه مجاور در محل برج‌ها                                                    |
| ۳۷..... | ۲-۹- نحوه اتصال آبپاش روی دهانه                                                            |
| ۳۸..... | ۲-۱۰- نوع تایلر و موتور محرکه برج‌ها                                                       |
| ۳۹..... | ۲-۱۱- پنل کنترل سامانه سنتریوت                                                             |
| ۴۰..... | ۲-۱۲- تلفات آب در سامانه سنتریوت                                                           |
| ۴۲..... | ۲-۱۳- کاهش مصرف انرژی در سامانه سنتریوت                                                    |
| ۴۳..... | ۲-۱۴- آبپاش‌های مورد استفاده در سامانه سنتریوت                                             |
| ۴۷..... | ۲-۱۵- مدیریت شدت پخش آبپاش در سامانه سنتریوت                                               |
| ۵۵..... | ۲-۱۶- سامانه لینیئر                                                                        |
| ۵۸..... | ۲-۱۷- سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش‌های تفنگی                                            |
| ۶۲..... | ۲-۱۸- سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با جابه‌جایی لترال با فشار هماهنگ با سامانه تیپ |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ۱۹-۲- راهکارهای تلفیق سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سامانه آبیاری قطره‌ای نواری ..... | ۶۲ |
| ۲۰-۲- جنس لوله‌های آبیاری قطره‌ای نواری .....                                                             | ۶۳ |
| ۲۱-۲- نحوه اتصال لوله آب‌رسان آبیاری قطره‌ای نواری به شیر خودکار .....                                    | ۶۴ |
| ۲۲-۲- فیلتراسیون سامانه آبیاری قطره‌ای نواری .....                                                        | ۶۵ |
| ۲۳-۲- کاهش فشار سامانه آبیاری بارانی برای تناسب با آبیاری قطره‌ای نواری .....                             | ۶۵ |
| ۲۴-۲- مشخصات آبیاری بارانی کلاسیک و آبیاری قطره‌ای نواری .....                                            | ۶۶ |
| ۲۴-۲-۱- آبیاری بارانی کلاسیک .....                                                                        | ۶۷ |
| ۲۴-۲-۲- اجزاء سامانه آبیاری بارانی کلاسیک .....                                                           | ۶۷ |
| ۲۴-۲-۳- آبیاری قطره‌ای نواری .....                                                                        | ۶۸ |

### فصل سوم: رابطه آب، خاک و گیاه در آبیاری بارانی

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| ۱-۳- مقدمه .....                              | ۷۲ |
| ۲-۳- جرم ویژه ظاهری خاک .....                 | ۷۲ |
| ۳-۳- جرم ویژه حقیقی خاک .....                 | ۷۲ |
| ۴-۳- تخلخل خاک .....                          | ۷۳ |
| ۵-۳- آب خاک .....                             | ۷۳ |
| ۶-۳- ظرفیت زراعی .....                        | ۷۴ |
| ۷-۳- نقطه پژمردگی .....                       | ۷۴ |
| ۸-۳- ظرفیت نگهداشت آب در خاک .....            | ۷۴ |
| ۹-۳- منحنی مشخصه رطوبتی خاک و کاربرد آن ..... | ۷۶ |
| ۱۰-۳- عمق ریشه .....                          | ۷۷ |
| ۱۱-۳- رطوبت خاک .....                         | ۷۸ |
| ۱۲-۳- آب کاربردی و طراحی سامانه .....         | ۷۹ |
| ۱۳-۳- مدیریت آب خاک .....                     | ۷۹ |
| ۱۴-۳- عمق آب آبیاری .....                     | ۸۰ |

|                                                                                                  |                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ۸۰.....                                                                                          | ۳-۱۵- فواصل آبیاری                                     |
| ۸۱.....                                                                                          | ۳-۱۶- جذب و تبخیر                                      |
| ۸۱.....                                                                                          | ۳-۱۷- نیاز آبی                                         |
| ۸۱.....                                                                                          | ۳-۱۸- تنش آبی                                          |
| ۸۲.....                                                                                          | ۳-۱۹- تحمل و مقاومت گیاهان به مقادیر مختلف کمبود آب    |
| ۸۲.....                                                                                          | ۳-۲۰- مفاهیم کلی طراحی                                 |
| ۸۴.....                                                                                          | ۳-۲۱- مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری                      |
| ۸۵.....                                                                                          | ۳-۲۲- کنترل شوری                                       |
| ۸۶.....                                                                                          | ۳-۲۳- عمق آب آبیاری و فواصل آبیاری                     |
| ۸۷.....                                                                                          | ۳-۲۴- نفوذپذیری خاک                                    |
| ۸۷.....                                                                                          | ۳-۲۴-۱- تعیین ویژگی‌های نفوذپذیری خاک در آبیاری بارانی |
| ۸۸.....                                                                                          | ۳-۲۵- شیب زمین                                         |
| ۸۹.....                                                                                          | ۳-۲۶- آزمایش‌های آب و خاک در پروژه‌های آبیاری بارانی   |
| <b>فصل چهارم: تجربیات داخلی و خارجی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری بارانی در شرایط گرم و خشک</b> |                                                        |
| ۹۲.....                                                                                          | ۴-۱- مقدمه                                             |
| ۹۲.....                                                                                          | ۴-۲- تبخیر و بادبردگی                                  |
| ۹۳.....                                                                                          | ۴-۲-۱- تجربیات داخلی و خارجی                           |
| ۱۰۵.....                                                                                         | ۴-۲-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها                   |
| ۱۰۸.....                                                                                         | ۴-۳- شوری خاک                                          |
| ۱۱۲.....                                                                                         | ۴-۳-۱- تجربیات داخلی و خارجی                           |
| ۱۱۵.....                                                                                         | ۴-۳-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها                   |
| ۱۱۶.....                                                                                         | ۴-۴- شوری آب در آبیاری بارانی                          |
| ۱۱۷.....                                                                                         | ۴-۴-۱- تجربیات داخلی و خارجی                           |
| ۱۲۱.....                                                                                         | ۴-۴-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها                   |

## فصل پنجم: طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی

- ۱-۵- هدف طراحی سامانه آبیاری بارانی ..... ۱۲۴
- ۲-۵- ویژگی‌های راهبری سامانه آبیاری بارانی سنتریپوت ..... ۱۲۹
- ۳-۵- ویژگی‌های راهبری سامانه آبیاری بارانی لینیر ..... ۱۳۰
- ۴-۵- مثال طراحی آبیاری بارانی سنتریپوت ..... ۱۳۱
- ۵-۵- مثال طراحی آبیاری بارانی لینیر ..... ۱۳۳
- ۶-۵- مثال طراحی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با جابه‌جایی ..... ۱۳۵
- ۷-۵- راهکارهای تلفیق سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سیستم آبیاری نواری (تیپ) ..... ۱۳۵
- ۸-۵- الزامات روش تلفیق انتخابی ..... ۱۳۵
- ۹-۵- جنس لوله‌های آبیاری نواری (تیپ) ..... ۱۳۶
- ۱۰-۵- نحوه اتصال لوله آب‌رسان نواری (تیپ) به شیر خودکار ..... ۱۳۶
- ۱۱-۵- کاهش فشار سیستم آبیاری بارانی جهت تناسب با آبیاری نواری (تیپ) ..... ۱۳۶
- ۱۲-۵- الگوی کشت ..... ۱۳۷
- ۱۳-۵- مشخصات آبیاری بارانی کلاسیک و آبیاری نواری (تیپ) ..... ۱۴۰
- ۱۴-۵- آبیاری بارانی کلاسیک ..... ۱۴۰
- ۱۴-۵- اجزای سیستم آبیاری کلاسیک ..... ۱۴۰
- ۱۵-۵- آبیاری نواری (تیپ) ..... ۱۴۲
- ۱۵-۵- مشخصات سیستم آبیاری نواری (تیپ) در اراضی طرح پایاب سد ماکو ..... ۱۴۲
- ۱۶-۵- آبیاری تلفیقی بارانی و نواری (تیپ) ..... ۱۴۴

## فصل ششم: اجرای شبکه‌های آبیاری بارانی

- ۱-۶- مقدمه ..... ۱۴۶
- ۲-۶- نقشه‌برداری و میخکوبی ..... ۱۴۶
- ۳-۶- حمل و ریشه کردن لوله‌ها ..... ۱۴۷
- ۴-۶- جوشکاری لوله‌های پلی‌اتیلن ..... ۱۴۹



|          |                                                                                             |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۵۰..... | ۶-۴-۱- جوشکاری لب به لب .....                                                               |
| ۱۵۰..... | ۶-۴-۲- مراحل جوشکاری لب به لب .....                                                         |
| ۱۵۶..... | ۶-۴-۳- توصیه های مهم در جوشکاری لب به لب .....                                              |
| ۱۵۷..... | ۶-۴-۴- بهره برداری از دستگاه .....                                                          |
| ۱۵۸..... | ۶-۴-۵- ایمنی .....                                                                          |
| ۱۶۵..... | ۶-۵- حفاری .....                                                                            |
| ۱۶۸..... | ۶-۶- نصب اتصالات .....                                                                      |
| ۱۶۸..... | ۶-۶-۱- نصب اتصالات روی مانیفولدها .....                                                     |
| ۱۶۹..... | ۶-۶-۲- تجربه شبکه آبیاری ناحیه ۲ خداآفرین .....                                             |
| ۱۷۱..... | ۶-۶-۳- بستن شیرآلات و اتصالات .....                                                         |
| ۱۷۲..... | ۶-۷- آزمون هیدرولیکی .....                                                                  |
| ۱۷۳..... | ۶-۸- مشخصات فنی اجرایی در شبکه فرعی سیستم آبیاری تحت فشار به صورت کلاسیک ثابت .....         |
| ۱۷۵..... | ۶-۹- مشخصات فنی اجرایی در شبکه فرعی سیستم آبیاری تحت فشار با دستگاه سنتریپوت و لینیئر ..... |

#### فصل هفتم: برنامه ریزی آبیاری سامانه های مختلف بارانی

|          |                                                                                                                      |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۷۸..... | ۷-۱- مقدمه .....                                                                                                     |
| ۱۷۸..... | ۷-۲- روش های برنامه ریزی آبیاری .....                                                                                |
| ۱۷۸..... | ۷-۲-۱- شاخص های رطوبتی خاک .....                                                                                     |
| ۱۷۹..... | ۷-۲-۲- شاخص های گیاهی .....                                                                                          |
| ۱۷۹..... | ۷-۲-۳- محاسبه تبخیر و تعرق روزانه گیاه (ETc) به صورت آنلاین .....                                                    |
| ۱۷۹..... | ۷-۲-۴- روش تشت تبخیر .....                                                                                           |
| ۱۸۰..... | ۷-۳- اثرات برنامه ریزی آبیاری در مصرف بهینه آب .....                                                                 |
| ۱۸۳..... | ۷-۴- برای مثال پارامترهای برنامه ریزی آبیاری بر اساس تبخیر و تعرق گیاه (ETC) و داده های آنلاین روزانه هواشناسی ..... |
| ۱۸۴..... | ۷-۵- برنامه ریزی آبیاری بر اساس تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از تشت تبخیر .....                                      |

|          |                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------|
| ۱۸۹..... | ۶-۷- عمق آب آبیاری                                    |
| ۱۸۹..... | ۷-۶-۱- پارامترهای مربوط به نوع خاک                    |
| ۱۹۲..... | ۷-۷- عوامل مرتبط با آب و شبکه آبیاری                  |
| ۱۹۲..... | ۷-۷-۱- نوع شبکه آبیاری به صورت سطحی، بارانی و قطره‌ای |
| ۱۹۳..... | ۷-۷-۲- عوامل مرتبط با گیاه                            |
| ۱۹۶..... | ۷-۷-۳- عوامل آب و هوایی و اقلیمی                      |
| ۱۹۶..... | ۷-۸- مثال شماره ۱                                     |
| ۲۰۶..... | ۷-۹- مثال شماره ۲                                     |
| ۲۱۰..... | ۷-۱۰- مثال شماره ۳                                    |
| ۲۱۹..... | ۷-۱۱- مثال شماره ۴                                    |

### فصل هشتم: مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های آبیاری تحت فشار

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| ۲۲۴..... | ۸-۱- مقدمه                                             |
| ۲۲۴..... | ۸-۲- تعریف خدمات بهره‌برداری و نگهداری                 |
| ۲۲۴..... | ۸-۲-۱- خدمات بهره‌برداری                               |
| ۲۲۴..... | ۸-۲-۲- خدمات نگهداری                                   |
| ۲۲۵..... | ۸-۳- دستگاه سنترپیوت                                   |
| ۲۲۵..... | ۸-۳-۱- بهره‌برداری و نگهداری از دستگاه آبیاری سنترپیوت |
| ۲۲۶..... | ۸-۳-۲- عمق آبیاری                                      |
| ۲۳۰..... | ۸-۳-۳- مشکلات فشار                                     |
| ۲۳۲..... | ۸-۳-۴- رواناب                                          |
| ۲۳۲..... | ۸-۳-۴-۱- راه حل کوتاه مدت                              |
| ۲۳۲..... | ۸-۳-۴-۲- راه حل بلندمدت                                |
| ۲۳۳..... | ۸-۳-۴-۳- افزایش ذخیره سطحی                             |
| ۲۳۳..... | ۸-۳-۵- هم‌راستایی دستگاه سنترپیوت                      |
| ۲۳۵..... | ۸-۳-۵-۱- روش‌های هم‌راستا کردن دستگاه‌های سنترپیوت     |

|     |                                                                                             |          |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ۲۳۵ | ..... تخلیه آب اسپن ها                                                                      | ۸-۳-۶    |
| ۲۳۹ | ..... کنترل های لازم قبل از راه اندازی دستگاه                                               | ۸-۳-۷    |
| ۲۴۳ | ..... توزیع مواد شیمیایی از طریق دستگاه                                                     | ۸-۳-۸    |
| ۲۴۴ | ..... دستورالعمل هایی برای نگهداری از دستگاه                                                | ۸-۳-۹    |
| ۲۴۴ | ..... نگهداری دستگاه خارج از فصل آبیاری                                                     | ۸-۳-۱۰   |
| ۲۴۵ | ..... سرویس و نگهداری دستگاه                                                                | ۸-۳-۱۱   |
| ۲۴۷ | ..... گریس کاری                                                                             | ۸-۳-۱۱-۱ |
| ۲۴۸ | ..... سرویس الکتروموتور و جعبه دنده مرکزی                                                   | ۸-۳-۱۱-۲ |
| ۲۵۱ | ..... رفع عیوب احتمالی                                                                      | ۸-۳-۱۲   |
| ۲۵۴ | ..... دستورالعمل شست و شوی ماشین آبیاری سنتریپوت                                            | ۸-۳-۱۳   |
| ۲۵۴ | ..... گریس کاری محور گردنده پیوت                                                            | ۸-۳-۱۴   |
| ۲۵۴ | ..... نکات مهم عمومی دستگاه                                                                 | ۸-۳-۱۵   |
| ۲۵۸ | ..... ماشین آبیاری لینیر                                                                    | ۸-۴-۴    |
| ۲۵۸ | ..... سیستم هدایت ماشین آبیاری لینیر                                                        | ۸-۴-۱    |
| ۲۵۸ | ..... سیستم هدایت کابل روزمینی                                                              | ۸-۴-۱-۱  |
| ۲۵۸ | ..... سیستم هدایت فارو                                                                      | ۸-۴-۱-۲  |
| ۲۶۰ | ..... سیستم هدایت زیرزمینی                                                                  | ۸-۴-۱-۳  |
| ۲۶۰ | ..... توصیه های نگهداری                                                                     | ۸-۵      |
| ۲۶۱ | ..... انواع خاموش شدن های دستگاه های لینیر                                                  | ۸-۶      |
| ۲۶۲ | ..... رفع عیب دستگاه در حالت های مختلف خاموش شدن                                            | ۸-۷      |
| ۲۶۴ | ..... دستورالعمل های بهره برداری و نگهداری روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش های متحرک | ۸-۸      |
| ۲۶۵ | ..... اجزای مختلف روش های آبیاری کلاسیک                                                     | ۸-۸-۱    |
| ۲۶۵ | ..... آبپاش ها                                                                              | ۸-۸-۱-۱  |
| ۲۶۵ | ..... اتصالات و تجهیزات                                                                     | ۸-۸-۱-۲  |

|          |                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------|
| ۲۶۷..... | ۲-۸-۸- بررسی و کنترل قبل از راه‌اندازی سیستم.....                      |
| ۲۶۷..... | ۳-۸-۸- شروع به کار سیستم.....                                          |
| ۲۶۷..... | ۴-۸-۸- کنترل فشار.....                                                 |
| ۲۷۱..... | ۵-۸-۸- جابه‌جایی آبپاش‌ها.....                                         |
| ۲۷۱..... | ۶-۸-۸- بحث فنی در مورد آبپاش‌ها.....                                   |
| ۲۷۴..... | ۷-۸-۸- اثر باد و مقابله با آن.....                                     |
| ۲۷۵..... | ۸-۸-۸- آبیاری کنار مزرعه.....                                          |
| ۲۷۶..... | ۹-۸-۸- مراقبت و نگهداری از آبپاش‌ها.....                               |
| ۲۷۹..... | ۱۰-۸-۸- مراقبت‌های لازم برای پیشگیری از انسداد لوله‌ها و آبپاش‌ها..... |
| ۲۸۰..... | ۹-۸- بهره‌برداری و نگهداری از دستگاه اسپری بوم.....                    |
| ۲۸۰..... | ۱-۹-۸- سیستم آبیاری اسپری بوم.....                                     |
| ۲۸۱..... | ۲-۹-۸- نکات بهره‌برداری از سیستم آبیاری اسپری بوم.....                 |
| ۲۸۱..... | ۳-۹-۸- نکات نگهداری از سیستم آبیاری اسپری بوم.....                     |
| ۲۸۱..... | ۴-۹-۸- سرویس و نگهداری‌های دوره‌ای.....                                |
| ۲۸۲..... | ۵-۹-۸- حداقل بازدیدهای لازم قبل از شروع فصل آبیاری.....                |
| ۲۸۲..... | ۶-۹-۸- بررسی‌های لازم در زمان حرکت دستگاه.....                         |
| ۲۸۳..... | ۷-۹-۸- بررسی کالیبره بودن سیستم.....                                   |
| ۲۸۳..... | ۸-۹-۸- چک‌لیست پیش از فصل آبیاری.....                                  |

### فصل نهم: ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بارانی

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| ۲۸۶..... | ۱-۹- مقدمه.....                                          |
| ۲۸۶..... | ۳-۹- ارزیابی عملکرد، اهداف و چارچوب.....                 |
| ۲۸۷..... | ۳-۹- تجارب ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی.....   |
| ۲۹۱..... | ۴-۹- روش‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی..... |
| ۲۹۱..... | ۱-۴-۹- روش‌های نظری.....                                 |
| ۲۹۲..... | ۲-۴-۹- روش‌های کمی.....                                  |

|          |                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|
| ۲۹۲..... | ۵-۹- مراحل ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری.....                        |
| ۲۹۴..... | ۶-۹- شاخص‌های ارزیابی عملکرد و ویژگی‌های آنها.....                    |
| ۲۹۵..... | ۷-۹- طبقه‌بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد در شبکه‌های آبیاری بارانی..... |
| ۲۹۵..... | ۱-۷-۹- دیدگاه مدیریتی.....                                            |
| ۳۰۰..... | ۲-۷-۹- دیدگاه فنی.....                                                |
| ۳۰۳..... | ۳-۷-۹- دیدگاه اقتصادی-مالی.....                                       |
| ۳۰۶..... | ۴-۷-۹- دیدگاه محیط‌زیستی.....                                         |
| ۳۰۷..... | ۵-۷-۹- دیدگاه اجتماعی.....                                            |
| ۳۱۰..... | ۸-۹- ارزش‌گذاری شاخص‌های ارزیابی عملکرد.....                          |
| ۳۱۰..... | ۱-۸-۹- قضاوت کارشناسی.....                                            |
| ۳۱۱..... | ۲-۸-۹- روش‌های تحلیلی.....                                            |
| ۳۱۴..... | ۹-۹- اعتبار ارزیابی عملکرد.....                                       |
| ۳۱۵..... | ۱۲-۹- عوامل مؤثر در عملکرد سامانه‌های آبیاری.....                     |
| ۳۱۵..... | ۱-۱۲-۹- طراحی و مدیریت.....                                           |
| ۳۱۶..... | ۲-۱۲-۹- عوامل خارجی مؤثر بر عملکرد سامانه آبیاری.....                 |
| ۳۱۶..... | ۳-۱۲-۹- مهارت کشاورزان.....                                           |
| ۳۱۷..... | ۱۳-۹- مشکلات اصلی سامانه‌های آبیاری بارانی در کشور.....               |
| ۳۲۵..... | فهرست منابع.....                                                      |
| ۳۳۵..... | واژه‌نامه.....                                                        |
| ۳۴۳..... | نمایه.....                                                            |

## پیشگفتار نویسندگان

کعبود آب، چالشی جهانی است که زندگی بشر را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار داده است. رشد جمعیت و بهبود استانداردهای زندگی، مصرف آب را به‌طور چشمگیری بالا برده و این منبع حیاتی را به کالایی کمیاب تبدیل کرده است. در این میان، بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، نقشی محوری در مدیریت این چالش دارد. با توجه به محدودیت منابع آبی و افزایش نیازهای غذایی، بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی نه تنها یک انتخاب، بلکه یک ضرورت انکارناپذیر است.

بسیاری از اراضی دارای استعداد کشاورزی در دنیا، تپه ماهوری و ناهموار هستند و با روش‌های آبیاری ثقلی امکان آبیاری و بهره‌برداری از این اراضی وجود ندارد. آبیاری تحت فشار این امکان را فراهم می‌کند که از این اراضی برای توسعه کشاورزی و تامین امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش جهان استفاده کنیم. آبیاری بارانی اولین روش مهم و موثر آبیاری تحت فشار است که کاربرد آن از حدود یک قرن پیش شروع شده و در حال حاضر نیز در سطحی وسیع و در کشورهای مختلف جهان اعم از کشورهای بسیار پیشرفته و جهان سوم در حال استفاده است. شاید بتوان گفت که آبیاری بارانی برای برخی شرایط، بهترین روش آبیاری است. هرچند از نظر متخصصین آبیاری دو اشکال عمده در مورد این سامانه مطرح است: یکی تلفات زیاد بادی‌بردگی و تبخیر آب حین کار به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، دیگری مصرف زیاد انرژی برق. خوشبختانه تا حدودی با آبیاری شبانه و کوچک کردن پاشنده‌ها و پاره‌ای تغییرات دیگر این مشکلات کمتر شده است. افزون بر این، یکی از ویژگی‌های آبیاری بارانی استفاده از آن برای خاک‌های با بافت سبک و ناهموار جهان است.

سامانه‌های آبیاری بارانی تنوع زیادی دارند. در این سامانه، از آغاز تا به امروز تغییرات زیادی ایجاد شده است. این تغییرات در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که سامانه‌های برتر که در بسیاری از کشورها مورد استقبال قرار گرفته و گسترش یافته‌اند شامل سنترپیوت، لینیئر، گان با بوم مجهز به اسپریر و کلاسیک دستی با آبپاش‌های کوچک و کم فشار هستند و در این کتاب تمرکز اصلی روی این سامانه‌ها می‌باشد. برای آشنایی با سایر سامانه‌های قدیمی‌تر می‌توان به نشریات فائو و دیگر منابع علمی مراجعه کرد.

در پایان، از تمامی اساتید، متخصصان و دانشجویان که با ارائه نظرات ارزشمند خود در غنای این کتاب سهیم بودند، صمیمانه سپاسگزاریم. همچنین از خوانندگان گرامی تقاضا داریم تا با ارسال پیشنهادات و انتقادات خود، ما را در بهبود محتوای این اثر یاری نمایند.

با امید به فردایی سبزتر و پایدارتر



## فصل اول

### کلیات



## ۱-۱- مقدمه

کمبود آب به صورت یک تهدید واقعی برای زندگی انسان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک در کشورهای در حال توسعه درآمده است. رشد جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی مصرف آب را به طور قابل توجهی افزایش داده است. سهم آب بخش کشاورزی قابل توجه است و صرفه جویی در مصرف آب در این بخش می تواند به عنوان راهکاری برای جبران کمبود آب باشد. یکی از چالش های موجود در بخش کشاورزی در هر کشوری از جمله ایران کم بودن میزان بهره وری نهاده ها و منابع تولیدی است. این مسئله از یک طرف منجر به افزایش هزینه های تولید و به تبع آن قیمت تمام شده محصولات شده است و از طرف دیگر میزان تولید را کاهش می دهد. در بین منابع و نهاده های تولید، آب همیشه جایگاه ویژه ای داشته است. اهمیت این نهاده در کشور ما به دلایل محدودیت منابع، کم بودن راندمان آبیاری و هدررفت بخشی عمده از منابع آب در بخش کشاورزی دوچندان است.

از حدود ۳۷ میلیون هکتار از اراضی مستعد کشاورزی کشور، به دلیل محدودیت منابع آب، فقط ۹/۲ میلیون هکتار آن در حال حاضر فاریاب محسوب می شود (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲). از طرف دیگر از ۹۲ میلیارد مترمکعب آب قابل استحصال از منابع سطحی و زیرزمینی حدود ۸۴ میلیارد مترمکعب (حدود ۹۲ درصد) آن در بخش کشاورزی مصرف می شود (حیدری، ۱۳۹۳). آب در کشور ما به عنوان یک منبع کمیاب اقتصادی، همواره تأثیرات شگرفی در وقایع تاریخی، ارتباطات اجتماعی و پیشرفت تمدن داشته و دارد. میانگین آب قابل دسترس در هر کشور و منطقه، صرف نظر از تغییرات بین سالی آن، مقدار ثابت و مشخصی است؛ در حالی که تقاضا برای این ماده حیاتی مرتباً افزایش می یابد. بنابراین اساسی ترین مسئله در برنامه ریزی منابع آب، ایجاد تعادل منطقی بین این منابع محدود، با مصارف فزاینده است. برای برقراری چنین تعادلی، کاهش تلفات آب از منبع تا محل مصرف و همچنین افزایش راندمان کاربرد در مزرعه به عنوان بهترین راهکار مطرح است.

با توجه به شرایط اقلیمی کشور و پایین بودن امکان افزایش منابع آب مورد استفاده در بخش کشاورزی استفاده از روش های علمی و فنی مناسب برای بهبود بهره وری آب، از ضروریات بخش کشاورزی است. بهره وری در بخش کشاورزی بسیار پایین است، به گونه ای که برای تولید یک کیلوگرم محصول کشاورزی حدود یک مترمکعب آب مصرف می شود، در حالی که متوسط بهره وری در کشورهای پیشرفته ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم به ازای مصرف یک مترمکعب آب است. در بهره وری اقتصادی آب نیز تولید بخش کشاورزی کشور به ازای هر مترمکعب آب حدود ۲۰ سنت و در سایر کشورها بیش از یک دلار است. بنابراین تولید مواد غذایی در کشور به ناچار به آب بیشتری نیاز دارد ولی با افزایش بهره وری می توان مصرف آب را کاهش داد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). راهکار اساسی استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی شامل افزایش راندمان آبیاری با مدیریت صحیح و کاربرد روش های مناسب آبیاری است.

عملیات آبیاری در قالب شبکه‌های آبیاری انجام می‌شود. شبکه آبیاری به مجموع تأسیساتی گفته می‌شود که از منبع آب تا محل تقاضا یا مصرف را دربرمی‌گیرد. پس از انتقال آب به مزرعه، از سامانه‌های مختلفی برای پخش آب استفاده می‌شود تا آب موردنیاز گیاه تأمین شود. سامانه آبیاری به مجموعه روش‌هایی گفته می‌شود که آب را در دسترس گیاه قرار می‌دهد.

### ۲-۱- آبیاری

متوسط بارندگی در دنیا ۸۵۰ میلی‌متر در سال و در ایران ۲۴۰ میلی‌متر در سال است. نیاز آبی غلات در طول فصل رشد حدود ۵۰۰ میلی‌متر است. بنابراین تنها با اتکا به بارندگی نمی‌توان حتی نیاز خالص اغلب گیاهان را تأمین کرد. از طرفی بارندگی در کشور ما توزیع مناسبی از نظر زمانی و مکانی ندارد. اغلب بارش‌ها در پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد، حال آن‌که فصل کشت در پهنه وسیعی از کشور در فصل‌های بهار و تابستان است. اغلب بارندگی نیز به‌جز نوار ساحلی دریای خزر در مناطقی است که زراعت کمتر انجام می‌شود (مناطق کوهستانی). بنابراین برای تأمین بخش عمده نیاز آبی گیاه باید آبیاری انجام داد تا تولید بخش کشاورزی اقتصادی باشد. به‌طور کلی آبیاری به معنی دادن آب به خاک برای تأمین آب موردنیاز گیاه است. اما آبیاری را برای اهداف دیگری نظیر رقیق کردن یا شست‌وشوی نمک‌های اضافی خاک، خنک کردن خاک و هوای مجاور گیاه، تأمین آب در دوره‌های خشک کوتاه‌مدت و کنترل آفات و امراض انجام می‌دهند. مهم‌ترین سؤال در مدیریت آبیاری این است که کی و به چه مقدار آب بایستی در اختیار گیاه قرار گیرد. بعد از پاسخ به این سؤال، مهم‌ترین چالش مطرح در مدیریت آبیاری، روش رساندن آب به گیاه است. روش‌های آبیاری متنوعی وجود دارد که در ادامه با آن‌ها آشنا خواهیم شد.

### ۲-۱-۱- انواع روش‌های آبیاری

روش معمول طبقه‌بندی روش‌های آبیاری، بر اساس نیروی محرکه، آن‌ها را به دو روش آبیاری ثقلی و آبیاری تحت‌فشار تقسیم می‌کند. آبیاری ثقلی یا سطحی با استفاده از سطح خاک، آب را در جهت شیب زمین در سطح مزرعه توزیع می‌کند. آبیاری تحت‌فشار بر اساس اصول مهندسی آبیاری با کاربرد پمپ، آب را درون لوله‌ها حرکت داده و در انتها با استفاده از آبپاش یا گسیلنده در اختیار گیاه قرار می‌دهد. معمولاً آبیاری تحت‌فشار به خاطر سادگی به دو دسته کلی آبیاری بارانی و قطره‌ای تقسیم می‌شود. هرچند امروزه برخی روش‌های آبیاری تحت‌فشار توسعه یافته‌اند به‌طوری که طبقه‌بندی آن‌ها به آبیاری بارانی یا قطره‌ای کاری دشوار است، چراکه برخی ویژگی‌های هر دو سامانه را دارا هستند. لذا عبارت آبیاری تحت‌فشار جامع‌تر است. ولی برای سادگی، کماکان از دو عبارت آبیاری بارانی و آبیاری قطره‌ای حتی در ارائه دروس دانشگاهی استفاده می‌شود.

آبیاری بارانی معمولاً نیاز به مقدار فشار کاری بالاتری نسبت به آبیاری قطره‌ای (حدود یک‌بار) دارد. بنابراین این روش با فشار کاری متوسط (بالاتر از حدود ۷۵ بار) تا فشار کاری بالا (حدود شش بار) آب را از طریق آبپاش با ایجاد باران مصنوعی در سطح مزرعه توزیع می‌کند. در صورتی که آبیاری قطره‌ای با فشار کاری پایین‌تر با استفاده از گسیلنده، آب را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. از آبیاری بارانی علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاه، برای اهداف دیگری نیز استفاده می‌شود. مثلاً برای:

- پخش کود و سم
- دفع پساب تصفیه‌شده
- جلوگیری از سرمازدگی، یخبندان و گرم‌زدگی
- به تعویق انداختن زمان تشکیل غنچه و گل
- مرطوب کردن خاک و جلوگیری از فرسایش بادی
- کمک به جوانه زدن بذرها

### ۳-۱- تاریخچه و روند توسعه آبیاری بارانی در دنیا و ایران

در دهه ۱۹۳۰ از لوله‌ها و اتصالات فولادی در سامانه‌های آبیاری بارانی استفاده می‌شد. بعد از جنگ جهانی دوم، ساخت لوله‌های آلومینیومی و اتصالات آن رونق پیدا کرد و با توجه به وزن پایین‌تر نسبت به لوله‌های فولادی و در نتیجه سهولت جابه‌جایی آن‌ها، سامانه‌های آبیاری بارانی توسعه بیشتری پیدا کردند. البته بهبود کیفیت ساخت آبپاش‌ها و پمپ‌ها نیز در سرعت بخشیدن به توسعه سامانه‌های نوین آبیاری سهیم بودند.

سطح اراضی زیرپوشش آبیاری بارانی حدود ۳۳ میلیون هکتار از حدود ۲۲۰ میلیون هکتار اراضی فاریاب در دنیا است (یعنی حدود ۱۵ درصد). البته در آمریکا و اروپا سهم آبیاری تحت‌فشار از اراضی فاریاب به ترتیب حدود ۴۰ و ۶۰ درصد است (ICID, 2020).

برنج در تقریباً ۱۱۳ کشور دنیا با سطح زیر کشت حدود ۱۵۰ میلیون هکتار تولید می‌شود. حدود ۶۰ میلیون هکتار از این شالیزارها به‌صورت دیم کشت می‌شوند. بنابراین حدود ۹۰ میلیون هکتار شالیزار فاریاب در دنیا وجود دارد. از مساحت کلی ۲۷۶ میلیون هکتار اراضی فاریاب، حدود ۱۸۶ میلیون هکتار به سایر کشت‌ها اختصاص دارد. از این مقدار اراضی، در حدود ۳۹ میلیون هکتار مجهز به سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار هستند. به عبارتی ۲۱ درصد کل اراضی فاریاب یا سی درصد اراضی زیر کشت سایر محصولات (به‌جز برنج) هستند. آمریکا، روسیه و چین در رده‌های اول تا سوم از نظر سطح زیر پوشش آبیاری بارانی هستند. آبیاری تحت‌فشار حدود ۶۵-۵۸ درصد از اراضی فاریاب در کشور ایالات‌متحده را زیر پوشش خود دارد (USDA, 2013).

ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است، اما خاک غنی و دشت‌های حاصلخیز دارد و به همین دلیل آبیاری از زمان‌های دور در ایران رایج بوده است. سابقه آبیاری در ایران به پنج هزار سال پیش می‌رسد. همچنین اهمیت آب و آبیاری در اعتقادات مذهبی و آداب و رسوم ایرانیان، جایگاه ویژه‌ای داشته است. ایرانیان نوآوری‌های ارزنده‌ای در زمینه فن آبیاری داشته‌اند. از آن جمله می‌توان به ابداع قنات، مهار آب رودخانه‌ها برای آبیاری، ایجاد بندها، حفر کانال، آبیاری کوزه‌ای و آبیاری با استفاده از مد دریا در نخلستان‌های جنوب کشور اشاره کرد.

کشور ما جزء اولین کشورها بوده که سامانه‌های آبیاری بارانی را توسعه داده است. در دهه ۱۳۴۰ ایران در کنار کشورهای پیشرو در این زمینه نظیر ایالات متحده اقدام به راه‌اندازی مزارع الگویی مجهز به آبیاری بارانی کرده است. بنابراین می‌توان گفت که سامانه‌های آبیاری بارانی دارای قدمت مناسبی در کشور ماست. هرچند که توسعه این سامانه‌ها در کنار آبیاری قطره‌ای در مقاطع زمانی مختلفی دچار رکود شده است، ولی در سال‌های اخیر به‌ویژه از دهه ۱۳۷۰ به بعد، روند توسعه مناسب‌تری پیدا کرده است. از مجموع حدود ۸/۵ میلیون هکتار اراضی کشاورزی تا سال ۱۳۹۹ حدود ۷۷ میلیون هکتار به سامانه آبیاری تحت فشار مجهز شده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۳۹۹).

در سال ۲۰۳۰، جمعیت دنیا به چیزی حدود هشت و نیم میلیارد نفر خواهد رسید که باعث افزایش تقاضا در بخش آب خواهد شد. بیشتر اراضی فاریاب یا مستعد آبیاری در کشورهای در حال توسعه واقع شده‌اند. بنابراین توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران بیشتر خواهد بود.

آبیاری بارانی کماکان جذابیت خود را برای آبیاری غلات، دانه‌های روغنی و گیاهان علوفه‌ای حفظ خواهد کرد. طراحی و مدیریت درست سامانه‌های آبیاری بارانی موجب صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به آبیاری سطحی می‌شود، چراکه با کاهش روان آب سطحی و نفوذ عمقی، آب را در منطقه توسعه ریشه گیاه ذخیره می‌کند.

#### ۴-۱- مزایا و معایب

از آبیاری بارانی بیشتر برای آبیاری مزارع استفاده می‌شود و برای آبیاری باغات بیشتر از آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شود. در ادامه برخی از مزایا و معایب ذاتی آبیاری بارانی آورده شده است. شایان ذکر است دستیابی به مزایای اشاره‌شده منوط به رعایت اصول مهندسی آبیاری در انتخاب نوع سامانه آبیاری بارانی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری است.

## ۱-۴-۱- مزایای آبیاری بارانی

ازجمله مزایای آبیاری بارانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- صرفه‌جویی در مصرف آب با افزایش راندمان آبیاری
- امکان سنجش مقدار آب مصرفی
- امکان انجام آبیاری سبک
- آبیاری در اراضی شیب‌دار و ناهموار بدون نیاز به تسطیح
- امکان انجام آبیاری با دبی کمتر نسبت به آبیاری سطحی
- آبیاری اراضی با عمق کم خاک
- یکنواختی بیشتر آبیاری نسبت به آبیاری سطحی
- عدم ایجاد شرایط غرقابی و جلوگیری از زه‌دار شدن اراضی کشاورزی
- جلوگیری از انتشار بذر علف‌های هرز در سطح مزرعه و در نتیجه کاهش میزان آن در سطح مزرعه
- عدم نیاز به تسطیح اراضی کشاورزی و همچنین مرزبندی مزرعه
- سهولت انجام سایر امور زراعی و حرکت ماشین‌آلات به‌خصوص برای سامانه‌های آبیاری بارانی با لوله‌های مدفون
- پخش کود و سم همراه با آب آبیاری
- نیاز کمتر به نیروی انسانی و سهولت بیشتر عملیات آبیاری نسبت به آبیاری سطحی
- بهبود کمیت و کیفیت محصول تولیدی
- جلوگیری از بروز روان‌آب و کاهش فرسایش خاک در اثر حرکت آب روی خاک
- شست‌وشوی اندام هوایی گیاه به‌خصوص برگ‌ها و بهبود فتوسنتز
- مبارزه با سرما، یخبندان و گرمادگی
- امکان خودکار کردن و هوشمندسازی سامانه آبیاری بارانی
- کاهش اتلاف زمین برای اختصاص یافتن به کانال‌های آب به‌خصوص در سامانه‌هایی با لوله‌های مدفون
- امکان انجام آبیاری تکمیلی مخصوصاً با سامانه‌های جابه‌جا شونده
- آبشویی خاک‌های شور و قلیایی

### ۱-۴-۲- معایب آبیاری بارانی

- بالا بودن هزینه‌های اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی
- هزینه بالای بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری نسبت به آبیاری سطحی به‌ویژه نیاز به فشار کاری بالا
- نیاز به متخصص برای انجام تعمیرات از پیش برنامه‌ریزی نشده در مناطق دورافتاده و احتمال آسیب به گیاه
- نیاز به شبکه برق
- مقرون به صرفه نبودن در اراضی کوچک
- عدم تناسب برای خاک‌های با نفوذپذیری کم
- محدودیت استفاده از ماشین‌های آبیاری بارانی در اراضی با شکل نامنظم هندسی
- محدودیت استفاده در مناطق بادخیز
- بالا بودن تلفات تبخیر در هوای گرم و خشک
- حساسیت اندام هوایی برخی گیاهان نسبت به کیفیت آب آبیاری (کلرید سدیم، بر و ...)
- نیاز به کاربر متخصص برای بهره‌برداری از سامانه آبیاری بارانی
- نیاز به یک منبع آب با دبی ثابت

### ۱-۵-۱- انواع سامانه‌های آبیاری بارانی

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی سامانه‌های آبیاری بارانی وجود دارد. امکان طبقه‌بندی این سامانه‌ها بر اساس قابلیت جابه‌جایی سامانه یا بر اساس سطح مکانیزاسیون به شرح ذیل وجود دارد:

#### ۱-۵-۱-۱- آبیاری بارانی کلاسیک متحرک

این روش بیشتر برای آبیاری مزارع کوچک (زیر ۱۰ هکتار) توصیه می‌شود. واحد آبیاری محدودیتی از نظر شکل و ابعاد ندارد، هرچند توصیه می‌شود که عرض واحد کم باشد تا در نتیجه تعداد آبپاش مورد نیاز محدود باشد. در این سامانه، تمامی بخش‌ها شامل آبپاش و رایزر، بال‌های آبیاری، لوله‌های نیمه‌اصلی و اصلی بعد از آبیاری در یک واحد، جمع‌آوری شده و به واحد بعدی و یا در صورت اتمام فصل آبیاری به انبار منتقل می‌شوند (شکل ۱-۱).

#### ۱-۵-۱-۲- آبیاری بارانی کلاسیک نیمه‌متحرک

این روش نیز مانند روش آبیاری بارانی کلاسیک متحرک بیشتر برای آبیاری اراضی کوچک مناسب است. همچنین محدودیتی از نظر شکل و ابعاد واحد آبیاری وجود ندارد. هرچند بهتر است واحد

آبیاری دارای عرض کم باشد تا در تعداد آبپاش محدود باشد. در این روش برای کاهش هزینه‌های راه‌اندازی سامانه و استفاده بهینه از زمان کشاورز، برخی اجزای سامانه شامل آبپاش، رایزر و بال آبیاری متحرک هستند و سایر بخش‌ها ثابت و معمولاً به‌صورت مدفون اجرا می‌شوند. پس از آبیاری در هر واحد، اجزای گفته‌شده باز می‌شوند و به واحد بعدی منتقل می‌شوند و این روند تا اتمام آبیاری در کل مزرعه در بازه دور آبیاری ادامه دارد (شکل ۱-۱).

#### ۱-۵-۳- آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک

در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک همه اجزای سامانه به‌جز آبپاش و رایزر به‌صورت ثابت و معمولاً مدفون اجرا می‌شوند. این شیوه اجرا موجب کاهش هزینه‌های خرید آبپاش، تسهیل تردد ماشین‌آلات و افراد، عدم امکان سرقت لوله‌ها و افزایش عمر مفید سامانه خواهد شد. در این روش اغلب از آبپاش‌های بزرگ و با فواصل بیشتر استفاده می‌شود، هرچند از آبپاش‌های کوچک با فواصل کم‌تر نیز استفاده می‌گردد. امکان کاربرد رایزرهای بلند برای آبیاری گیاهان با ارتفاع بیشتر و همچنین تلطیف هوا وجود دارد. در این سامانه از شیر خودکار برای آبیگری از بال آبیاری استفاده می‌شود (شکل ۱-۱).

#### ۱-۵-۴- آبیاری بارانی کلاسیک کاملاً ثابت

در این روش کلیه اجزای سامانه شامل پمپ، خطوط اصلی و نیمه‌اصلی، بال‌های آبیاری، رایزر و آبپاش، همگی به‌صورت ثابت و برای دوره بهره‌برداری شامل یک فصل آبیاری و یا کل عمر مفید سامانه نصب می‌شوند. اگر سامانه در کل عمر مفید خود ثابت باشد، لوله‌ها به‌صورت مدفون اجرا می‌شوند. در این سامانه کل واحد آبیاری تحت پوشش بال آبیاری و آبپاش است و دیگر نیازی به جابه‌جایی بال‌های آبیاری در طول فصل آبیاری نیست. البته از شیر برقی برای تقسیم کل واحد آبیاری به چند زیرواحد می‌توان استفاده کرد. چون آبپاش‌ها ثابت هستند و امکان جابه‌جایی آن‌ها برای بهبود همپوشانی فراهم نیست بایستی به همپوشانی مناسب آن‌ها به‌ویژه در مناطق بادخیز توجه ویژه داشت (شکل ۱-۱).

#### ۱-۵-۵- آبیاری بارانی آبفشان غلتان (ویل موو)

دلیل توسعه این سامانه، مشکلات مربوط به جابه‌جایی لوله‌ها و آبپاش‌ها در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک متحرک بود. جابه‌جایی این سامانه معمولاً به‌وسیله یک موتور که روی سامانه نصب هست، انجام می‌شود. بال آبیاری نقش محور تعدادی چرخ را بر عهده دارد. طول این دستگاه معمولاً ۳۷۲ متر است. سامانه از خط لوله آب‌رسان که دارای شیرهای آبیگر با فواصل مساوی و معمولاً ۵۴ متر

است، از طریق لوله خرطومی تغذیه می‌شود. ابتدا بایستی شرایط واحد آبیاری برای استفاده از سامانه آبیاری بارانی آفشان غلتان بررسی شود. این سامانه مناسب مزارع نسبتاً هموار و مسطح با گیاهان ردیفی است. مزارعی مناسب این سامانه هستند که ارتفاع گیاهان آن حداکثر به یک متر برسد (گیاهان پاکوتاهی مثل غلات) و در مسیر حرکت سامانه مانعی نداشته باشند. این سامانه در زمین‌های متوسط و بزرگ که دارای شکل منظمی هستند، به کار می‌رود، ولی مناسب مزارعی با بافت خاک کاملاً رسی نیست. تمهیدات مناسب در مناطق بادخیز برای جلوگیری از حرکت ناخواسته سامانه ضروری است (شکل ۱-۱).

#### ۱-۵-۶- آبیاری بارانی آفشان قرقره‌ای (گان یا تفنگی)

در این سامانه آبیاری بارانی، بال آبیاری شامل یک لوله است که از یک طرف به دور یک قرقره بزرگ پیچیده شده و از طرف دیگر به ارابه بزرگی که یک آبپاش تفنگی (گان) روی آن نصب است، متصل می‌شود. برای شروع آبیاری، معمولاً قرقره و ارابه را به کنار زمین و جایی که شیر آبگیر از لوله اصلی وجود دارد منتقل کرده و پس از اتصال دستگاه به شیر آبگیر، ارابه را توسط تراکتور کشیده و به انتهای زمین انتقال می‌دهند. در این حالت لوله از دور قرقره باز می‌شود و بسته به ویژگی‌های دستگاه طولی از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر و عرضی به اندازه قطر پاشش آبپاش (با لحاظ کردن همپوشانی لازم) را آبیاری می‌کند. با برقرار شدن جریان آب، لوله توسط موتور یا توربینی که در نتیجه عبور آب از سامانه، انرژی خود را کسب کرده است به دور قرقره به آرامی جمع می‌شود و ارابه را به طرف قرقره می‌کشد، با حرکت ارابه از انتهای زمین به طرف قرقره، آبیاری یک نوار کامل به طول لوله باز شده و عرضی به اندازه قطر دایره پاشش انجام می‌گیرد و در صورت نیاز نوارهای متوالی با لحاظ همپوشانی مناسب آبیاری می‌شوند. از این سامانه برای آبیاری زمین‌های هموار و تا حدودی ناهموار و گیاهان کوتاه و بلند استفاده می‌شود. در این سامانه اثرات باد و تبخیر، دبی مورد نیاز و فشار کاری نسبت به روش‌های دیگر بیشتر است. از این سامانه عمدتاً به منظور آبیاری تکمیلی و در خاک‌های سبک تا متوسط استفاده می‌شود (شکل ۱-۱). در فصول آتی به این سامانه بیشتر پرداخته خواهد شد.

#### ۱-۵-۷- آبیاری بارانی دوار (سنتریوت)

این دستگاه با هدف آبیاری مکانیزه مزارع بزرگ و یکپارچه و آبگیری از چاه توسعه داده شد. سامانه شامل یک بال آبیاری بزرگ است که روی برجک‌های A نصب شده و با چرخش حول یک نقطه مرکزی اعم از چاه یا شیر آبگیری، واحد آبیاری را به شکل دایره آبیاری می‌کند. بال آبیاری از چندین دهانه تشکیل شده که روی برج‌هایی قرار گرفته‌اند. هر برج دارای دو چرخ و یک موتور معمولاً الکتریکی است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه این سامانه نسبت به سایر سامانه‌ها بیشتر ولی هزینه‌های



بهره‌برداری و نگهداری به مراتب کمتر است. این سامانه در اراضی با شیب ۱۵ تا حداکثر ۲۰ درصد قابل استفاده است. از حداکثر ساعات آبیاری در شبانه‌روز می‌توان استفاده نمود. از جمله مشکلات این دستگاه عدم آبیاری گوشه‌های زمین، ایجاد روان آب در انتهای آن و عمیق شدن مسیر چرخ‌ها به‌ویژه در خاک‌های با بافت سنگین است (شکل ۱-۱). در فصول آبی به این سامانه بیشتر پرداخته خواهد شد.

#### ۱-۵-۸- آبیاری بارانی خطی (لینیر)

این دستگاه با هدف آبیاری مکانیزه مزارع بزرگ و یکپارچه و رفع مشکلات مربوط به سامانه سنتریپوت توسعه پیدا کرد. ساختار کلی سامانه شبیه سنتریپوت بوده ولی حرکت آن به صورت خطی است و زمین تحت آبیاری به صورت مربع یا مستطیل خواهد بود. برخلاف سامانه سنتریپوت در این سامانه تلفات گوشه‌های زمین و بعضاً بروز روان آب نداریم. از مشکلات این دستگاه حرکت برگشتی است که باعث تلفات زمانی، غیریکنواختی دور آبیاری و فرورفتن در گل می‌شود (شکل ۱-۱). در فصول آبی به این سامانه بیشتر پرداخته خواهد شد.

#### ۱-۵-۹- آبیاری بارانی هیپودرام یا سنتر-لینیر

سامانه هیپودرام یا سنتر-لینیر حاصل ترکیب سامانه سنتریپوت و لینیر است. این سامانه مناسب زمین‌هایی است که در قسمت‌هایی از مزرعه نیاز به حرکت خطی و در قسمت‌های دیگر از مزرعه نیاز به حرکت دورانی است. بنابراین در قسمت‌هایی که نیاز به حرکت خطی است، این سامانه شبیه سامانه لینیر و در قسمت‌هایی که نیاز به حرکت دورانی است، سامانه شبیه سنتریپوت عمل خواهد کرد (شکل ۱-۱). این سامانه دارای شیر برقی است که هنگام تغییر حالت از لینیر به سنتریپوت، آرایش آبپاش‌ها را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که یکنواختی پخش مناسب باشد.



ب- آبیاری بارانی کلاسیک کاملاً ثابت و با آبپاش متحرک



الف- آبیاری بارانی کلاسیک متحرک و نیمه‌متحرک



د- آبیاری بارانی آبفشان قرقره‌ای (گان یا تفنگی)



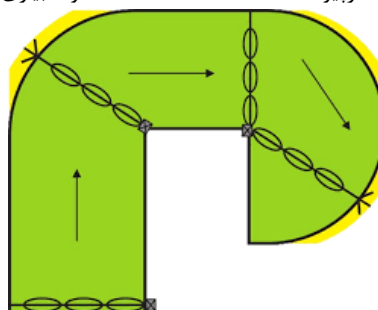
ج- آبیاری بارانی آبفشان غلتان (ویل موو)



و- آبیاری بارانی خطی (لینیر)



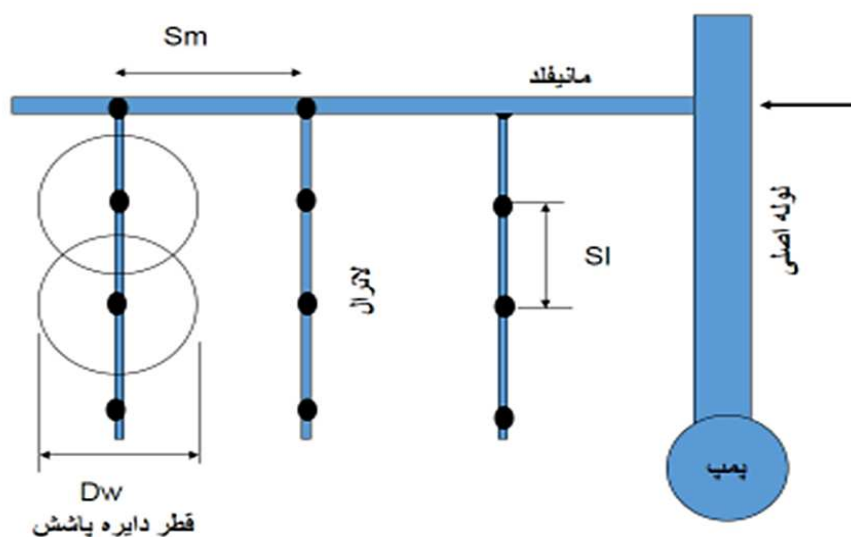
ه- آبیاری بارانی دوار (سنتریوت)



ز- آبیاری بارانی هیپودرام یا سنتر-لینیر  
شکل ۱-۱- انواع سامانه‌های آبیاری بارانی

### ۶-۱- قسمت‌های مختلف یک سامانه آبیاری بارانی

اجزای تشکیل‌دهنده آبیاری بارانی کلاسیک شامل پمپ، لوله اصلی، لوله نیمه‌اصلی (مانیفولد)، لوله لترال (باله)، رایزر و آبپاش هستند (شکل ۱-۲). البته ممکن است به دلیل کوچک بودن زمین، لوله نیمه‌اصلی حذف شود و لوله‌های لترال به‌طور مستقیم به لوله اصلی وصل شوند. روی لوله نیمه‌اصلی شیرهای آبگیر نصب می‌شود و لترال‌ها به این شیرهای آبگیر متصل می‌شوند و روی لترال‌ها، رایزرها و در بالای رایزرها، آبپاش‌ها نصب می‌شوند. ممکن است در انتهای سامانه آبیاری بارانی فشار به‌اندازه لازم نباشد، در این حالت از پمپ در مسیر (پمپ بوستر) استفاده می‌شود تا بتوان به‌صورت موضعی فشار را افزایش داد و آبپاش‌ها بتوانند به‌درستی کار کنند.



شکل ۱-۲- اجزای تشکیل‌دهنده یک سامانه آبیاری بارانی (در این شکل پمپ، لوله اصلی، لوله نیمه‌اصلی (مانیفولد)، لوله‌های لترال و محل نصب آبپاش‌ها مشخص است. فاصله بین لوله‌های لترال روی لوله اصلی با  $Sm$ ، فاصله روی لترال‌ها با  $SI$  و قطر دایره پاشش با  $Dw$  مشخص شده است).

شکل ۱-۱ مربوط به سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت است که در آن، همه اجزای سامانه نصب می‌شود. این نوع سامانه بیشتر برای باغ‌ها و یا فضای سبز مناسب است که قرار است، سامانه چندین سال در همان مکان کار کند. ولی در بعضی از مزارع و باغ‌ها ممکن است امکان پرداخت هزینه اجرای تمام لترال‌ها و یا آبپاش‌ها وجود نداشته باشد، در این وضعیت از تعداد محدودتری لترال یا آبپاش و

امکان جابه‌جایی استفاده می‌شود. با توجه به این که فاصله بین دو آبیاری متوالی چند روز فرصت جابه‌جایی لوله‌های لترال یا آبپاش‌ها را در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد، لذا می‌توان با تعداد کمتری لوله لترال یا آبپاش، پمپ کوچک‌تر و لوله‌های با قطر کمتر کار آبیاری مزرعه را در چند نوبت به صورت بخش به بخش و به تدریج با جابه‌جایی لوله‌ها یا صرفاً آبپاش‌ها یا استفاده از شیرهای برقی تکمیل کرد.

### ۷-۱- مطالعات لازم برای طراحی و اجرای سامانه آبیاری بارانی

قبل از طراحی و اجرای یک سامانه آبیاری بارانی لازم است مطالعات مقدماتی لازم انجام شود. تعیین هدف از طراحی سامانه آبیاری بارانی بسیار مهم است. ممکن است سامانه علاوه بر وظیفه تأمین نیاز آبی گیاه، وظایف دیگری نظیر تلطیف هوا، مبارزه با سرمازدگی و یخبندان، پخش کود و سموم و... داشته باشد که روی طراحی سامانه اثرگذار خواهند بود. یکی دیگر از موارد مهم در طراحی سامانه آبیاری بارانی جمع‌آوری اطلاعات پایه است که شرط لازم برای طراحی مناسب سامانه است. جمع‌آوری اطلاعات در مورد زمین، خاک، توپوگرافی، گیاهان تحت آبیاری، کمیت و کیفیت منبع آب، داده‌های هواشناسی، وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه و دسترسی به شبکه برق موجب می‌شود که طراح با دید کارشناسی و بر اساس شرایط اقدام به طراحی سامانه کند. نادیده گرفتن هرکدام از اطلاعات گفته‌شده در زمان انتخاب، طراحی و اجرا موجب کاهش امکان موفقیت سامانه خواهد شد.

طراحی سامانه آبیاری برخلاف مسیر حرکت آب در سامانه انجام می‌شود و از گیاه شروع و به منبع آب و پمپ ختم می‌شود. هدف اصلی سامانه آبیاری، تأمین نیاز آبی گیاه است و در هنگام طراحی، پیشینه این نیاز ملاک طراحی قرار می‌گیرد. داده‌های مربوط به تبخیر-تعرق روزانه با در اختیار داشتن داده‌های هواشناسی و فرمول‌های تجربی قابل محاسبه است. هرچند به راحتی می‌توان از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور نیز داده‌های محاسبه‌شده را استخراج کرد و تبخیر-تعرق گیاه در زمان اوج را مبنای طراحی سامانه قرارداد. با داشتن تبخیر-تعرق گیاهی و کم کردن بارش مؤثر از آن، نیاز خالص آبیاری تعیین می‌شود. حداکثر عمق آب آبیاری، مقدار آبی است که می‌توان آن را در منطقه توسعه ریشه گیاه ذخیره کرد که از رابطه (۱-۱) تعیین می‌شود:

$$dx = (FC - PWP) \times MAD \times Dr \quad (1-1)$$

که در آن:

$dx$  = حداکثر عمق آب آبیاری (mm)

$FC$  = رطوبت در ظرفیت زراعی خاک (درصد حجمی)

PWP= رطوبت در نقطه پژمردگی (درصد حجمی)

MAD= درصد تخلیه مجاز مدیریتی

Dr= عمق ریشه گیاه (m)

با تقسیم حداکثر عمق آب آبیاری بر نیاز خالص آبیاری (In)، بیشینه دور آبیاری (fx) تعیین می شود (رابطه ۲-۱).

$$fx = \frac{dx}{In} \quad (2-1)$$

البته عدد حاصل، بیشینه دور آبیاری است و می توان با لحاظ کردن مسائل مدیریتی، دور آبیاری (F) را مجدد تعیین کرد. در این صورت بایستی نیاز خالص دور آبیاری (dn) مجدد محاسبه شود:

$$dn = In \times F \quad (3-1)$$

با توجه به بارش کم در اکثر نقاط کشور، لحاظ کردن نیاز آبخویی در محاسبه عمق ناخالص آبیاری ضروری است. نیاز آبخویی را می توان از رابطه ۴-۱ محاسبه کرد:

$$LR = \frac{ECiw}{5ECe - ECiw} \quad (4-1)$$

که در آن:

LR= جز نیاز آبخویی (اعشار)

ECiw= هدایت الکتریکی آب آبیاری (mmhos/cm)

ECe= هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (mmhos/cm)

عمق ناخالص آبیاری با لحاظ کردن تلفات و جز آبخویی در نیاز خالص آبیاری حاصل می شود. البته بسته به میزان نیاز آبخویی محاسبه شده دو حالت برای محاسبه عمق ناخالص آبیاری در نظر گرفته می شود. اگر نیاز آبخویی کمتر از ۱٪ باشد عمق ناخالص آبیاری از رابطه (۵-۱) محاسبه می شود:

$$Ig = \frac{In}{Ea} \quad (5-1)$$

که در آن:

Ig= عمق ناخالص آبیاری (mm)

Ea= راندمان آبیاری (حدود ۷۰ درصد)

اگر نیاز آبخویی بیشتر از ۱٪ باشد، عمق ناخالص آبیاری از رابطه (۶-۱) محاسبه می شود:

$$Ig = \frac{0.9 \times In}{(1 - LR)Ea} \quad (6-1)$$

شدت پخش ناخالص آبپاش با توجه به دبی آبپاش، فاصله بال‌های آبیاری روی لوله اصلی و فاصله آبپاش‌ها روی بال آبیاری از رابطه (۷-۱) محاسبه می‌شود:

$$dg = \frac{3600 \times qa}{Sm \times Sl} \quad (7-1)$$

که در آن:

$dg$  = شدت پخش ناخالص آبپاش (mm/hr)

$qa$  = دبی آبپاش (lit/s)

$Sm$  = فاصله بال‌های آبیاری روی لوله اصلی (m)

$Sl$  = فاصله آبپاش‌ها روی بال آبیاری (m)

شدت پخش خالص آبپاش با در نظر گرفتن تلفات تبخیر و بادبردگی از رابطه (۸-۱) محاسبه می‌شود. باید توجه نمود که شدت پخش خالص آبپاش بایستی کوچک‌تر یا حداکثر مساوی سرعت نفوذ پایه خاک باشد تا روان‌آب حین آبیاری ایجاد نشود.

$$da = dg(1 - Ls) \quad (8-1)$$

که در آن:

$da$  = شدت پخش خالص آبپاش (mm/hr)

$dg$  = شدت پخش ناخالص آبپاش (mm/hr)

$Ls$  = جز تلفات تبخیر و بادبردگی (اعشاری)

ظرفیت سامانه آبیاری بارانی مقدار دبی هست که بایستی از طریق پمپ وارد سامانه آبیاری شود. با توجه به این که این دبی از طریق آبپاش‌ها در سطح واحد آبیاری پخش می‌شود، بنابراین ظرفیت سامانه با حاصل ضرب تعداد آبپاش‌هایی که هم‌زمان کار می‌کنند در دبی آبپاش‌ها قابل محاسبه است:

$$Qs = n \times q \quad (9-1)$$

که در آن:

$Qs$  = ظرفیت سامانه آبیاری (لیتر بر ثانیه)

$n$  = تعداد آبپاش‌هایی که هم‌زمان کار آبیاری را انجام می‌دهند.

$q$  = دبی هر آبپاش (لیتر بر ثانیه)



## فصل دوم

انواع سامانه‌های روزآمد آبیاری بارانی



## ۲-۱- مقدمه

با تعیین عمق و دور آبیاری، سؤال اساسی در آبیاری، تعیین روش یا سامانه‌ای است که قرار است آب را در سطح مزرعه یا باغ توزیع کند. سامانه‌های آبیاری تحت فشار برخلاف سامانه‌های آبیاری سطحی، آب را از طریق لوله و تحت فشار پمپ یا اختلاف رقوم در سطح مزرعه توزیع می‌کنند. سامانه‌های آبیاری بارانی جزء روش‌های آبیاری تحت فشار دسته‌بندی می‌شوند و شامل روش‌های متنوعی هستند. هرچند روش‌های آبیاری بارانی دارای قدمت بیشتری در خانواده آبیاری تحت فشار هستند، ولی برخی از روش‌های کم بازده و قدیمی آبیاری بارانی در حال جایگزینی با روش‌های روزآمد آبیاری قطره‌ای یا روش‌های نوین آبیاری بارانی هستند. در این بخش روش‌های آبیاری بارانی که توسعه بیشتری دارند و یا در حال توسعه هستند معرفی می‌شود و از معرفی روش‌های قدیمی‌تر صرف نظر شده است. خوانندگان محترم در صورت علاقه‌مندی می‌توانند برای مطالعه سایر روش‌ها به منابع معرفی شده در انتهای بخش مراجعه فرمایند.

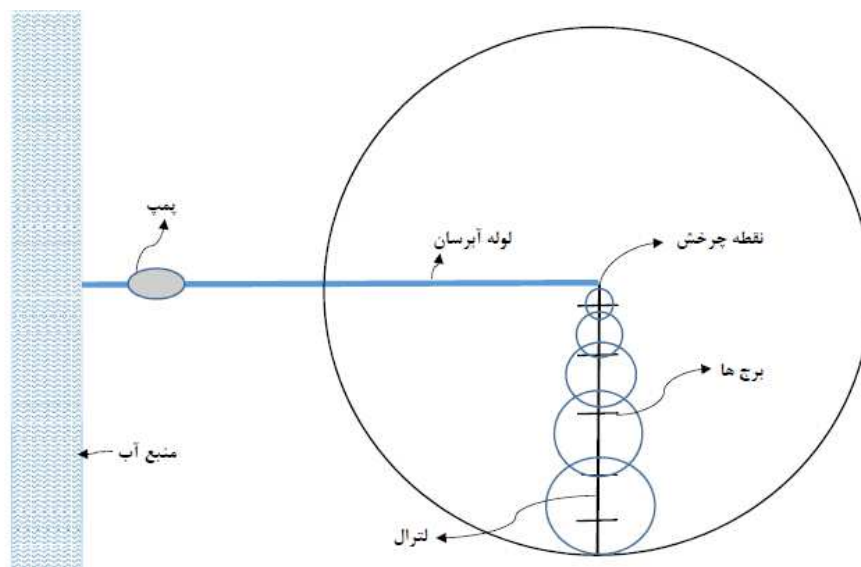
## ۲-۲- سامانه‌های آبیاری بارانی سنتریوت

سامانه سنتریوت در کشور ما سامانه شناخته شده‌ای است. این سامانه سالیان سال است که وارد کشور شده است. حتی نسخه‌های جدید و پیشرفته این سامانه از کشورهای پیشرو در این زمینه نظیر اسپانیا وارد کشور شده و در مناطق مختلف نظیر دشت مغان به خوبی استفاده می‌شود. سامانه سنتریوت در زبان فارسی سامانه دوار مرکزی یا عقربه‌ای نامیده شده است که توسط کارشناسان کمتر مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین در این کتاب نیز بیشتر از سامانه سنتریوت استفاده شده است. این سامانه یکی از روش‌های معمول در آبیاری مزارع بزرگ و مکانیزه است. سامانه سنتریوت دارای هزینه کارگری پایین، انعطاف پذیری مناسب و سهولت اجرا و بهره‌برداری است. استفاده از این سامانه در ایالات متحده آمریکا رایج است و تقریباً در نیمی از اراضی‌ای که تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت فشار هستند از سنتریوت استفاده می‌شود. در این سامانه یک لوله لترال بزرگ وجود دارد که آبپاش‌ها روی آن نصب می‌شوند و چند برج چرخ‌دار این لوله را در بالای پوشش گیاهی نگه می‌دارند. این سامانه حول یک نقطه مرکزی می‌چرخد و هم‌زمان و به آهستگی کار آبیاری را انجام می‌دهد. حالا این نقطه مرکزی می‌تواند به عنوان منبع تأمین آب، محل آگیری از یک شبکه لوله یا یک چاه آب باشد. بهره‌برداری درست از سامانه موجب صرفه‌جویی در آب آبیاری، انرژی و زمان می‌شود. از نکات مثبت توسعه سامانه سنتریوت در کشورمان، امکان یکپارچه‌سازی اراضی در مجاورت یک چاه است.

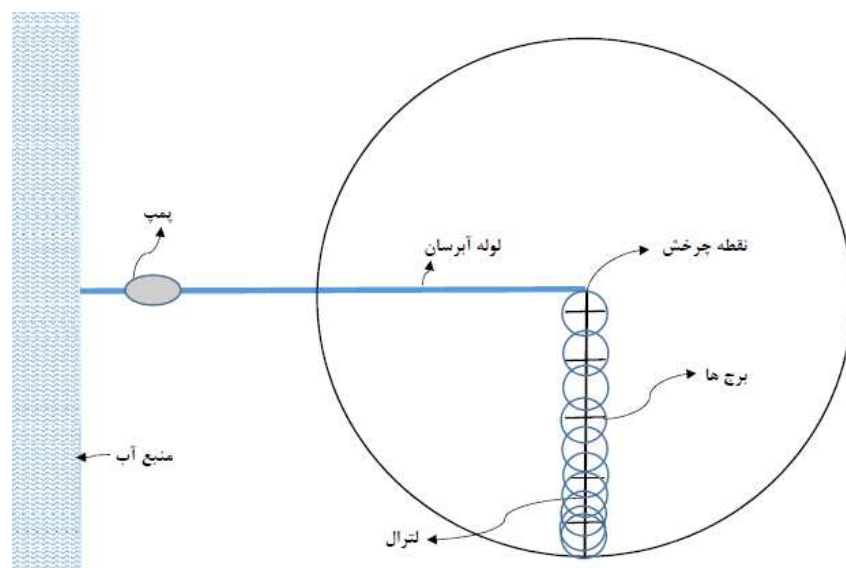
سامانه سنتریپوت در یک دور کامل به شعاع طول لوله لترال مزرعه را آبیاری می‌کند. از آنجایی که با کمی افزایش در طول لوله لترال سطح وسیع‌تری می‌تواند آبیاری شود، آبپاش‌های انتهایی ممکن است نتوانند به اندازه کافی آب توزیع کنند. برای رفع مشکل عدم یکنواختی توزیع از آبپاش‌های بزرگ‌تری استفاده می‌شود تا آبپاش‌ها مقدار آب بیشتری را پخش کنند، یا این‌که فاصله آبپاش‌ها به تدریج کم می‌شود تا این مشکل حل شود.

### ۲-۳- برخی ویژگی‌های سامانه سنتریپوت

- اندازه معمول طول لترال سامانه سنتریپوت از ۶۰ تا ۸۰۰ متر است (البته طول‌های بیشتر هم وجود دارد). بنابراین با طول لترالی حدود ۸۰۰ متر می‌توان ۲۰۰ هکتار را آبیاری کرد. متداول‌ترین طول لترال ۴۰۰ متر است که هر دستگاه با شعاع ۴۰۰ متر می‌تواند حدود ۱۲۵ هکتار زمین را پوشش دهد.
- این سامانه مناسب زمین‌های با بافت خاک سبک است. با توجه به این‌که شدت پخش سامانه بالاست، آب باید سریع‌تر در خاک نفوذ کند تا باعث گیرکردن دستگاه در خاک مزرعه نشود. به همین دلیل کاربرد سامانه، مناسب خاک‌های شنی است که با تسریع نفوذ آب از ایجاد حالت روان‌آب در مزرعه جلوگیری می‌شود.
- سامانه حدود ۷۹٪ مزرعه را آبیاری می‌کند. الگوی پاشش دستگاه به صورت دایره‌ای است؛ بنابراین گوشه‌های زمین آبیاری نمی‌شود (شکل ۲-۱).
- یکنواختی پخش در این سامانه پایین‌تر از سامانه کلاسیک ثابت است. هر چه به سمت انتهای سامانه حرکت کنیم، آبپاش در حال حرکت وظیفه دارد که مساحت بیشتری را پوشش دهد؛ بنابراین یا باید بزرگ‌تر باشد (مانند شکل ۲-۱) یا فاصله آبپاش‌ها به تدریج کم شود (مانند شکل ۲-۲). در هر حال به دلیل این وضعیت، یکنواختی پخش سامانه نامبرده پایین‌تر از سامانه‌هایی نظیر سامانه کلاسیک ثابت است.



شکل ۱-۲- سامانه آبیاری بارانی سنترپیوت با فاصله ثابت بین آبپاش‌ها



شکل ۲-۲- سامانه آبیاری بارانی سنترپیوت با فاصله متغیر بین آبپاش‌ها

## ۲-۴- عدم آبیاری گوشه‌های زمین

اولین بار این سامانه در دشت‌های مرکزی ایالات متحده آمریکا توسعه پیدا کرد. در این مناطق زمین به صورت وسیع و نامحدود در دسترس کشاورزان قرار داشت و منبع تأمین‌کننده آب هم بیشتر چاه بود؛ بنابراین دنبال سامانه آبیاری بودند که بتواند از چاه آبیاری انجام دهد. با توجه به این که محدودیتی از نظر زمین وجود نداشت، لذا اتلاف آن خیلی مهم نبود. از طرفی دیگر به دلیل این که جمعیت زیادی در آن مناطق ساکن نبودند مشکل دسترسی به کارگر هم وجود داشت، پس دنبال یک سامانه آبیاری بودند که بتواند آبیاری را به صورت خودکار انجام دهد. لذا با لحاظ چنین شرایطی سامانه سنتریوت توسعه یافت.

در برخی مناطق که مشکل محدودیت زمین وجود دارد، راهکارهایی برای کاهش اتلاف زمین ارائه شد. در شکل (۲-۳) زیر مشاهده می‌شود که برای کاهش اتلاف زمین سعی کردند از طریق مماس کردن حداکثری دایره کارکرد سامانه‌ها با همدیگر، اتلاف آن کاهش یابد تا بتوانند حداکثر استفاده از زمین را داشته باشند.



شکل ۲-۳- مماس کردن دایره کارکرد سنتریوت‌ها در یک منطقه برای کاهش اتلاف زمین

## ۲-۵- تاریخچه توسعه سامانه سنتریوت

فرانک زایبک<sup>۱</sup> اولین فردی بود که در سال ۱۹۵۱ سامانه سنتریوت را توسعه داد. وی یک نمونه خیلی ساده را طراحی کرد که با مدل‌های امروزی فاصله زیادی داشت. در شکل (۲-۴) اولین سنتریوت ساخته شده توسط مخترع آن دیده می‌شود، که یک سامانه بسیار ساده است. لوله لترال پایین و

<sup>۱</sup>. Frank Zybach

نزدیک سطح زمین بود، برج‌ها نیز کابل‌های مهارکننده لترال را نگه می‌داشتند. چرخ‌های فلزی بودند و از موتوری برای حرکت این چرخ‌ها استفاده می‌شد که از فشار آب موجود در سامانه تغذیه می‌کرد (مانند شکل ۲-۵).



شکل ۲-۴- اولین سامانه سنتریپوت توسعه یافته توسط فرانک زایبک



شکل ۲-۵- سامانه سنتریپوت اولیه با چرخ‌های فلزی و موتور محرکه با تغذیه از فشار آب موجود در سامانه

با توجه به محبوبیت روزافزون سامانه سنتریپوت، شرکت‌های مختلفی روی بهبود نسخه اولیه آن کار کردند و مدل‌های متنوعی را روانه بازار کردند که نسبت به مدل‌های اولیه پیشرفته‌تر بودند. در شکل (۶-۲) سنتریپوت مدل هیگروماتیک<sup>۱</sup> مشاهده می‌شود که از خرپاها برای استحکام بخشیدن به لترال استفاده شده است، کماکان از کابل برای مهار لوله‌های لترال در یک راستا استفاده شده است. لوله لترال به بالای قسمت برج A شکل منتقل شده و آبیگری از لوله لترال برای حرکت چرخ‌ها حذف شده است. در عوض هر برج دارای یک موتوربرقی مستقل است. برای چرخ‌ها از لاستیک استفاده شده است که خیلی بهتر از چرخ‌های فلزی قبلی است. شرکت رینکت<sup>۲</sup> مدلی به بازار ارائه کرد که برای جلوگیری از گیرکردن در گل‌آب زیر سامانه، از زنجیر چرخ (شنی) استفاده می‌کرد.



شکل ۶-۲- سامانه سنتریپوت مدل هیگروماتیک

<sup>۱</sup>. Hygromatic

<sup>۲</sup>. Raincat





شکل ۲-۷- سامانه سنتریوت ساخته شده توسط شرکت رینکت و استفاده از شنی برای حرکت بهتر در خاک مرطوب

در شکل (۲-۸) از آبپاش انتهایی برای آبیاری گوشه‌های زمین استفاده شده است. نوآوری‌ای که باعث کاهش اتلاف زمین می‌شود. به محض رسیدن سامانه به گوشه زمین آبپاش انتهایی شروع به کار می‌کند و بخشی از آن زمین تلف شده را پوشش می‌دهد. بنابراین شرکت‌های مختلف روی این ایده اصلی کار کردند و سعی کردند معایب سامانه را برطرف کنند و روز به روز به مزایای سامانه و توانمندی‌های آن اضافه کردند.



شکل ۲-۸- استفاده از آبپاش انتهایی برای پوشش بخشی از گوشه‌های زمین و جلوگیری از اتلاف آن

یکی از معایب سامانه سنتریپوت آن بود که به دلیل سنگین بودن و طولانی بودن بازوی آن، وقتی در یک مزرعه مستقر می‌شد، در همان مزرعه سال‌های سال می‌ماند و اختصاصی برای آن مزرعه بود. شرکت‌های مختلف روی این سامانه کار کردند تا قابلیت متحرک بودن به آن بدهند (شکل ۲-۹). یعنی سامانه بتواند به یک مزرعه دیگر منتقل و مجدداً نصب شود و عملیات آبیاری را برای مزرعه جدید انجام دهد. یعنی با افزایش بهره‌وری، از یک سامانه برای آبیاری چندین مزرعه استفاده شود.





شکل ۲-۹- سامانه سنتریپوت با قابلیت انتقال به سایر مزارع

یکی از مشکلات سامانه سنتریپوت برای استفاده در باغات، الگوی حرکت دایره‌ای شکل است. در اکثر باغات، کاشت به صورت خطی است و سنتریپوت نمی‌تواند به راحتی در این باغات حرکت کند و حتماً به درختان برخورد می‌کند. در نتیجه برای رفع این مشکل، الگوی کاشت باغات جدید را تغییر دادند و روی محیط دایره‌های متحدالمرکز کاشت را انجام دادند تا سامانه بتواند به راحتی بین ردیف‌های کاشت حرکت کند، بدون این‌که برخوردی با درختان داشته باشد (شکل ۲-۱۰). ارتفاع سامانه به گونه‌ای تنظیم شد که بتواند از بالای پوشش سبز رد شود. این سامانه‌ها خیلی مناسب باغاتی هستند که می‌خواهند مبارزه با سرمازدگی و گرم‌زدگی داشته باشند. سامانه سالیان سال در منطقه می‌ماند و نسبت به سامانه کلاسیک ثابت که در باغات از آن استفاده می‌شود قاعداً هزینه خیلی کمتری را به کشاورز تحمیل خواهد کرد.

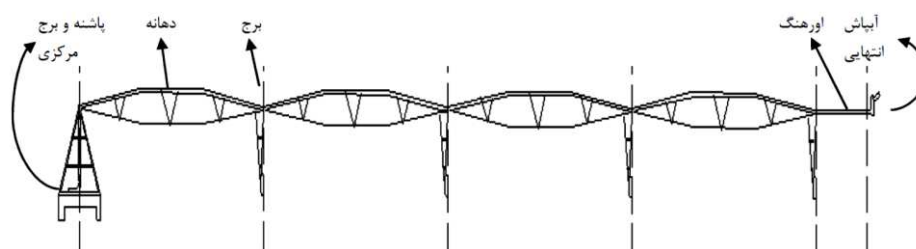


شکل ۲-۱۰- تغییر آرایش کاشت درختان یک باغ برای استفاده از سامانه سنترپیوت

## ۲-۶- قسمت‌های مختلف سنترپیوت

قسمت‌های اصلی سنترپیوت شامل: پاشنه<sup>۱</sup>، برج مرکزی<sup>۲</sup>، برج‌ها<sup>۳</sup>، دهانه‌ها (اسپن‌ها)<sup>۴</sup>، آبپاش‌ها<sup>۵</sup>، دهانه معلق<sup>۶</sup> و آبپاش انتهایی<sup>۷</sup> هستند. این قسمت‌ها از نقطه مرکزی که معمولاً روی یک چاه است شروع می‌شوند و به آبپاش انتهایی ختم می‌شوند (شکل ۲-۱۱). در ادامه قسمت‌های مختلف این سامانه و خصوصیات آن‌ها معرفی می‌شود.

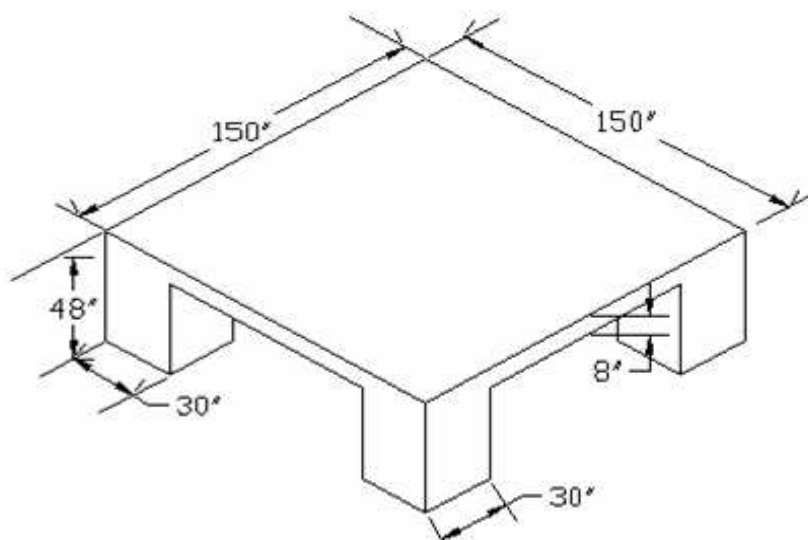
- 
- <sup>۱</sup>. Pad
  - <sup>۲</sup>. Pivot point
  - <sup>۳</sup>. Towers
  - <sup>۴</sup>. Spans
  - <sup>۵</sup>. Sprinklers
  - <sup>۶</sup>. Overhang
  - <sup>۷</sup>. End gun



شکل ۲-۱۱- قسمت‌های مختلف یک سامانه سنتریوت

## ۲-۶-۱- پاشنه

در نقطه شروع سامانه سنتریوت یک پاشنه یا یک چهارپایه یا یک ایستگاه وجود دارد. این چهارپایه معمولاً روی یک چاه آب قرار دارد یا از یک لوله آب‌رسان، آبگیری انجام می‌دهد. ابعاد توصیه‌شده برای پایه‌ها شامل: عرض پایه‌ها، ارتفاع پایه‌ها و صفحه‌ای که روی آن قرار می‌گیرد تا بتواند استحکام لازم را داشته باشد و سیستم حول این نقطه بچرخد در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۲- ابعاد مناسب برای ساختن پاشنه (برحسب اینچ)

### ۲-۶-۲- برج مرکزی

برج مرکزی روی پاشنه قرار می‌گیرد و شامل تجهیزاتی نظیر تابلوی برق، نردبان، شیرفلکه، کنتور، فشارسنج، زانوی چرخش، صافی و... است. شکل (۲-۱۳) برج مرکزی سامانه سنتریپوت را نشان می‌دهد. در برج مرکزی معمولاً قسمت‌های الکتریکی برای تنظیم چرخش دستگاه به کار می‌رود تا قسمت‌های مختلف سامانه هنگام حرکت در یک راستا بمانند. در سنتریپوت‌های نوع جابه‌جاشونده، برج مرکزی قابلیت جدا شدن از پاشنه را دارد.

### ۲-۶-۳- برج‌ها

دهانه‌ها یا اسپن‌ها روی برج‌هایی به شکل A که از نبشی و میله‌های فولادی ساخته شده قرار می‌گیرند. برج‌ها برای حفظ تعادل، تحمل وزن دهانه‌ها و حرکت سامانه در محل اتصال دو دهانه استفاده می‌شوند (شکل ۲-۱۴). هر برج دو چرخ لاستیکی و یک موتور الکتریکی دارد. البته در گذشته از موتورهای هیدرولیکی برای حرکت برج‌ها استفاده می‌شد و انرژی موردنیاز برای حرکت چرخ‌ها از فشار آب داخل سامانه تأمین می‌شد، ولی امروزه از موتورهای الکتریکی برای به حرکت درآوردن برج‌ها استفاده می‌شود. با گردش برج‌ها حول پاشنه و روی دوایری به مرکزیت پاشنه آبیاری مزرعه با آبپاش‌ها انجام می‌شود.



شکل ۲-۱۳- برج مرکزی سامانه سنتریپوت



شکل ۲-۱۴- بر ج A شکل سامانه سنتریپوت در محل اتصال دو دهانه مجاور

#### ۲-۶-۴- دهانه‌ها

دهانه، لوله لترالی است که بین دو برج قرار می‌گیرد. هر دهانه خود شامل چند لوله گالوانیزه به طول ۶ یا ۱۲ متر است. طول دهانه می‌تواند از ۳۰ تا ۷۲ متر باشد. آبپاش‌ها در محل تعیین شده روی لوله‌ها قرار می‌گیرند. لوله‌های مورد استفاده برای دهانه‌ها دارای قطر ۵ تا ۱۰ اینچ هستند. البته برای دهانه معلق از لوله‌هایی با سایز ۴ تا ۵ اینچ استفاده می‌شود؛ بنابراین قطر لوله لترال بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر است. اما قطر معمول لوله لترال ۱۶۸ میلی‌متر (شش و ۵/۸ اینچ) است. برای دهانه‌ها می‌توان از لوله‌های دوجداره با جدار داخلی پلی‌اتیلن و جدار خارجی گالوانیزه استفاده کرد تا مقاومت مناسبی در برابر خوردگی داشته باشند. برای استحکام و حفظ راستای سامانه سنتریپوت از خرپا و کابل استفاده می‌شود (شکل ۲-۱۵).





شکل ۲-۱۵- دهانه و نحوه قرارگیری خرپا، کابل و آبپاش روی آن

## ۲-۶-۵- آبپاش‌ها

آبپاش‌های سامانه سنتریپوت در محل‌های مشخص‌شده روی دهانه‌ها نصب می‌شوند. اندازه و فواصل آبپاش‌ها با توجه به طراحی سامانه سنتریپوت متفاوت است. آبپاش‌ها برحسب نوع محصول، عمق آب آبیاری، ارتفاع سامانه از سطح زمین، سرعت باد، بافت خاک و سایر موارد انتخاب می‌شود. انتخاب مناسب آبپاش‌ها راندمان آبیاری را افزایش می‌دهد. در ادامه این بخش با آبپاش‌هایی که در سنتریپوت و همچنین لینیر استفاده می‌شوند، آشنا خواهید شد.

## ۲-۶-۶- دهانه معلق

همان‌طور که قبلاً گفته شد، یکی از معایب سامانه سنتریپوت عدم آبیاری گوشه‌های زمین است. به همین دلیل انتهای سامانه یک دهانه معلق نصب می‌کنند و انتهای آن یک یا چند آبپاش بزرگ به نام آبپاش انتهایی قرار دارد. طول دهانه معلق در درجه اول بستگی به قطر لوله دهانه دارد و از ۶ تا ۲۷ متر متغیر است. نوع مدل و شرکت سازنده سامانه نیز بر تعیین طول دهانه معلق مؤثرند. همان‌طور که در شکل (۲-۱۶) مشاهده می‌شود که از دو آبپاش انتهایی استفاده شده تا بتوان گوشه‌های زمین را تا حد امکان آبیاری کرد و تلفات زمین به حداقل برسد.



شکل ۲-۱۶- نحوه اتصال دهانه معلق در انتهای سامانه سنتریپوت

## ۲-۶-۷- آبیاش انتهایی

برای کاهش اتلاف زمین در گوشه‌های آن، آبیاش‌های بزرگی در انتهای سامانه و دهانه معلق نصب می‌شود. آبیاش انتهایی مدل‌های مختلفی دارد. ولی از نظر منبع تأمین فشار به دو دسته کلی تقسیم می‌شود (شکل ۲-۱۷).

- ۱- آبیاش‌هایی که برای تأمین فشار کاری از فشار داخل سامانه استفاده می‌کنند.
- ۲- آبیاش‌هایی که به فشار کاری بیشتری نیاز دارند. به همین دلیل، یک پمپ بوستر اختصاصی برای آن‌ها نصب می‌شود تا فشار را در انتهای سامانه افزایش دهد و آبیاش بتواند شعاع پرتاب بیشتری داشته باشد.

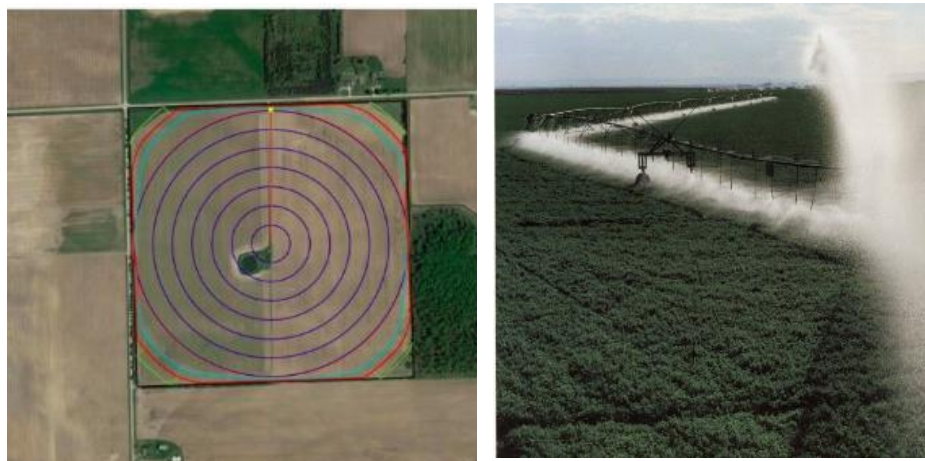


شکل ۲-۱۷- دو نوع آبپاش انتهایی با و بدون پمپ بوستر

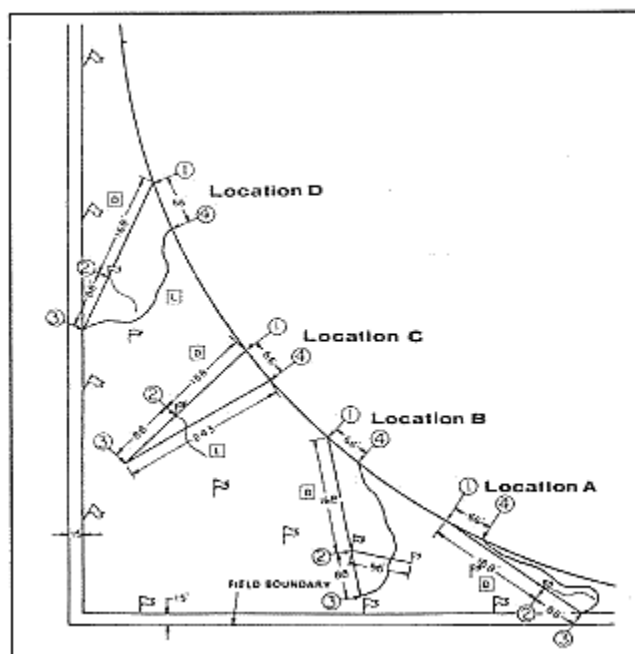
اگر در مکانی اتلاف زمین خیلی مهم باشد، می‌توان به‌جای آبپاش انتهایی از گوشه‌گیر استفاده کرد (شکل ۲-۱۸). گوشه‌گیر یک دهانه معلق است که موقع کار کردن عادی سامانه بسته است و وقتی که سامانه به ابتدای گوشه زمین رسید، به‌تدریج و به‌صورت خودکار باز می‌شود و در امتداد بازوی اصلی سامانه سنترپیوت قرار می‌گیرد و بخشی از گوشه زمین را آبیاری می‌کند. در ادامه حرکت سامانه، گوشه‌گیر با نزدیک شدن به انتهای گوشه زمین به‌تدریج و به‌صورت خودکار بسته می‌شود. در انتهای گوشه‌گیر می‌توان از آبپاش انتهایی استفاده کرد. گوشه‌گیر باعث می‌شود که بخش بیشتری از زمین آبیاری شود و اتلاف زمین کاهش یابد. در شکل (۲-۱۹) به‌صورت شماتیک نحوه عملکرد گوشه‌گیر نشان داده شده است.

در مورد آبپاش انتهایی و تا حدودی در مورد گوشه‌گیر ذکر این نکته ضروری است که کاربرد این ادوات باعث تأثیر روی فشار کاری و دبی سامانه سنترپیوت می‌شود؛ بنابراین چه از فشار موجود در سامانه استفاده شود، چه از پمپ بوستر اختصاصی، انتخاب پمپ اصلی سامانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد.





شکل ۲-۱۸- نحوه اتصال گوشه گیر به انتهای سامانه سنترپیوت در تصویر سمت راست و کاهش اتلاف زمین در تصویر سمت چپ

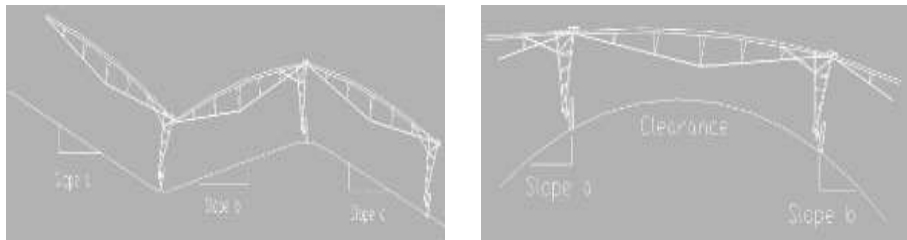


شکل ۲-۱۹- نحوه عملکرد گوشه گیر سامانه سنترپیوت

## ۷-۲- محدودیت شیب برای کاربرد سامانه سنتریپوت

برای کاربرد سامانه سنتریپوت برای آبیاری یکسری محدودیت‌ها مربوط به شیب زمین وجود دارد. شیب زمین باید به گونه‌ای باشد که دستگاه به زمین برخورد نکند، سامانه بیش‌ازحد از محور افقی خارج نشود تا باعث شکستگی دهانه‌ها نشود و همچنین دهانه‌ها به قسمت بالایی یا تاج گیاه برخوردی نداشته باشند. با توجه به نکات ذکر شده، استفاده از سامانه سنتریپوت در شیب‌های ۷ تا ۱۸٪ توصیه می‌شود و کاربرد آن در شیب‌های بالاتر توصیه نمی‌شود.

در شکل (۲-۲۰) مشخص است که اگر شیب زمین بیش‌ازحد باشد، قسمت وسط دهانه ممکن است به پوشش گیاهی برخورد کند. در صورت برخورد، ممکن است موجب آسیب دیدن گیاه یا سامانه شود و یا این‌که سامانه بیش‌ازحد از راستای مستقیم خارج شود و باعث ایجاد شکستگی در سامانه شود و یا برخوردی به زمین داشته باشد. به همین دلیل باید شیب را در جهت‌های مختلف کنترل کرد تا گیاه و سامانه دچار آسیب نشوند. در صورت رعایت شیب مناسب، با وجود تغییرات رقومی در راستای سامانه، برخوردی بین قسمت‌های دهانه، خرپا و پوشش گیاهی به وجود نخواهد آمد و از طرف دیگر سامانه می‌تواند به خوبی حرکت و آبیاری کند.



شکل ۲-۲۰- رعایت شیب مناسب کاربرد سامانه سنتریپوت برای جلوگیری از برخورد سامانه با پوشش گیاهی یا زمین

## ۸-۲- اتصال دو دهانه مجاور در محل برج‌ها

با توجه به بحث محدودیت شیب، سامانه در جهت شعاعی همیشه در یک راستا قرار نمی‌گیرد، مخصوصاً برج‌ها که در حال حرکت هستند. در حین حرکت سامانه، بعضی از برج‌ها در شیب و بعضی‌ها در قسمت مسطح مزرعه حرکت می‌کنند. ممکن است به دلیل وجود جوی و پشته در سطح مزرعه، سامانه حین حرکت دچار نوسان ارتفاعی شود و دهانه‌ها در اثر این تغییرات دچار شکستگی شوند؛ بنابراین برای رفع این مشکل، در محل اتصال دهانه‌ها به همدیگر از قطعات قابل انعطاف استفاده می‌شود تا بتوانند در جهت شعاعی نوسانات را در خود خنثی کنند و مشکل شکستگی در سامانه ایجاد نشود. شکل (۲-۲۱) نحوه استفاده از اتصال قابل انعطاف را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۱- نحوه اتصال دو دهانه مجاور در محل برج با استفاده از اتصال قابل انعطاف

در شکل (۲-۲۲) اتصالی که برای وصل کردن دو دهانه مجاور استفاده شده نشان داده شده است. مشاهده می شود که دهانه ها در محل اتصال مقداری از همدیگر فاصله دارند. یک قسمت قابل انعطاف این دو دهانه را به هم متصل می کند و به وسیله دو بست در طرفین کار آب بندی انجام می شود. علاوه بر آن یک مفصل کمکی هم استفاده می شود تا محل اتصال بتواند به راحتی جابه جایی را تحمل کند و سامانه از راستای مستقیم منحرف نشود.

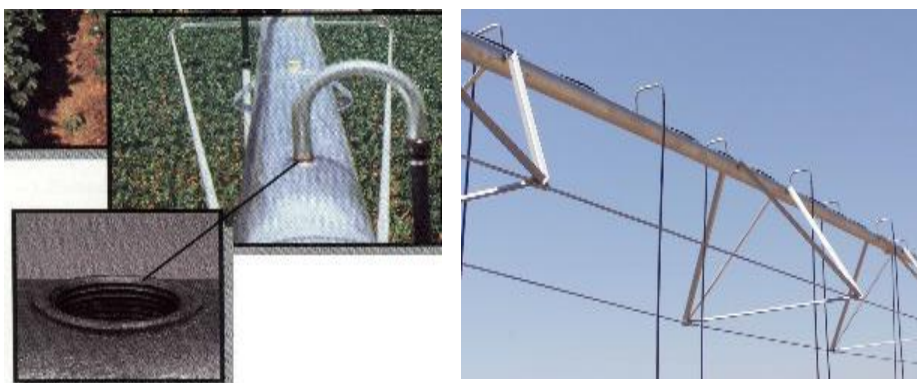
ممکن است در بعضی از مناطق به دلیل نور شدید آفتاب و دمای بالا اتصال قابل انعطاف به تدریج پوسیده شود و با توجه به فشار کاری بالا در این قسمت ممکن است باعث ایجاد نشت آب شود؛ بنابراین از یک روکش فلزی برای محافظت اتصال قابل انعطاف استفاده می شود (شکل ۲-۲۲).



شکل ۲-۲۲- رعایت فاصله دو دهانه در هنگام استفاده از اتصال قابل انعطاف (تصویر سمت راست) و استفاده از روکش فلزی برای محافظت از اتصال قابل انعطاف (تصویر سمت چپ)

## ۲-۹- نحوه اتصال آبپاش روی دهانه

بالای دهانه‌ها محل‌هایی برای نصب آبپاش قرار گرفته است. آبپاش را هم می‌توان در قسمت بالای دهانه نصب کرد و هم می‌توان به کمک دراپ عصایی شکل محل نصب آبپاش را به سطح زمین نزدیک‌تر کرد. دهانه‌ها فاصله ۲ تا ۴ متری از سطح زمین دارند. نصب آبپاش روی دهانه برای گیاهان مرتفع مانند نیشکر یا ذرت مناسب است. اگر گیاهان قد کوتاه باشند قطرات آب همه این فاصله را باید طی کنند و در معرض تبخیر و باد قرار می‌گیرند؛ بنابراین میزان تلفات تبخیر و بادبردگی افزایش می‌یابد. در این حالت استفاده از دراپ مناسب‌تر است. دراپ‌ها معمولاً از لوله‌های قابل انعطاف ساخته می‌شوند، تا برخورد آن‌ها به گیاهان و یا نوسان در اثر باد موجب شکستگی لوله نشود (شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۳- نحوه اتصال دراپ روی دهانه در سامانه سنتریپوت

## ۲-۱۰- نوع تایر و موتور محرکه برج‌ها

تایرهایی که در سامانه سنتریپوت استفاده می‌شود انواع مختلفی دارد. این تایرها از نظر نوع و همچنین از نظر سرعت چرخش به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱- تایر استاندارد با سرعت ۳۰ دور در دقیقه

۲- تایر آپشنال با سرعت ۳۷ دور در دقیقه

۳- تایر سریع با سرعت ۵۶ دور در دقیقه

بسته به بافت خاک، شرکت‌های سازنده سامانه سنتریپوت ممکن است از انواع این تایرها استفاده کنند. در شکل (۲-۲۴) نمونه‌ای از این تایرها با اندازه‌های متفاوت دیده می‌شود. معمولاً در سامانه‌های سنتریپوت بیشتر از تایرهای بزرگ و باریک استفاده می‌شود. سامانه‌های مجهز به این تایرها کمتر زمین گیر می‌شوند.

در شکل (۲-۲۵) می‌توان موتوربرقی نصب‌شده روی برج و نحوه انتقال نیروی محرکه موتور به چرخ‌ها را دید. کابلی که به وسیله آن برق‌رسانی به موتور انجام می‌شود در این شکل قابل مشاهده است.



شکل ۲-۲۴- انواع تایر مورد استفاده برای سامانه سنتریپوت





شکل ۲-۲۵- موتور نصب‌شده روی برج‌ها و نحوه انتقال نیرو به چرخ‌ها

## ۲-۱۱- پنل کنترل سامانه سنترپیوت

سامانه سنترپیوت همان‌طور که قبلاً گفته شد، باهدف کاهش نیاز به نیروی انسانی طراحی شد؛ بنابراین سامانه مذکور دارای سطح بالایی از خودکارسازی است. شکل (۲-۲۶) دو پنل کنترل سامانه سنترپیوت متعلق به دو شرکت متفاوت را برای برنامه‌ریزی آبیاری نشان می‌دهد. پنل کنترل این قابلیت را دارد که مثلاً عمق آب آبیاری را دریافت می‌کند یا یکسری خصوصیات دیگر مثل سرعت باد یا زمان آبیاری از طریق پنل کنترل وارد می‌شود و بقیه مشخصات عملیات آبیاری تنظیم می‌شود. مثلاً سرعت چرخش سامانه سنترپیوت توسط پنل کنترل، برنامه‌ریزی می‌شود و به سامانه منتقل می‌شود و طبق آن برنامه، عملیات آبیاری انجام می‌شود.



شکل ۲-۲۶- دو نوع پنل کنترل مورد استفاده در سامانه سنترپیوت

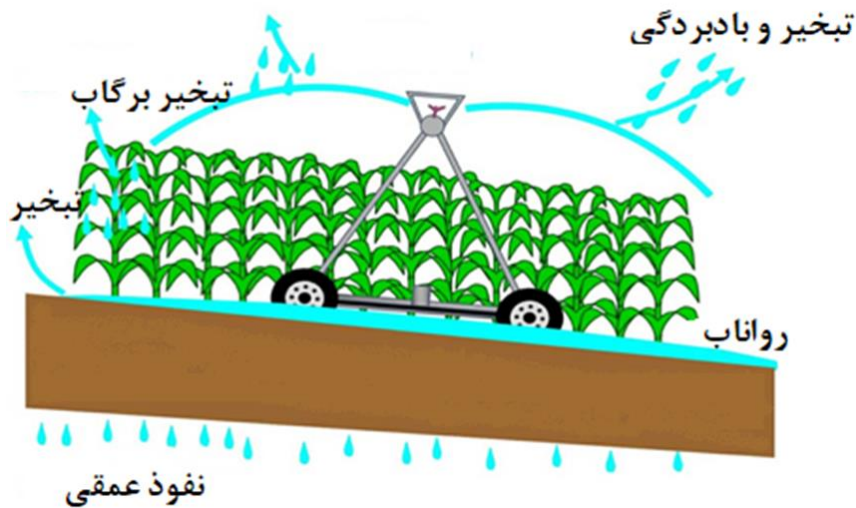
گفته شد که سامانه سنترپیوت در مناطقی توسعه یافت که خالی از سکنه بودند؛ بنابراین شرکت‌های سازنده همیشه به دنبال ارتقای سطح خودکار شدن سامانه و هوشمندسازی آن بودند، به‌طوری‌که سامانه بتواند مستقلاً عملیات آبیاری را انجام دهد یا از راه دور قابل کنترل باشد. امروزه به خاطر ابزارهای کنترلی مناسبی که در دسترس هست می‌توان دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد، دمای پوشش سبز گیاه، مکش آب در خاک یا رطوبت خاک را اندازه‌گیری کرد و خود سامانه تصمیم می‌گیرد که کی و چه مقدار آبیاری را انجام دهد. به عبارتی سامانه قادر است از ابتدای فصل تا انتهای فصل آبیاری، مدیریت آبیاری را به‌صورت خودکار انجام دهد و نیازی به دخالت کاربر ندارد و یا این که از کاربر صرفاً تأیید اجرا یا عدم اجرای آبیاری را دریافت می‌کند. حتی زمان آبیاری را خود سامانه تشخیص می‌دهد، مثلاً زمانی که سرعت باد بالا است آبیاری به تأخیر می‌افتد.

## ۲-۱۲- تلفات آب در سامانه سنترپیوت

یکی از مسائل مهم در سامانه‌های آبیاری بحث تلفات آب است. در سامانه سنترپیوت نیز تلفات آب رخ می‌دهد (شکل ۲-۲۷). بخشی از تلفات، مربوط به تبخیر قطرات ریز آب است. آبی که وارد سامانه شده توسط آبپاش‌ها به‌صورت قطرات ریز درشت آب درمی‌آید و قطرات ریز بسیار مستعد تبخیر هستند. این قطرات ریز ممکن است به‌صورت مستقیم قبل از این‌که روی سطح خاک برسند یا روی اندام سبز گیاهی بنشینند، تبخیر شوند و از دسترس خارج شوند. یکی دیگر از موارد تلفات آب مربوط به بادبردگی است. همان‌طور که گفته شد آبپاش آب را به‌صورت قطرات آب درمی‌آورد و در مزرعه پخش می‌کند. بخشی از این قطرات آب آن‌قدر ریز هستند که به دلیل سبک بودن به کمک باد به‌راحتی از مزرعه خارج می‌شوند و کلاً از دسترس گیاه خارج می‌شوند و حتی ممکن است وارد مزرعه دیگری شوند، که باز جزء تلفات محسوب می‌شوند. وقتی آب روی اندام سبز گیاه پخش می‌شود

یک بخشی از این آب توسط برگ‌ها نگه‌داشته می‌شود که به آن برگ‌آب می‌گویند. این برگ‌آب هم می‌تواند به سمت ساقه برود و به تدریج پای گیاه ریزش کند و داخل خاک نفوذ پیدا کند. ولی بخشی از این آب در معرض تبخیر قرار می‌گیرد و از دست می‌رود؛ بنابراین بخشی از تلفات آب، تبخیر برگ‌آب است. عمده تلفات در آبیاری بارانی به‌طور کلی، همین تلفاتی است که در فاصله آبپاش تا سطح زمین اتفاق می‌افتد.

در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک سعی می‌شود شدت پخش آبپاش کوچک‌تر یا مساوی سرعت نفوذ پایه خاک باشد، ولی در سامانه سنتریپوت به‌طور استثنا این محدودیت لحاظ نمی‌شود، چراکه سامانه حین آبیاری حرکت می‌کند؛ بنابراین ممکن است شدت پخش مقداری بیشتر از سرعت نفوذ نهایی خاک باشد و یک روان‌آب مقطعی زیر دستگاه ایجاد شود. اگر این روان‌آب از مزرعه خارج شود باز جزء تلفات محسوب می‌شود. پس این مورد را بایستی به تلفات سنتریپوت اضافه کرد. یکی دیگر از موارد تلفات آب می‌تواند نفوذ عمقی باشد. البته اگر محاسبات آبیاری درست باشد، قاعدتاً باید نفوذ عمقی حداقل مقدار ممکن باشد. یعنی آبی که پخش شده نباید از منطقه توسعه ریشه‌ها پایین‌تر برود و از دسترس خارج شود. مجموع این موارد، تلفات آبی است که در سامانه سنتریپوت وجود دارد.



شکل ۲-۲۷- تلفات آب در سامانه سنتریپوت



تلفات سامانه سنتریپوت بایستی به گونه‌ای تنظیم شود که چیزی حدود ۵ تا ۲۰ درصد باشد. البته محدوده مطلوب ۵ تا ۱۰ درصد است که با مدیریت مناسب، انتخاب زمان مناسب آبیاری و شدت پخش مناسب قابل دستیابی است.

## ۲-۱۳- کاهش مصرف انرژی در سامانه سنتریپوت

یکی از بحث‌هایی که امروزه در مجامع علمی بین‌المللی مطرح است، بحث گرمایش زمین است. گرمایش زمین بیشتر در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی است. سوخت‌های فسیلی هم اکثراً برای تولید انرژی استفاده می‌شوند. تقریباً یک‌چهارم انرژی دنیا در پمپ‌ها و موتورهای مصرف می‌شود. کشاورزی هم هرچند سهم خیلی زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی ندارد، ولی با توجه به کاربرد گسترده الکتروپمپ‌ها، توانایی مشارکت در کاهش تصاعد گازهای گلخانه‌ای را داراست. به همین دلیل پژوهش‌گران و مهندسين در جست‌وجوی راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی در بخش کشاورزی هستند که از نظر اقتصادی نیز با توجه به بالا بودن قیمت انرژی حائز اهمیت است. یکی از سامانه‌هایی که در بخش کشاورزی مصرف انرژی بالایی دارد، سامانه سنتریپوت است. در این سامانه نیاز به فشار کاری بالایی هست تا فشار لازم در سرتاسر طول لترال، که معمولاً طولانی است، تأمین شود. علاوه بر این معمولاً در سامانه‌های قدیمی از آبپاش‌هایی با فشار کاری بالا استفاده می‌شود. برای کاهش مصرف انرژی روش‌های مختلفی توسعه پیدا کرد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- LEPA<sup>۱</sup>
- LESA<sup>۲</sup>
- LPIC<sup>۳</sup>
- MESA<sup>۴</sup>

در این روش‌ها (شکل ۲-۲۸) تا حد امکان فاصله خروج آب از آبپاش را نسبت به سطح زمین کاهش داده‌اند. به جای این که آب از ارتفاع ۲ تا ۴ متری روی پوشش گیاهی پخش شود، آن را نزدیک سطح خاک پخش یا رها می‌کنند؛ بنابراین به انرژی کمتری نیاز است. از طرفی دیگر، هدف، تبدیل آب به قطرات ریز نیست، همین که آب روی سطح زمین بریزد کفایت می‌کند و به تدریج داخل خاک نفوذ می‌کند. پس در این روش‌ها از آن ایده اولیه آبیاری بارانی که تقلیدی از باران طبیعی بوده قدری فاصله گرفته و تبدیل شده به سامانه جدیدی که انرژی کمتری را مصرف می‌کند، ولی همان هدف آبیاری یعنی تأمین نیاز آبی گیاه را کماکان دنبال می‌کند. البته در این روش یکی از فواید آبیاری

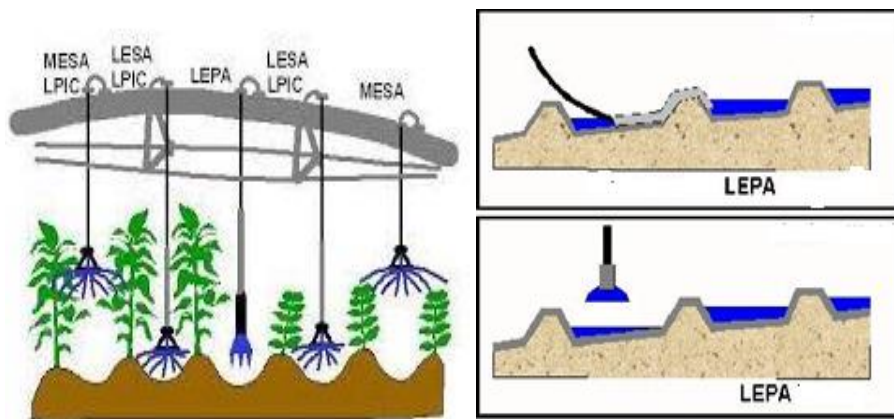
<sup>۱</sup> Low Energy Precision Application

<sup>۲</sup> Low Elevation Spray Application

<sup>۳</sup> Low Pressure In Canopy

<sup>۴</sup> Mid Elevation Spray Application

بارانی که تلطیف هوا بوده به‌طور کامل حاصل نمی‌شود. مثلاً برای باغات چای شاید نتوان از این روش استفاده کرد، چون یکی از فواید اصلی آبیاری بارانی در چای تلطیف هواست تا برگ‌های بالایی گیاه که چای مرغوبی تولید می‌کند، از گرمای هوا آسیب نبینند. ولی در بعضی از گیاهان چنین ضرورتی وجود ندارد؛ بنابراین در روش‌های نام‌برده تا حد امکان سطح پاشش آب را به سطح زمین نزدیک می‌کنند، حتی از بالای تاج هم پایین‌تر می‌آورند یا زیر برگ‌ها آب را رها می‌کنند. در این حالت حتی تلفات تبخیر و بادبردگی خیلی کمتر می‌شود و موجب بهبود راندمان کاربرد آب در مزرعه می‌شود. علاوه‌براین قطرات سنگین آب که موجب فرسایش پاشمانی خاک می‌شوند و با برخورد به خاکدانه‌ها سبب متلاشی شدن آن‌ها می‌شوند کمتر می‌شود. همچنین برخورد قطرات آب به اندام هوایی گیاه کمتر می‌شود. برخی از گیاهان نسبت به این برخوردها حساس هستند. پس در برخی موارد فوایدی علاوه بر کاهش مصرف انرژی با توجه به نوع خاک و گیاه وجود دارد.

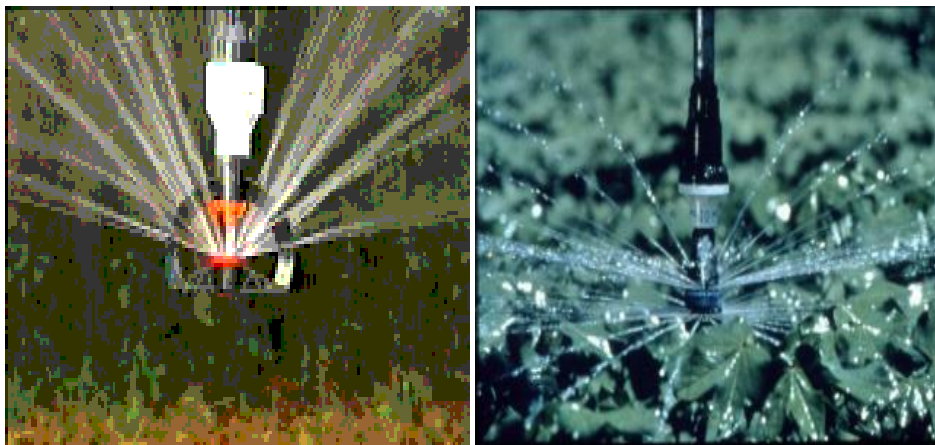


شکل ۲-۲۸- روش‌های مختلف کاهش فشار کاری در سامانه سنترپیوت

## ۲-۱۴- آبیاش‌های مورد استفاده در سامانه سنترپیوت

در سامانه سنترپیوت به تدریج استفاده از اسپریرها به جای آبیاش‌های ضربه‌ای رواج پیدا کرد. یعنی به جای این که آب از یک روزنه خارج شود و در اثر برخورد به یک صفحه منحرف‌کننده جریان تبدیل به قطرات آب شود و در یک جهت پخش شود، در اسپریر جت آب با برخورد به یک صفحه بنام پد به شکل یک فواره درآمده و در تمام جهات پخش می‌شود. اسپریرها معمولاً شعاع پرتاب کمتری نسبت به آبیاش‌های ضربه‌ای دارند؛ بنابراین فشار کاری کمتری نیاز دارند. از طرف دیگر با اسپریر

می‌توان حتی روی جهت پاشش آب هم کنترل داشت. در شکل (۲-۲۹) مشاهده می‌شود که می‌توان نسبت به افق زاویه صفر درجه و یا زاویه بزرگ‌تری را ایجاد کرد.



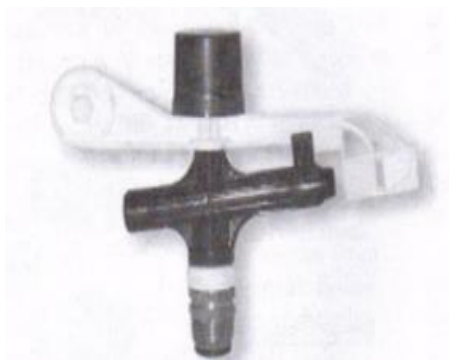
شکل ۲-۲۹- اسپریرهای مورد استفاده در سامانه سنترپیوت

در اسپریرها می‌توان حالت‌های مختلفی را ایجاد کرد. در قسمت بالایی شکل (۲-۳۰) صرفاً هدف سامانه سنترپیوت، انجام آبیاری است. در این حالت همین‌که آب به سطح خاک برسد کفایت می‌کند و الزامی برای ایجاد پرتابه آب نیست. ممکن است علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاه هدف دیگری نیز دنبال شود. مثلاً بخواهند کودآبیاری یا شیم‌آبیاری انجام شود (قسمت پایین شکل (۲-۳۰)). مثلاً در حالت شیم‌آبیاری ترجیح بر این است که آب به اطراف پخش شود و سموم روی اندام هوایی گیاه بنشینند؛ بنابراین اینجا هدف با حالت آبیاری که صرفاً رساندن آب به خاک است متفاوت می‌شود و از اسپریرهای دیگری استفاده می‌شود. امروزه شرکت‌های تولیدکننده اسپریر، پاشنده‌هایی (پکیج) تولید می‌کنند که می‌توانند حالت‌های مختلفی داشته باشند. می‌توان با پیچاندن قسمت بالای اسپریر حالت آن را به آبیاری، کودآبیاری و یا شیم‌آبیاری تغییر داد. یعنی صرفاً با تهیه یک اسپریر و بدون تعویض آن می‌توان یک، دو یا سه حالت مختلف کار را ایجاد کرد.



شکل ۲-۳۰- حالت‌های مختلف پخش آب در سامانه سنتریپوت شامل حالت آبیاری و حالت شیم آبیاری

در سامانه‌های سنتریپوت قدیمی عموماً از آبپاش‌های ضربه‌ای استفاده می‌شد. برخلاف سامانه‌های جدیدتر که بیشتر از اسپریرها استفاده می‌شود. در آبپاش‌های ضربه‌ای جت جریان در اثر برخورد به یک صفحه منحرف‌کننده، یا برخورد به پیچی که نزدیک روزنه آبپاش نصب می‌شود و یا با شکاف‌هایی که روی روزنه ایجاد می‌شود به قطرات آب تبدیل می‌شود و این قطرات در شعاع پرتاب آبپاش روی زمین می‌نشینند. آبپاش‌های ضربه‌ای دارای فشار کاری بالایی هستند (۳ تا ۵ اتمسفر). امروزه با تغییراتی که شرکت‌ها روی آبپاش‌ها اعمال کردند، فشار کاری آن‌ها کمتر شده است. امروزه آبپاش‌های با فشار کم تا متوسط (کمتر از ۳ بار) تولید شده است که برخی نیز از جنس پلی‌اتیلن به جای فلز برنج ساخته شده‌اند. این آبپاش‌ها با فشار کاری کمتر کماکان همان دبی و همان شعاع پرتاب را دارند (شکل ۲-۳۲).



آبپاش ضربه‌ای با فشار کاری متوسط



آبپاش ضربه‌ای با فشار کاری کم



آبپاش گان با فشار کاری بالا



آبپاش ضربه‌ای با فشار کاری بالا

شکل ۲-۳۱- آبپاش‌های مورد استفاده در سنتریپوت بر اساس فشار کاری



شکل ۲-۳۲- اسپریرهای مورد استفاده در سامانه سنتریپوت

در شکل (۲-۳۳) پدهایی که در اسپریرهای مختلف استفاده می‌شوند را می‌توان دید. این پدها با اهداف مختلف ساخته شده‌اند. برخی برای ایجاد یک فواره با چند جهت محدود ساخته می‌شوند یا برخی از آن‌ها در تمام دایره اطراف خود فواره ایجاد می‌کنند، برخی یک فواره پیوسته را اطراف اسپریر ایجاد می‌کنند. این پدها می‌توانند برای حالات مختلف آبیاری، کودآبیاری و شیم‌آبیاری به کار روند. موج‌ها و کانال‌های جریانی که در این پدها ایجاد شده خیلی متفاوت هستند. شرکت‌های سازنده در حال کار روی الگوهای مختلفی هستند تا هم فشار کاری را کاهش دهند و هم فواره‌ای که ایجاد می‌شود در راستای هدف کاربر سامانه باشد. امروزه با نرم‌افزارهایی که برای طراحی پدها استفاده می‌شوند و به کمک چاپگرهای سه‌بعدی شاهد ارائه پدهای متنوع برای اسپریرها هستیم که با فشار کاری کمتر، کارکرد بهتری دارند.



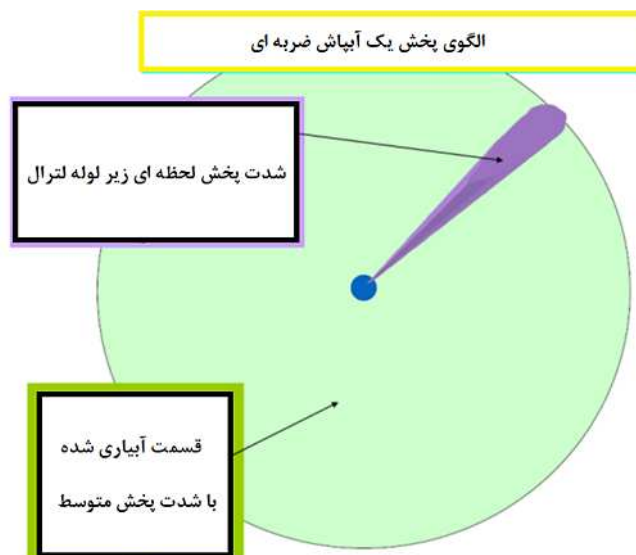
شکل ۲-۳۳- پدهای مورد استفاده در اسپریرهای سامانه سنتریوت

## ۲-۱۵- مدیریت شدت پخش آبپاش در سامانه سنتریوت

برای یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت به راحتی می‌توان شدت پخش و عمق آب آبیاری را تعیین و تنظیم کرد. اما در مورد سامانه سنتریوت وضعیت متفاوت است. سامانه‌ای که در حال حرکت دورانی است و به صورت لحظه‌ای یک شدت پخش را برای یک نقطه مشخص ایجاد می‌کند. با دور شدن سامانه از این نقطه، به تدریج شدت پخش کاهش پیدا می‌کند. پس هر نقطه دارای یک شدت پخش لحظه‌ای و یک شدت پخش متوسط است. در مورد عمق آب آبیاری نیز باید دورهای سامانه سنتریوت تکمیل شود تا بتوان عمق آب دریافتی آن نقطه را مشخص کرد؛ بنابراین ماهیت کار سامانه سنتریوت با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت متفاوت است و این تفاوت‌ها را باید در مورد مدیریت آبیاری مدنظر داشت.



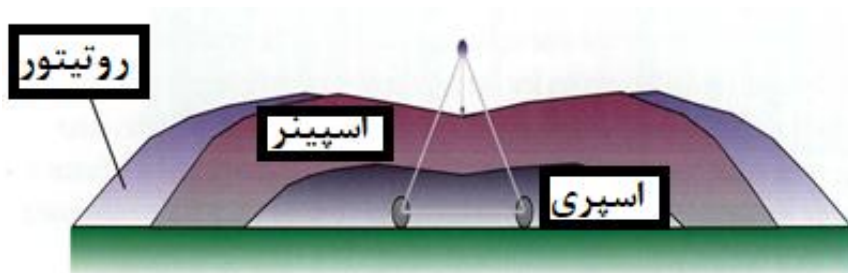
اگر الگوی پاشش یک آبپاش ضربه‌ای در نظر گرفته شود، مقدار شدت پخش لحظه‌ای آن دقیقاً زیر آبپاش است (شکل ۲-۳۴). با توجه به این شکل، بقیه مساحت دایره که سبز رنگ است قبلاً آبیاری شده و قسمت بنفش رنگ در حال آبیاری است. شدت پخش اعمال شده در قسمت سبز رنگ برابر شدت پخش متوسط است. در برخی سامانه‌های سنترپیوت با حرکت از مرکز سامانه به سمت بیرون، اندازه آبپاش‌ها بزرگ‌تر می‌شود، در نتیجه شعاع پرتاب نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۳۴- الگوی پخش یک آبپاش ضربه‌ای و شدت پخش لحظه‌ای و متوسط

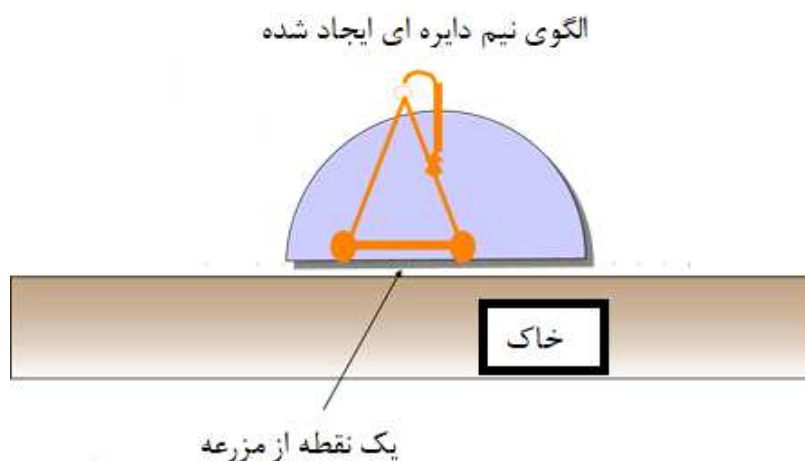
در سامانه‌های سنترپیوت و همچنین لینیر (که در ادامه این فصل خواهیم دید)، الگوی پخش آبپاش‌هایی که کار توزیع آب را انجام می‌دهند متفاوت است. برخلاف سامانه‌های ثابت که آبپاش ثابت است و در اطراف خود الگوی پخش مثلی ایجاد می‌کند، در سامانه‌های سنترپیوت و لینیر به دلیل حرکت سامانه، الگوی پخش ایجاد شده متفاوت است.

شکل (۲-۳۵) سه الگوی پاشش را برای سه نوع آبپاشی که معمولاً در سامانه سنترپیوت استفاده می‌شود نشان می‌دهد. آبپاش روتیتور یک آبپاش ضربه‌ای با شعاع پرتاب  $20/7$  متر است. آبپاش اسپینر (با شعاع پرتاب  $16/5$  متر) و آبپاش اسپری (با شعاع پرتاب  $11/6$  متر) هر دو آبپاش پاششی هستند. یعنی در اطراف خود یک فواره ایجاد می‌کنند. الگوی پخش ایجاد شده توسط روتیتور گسترده‌تر از دو آبپاش دیگر است. آبپاش اسپری الگوی پخش کوچک‌تری نسبت به دو آبپاش دیگر دارد.



شکل ۲-۳۵- الگوی پخش سه نوع آبپاش که در سامانه سنتریپوت استفاده می‌شوند

برای درک شدت پخش لحظه‌ای در یک نقطه خاص در مزرعه، می‌توان الگوی خیس شدن را در سنتریپوت به صورت یک نیم‌دایره در نظر گرفت. این الگوی نیم‌دایره‌ای دائماً در سطح مزرعه در حال حرکت است و بیشترین مقدار آب در زیر لترال دریافت می‌شود و در داخل خاک نفوذ می‌کند. در یک لحظه خاص، طرفین لترال آب کمتری دریافت می‌کنند (شکل ۲-۳۶).



شکل ۲-۳۶- یک الگوی فرضی از نحوه پخش آب توسط آبپاش در سامانه سنتریپوت

سامانه‌های سنتریپوت مناسب خاک‌هایی با بافت سبک هستند. چون شدت پخش در این سامانه‌ها با سامانه‌های کلاسیک متفاوت و بیشتر از سرعت نفوذ نهایی در خاک است. در این سامانه ایجاد ماندابی گذرا و نه روان‌آبی که از مزرعه خارج شود، مجاز است چراکه سامانه در حال حرکت است و با رفتن سامانه، پخش آب قطع شده و خاک فرصت نفوذ کافی دارد. در اکثر پروژه‌های بزرگ

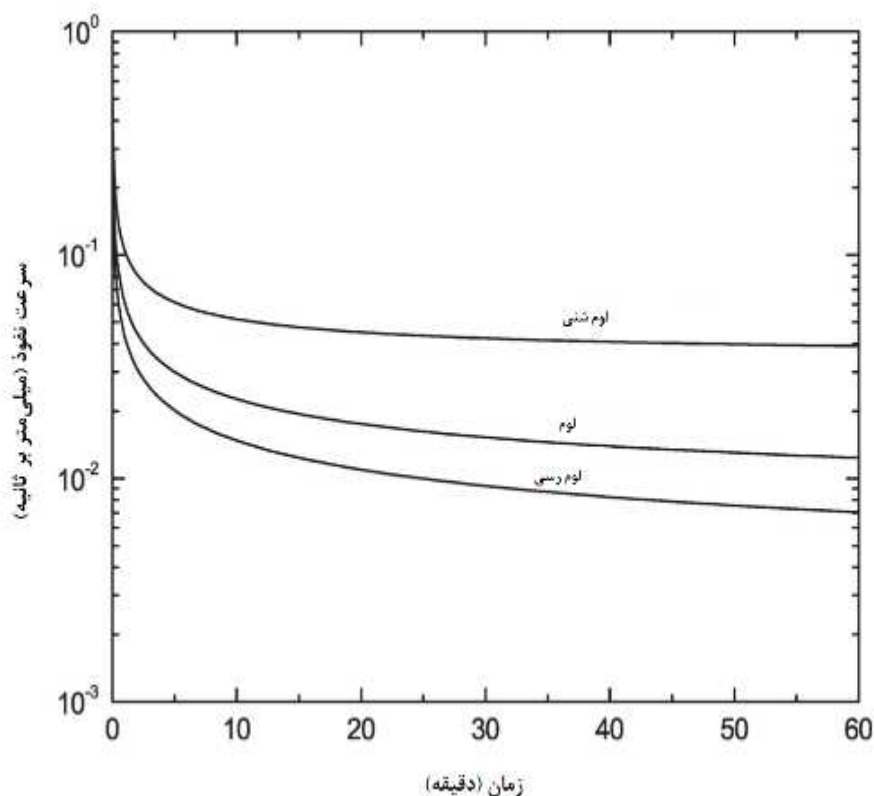


[illegible]

شکل ۲-۳۷- تناسب یافت خاک و کاربرد سامان سنتریپوت

بررسی وضعیت سرعت نفوذ آب در خاک در شکل ۲-۳۸ برای سه بافت خاک متفاوت انجام شده است. خاک‌ها دارای بافت لوم‌شنی، لومی و لوم‌رسی هستند. در هر سه بافت خاک، در ابتدا سرعت نفوذ لحظه‌ای خیل، بالاست، ولی، با گذشت زمان خیل، کوتاه می‌شود، سرعت نفوذ در هر سه بافت خاک

افت می‌کند و به جریان یکنواخت می‌رسد. ولی میزان افت سرعت نفوذ در خاک لوم‌رسی خیلی بالاتر از دو خاک دیگر است. در این وضعیت روی سطح خاک لوم‌رسی احتمال ایجاد حالت ماندابی بالاست. اگر عمق این مانداب بالا باشد، نیروی لازم برای حرکت آب تأمین می‌شود و حتی ممکن است به صورت روان‌آب از مزرعه خارج شود. نتایج این وضعیت فرسایش خاک و کاهش راندمان کاربرد آب خواهد بود. این وضعیت یکی از دلایل اصلی ترجیح کاربرد سامانه سنتریپوت در خاک‌های با بافت سبک است.



شکل ۲-۳۸- سرعت نفوذ آب در خاک در سه نوع بافت متفاوت خاک

در سامانه‌های کلاسیک یکی از مبانی طراحی این است که شدت پخش کوچک‌تر یا حداکثر مساوی سرعت نفوذ پایه خاک باشد، در غیر این صورت روان‌آب ایجاد می‌شود که مطلوب نیست. ولی به طور استثنا در سامانه‌هایی نظیر سنتریپوت و لینیئر که هم‌زمان با آبیاری حرکت می‌کنند و خاک فرصت نفوذ کافی پیدا می‌کند، اگر خاک نگهداشت خوبی داشته باشد آب به تدریج داخل خاک

نفوذ می‌کند. بنابراین مشکل بروز روان‌آب نخواهیم داشت. شکل (۲-۳۹) با وضوح بیشتر منظور از مانداب مقطعی را نشان می‌دهد. آبپاش‌ها روی منطقه‌ای توزیع آب را انجام می‌دهند و به تدریج از آن منطقه دور می‌شوند، اگر به فاصله دورتر دقت شود مشاهده می‌شود که آبی روی خاک نیست، اواسط تصویر مقداری آب دیده می‌شود و پایین تصویر هنوز خشک است چون آبپاش‌ها به آن قسمت نرسیده‌اند یا آبی را که توزیع کردند شدتش کمتر از نفوذ خاک بوده و در خاک نفوذ کرده است. مانداب کم‌عمقی که روی خاک دیده می‌شود، جاری نمی‌شود. چنین مانداب‌هایی در سامانه سنتریپوت مسئله‌ساز نیستند و داخل خاک نفوذ پیدا می‌کنند.



شکل ۲-۳۹- ایجاد مانداب مقطعی، فرصت نفوذ مناسب و عدم ایجاد روان‌آب

شکل (۲-۴۰) برخلاف شکل (۲-۳۹)، روان‌آب ایجاد شده است. روان‌آبی که ناشی از آبپاش انتهایی است که شدت پخش بالایی دارد. شدت پخش به قدری بالا و بیشتر از سرعت نفوذ پایه خاک بوده است که روان‌آب از مزرعه و در نتیجه از دسترس گیاه خارج می‌شود. این نوعی هدررفت آب است، که راندمان کاربرد و بهره‌وری آب را کاهش می‌دهد و از نظر فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مورد تأیید نیست.



شکل ۲-۴۰- ایجاد روان‌آب به دلیل شدت پخش بالای آبپاش انتهایی سامانه سنتریپوت

در شکل (۲-۴۱)، یکی از ایده‌های جالبی که در سامانه‌های به‌روزتر سنتریپوت بنام بوم‌بک<sup>۱</sup> پیاده شده است را نشان می‌دهد. در اکثر سامانه‌های سنتریپوت قدیمی‌تر، دراپ‌ها دقیقاً در پایین دهانه‌ها آب را توزیع می‌کردند و چون شدت پخش درست زیر دهانه سامانه سنتریپوت بیشینه بود، حالت ماندابی بروز می‌کند و در ادامه روان‌آب ایجاد می‌شد. در سامانه‌های جدیدتر دراپ‌ها یکی در میان جلوتر و عقب‌تر از دهانه قرار می‌گیرند و یا ممکن است تعدادی به سمت عقب برده شده و تعدادی نیز دقیقاً پایین دهانه قرار گیرند. این وضعیت فرصت بیشتری به خاک می‌دهد تا آبی که دریافت کرده، نفوذ کند و به‌جای این‌که همه را یکجا دریافت کند بخشی از آن را دریافت می‌کند. مزیت دیگر، عدم ایجاد وضعیت گل‌آب شدید در زیر سامانه است که در نتیجه احتمال گیرکردن سامانه را کاهش می‌دهد.

<sup>۱</sup>. Boom back



شکل ۲-۴۱- استفاده از بومبک برای کاهش ریسک بروز روان آب در سامانه سنتریپوت

در شکل (۲-۴۲) دراپ‌ها تا نزدیک سطح زمین آمده‌اند و در برخی حتی انتهای آن‌ها روی زمین کشیده می‌شود. در حین آبیاری آب روی سطح زمین رها می‌شود و به تدریج در خاک نفوذ می‌کند. آب آبیاری به صورت یک‌درمیان وارد جویچه می‌شود. ارتفاع آب آبیاری زیاد نیست تا باعث ایجاد روان آب شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود آب در جوی‌ها ثابت می‌ماند و به تدریج داخل خاک نفوذ می‌کند. این روش ریسک ایجاد روان آب را کم کرده است. همچنین امکان فرسایش پاشمانی در اثر برخورد قطرات آب به خاکدانه‌ها و تلفات تبخیر و بادبردگی در فاصله خروج آب از آبپاش‌ها تا رسیدن به سطح زمین منتفی شده است.

در تصویر سمت چپ شکل (۲-۴۲) یک سامانه لپا مشاهده می‌شود که روی پاشنده آن یک پوشش قرار داده شده، با این هدف که ضربه آب گرفته شود و به خاک منتقل نشود. از این طریق از فرسایش پاشمانی جلوگیری می‌شود. این روش‌ها برای کاهش فشار کاری سامانه و کاهش فرسایش پاشمانی استفاده می‌شوند. همچنین این سامانه برای گیاهانی که دارای اندام هوایی حساس به برخورد قطرات آب هستند مناسب است.



شکل ۲-۴۲- شیوه توزیع آب در برخی سامانه‌های سنترپیوت روی سطح خاک

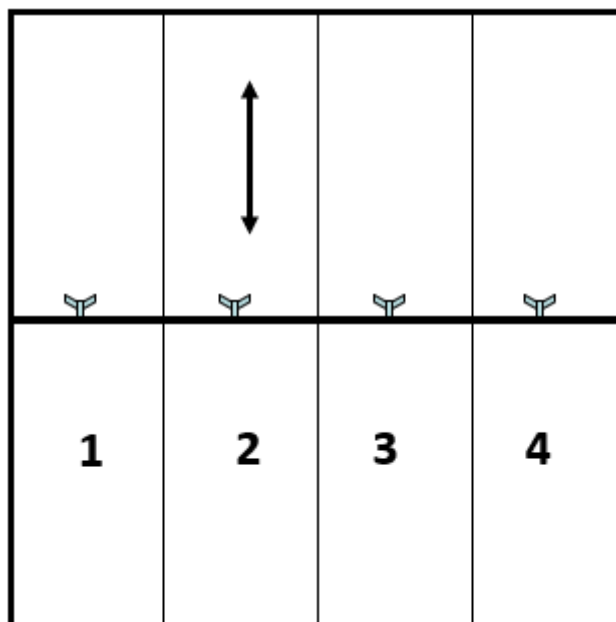
## ۲-۱۶- سامانه لنینر

در مقابل سامانه سنترپیوت، دارای حرکت دایره‌ای و در نتیجه عدم آبیاری گوشه‌های مزرعه، سامانه‌هایی توسعه یافتند که دارای حرکت خطی هستند. این سامانه‌ها مشکلات عدم آبیاری گوشه‌های زمین و عدم یکنواختی پخش سامانه سنترپیوت را ندارند. همچنین ریسک بروز روان‌آب بر اثر آبپاش انتهایی برطرف می‌شود. سامانه لنینر برای هدایت صحیح و جلوگیری از انحراف از مسیر، مجهز به سامانه هدایت مستقیم است.

خیلی از مشخصات سامانه لنینر نظیر سامانه سنترپیوت هست، لذا نیازی به معرفی مجدد سامانه لنینر در این قسمت نیست. با توجه به این که سامانه دارای حرکت خطی است، یک زمین مستطیلی یا مربعی به راحتی آبیاری می‌شود و هیچ اتلاف زمینی اتفاق نمی‌افتد و دیگر نیازی به نصب آبپاش انتهایی نیست. طول سامانه لنینر برابر عرض زمین است و با حرکت روبه‌جلو تمام سطح مزرعه آبیاری می‌شود. مطابق شکل (۲-۴۴) همه قسمت‌های یک، دو، سه و چهار تحت پوشش آبپاش‌ها به صورت یکنواخت آبیاری می‌شوند و مشکل عدم یکنواختی پخش به دلیل تفاوت مساحت‌ها که در سامانه سنترپیوت وجود دارد منتفی می‌شود. از طرفی می‌توان آبپاش‌های یکسان با فاصله مساوی روی دهانه‌ها نصب کرد و از این طریق به میزان زیادی مشکل ایجاد روان‌آب حل می‌شود. در سامانه سنترپیوت برای آبیاری باید آب به قسمت مرکزی آن برسد، ولی در سامانه لنینر می‌توان آبیاری را از کانال روباز یا شبکه لوله در وسط یا کناره زمین انجام داد (شکل ۲-۴۵).

سامانه لنینر از نظر هیدرولیکی شبیه سامانه‌های بارانی کلاسیک هست. البته باید توجه نمود که این سامانه نیز برخی مشکلات و محدودیت‌های خاص خود را دارد. مثلاً با توجه به این که پس از آبیاری سامانه در موقعیت اولیه خود قرار نمی‌گیرد مناسب آبیاری روزانه نیست. چون بعد از هر بار

آبیاری، تمام زمین خیس می‌شود؛ بنابراین تا روز بعد فرصت کافی برای خشک شدن زمین در حدی که مجدداً بتواند سامانه بدون گیرکردن در زمین آبیاری کند، در اختیار ندارد. در صورت آبیاری از کانال روباز احتمال ورود لای و زباله به سامانه وجود دارد؛ بنابراین نصب صافی در قسمت مکش لازم است. نکته دیگر حرکت پمپ به همراه سامانه است که خود دارای وزن بالایی است. از طرف دیگر شیب زمین بایستی تا حد امکان یکنواخت باشد.



شکل ۲-۴۳- نحوه آبیاری سامانه لاینر در یک زمین مستطیلی شکل

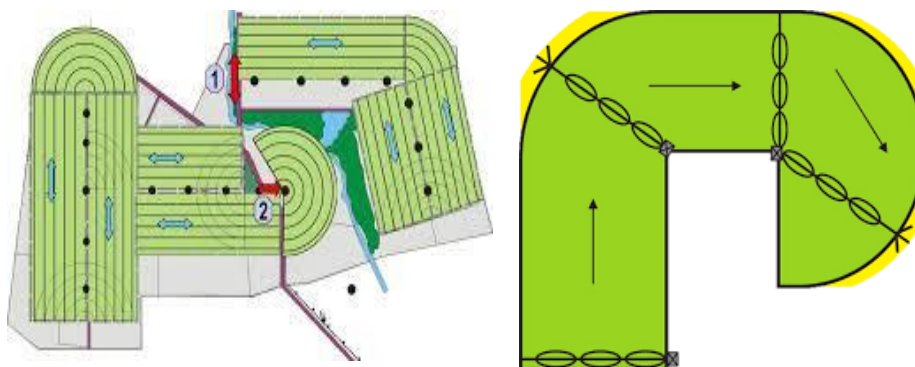




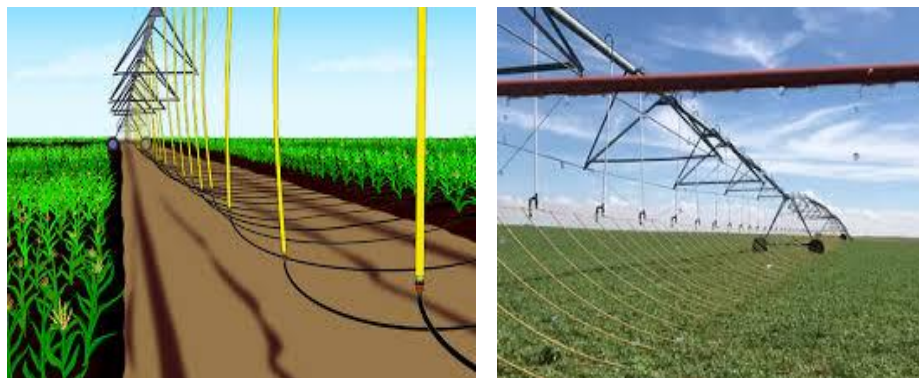
شکل ۲-۴۴- نحوه آبیاری سامانه لاینر از یک کانال و آبیاری مزرعه

امروزه برخی سامانه‌های جدید آبیاری تحت فشار از ترکیب سامانه سنتریپوت و لاینر توسعه یافته‌اند. از جمله این سامانه‌ها می‌توان به سامانه سنترلاینر اشاره کرد. این سامانه در قسمت‌هایی از مزرعه که حرکت خطی مقدور است، مانند لاینر حرکت می‌کند و در قسمت‌هایی دیگر از مزرعه دارای حرکت دورانی است (شکل ۲-۴۵). یکی دیگر از سامانه‌های نوین ترکیبی، سامانه آبیاری قطره‌ای متحرک است که می‌تواند به سامانه سنتریپوت و یا سامانه لاینر برای حرکت متصل شود. در این سامانه یک طول کوتاه از لترال قطره‌ای جایگزین آبپاش سامانه سنتریپوت یا لاینر می‌شود. ضمن کاهش مصرف آب، فشار کاری سامانه نیز کاهش می‌یابد. شکل (۲-۴۶) نحوه اتصال لترال آبیاری قطره‌ای به دراپ‌ها را نشان می‌دهد.





شکل ۲-۴۵- نحوه حرکت و انجام عملیات آبیاری توسط سامانه سنترلینیر



شکل ۲-۴۶- سامانه آبیاری قطره‌ای متحرک متصل به سنتریپوت یا لینیر

## ۲-۱۷- سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش‌های تفنگی

سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش‌های تفنگی اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسعه یافت. این سامانه آبیاری جزء سامانه‌های متحرک آبیاری است و از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول که یک آبپاش تفنگی بزرگ است که روی یک ارابه نصب شده است. قسمت دوم سامانه یک قرقره بزرگ است که برای جمع کردن لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲-۴۷). ابتدای آبیاری، قسمت ارابه‌ای که آبپاش تفنگی روی آن قرار دارد کشیده شده و لوله جمع شده روی قرقره چیزی حدود ۱۵۰ متر تا ۲۰۰ متر (بسته به شرکت سازنده تا ۴۰۰ متر) باز می‌شود و آبیاری آغاز می‌شود. این لوله به تدریج در حین آبیاری جمع می‌شود و ارابه به سمت قرقره حرکت می‌کند. با رسیدن ارابه آبپاش به بخش حاوی قرقره، آبیاری یک نوار از زمین به طول قرقره و به عرض قطر دایره پاشش آبپاش آبیاری شده است. قطر دایره پاشش سامانه تا ۱۰۰ متر می‌رسد و تلفات تبخیر و بادبردگی نسبت به سایر سامانه‌های آبیاری بارانی بیشتر است. آبیاری این سامانه آبیاری از قسمت مرکزی قرقره و با لوله خرطومی انجام

می‌شود. امروزه از تابلوهای هوشمند برای راهبری آبیاری این سامانه استفاده می‌شود. با وارد کردن سرعت باد و عمق آبیاری، سامانه به صورت هوشمند سرعت جمع کردن قرقره را تخمین می‌زند و مدت زمان آبیاری را مشخص می‌کند. از این سامانه بیشتر برای آبیاری تکمیلی استفاده می‌شود و مناسب خاک‌های با بافت سبک تا متوسط است. این سامانه برای آبیاری اراضی هموار و ناهموار و گیاهان کوتاه و بلندقد مناسب است. قسمت‌های مختلف این سامانه شامل قرقره، توربین، جعبه‌دنده، لوله پلی اتیلن، آبپاش تفنگی و اراجه است.



شکل ۲-۴۷- سامانه آبیاری اراجه‌ای با آبپاش تفنگی

آبپاش تفنگی از یک روزنه لوله‌ای دایره‌ای شکل با قطر نسبتاً زیاد که حجم زیادی از آب را در الگوی دایره شکل پخش می‌کند، تشکیل شده است. فشار کاری لازم برای پخش آب در این سامانه بسیار زیاد است و بسته به مدلی که کارخانه سازنده عرضه می‌کند معمولاً پنج تا شش بار (تا هشت بار) است. برای ایجاد فشار کاری از الکتروپمپ یا پمپ با موتور دیزلی استفاده می‌شود. این فشار باید به اندازه‌ای باشد که هم جریان خروجی آب را به صورت قطرات کوچک درآورد و هم بر تلفات ناشی از اصطکاک فائق آید. آبپاش‌های تفنگی به دلیل سنگین بودن وزن با یک وسیله نقلیه کشیده می‌شوند. آب‌دهی آبپاش تفنگی تا حدود ۱۳۰ مترمکعب در ساعت می‌رسد و دارای امکان تنظیم زاویه چرخش است. معمولاً آبپاش یک دایره کامل را دور نمی‌زند، بلکه از محیط دایره به اندازه یک قطاع ۲۵ درجه پشت اراجه حامل آبپاش تفنگی خشک نگه‌داشته می‌شود. بدین ترتیب مسیر حرکت وسیله نقلیه همیشه خشک باقی می‌ماند تا دستگاه بتواند داخل زمین خشک حرکت کند و گیر نکند؛ زیرا اگر

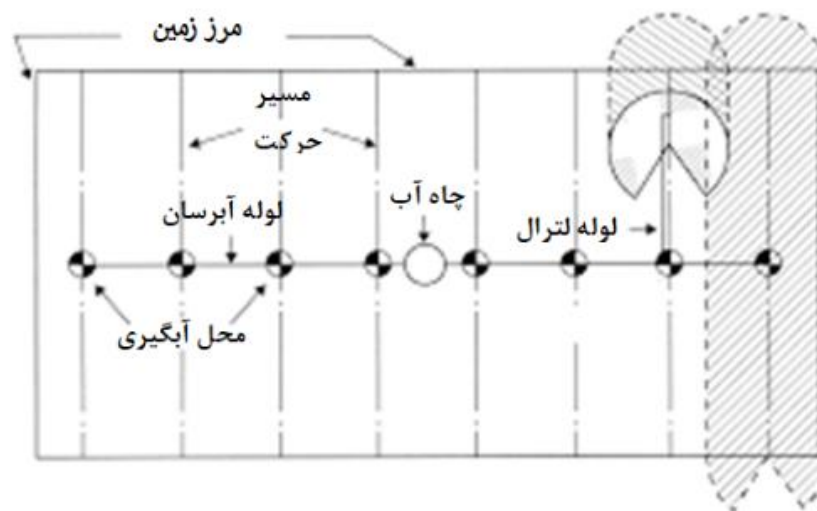
دستگاه گیر کند معمولاً قسمت اراهه‌ای که آبپاش تفنگی روی آن تعبیه شده است واژگون می‌شود و کار آبیاری مختل می‌شود.

در این روش لترال از یک طرف به دور یک قرقره بزرگ پیچیده شده و از طرف دیگر به اراهه بزرگی که آبپاش تفنگی را حمل می‌کند متصل است. برای انجام عملیات آبیاری، سامانه به جایی که هیدراتت وجود دارد منتقل شده و پس از اتصال به هیدراتت، اراهه را با تراکتور یا دست کشیده و به انتهای زمین منتقل می‌شود. معمولاً لوله اصلی در وسط زمین کشیده می‌شود (به صورت مدفون یا به صورت سطحی) و دستگاه با استفاده از لوله خرطومی می‌تواند از هر دو طرف کار آبیاری را انجام دهد (شکل ۲-۴۸). در این حالت لوله لترال از دور قرقره باز می‌شود. با شروع آبیاری لوله لترال به وسیله یک توربین به دور قرقره جمع می‌شود و اراهه به سمت قرقره کشیده می‌شود با حرکت اراهه از انتهای زمین به طرف قرقره، آبیاری یک نوار کامل از عرض زمین انجام می‌گیرد. پس از روشن کردن الکتروپمپ ابتدا آب با فشار وارد توربین می‌شود و آن را می‌چرخاند. آب پس از خروج از توربین وارد لوله پلی اتیلن شده و از طریق آبپاش تفنگی در سطح مزرعه پخش می‌شود. چرخش توربین از طریق جعبه دنده و زنجیر به قرقره منتقل شده و قرقره پس از شروع آبیاری به طور آهسته و خودکار می‌چرخد و لوله پلی اتیلن به طور مرتب روی قرقره جمع می‌شود. بعد از این که آبپاش به قرقره رسید آبیاری به طور خودکار قطع می‌شود. کار آبیاری به صورت نوار به نوار تا آبیاری کامل زمین انجام می‌شود. نوارهای کنار هم در هنگام آبیاری بایستی با یکدیگر همپوشانی داشته باشند تا یکنواختی پخش مناسبی ایجاد شود.

در این روش مقدار آب مصرفی را می‌توان با کنترل سرعت چرخش قرقره تنظیم کرد. اگر سرعت چرخش قرقره زیاد باشد لوله سریع‌تر جمع می‌شود و آب کمتری پاشیده می‌شود؛ ولی اگر لوله آهسته‌تر جمع شود آب زیادتری به وسیله آبپاش پخش می‌شود. به دلیل گران بودن لوله پلی اتیلن باید در موقع استفاده از آن دقت بیشتری به عمل آید و از تماس آن با اجسام زیر و تیز جلوگیری شود. مدت زمان لازم برای یک دور چرخش آبپاش ۲ تا ۵ دقیقه است که با قرار دادن یک توری در مسیر ورود آب به دستگاه از داخل شدن کاه و کلش و گل‌ولای به داخل توربین و آبپاش جلوگیری می‌شود. از فواید دستگاه آبیاری بارانی قرقره‌ای حرکت و جابه‌جایی آسان آن به دلیل سرعت این دستگاه است، که می‌توانیم میزان عمق آبیاری را آن‌طور که می‌خواهیم تنظیم کنیم.

اگر مثلاً طول لترال ۲۰۰ متر باشد، یعنی می‌توان با این دستگاه برای دو طرف ۴۰۰ متر طول را آبیاری کرد. اگر فرض شود که آبپاش تفنگی دارای شعاع پرتاب ۵۰ متر باشد؛ یعنی دارای قطر پاشش ۱۰۰ متر است. بنابراین طول نوار آبیاری شده ۴۰۰ متر و عرض آن ۱۰۰ متر است، در نتیجه مساحتی حدود ۴۰۰۰۰ مترمربع یا ۴ هکتار در یک مسیر رفت و برگشتی آبیاری می‌شود. در ادامه دستگاه به نوار کناری منتقل می‌شود. هنگامی که دستگاه به نوار کناری منتقل می‌شود، نوار جدید بایستی

مقداری با نوار آبیاری شده همپوشانی داشته باشد تا آبیاری تکمیل شود. کشاورزان از این سامانه‌ها استقبال خیلی خوبی دارند، چراکه پس از اتمام عملیات آبیاری به راحتی جمع شده و در درون انبار نگهداری می‌شوند. هر سامانه می‌تواند به راحتی بسته به نیاز آبیاری گیاهان موجود در الگوی کشت، مساحتی حدود ۱۰ تا ۱۵ هکتار را پوشش دهد. امروزه این دستگاه‌ها به خوبی هوشمندسازی شده‌اند و آبیاری‌ای دقیق را نیز انجام می‌دهند.



شکل ۲-۴۸- نحوه حرکت سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش‌های تفنگی، آبیگری و تکمیل آبیاری یک مزرعه

یکی از سامانه‌های نوین آبیاری بارانی، از ترکیب سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش تفنگی و پاشنده بوم (نظیر سامانه لینیئر) ایجاد شده است. این سامانه شامل بخش قرقره و لترال جمع‌شونده از سامانه آبیاری ارابه‌ای با آبپاش تفنگی است و برای پخش آب به جای ارابه و آبپاش تفنگی از یک بوم استفاده شده است (شکل ۲-۴۹).



شکل ۲-۴۹- سامانه آبیاری ارابه‌ای با پاشنده بوم

## ۲-۱۸- سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با جابه‌جایی لترال با فشار هماهنگ با سامانه تیپ

با توجه به دوره تناوب کشت گیاهان زراعی در الگوی کشت و امکان به‌کارگیری سامانه آبیاری مناسب برای گیاهی که در هر سال کشت می‌شود، متخصصان بحث تلفیق سامانه‌های آبیاری تحت فشار را مطرح کرده‌اند. برای افزایش کارایی سامانه آبیاری بارانی می‌توان آن را با سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) برای کشت گیاهانی که قابلیت کاشت ردیفی دارند، تلفیق کرد.

## ۲-۱۹- راهکارهای تلفیق سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سامانه آبیاری قطره‌ای نواری

با توجه به اجرای سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با لوله‌های آب‌رسان و لترال مدفون در زیر خاک، تنها امکان انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار که روی زمین قرار دارند وجود دارد. از طرفی مانیفولد سامانه قطره‌ای نواری به همراه لوله‌های تیپ متصل به آن، روی خاک قرار دارد. برای انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار، یک اتصال مناسب در نظر گرفته شده است که مانیفولد آبیاری تیپ از این طریق به شیر خودکاری که موقعیت آن مشخص شده متصل شده و سپس جریان آب به درون لوله‌های تیپ برقرار خواهد شد.

با انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار طرح بارانی کلاسیک ثابت و اتصال مانیفولد آبیاری تیپ به آن امکان آبیاری به روش تیپ فراهم می‌شود. برای انجام این کار از شیرهای خودکار نصب‌شده روی لترال‌های آبیاری بارانی استفاده می‌شود. با توجه به این‌که این شیرهای خودکار در فواصل مربعی قرار دارند باید شبکه انتخابی به شکلی تعیین شود که طول و عرض زیرواحدهای انتخابی مضربی از

فواصل لترال‌ها و شیرهای خودکار باشد. با توجه به قطر لترال‌های آبیاری بارانی و با در نظر گرفتن حداکثر سرعت دو متر بر ثانیه، دبی قابل عبور از لوله لترال آبیاری بارانی محاسبه شده و با توجه به دبی محاسبه شده سطح قابل پوشش توسط هر شیر خودکار تعیین می‌شود.

## ۲-۲۰- جنس لوله‌های آبیاری قطره‌ای نواری

از آن جاکه لوله‌های آبرسان و لترال سامانه آبیاری نواری روی زمین اجرا می‌شوند، می‌بایست در مقابل اشعه ماوراءبنفش خورشید مقاوم باشند و همچنین در پایان فصل آبیاری جمع‌آوری و انتقال آن به خارج از مزرعه توسط کشاورز امکان‌پذیر باشد. بدین منظور می‌توان به‌جای استفاده از لوله آبرسان از جنس لوله پلی‌اتیلن، از لوله‌های لی‌فلت<sup>۱</sup> استفاده کرد. از مزایای این لوله‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- اتصال آسان لترال‌های نواری به لوله‌های لی‌فلت

۲- سهولت در نصب و جمع‌آوری این لوله‌ها

۳- کاهش هزینه حمل و جابه‌جایی این لوله‌ها

۴- مقاومت در برابر تابش نور خورشید

شکل‌های (۲-۵۰) و (۲-۵۱) نمونه‌ای از این لوله‌ها و نحوه اتصال آن به لوله‌های آبیاری نواری را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵۰- نمونه‌های لوله لی‌فلت

<sup>۱</sup>. Lay flat

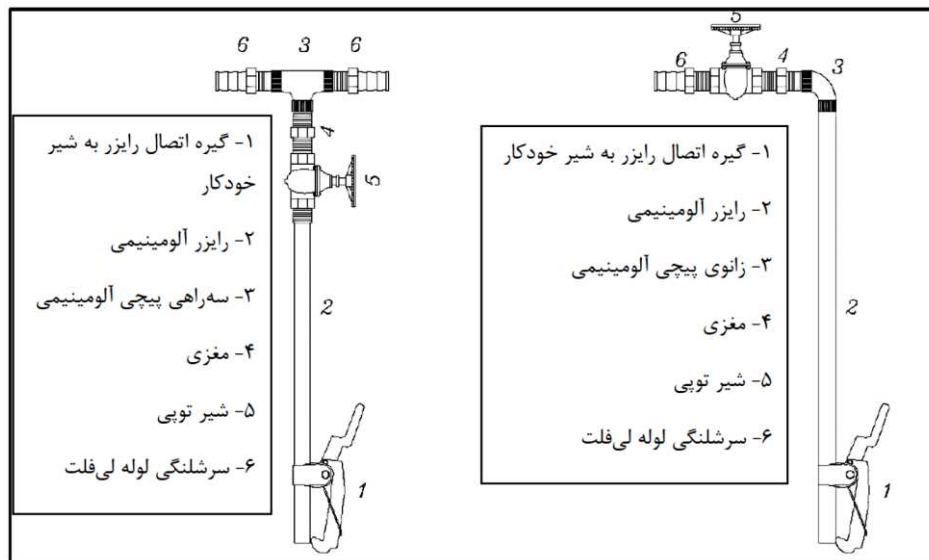




شکل ۲-۵۱- نحوه اتصال لوله های لی فلت به لترال های سامانه آبیاری قطره ای نواری

## ۲-۲۱- نحوه اتصال لوله آب رسان آبیاری قطره ای نواری به شیر خودکار

برای اتصال لوله آب رسان سامانه آبیاری قطره ای نواری به شیرهای خودکار نیاز به یک رایزر قلابدار نظیر رایزر قلابدار آلومینیومی زیر آبپاش سامانه آبیاری بارانی است که کشاورز بتواند توسط آن به راحتی لوله لی فلت آبیاری قطره ای نواری را از طریق شیرهای خودکار به لترال های آبیاری بارانی متصل کند. همچنین وجود یک شیر قطع و وصل در زیر رایزر برای قطع و وصل جریان هنگام نوبت بندی آبیاری قطره ای نواری ضروری است. شکل (۲-۵۲) نمونه پیشنهادی برای اتصال مذکور را نمایش می دهد.



شکل ۲-۵۲- اتصالات موردنیاز برای ارتباط شیر خودکار با لوله آبیاری قطره‌ای نواری

## ۲-۲۲- فیلتراسیون سامانه آبیاری قطره‌ای نواری

در صورتی که کیفیت آب آبیاری مناسب نباشد، برای جلوگیری از گرفتگی خروجی‌های آبیاری قطره‌ای نواری می‌بایست از فیلتراسیون استفاده شود. انتخاب نوع فیلتراسیون به کیفیت آب آبیاری بستگی دارد. در خصوص محل نصب فیلتراسیون مناسب چند گزینه امکان‌پذیر است.

۱- سامانه فیلتراسیون ابتدای هم‌آب: این امکان وجود دارد که سامانه فیلتراسیون در ابتدای هر

هم‌آب و به صورت کنارگذر و برای کل اراضی آن گروه هم‌آب در نظر گرفته شود.

۲- سامانه فیلتراسیون ابتدای هر آب‌رسان: در این روش ایستگاه فیلتراسیون ابتدای هر مزرعه

و روی لوله آب‌رسان آن و به صورت کنارگذر برای حالتی که سامانه برای آبیاری قطره‌ای

نواری استفاده می‌شود و به صورت مجزا برای هر یک از اراضی اجرا شود.

۳- سامانه فیلتراسیون ابتدای اتصال آب‌رسان سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به شیرهای خودکار:

در این حالت می‌توان ابتدای هر قطعه زراعی نواری در محل اتصال به شیرهای خودکار یک

فیلتر دیسکی استفاده نمود.

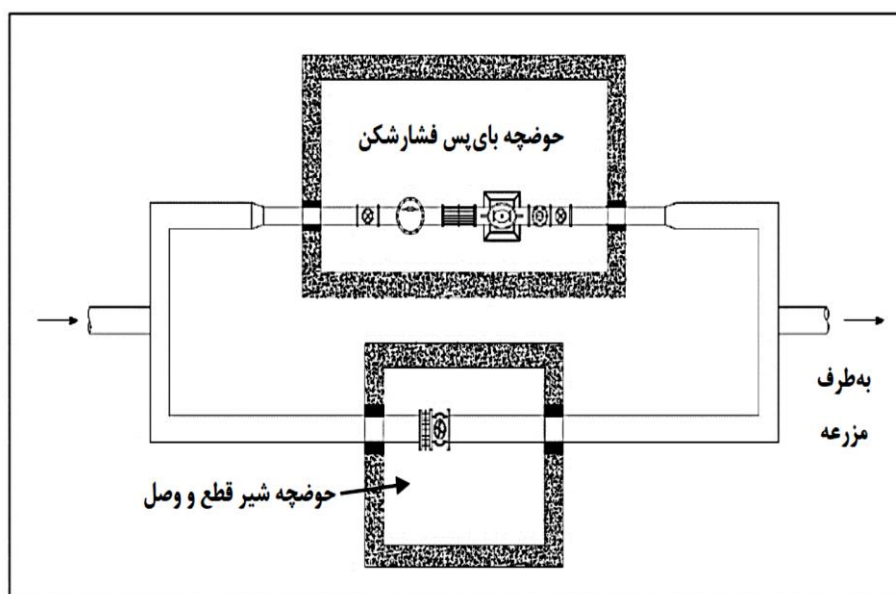
## ۲-۲۳- کاهش فشار سامانه آبیاری بارانی برای تناسب با آبیاری قطره‌ای نواری

با توجه به فشار، حداقل کارکرد در نظر گرفته‌شده برای سامانه آبیاری بارانی و با در نظر گرفتن

این که حداکثر فشار قابل تحمل لوله‌های آبیاری قطره‌ای نواری برابر ۲۰ متر است، برای جلوگیری از



خسارت به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در حالت بهره‌برداری نیاز به شکستن فشار ورودی به درون لوله‌ها وجود دارد. به این منظور می‌توان از شیرهای خودکار یا دستی کنترل فشار به‌صورت کنارگذر در کنار شیر قطع و وصل ورودی به مزرعه آبیاری بارانی استفاده کرد. به این ترتیب که هنگام کار با سامانه آبیاری بارانی مسیر شیر قطع و وصل کشویی باز بوده و در هنگام کار سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، جریان به درون حوضچه فشارشکن انتقال داده شده و بعد از شکسته شدن فشار وارد سامانه خواهد شد. البته می‌توان فیلتر دیسکی موردنیاز را در حوضچه شیر فشارشکن نیز لحاظ نمود. شکل (۵۳-۲) جزئیات اجرایی حوضچه بای پس فشارشکن ابتدای مزارع را نشان می‌دهد.



شکل ۵۳-۲- جزئیات اجرایی حوضچه بای پس فشارشکن ابتدای مزارع

## ۲-۲۴- مشخصات آبیاری بارانی کلاسیک و آبیاری قطره‌ای نواری

از آن‌جاکه هدف تلفیق و طراحی خطوط لوله بر اساس امکان به‌کارگیری هر دو نوع سامانه آبیاری مذکور در یک زمین است، لذا ابتدا به بررسی دو سامانه مذکور پرداخته و مبانی طراحی هیدرولیکی و نحوه مشخص شدن دبی و فشار موردنیاز هر بخش، شرح داده خواهد شد.

## ۲-۲۴-۱- آبیاری بارانی کلاسیک

با مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده و سوابق اجرا و بهره‌برداری سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار در کشور، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک برای بخش بارانی، مناسب تشخیص داده شده است. از مزایای این سامانه می‌توان به سهولت آبیاری، تطبیق آن با هر شکل و ابعاد زمین، عدم نیاز به دانش فنی زیاد برای بهره‌برداری و نگهداری و... اشاره نمود.

## ۲-۲۴-۲- اجزاء سامانه آبیاری بارانی کلاسیک

از مهم‌ترین اجزای سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت موارد زیر را می‌توان نام برد:

### ۱- واحد تأمین فشار (ایستگاه پمپاژ)

برای تأمین فشار موردنیاز سامانه آبیاری بارانی، در صورتی که اختلاف ارتفاع موجود نتواند پاسخ‌گوی نیاز طرح باشد، از پمپ استفاده خواهد شد. نیروی موردنیاز برای راه‌اندازی پمپ در صورتی که برق در منطقه باشد، از الکتروموتور و در غیر این صورت از موتورهای درون‌سوز دیزلی استفاده خواهد شد. به منظور رعایت مسائل ایمنی و همچنین کنترل آب‌دهی و فشار در سامانه، ممکن است در ایستگاه پمپاژ با توجه به شرایط طرح از لرزه‌گیر، شیر یک‌طرفه، شیر کشویی، شیر تخلیه هوا، فشارسنج، شیر برگشت آب، تانک فشار و کلید کنترل فشار<sup>۱</sup> استفاده شود. فشار در نظر گرفته در همه نقاط بالای ۴۰ متر است.

### ۲- خطوط لوله اصلی و آب‌رسان

برای انتقال و توزیع آب در هر واحد زراعی از خطوط لوله اصلی و آب‌رسان که از جنس پلی‌اتیلن هستند استفاده می‌شود. این لوله‌ها بسته به وسعت مزرعه، الگوی کشت، هیدرومُدول گیاه پرمصرف، تعداد آبپاش در حال کار و دبی آبپاش دارای قطرهای مختلفی هستند. در طول خطوط لوله ممکن است از شیر کشویی، شیر یک‌طرفه، شیرهای تخلیه هوا، سهراب، تبدیل، زانو و یا شیرهای فشارشکن با توجه به نیاز طرح استفاده شود. در خطوط لوله اصلی هر واحد زراعی آب موردنیاز را بین خطوط لوله آب‌رسان توزیع نموده و این خطوط نیز دبی موردنیاز خطوط لوله لترال را تأمین می‌کنند.

### ۳- خطوط لوله آبد (لترال)

خطوط لوله آبد (لترال) از لوله‌های آب‌رسان منشعب می‌شوند. جنس این لوله‌ها پلی‌اتیلن و قطر آن‌ها ثابت و با توجه به دبی آبپاش انتخابی می‌تواند ۵۰ و ۶۳ میلی‌متر باشد. در برخی از واحدهای آبیاری به دلیل تغییرات توپوگرافی ممکن است از هر دو قطر لوله استفاده

<sup>۱</sup>. Pressure switch

شود. لوله‌های آب‌ده با توجه به شرایط طراحی به فواصل مساوی از هم و در سراسر اراضی کارگذاری می‌شوند و شیرهای خودکار روی این لوله‌ها نصب می‌شود. همچنین در ابتدای هر خط لوله، شیر قطع و وصل جریان نصب می‌شود.

#### ۴- شیرهای خودکار

برای انتقال آب از لوله‌آبده به آبپاش از شیر خودکار استفاده می‌شود. هر شیر خودکار توسط یک لوله‌رایزر به لوله‌آبده متصل می‌شود. همان‌طور که از نام شیر خودکار پیداست، با قرار گرفتن رایزر آبپاش در شیر خودکار، جریان آب برقرار شده و پس از پایان آبیاری و با برداشتن رایزر آبپاش جریان آب قطع می‌شود. پس از طراحی فاصله نصب شیرهای خودکار، در سراسر مزرعه شیرهای خودکار به فواصل مساوی از هم نصب می‌شوند. شیرهای خودکار از جنس‌های مختلفی مانند آلومینیم، چدن، برنج و پلی‌اتیلن ساخته می‌شوند که با توجه به شرایط پروژه، جنس مناسب انتخاب می‌شود.

#### ۵- آبپاش‌ها

نقطه‌انتهایی یک سامانه آبیاری بارانی آبپاش‌ها هستند. آبپاش‌ها از لحاظ مقدار دبی و قطر پاشش دارای انواع مختلفی‌اند که در هر پروژه با توجه به شرایط باد، خاک، الگوی کشت و ... آبپاش مناسب انتخاب می‌شود.

به‌طورکلی انتخاب نوع آبپاش با توجه به فاصله آبپاش‌ها، فشار آب و دبی متناظر آن بر اساس کاتالوگ‌های ارائه‌شده در کارخانه‌های سازنده صورت می‌گیرد. البته عوامل مختلف دیگری از جمله سرعت باد، میزان تبخیر در منطقه و بافت خاک نیز در این ارتباط باید موردتوجه قرار گیرند، به‌طوری‌که بایستی حداقل مقدار دبی در آبپاش علاوه بر تأمین نیازهای آبیاری، تلفات تبخیر و بادبردگی را شامل شود. از طرف دیگر برای جلوگیری از ایجاد جریان‌های سطحی، میزان جریان خروجی از آبپاش‌ها بایستی کمتر از میزان نفوذ نهایی خاک باشد.

از مهم‌ترین عواملی که در تعیین فاصله استقرار آبپاش‌ها مؤثر هستند می‌توان سرعت وزش باد و قطر پرتاب آبپاش را نام برد. همچنین نحوه آرایش آبپاش‌ها نیز در تنظیم فاصله آن‌ها مؤثر است. آرایش مثلثی موجب افزایش فاصله آبپاش‌ها می‌شود ولی به دلیل بی‌نظمی آرایش آبپاش‌ها، مشکلاتی در بهره‌برداری و عملیات مکانیزاسیون کشاورزی به وجود خواهد آورد.

#### ۲-۲۴-۳- آبیاری قطره‌ای نواری

به‌منظور آبیاری اکثر گیاهان ردیفی، درختان، صیفی، جالیز و گیاهان زینتی از نوارهای آب‌ده استفاده می‌شود. نوار آبیاری قطره‌ای از یک مجرا با شیارهای زیگزاکی تشکیل شده که جریان در هنگام عبور از آن نیمه‌متلاطم شده، در اثر اصطکاک با دیواره‌ها مقدار آب خروجی کنترل می‌شود. در طول این

نوار، خروجی‌هایی به فواصل یکسان وجود دارد و به‌صورت یک گسلنده عمل می‌کنند. فواصل بین این خروجی‌ها می‌توانند ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر باشند و در هر متر لوله با فواصل مختلف و فشارهای مختلف، دبی‌های متفاوتی خواهند داشت. فواصل خروجی کمتر از ۲۰ سانتی‌متر برای گیاهانی که در خاک‌های سبک کشت می‌شوند و نیاز به دبی‌های زیاد دارند، استفاده می‌شود. فواصل ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر برای گیاهانی که در خاک‌های متوسط و سنگین و یا در جاهایی که طبق معیار طراحی با دبی زیاد مشکل دارند، توصیه می‌شود. به‌طور کلی برای گیاهان با فواصل مختلف می‌توان فاصله بین خروجی‌ها را تغییر داد. دبی زیاد در این خروجی‌ها برای بیشتر گیاهان و خاک‌ها مناسب است و دبی کم معمولاً برای خاک‌های سنگین و آبیاری طولانی‌مدت است. حدود دبی در هر متر از این نوارها ۲ تا ۸ لیتر در ساعت است.

در هر متر لوله با توجه به فواصل مختلف خروجی‌ها و فشارهای متفاوت در ابتدای لوله، آب‌دهی خروجی‌ها متغیر است. فشار کارکرد این نوارها بین ۳٪ تا ۷۵٪ بار بوده و میزان آن از یک‌بار نباید بیشتر باشد. قطر داخلی این لوله‌ها ۱۶ و ۲۵ میلی‌متر است و طول مجاز نوارها با توجه به فواصل خروجی‌ها، دبی خروجی‌ها، یکنواختی توزیع، فشار ورودی و شیب زمین انتخاب می‌شود. اضافه کردن سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به‌صورت تلفیقی با سامانه آبیاری بارانی حدود ۴۰ درصد به هزینه‌های طرح در هر هکتار خواهد افزود. درواقع با توجه به هزینه بالای تأمین لوله‌های آبیاری قطره‌ای نواری که تکرارشونده نیز است، تلفیق دو روش آبیاری بارانی کلاسیک و قطره‌ای نواری باعث افزایش هزینه‌های ثابت اولیه و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری در سال‌های آتی خواهد بود. درعین حال تلفیق دو روش آبیاری در یک محدوده، باعث انعطاف‌پذیری آن محدوده در تغییر الگوی کشت و استفاده از سامانه آبیاری متناسب با کشت در سال‌های مختلف خواهد شد. با توجه به ارزش آب کشاورزی و با عنایت به این‌که با استفاده از این روش می‌توان در زمان کشت گیاهان ردیفی از سامانه با راندمان بالاتر و همچنین متناسب با الگوی کشت استفاده نمود، موضوع تلفیق سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای حائز اهمیت است. درواقع با این روش می‌توان در زمان کشت گیاهان ردیفی آب کمتری مصرف نمود و درعین حال توقع عملکرد بهتری داشت.



## فصل سوم

رابطه آب، خاک و گیاه در آبیاری بارانی

### ۳-۱- مقدمه

درک درست رابطه آب، خاک و گیاه در آبیاری بارانی لازمه طراحی، اجرا و مدیریت درست سامانه است. درواقع مقدار آبی که خاک می‌تواند در خود ذخیره کند و در اختیار گیاه قرار دهد به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وابسته است. هرچند خوانندگان محترم اطلاعات پایه لازم را در این خصوص دارند، ولی برای یادآوری به برخی مطالب مهم، در خصوص اصول کلی حاکم بر سامانه آب، خاک و گیاه تحت آبیاری بارانی اشاره خواهد شد.

خاک از دیدگاه کشاورزی محیط رشد گیاه و استقرار ریشه گیاه است. خاک را با دو مشخصه بافت و ساختمان خاک شناسایی می‌کنند. بافت خاک بر اساس درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک شامل رس، لای و شن تعیین می‌شود. نحوه چیدمان این ذرات در کنار هم تعیین‌کننده ساختمان خاک است. در ادامه چند ویژگی مهم خاک در ارتباط با آب آورده شده است.

### ۳-۲- جرم ویژه ظاهری خاک

جرم ویژه ظاهری خاک نسبت جرم خاک خشک به حجم کل خاک با احتساب فضای خالی بین ذرات خاک است و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \quad (۱-۳)$$

که در آن:

$\rho_b$  = جرم ویژه ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

$M_s$  = جرم خاک خشک (گرم)

$V_t$  = حجم کل خاک (سانتی متر مکعب)

### ۳-۳- جرم ویژه حقیقی خاک

جرم ویژه حقیقی خاک نسبت جرم خاک خشک به حجم ذرات خشک خاک بدون در نظر گرفتن حجم فضاهای خالی درون حجم نمونه خاک است و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (۲-۳)$$

که در آن:

$\rho_s$  = جرم ویژه حقیقی خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

$M_s$  = جرم ذرات خاک خشک (گرم)

$V_s$  = حجم ذرات خاک خشک (سانتی متر مکعب)

مقدار جرم ویژه حقیقی خاک در بیشتر خاک‌ها ۲/۶ تا ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. البته وجود سنگ باعث مشاهده مقادیر بالاتر و برعکس وجود مواد آلی موجب مشاهده مقادیر کمتر از این محدوده خواهد شد.

### ۳-۴- تخلخل خاک

تخلخل خاک نسبت حجم فضای خالی بین ذرات خاک به حجم کل خاک است و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (3-3)$$

که در آن:

$n$  = ضریب تخلخل

$V_v$  = حجم فضای خالی بین ذرات خاک (سانتی‌متر مکعب)

$V_t$  = حجم کل خاک (سانتی‌متر مکعب)

اگر بخواهیم تخلخل خاک را به صورت درصد بیان کنیم، مقدار ضریب تخلخل را در ۱۰۰ ضرب می‌کنیم. مقدار درصد تخلخل اکثر خاک‌ها از ۳۰ تا ۶۰ درصد تغییر می‌کند. خاک‌های درشت‌دانه دارای تخلخل کمتر و خاک‌های ریزدانه دارای تخلخل بیشتری هستند. هرچند فضای خالی خاک‌های ریزدانه کوچک‌تر بوده و حرکت آب‌وهوا در آن‌ها کندتر از خاک‌های درشت‌دانه است.

### ۳-۵- آب خاک

خاک محل ذخیره آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاه است. خاک مخلوطی از مواد معدنی، مواد آلی و خلل و فرج حاوی آب یا هواست. مواد معدنی معمولاً شامل شن، لای و رس هستند. بقایای گیاهی و جانوری تشکیل‌دهنده مواد آلی خاک هستند. مقدار مواد آلی خاک از یک تا پنج درصد متغیر است. اگر خاکی در حالت اشباع باشد، بعد از چند روز بسته به سبک، متوسط یا سنگین بودن بافت خاک، آب ثقلی آن تخلیه می‌شود. زمانی که طول می‌کشد تا آب ثقلی تخلیه شود در خاک سبک معمولاً یک روز، در خاک با بافت متوسط معمولاً دو روز و در خاک سنگین سه روز است. پس از خروج آب ثقلی، خاک به وضعیت رطوبتی ظرفیت زراعی می‌رسد. آبی که پس از خروج آب ثقلی در خلل و فرج خاک باقی‌مانده است آب مؤینه یا آب کاپیلاری نامیده می‌شود و می‌تواند توسط سامانه ریشه گیاه جذب شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین‌کننده میزان ذخیره آب در خاک و در نتیجه مقدار آب آبیاری و فاصله آبیاری است؛ بنابراین طراحی و مدیریت سامانه آبیاری بایستی با ویژگی‌های



خاک متناسب باشد. مقادیر گزارش شده در جدول ۱-۳ برای طراحی مقدماتی سامانه آبیاری مفید است.

### ۳-۶- ظرفیت زراعی<sup>۱</sup>

آب آزاد موجود در خاک در اثر نیروی گرانش به سمت پایین حرکت کرده و از منطقه توسعه ریشه گیاه خارج می شود و خاک به وضعیت رطوبتی می رسد که به آن ظرفیت زراعی می گویند. مکش رطوبتی در این وضعیت رطوبتی برای خاک های رسی و شنی به ترتیب یک سوم و یک دهم بار است. برای تعیین این حد رطوبتی روش های مختلفی معرفی شده است که روش آزمایشگاهی مرسوم، صفحات فشاری<sup>۲</sup> است.

### ۳-۷- نقطه پژمردگی<sup>۳</sup>

با کاهش رطوبت خاک، به حدی از رطوبت می رسیم که گیاه قادر به جذب آب نیست. به این نقطه رطوبتی، حد پژمردگی می گویند. مکش خاک در این وضعیت رطوبتی حدود ۱۵ بار است و گیاه دچار پژمردگی می شود. برای تعیین این حد رطوبتی از صفحات فشاری در آزمایشگاه استفاده می شود.

### ۳-۸- ظرفیت نگهداشت آب در خاک

بافت خاک بر اساس درصد شن، لای و رس که دارای قطر ذرات کمتر از دو میلی متر هستند تعیین می شود. خاک ها بر اساس بافت خود دارای توانایی متفاوت در نگهداشت آب هستند. مواد ریزدانه تر و مواد آلی موجب افزایش نگهداشت آب در خاک می شوند. به جز آبی که برای آب شویی نمک ها به کار می رود، هر آبی که بیش از ظرفیت نگهداشت آب در خاک باشد به صورت تلفات نفوذ عمقی از دست می رود. برای تعیین ظرفیت نگهداشت آب در خاک باید ظرفیت زراعی را منهای نقطه پژمردگی دائم کرد.

رطوبت موجود در فاصله ظرفیت زراعی تا نقطه پژمردگی برای گیاهان قابل استفاده است و به آن رطوبت قابل دسترس<sup>۴</sup> گویند و از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$AW=FC-PWP$$

(۳-۴)

<sup>۱</sup>. Field Capacity-FC

<sup>۲</sup>. Pressure plate

<sup>۳</sup>. Permanent Wilting Point-PWP

<sup>۴</sup>. Available water

که در آن:

$AW$  = رطوبت قابل دسترس از واحد عمق خاک (درصد)

$FC$  = رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (درصد)

$PWP$  = رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی (درصد)

اگر حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به صورت وزنی و نه حجمی بیان شوند، می توان با ضرب کردن مقدار جرم ویژه ظاهری در این حدود رطوبتی، مقادیر رطوبت حجمی را تعیین کرد. گیاهان کمی می توانند همه آب قابل دسترس و به ویژه رطوبت نزدیک به نقطه پژمردگی را جذب کنند و اکثر گیاهان اهلی بخشی از این آب را جذب می کنند که به آن آب سهل الوصول<sup>۱</sup> می گویند. کاهش رطوبت خاک به مقادیر کمتر از آب سهل الوصول موجب وارد شدن تنش آبی به گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می شود. برای محاسبه آب سهل الوصول از رابطه زیر استفاده می شود:

$$RAW = (FC - PWP) \times \rho_b \times MAD \times R_z \quad (3-5)$$

که در آن:

$RAW$  = آب سهل الوصول (میلی متر)

$FC$  = رطوبت جرمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی

$PWP$  = رطوبت جرمی خاک در نقطه پژمردگی

$\rho_b$  = جرم ویژه ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)

$MAD$  = ضریب تخلیه مجاز مدیریتی

$R_z$  = عمق ریشه (سانتی متر)

جدول (۳-۱) مقادیر آب در دسترس را در خاک های مختلف نشان می دهد. اگر اطلاعات مزرعه در اختیار نباشد می توان از داده های جدول (۳-۱) به عنوان مقادیر تقریبی استفاده کرد.

<sup>1</sup>. Readily Available Water-RAW

جدول ۳-۱- مقادیر نگهداشت آب در خاک در بافت‌های مختلف

| بافت خاک                                                  | محدوده ظرفیت نگهداشت<br>آب در خاک mm/m | میانگین ظرفیت نگهداشت<br>آب در خاک mm/m |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| بافت خیلی سبک یا شن خیلی درشت                             | ۳۳ تا ۶۲                               | ۴۲                                      |
| بافت سبک یا شن درشت، شن ریز و لوم‌شنی                     | ۶۲ تا ۱۰۴                              | ۸۳                                      |
| بافت نسبتاً سبک یا لوم‌شنی                                | ۱۰۴ تا ۱۴۵                             | ۱۲۵                                     |
| بافت متوسط یا لوم‌شنی نرم، لوم و لوم‌سیلتی                | ۱۲۵ تا ۱۹۲                             | ۱۶۷                                     |
| بافت نسبتاً سنگین یا لوم‌رسی، لوم‌رسی سیلتی و لوم‌رسی شنی | ۱۴۵ تا ۲۰۸                             | ۱۸۳                                     |
| بافت سنگین یا رس‌شنی، رس سیلتی و رس                       | ۱۳۳ تا ۲۰۸                             | ۱۹۲                                     |
| پیت                                                       | ۱۶۷ تا ۲۵۰                             | ۲۰۸                                     |

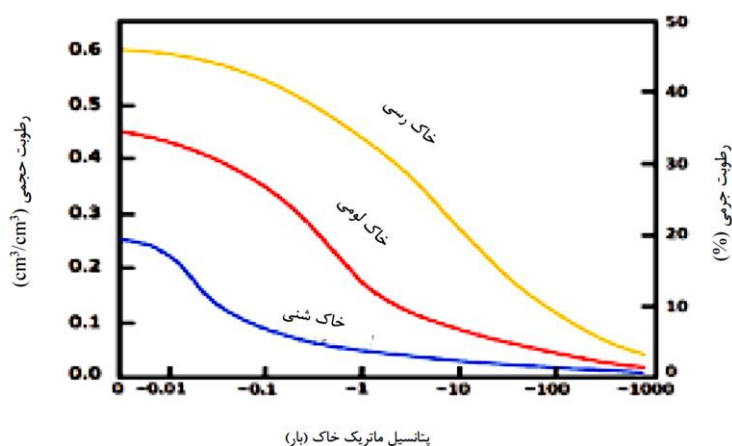
منبع: SCS

### ۳-۹- منحنی مشخصه رطوبتی خاک و کاربرد آن

منحنی مشخصه رطوبتی خاک<sup>۱</sup> یا منحنی آزادسازی آب خاک<sup>۲</sup> رابطه بین مکش خاک و رطوبت خاک را نشان می‌دهد (شکل ۳-۱). هر خاک منحنی مشخصه رطوبتی خاص خود را دارد که تابعی از اندازه و نحوه توزیع فضاهای خالی خاک و همچنین تخلخل خاک است. از این منحنی می‌توان برای تعیین نقاط رطوبتی مهم خاک مانند ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی استفاده کرد. همچنین با اندازه‌گیری مکش خاک، می‌توان رطوبت خاک را تخمین زد و بالعکس. مثلاً با اندازه‌گیری مکش خاک با تانسیومتر، می‌توان رطوبت خاک را تخمین زد و زمان مناسب آبیاری یا حجم آب آبیاری را محاسبه کرد.

<sup>۱</sup>. Soil Water Retention Curve

<sup>۲</sup>. Soil Moisture Release Curve



شکل ۳-۱- منحنی مشخصه رطوبتی سه بافت خاک مختلف  
پتانسیل ماتریک خاک (بار)

### ۳-۱-۱۰- عمق ریشه

آب در دسترس گیاه آبی است که در منطقه توسعه ریشه گیاه ذخیره شده است. ویژگی‌های ژنتیکی گیاه، نوع سامانه ریشه را از نظر سطحی یا عمیق بودن تعیین می‌کند. البته شرایط محیطی مانند کفه شخم، سنگ بستر و سطح ایستایی می‌تواند سبب توقف ریشه‌دوانی شود. عمق ریشه برخی گیاهان در جدول ۳-۲ ارائه شده است. مقادیر ارائه شده میانگین داده‌های چند منبع معتبر است. این مقادیر برای خاک‌هایی هستند که به خوبی توسعه یافته‌اند و دارای زهکشی مناسب و آبیاری کافی هستند. مقادیر گزارش شده برای عمق ریشه می‌تواند تحت تأثیر شرایط خاک قرار گرفته و محدود شود؛ بنابراین توصیه می‌شود عمق توسعه ریشه گیاه با حفر نیم‌رخ در انتهای فصل کشت در منطقه مشخص شود. برخلاف گیاهان دائمی، عمق ریشه گیاهان سالیانه به مرحله رشد وابسته است که روی مقدار آب در دسترس گیاه مؤثر است. مثلاً در مرحله اولیه رشد، گیاه دارای ریشه‌های کم عمق است؛ بنابراین بایستی آبیاری‌های سبک با فاصله کوتاه انجام داد، تا هم در مصرف آب صرفه‌جویی شود و هم شرایط مناسب رشد فراهم شود.

اگر منطقه توسعه ریشه گیاه به چهار عمق مساوی تقسیم شود، در یک خاک یکنواخت در شرایط رطوبتی ظرفیت زراعی، بیشترین جذب آب توسط ریشه از چارک بالایی و کمترین جذب آب از پایین‌ترین چارک انجام می‌شود. در این شرایط تقریباً ۴۰ درصد جذب آب توسط ریشه از چارک اول، ۳۰ درصد از چارک دوم، ۲۰ درصد از چارک سوم و ۱۰ درصد از چارک آخر انجام می‌شود.

جدول ۳-۲- عمق مؤثر ریشه برخی گیاهان در یک خاک عمیق و یکنواخت که دارای آبیاری و زهکشی مناسبی است

| گیاه            | عمق ریشه (متر) | گیاه        | عمق ریشه (متر) | گیاه       | عمق ریشه (متر) |
|-----------------|----------------|-------------|----------------|------------|----------------|
| گندم بهاره و جو | ۴/۵ تا ۵/۵     | بادام       | ۱ تا ۲         | پیاز       | ۳/۶ تا ۶/۶     |
| گندم زمستانه    | ۴/۵ تا ۵/۵     | سیب و گلابی | ۱ تا ۲         | لوبیا سبز  | ۵/۷ تا ۷/۷     |
| ذرت             | ۶/۶            | کیوی        | ۷/۷ تا ۱۳/۳    | سویا       | ۶/۶ تا ۱۳/۳    |
| یونجه           | ۸/۸            | زیتون       | ۱۲/۷ تا ۱۷/۷   | پنبه       | ۱ تا ۱۷/۷      |
| نیشکر           | ۶/۸ تا ۸/۸     | نخل خرما    | ۵/۷ تا ۲۵/۷    | کلزا       | ۱ تا ۱۵/۵      |
| سورگم           | ۱ تا ۲         | هویج        | ۵/۵ تا ۱       | کلم بروکلی | ۴/۶ تا ۶/۶     |
| انگور           | ۱ تا ۲         | سیر         | ۳/۵ تا ۵/۵     | نخود       | ۶/۶ تا ۹/۹     |

منبع: فائو ۵۶، توصیه می‌شود از مقادیر کمینه استفاده شود، چراکه اکثر خاک‌های کشور تکامل یافته نیستند. همچنین بر اساس تجربه نویسندگان عمق ریشه گندم، ذرت، یونجه و نیشکر اصلاح شد.

### ۳-۱۱-رطوبت خاک

رطوبت جرمی خاک نسبت جرم آب موجود در خاک به جرم ذرات خاک خشک بیان می‌شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_s} \quad (۳-۶)$$

که در آن:

$\theta_m$  = رطوبت جرمی به اعشار

$M_w$  = جرم آب موجود در خاک (گرم)

$M_s$  = جرم ذرات خاک خشک (گرم)

اگر به جای جرم آب موجود در خاک حجم آن و به جای جرم ذرات خاک خشک، حجم آن استفاده شود، رطوبت حجمی خاک به دست می‌آید. البته می‌توان با استفاده از جرم ویژه ظاهری خاک و رطوبت جرمی خاک نیز، رطوبت حجمی را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\theta_m = \theta_v \times \rho_b \quad (۳-۷)$$

که در آن:

$\theta_v$  = رطوبت حجمی به اعشار

$\theta_m$  = رطوبت جرمی به اعشار

$\rho_b$  = جرم ویژه ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

### ۳-۱۲- آب کاربردی و طراحی سامانه

تصمیم‌گیری در مورد میزان آبی که یک سامانه باید بتواند در یک دوره معین به گیاه برساند، درنهایت انتخاب ظرفیتی است که در طول عمر سامانه، حداکثر سود را برای کشاورز به همراه خواهد داشت. برای تعیین ظرفیت سامانه آبیاری باید علاوه بر محاسبه مقدار آب مصرفی گیاه در طول فصل آبیاری، بیشینه (اوج یا پیک) مصرف آب را نیز محاسبه کرد. مصرف آب در این دوره اوج، اساس طراحی ظرفیت سامانه آبیاری است.

### ۳-۱۳- مدیریت آب خاک

یک قاعده کلی برای بسیاری از محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک این است که کمبود رطوبت خاک در ناحیه ریشه نباید از ۵۰ درصد از کل ظرفیت نگهداری آب خاک کاهش یابد ( $MAD > 50\%$ ). از آنجاکه بایستی سطح رطوبت خاک با هر آبیاری به ظرفیت مزرعه برگردانده شود، عمق آب اعمال‌شده در هر آبیاری در طول فصل آبیاری ثابت است. این بدان معناست که مدت‌زمان هر آبیاری نیز ثابت است، اگرچه دفعات آبیاری به‌عنوان تابعی از تغییرات میزان مصرف آب توسط گیاه در طول فصل رشد متفاوت است. در مناطق مرطوب، لازم است باران در طول دوره آبیاری مجاز باشد. باین‌حال، محدودیت ۵۰ درصد در کاهش رطوبت خاک باید به‌عنوان یک راهنمای کلی برای گیاهان مدنظر قرار گیرد.

عواملی نظیر مدیریت خاک، مدیریت آب و ملاحظات اقتصادی میزان مصرف آب در هر آبیاری و فاصله آبیاری‌ها را تعیین می‌کند. روش استاندارد طراحی این است که مقدار آب موردنیاز برای پر کردن کل منطقه توسعه ریشه تا ظرفیت زراعی مشخص شود و سپس با در نظر گرفتن تلفات مختلف و نیاز آب‌شویی، قدری به مقدار آب آبیاری افزوده شود. این امر برای اطمینان از تأمین نیاز خالص آبیاری است. رویکرد سنتی در مورد تعداد دفعات آبیاری این بود که عمق آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه گیاه با توجه به میزان مصرف روزانه گیاه، چقدر دوام خواهد آورد. چنین رویکردی تنها به‌عنوان راهنمای نیاز آبیاری مفید است؛ زیرا عوامل زیادی بر حجم آب آبیاری و فاصله آبیاری‌ها تأثیرگذارند.

جدول (۳-۳) به‌عنوان راهنمای انتخاب حداکثر کاهش مناسب رطوبت خاک یا کمبود مجاز مدیریتی، برای تولید تقریباً مطلوب محصولات مختلف ارائه شده است. همان‌طور که نشان داده شده است، برای محصولاتی که ارزش بازار بالایی دارند، آبیاری قبل از این که ۵۰ درصد رطوبت خاک در ناحیه ریشه تخلیه شود، بایستی انجام شود.

جدول ۳-۳- راهنمای تعیین تخلیه مجاز مدیریتی (MAD) برای گیاهان مختلف

| نوع گیاه و عمق ریشه                                            | تخلیه مجاز مدیریتی (MAD) بر حسب درصد |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| گیاهان بالارزش، سبزی‌ها و گیاهان با ریشه کم عمق                | ۴۰-۲۵                                |
| درختان، تاکستان، انواع توت‌ها و گیاهان ردیفی با عمق ریشه متوسط | ۵۰-۴۰                                |
| گیاهان علوفه‌ای، غلات و گیاهان ردیفی با عمق ریشه متوسط         | ۵۰                                   |

### ۳-۱۴- عمق آب آبیاری

حداکثر عمق خالص آب مورد نیاز برای آبیاری،  $dx$ ، برابر با حداکثر تخلیه مجاز آب خاک بین دو آبیاری است و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$d_x = \frac{MAD}{100} W_a Z \quad (۳-۸)$$

که در آن:

$dx$ : حداکثر عمق خالص آبی که باید در هر آبیاری اعمال شود (بر حسب میلی‌متر).

MAD: تخلیه مجاز مدیریتی که در جدول ۳-۳ آمده است (بر حسب میلی‌متر در متر).

$W_a$ : ظرفیت نگهداشت آب در خاک که در جدول ۳-۱ آمده است (بر حسب میلی‌متر در متر).

$Z$ : عمق مؤثر ریشه که در جدول ۳-۲ آمده است (بر حسب متر).

### ۳-۱۵- فواصل آبیاری

فاصله آبیاری مناسب، یعنی زمانی که باید بین شروع دو آبیاری متوالی بگذرد،  $f'$ ، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$f' = \frac{d_n}{U_d} \quad (۳-۹)$$

$f'$ : فاصله دو آبیاری یا دور آبیاری (روز)

$d_n$ : عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)

$U_d$ : نیاز آبی روزانه (میلی‌متر در روز)

مقدار انتخاب شده برای  $d_n$  بستگی به طراحی سامانه آبیاری و عوامل محیطی دارد و باید برابر یا کمتر از  $dx$  باشد. وقتی  $d_n$  در معادله (۳-۹) با  $dx$  جایگزین می‌شود،  $f'$  به حداکثر فاصله بین دو آبیاری،  $f_x$ ، تبدیل می‌شود.

### ۱۳-۱۶- جذب و تبخیر

جذب آب برای رشد و نمو گیاه و حفظ آماس سلول‌های گیاهی ضروری است. گیاه بخش زیادی از آبی که جذب کرده در فرایند تعرق از دست می‌دهد؛ بنابراین، باید مجدد معادل آبی که از دست داده جذب کند. خروج بخار آب از طریق روزنه‌های برگ یک اختلاف پتانسیل ایجاد می‌کند که محرک جذب مجدد و مداوم آب از طریق ریشه می‌شود. به این نوع جذب توسط گیاه، جذب غیرفعال می‌گویند. گیاه شیوه دیگری نیز برای جذب آب دارد که به آن جذب فعال می‌گویند، چراکه گیاه، برخلاف شیوه جذب غیرفعال، برای جذب آب انرژی مصرف می‌کند. گیاه با صرف انرژی پتانسیل اسمزی منفی در ریشه ایجاد می‌کند و آب از خاک به درون ریشه وارد می‌شود.

### ۳-۱۷- نیاز آبی

آبی که گیاه از طریق تبخیر-تعرق از دست داده است باید از طریق آبیاری یا بارندگی جبران شود، در غیر این صورت گیاه دچار تنش آبی شده و در صورت تداوم این وضعیت گیاه دچار آسیب و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد. برای مدیریت مناسب آبیاری باید تبخیر-تعرق گیاه را به درستی تخمین زد تا ضمن تأمین آن از هدر رفت آب جلوگیری شود. تبخیر-تعرق گیاه را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

(۳-۱۰)

که در آن:

$ET_c$  = تبخیر-تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)

$K_c$  = ضریب گیاهی

$ET_o$  = تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر)

### ۳-۱۸- تنش آبی

تنش آبی زمانی رخ می‌دهد که گیاه نتواند آب کافی برای برآورده کردن نیازهای فیزیولوژیکی خود جذب کند، که این امر معمولاً به دلیل کمبود آب در خاک یا افزایش تبخیر و تعرق اتفاق می‌افتد. این شرایط منجر به اختلال در فرایندهای حیاتی گیاه مانند فتوسنتز، انتقال مواد غذایی و تقسیم سلولی می‌شود. در پاسخ به تنش آبی، گیاهان ممکن است فرایندهای دفاعی مختلفی از جمله بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و تجمع ترکیبات محافظ مانند پرولین و قندهای محلول را فعال کنند. باین حال، اگر تنش آبی شدید یا طولانی‌مدت باشد، می‌تواند باعث کاهش رشد، کاهش عملکرد محصول و در موارد شدید، مرگ گیاه شود. بررسی پاسخ گیاهان به تنش آبی و شناسایی ژن‌ها و



مسیرهای متابولیکی مرتبط با تحمل خشکی، نقش مهمی در توسعه ارقام مقاوم به خشکی و بهبود مدیریت آبیاری ایفا می‌کند.

### ۳-۱۹- تحمل و مقاومت گیاهان به مقادیر مختلف کمبود آب

گیاهان در مواجهه با کمبود آب، فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی را برای تحمل و مقاومت در برابر تنش آبی توسعه می‌دهند. این فرایندها شامل تنظیم اسمزی، تجمع ترکیبات محافظ (مانند پرولین و گلیسین بتائین) و تغییر در ساختار برگ‌ها (مانند کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت کوتیکول) است. برخی گیاهان، مانند گونه‌های مقاوم به خشکی، توانایی بالایی در حفظ آب از طریق کاهش تعرق و افزایش کارایی مصرف آب دارند. همچنین، گیاهان حساس به خشکی ممکن است به تنش آبی با کاهش رشد، زودرسی یا حتی مرگ سلولی پاسخ دهند. تنوع ژنتیکی درون گونه‌های گیاهی نقش کلیدی در تعیین سطح تحمل به کمبود آب ایفا می‌کند، که این امر می‌تواند در برنامه‌های اصلاح نباتات برای توسعه ارقام مقاوم به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. درک این فرایندها نه تنها به بهبود مدیریت آبیاری کمک می‌کند، بلکه راهکارهایی برای افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تغییرات اقلیمی ارائه می‌دهد.

### ۳-۲۰- مفاهیم کلی طراحی

طراحی سامانه آبیاری بارانی یک فرایند ترکیبی است که در آن ویژگی‌هایی نظیر سرعت نفوذ آب در خاک، نیاز آبی گیاه، قطر و طول لوله‌ها، ویژگی‌های پمپ و... برای ایجاد یک سامانه آبیاری کارآمد در کنار هم دیده شوند. هنر یک مهندس طراح آن هست که با شناخت کامل از انواع روش‌های آبیاری بارانی روزآمد و با توجه به شرایط محلی بهترین گزینه را انتخاب، طراحی و اجرا کند. همچنین یک برنامه مناسب برای بهره‌برداری از سامانه آبیاری در اختیار کشاورز قرار دهد. اولین دستورالعمل در کسب مهارت‌های طراحی، آشنایی با سامانه‌های آبیاری در حال کار، بازدید از سامانه‌های مناسب و نامناسب و مشاهده چگونگی و علت موفقیت یا عدم موفقیت آن‌ها است. همچنین، در بررسی سامانه‌های موجود، مهم است که به راه‌هایی برای بهبود عملکرد سامانه در محل فعلی آن و همچنین راه‌هایی برای تنظیم سامانه برای برآوردن سایر شرایط در نظر گرفته شود. نصب سامانه آبیاری در یک محل نه تنها نیاز به دانش در مورد سامانه‌های آبیاری دارد، بلکه نیاز به توانایی تجزیه و تحلیل اطلاعات منطقه نیز دارد. تجزیه و تحلیل دقیق اطلاعات محل اجرا، منجر به درک منابع فیزیکی و اجتماعی می‌شود و تعیین می‌کند که با یک سامانه آبیاری پیشنهادی می‌توان چه اهدافی را پیگیری کرد. در این مرحله، هنر طراحی آبیاری مطرح می‌شود؛ زیرا طراح یک سامانه را متناسب با منابع موجود انتخاب کرده و متناسب با اهداف پروژه تنظیم می‌کند. اگر این طرح اول

رضایت‌بخش نباشد، طراح باید انتخاب دیگری را امتحان کند تا زمانی که طرحی متناسب با منابع و نیازهای کشاورز و همچنین سایر اهداف پروژه پیدا شود.

یکی از کلیدهای طراحی موفق، توانایی اتخاذ پیش‌فرض‌های واقع‌بینانه در مواردی است که اطلاعات لازم در دسترس نیست. با تجربه و قضاوت درست، می‌توان طرح‌های خوبی را تدوین کرد، حتی اگر اطلاعات دقیقی از خاک و یا سایر داده‌ها در دسترس نباشد. با این وجود، هرچه میزان اطلاعات معتبر برای تدوین یک طرح بیشتر استفاده شود، خطر عدم موفقیت طرح در برآوردن انتظارات کمتر خواهد بود.

قبل از پرداختن به جزئیات طراحی سامانه آبیاری، می‌خواهیم یک سامانه ساده آبیاری بارانی را با یک سامانه آبیاری قطره‌ای مقایسه کنیم تا ببینیم چگونه از داده‌های آب‌وهوا، محصول و خاک در طراحی استفاده می‌شود. هر دو سامانه برای یک مزرعه مسطح و به شکل مربع به طول ۴۰۰ متر اجرا می‌شوند.

**مثال:** مزرعه‌ای مربعی شکل با طول ضلع ۴۰۰ متر را در نظر بگیرید. مزرعه زیر کشت سویاست. نیاز آبی روزانه ۵ میلی‌متر است. ظرفیت نگهداشت آب در خاک ۱۵۰ میلی‌متر در متر است. عمق ریشه یک متر است.

با توجه به جدول (۳-۳)، تخلیه مجاز مدیریتی ۵۰ درصد است. حداکثر عمق آبیاری به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$d_x = 0.5 \times 150 \times 1 = 75 \text{ mm}$$

$$f_x = 75 \div 5 = 15 \text{ روز}$$

از آن‌جا که کارگران این منطقه دوست دارند روزهای جمعه را تعطیل کنند و چون خرابی سامانه همیشه امکان‌پذیر است، این سامانه طوری طراحی می‌شود که آب موردنیاز برای آبیاری ۱۵ روزه را در ۱۲ روز کارکرد اعمال کند. با فرض این که لوله‌های لترال دو بار در روز جابه‌جا شوند، در مجموع ۲۴ جابه‌جایی در ۱۲ روز آبیاری انجام می‌شود و هر حرکت ۱۶/۷ متر را پوشش می‌دهد.

محاسبات فوق، برنامه زمانی کار سامانه در زمان اوج مصرف را در اختیار ما قرار داده است. با داشتن سطح زیر کشت، میزان مصرف آب برای منطقه طراحی تعیین می‌شود. با منظور کردن تلفات، میزان آب آبیاری تعیین می‌شود. در این حالت، با فرض راندمان کلی انتقال آب و کاربرد ۷۵ درصد، جریان لازم به شرح زیر است:

$$(400 \text{ m} \times 400 \text{ m} \times (5 \text{ mm/day} \div 1000)) \div 0.75 = 1066.7 \text{ m}^3/\text{day} = 44.4 \text{ m}^3/\text{hr}$$

اگر مدت‌زمان آبیاری ده ساعت و زمان لازم برای جابه‌جایی لوله لترال بعد از هر آبیاری یک ساعت باشد، این سامانه در طول ۱۲ روز کارکرد فقط ۲۲ ساعت در روز یا  $22 \times 12 = 264$  ساعت از

کل  $24 \times 15 = 360$  ساعت در ۱۵ روز کار می‌کند. فاصله آبیاری روزانه این کاهش در زمان کارکرد واقعی، میزان جریان موردنیاز را افزایش می‌دهد:

$$(360 \text{ hr} \div 264 \text{ hr}) \times 44/4 \text{ m}^3/\text{hr} = 60/5 \text{ m}^3/\text{hr}$$

اگر از ۳۳ آبپاش با فاصله ۱۲/۱ متر از یکدیگر استفاده شود، متوسط دبی آبپاش برابر خواهد بود با:

$$(60/5 \text{ m}^3/\text{hr}) \div 33 = 1/83 \text{ m}^3/\text{hr}$$

**مثال:** یک باغ سیب با شکل مربعی به طول ضلع ۴۰۰ متر دارای درختان سیب با فواصل  $5 \times 4$  متر است. میزان تبخیر-تعرق در این باغ ۵ میلی‌متر در روز است. داده‌های موردنیاز طراحی را محاسبه کنید.

باغ با سامانه آبیاری بارانی می‌شود. لوله‌های لترال دارای فاصله پنج‌متری هستند. فاصله آبپاش‌ها دو متر است؛ بنابراین هر درخت توسط دو آبپاش آبیاری می‌شود. متوسط میزان آب کاربردی در دوره اوج مصرف ۵ میلی‌متر در روز است؛ بنابراین هر درخت  $5 \times 4 = 20$  لیتر در روز یا ۴/۲ لیتر در ساعت آب دریافت می‌کند. اگر راندمان کاربرد و انتقال ۷۰ درصد باشد، سامانه باید دبی  $6 = 4/2 \div 0.7$  لیتر در ساعت برای هر درخت تأمین کند یا به عبارتی برای ۸۰۰۰ درخت سامانه باید ۴۸ مترمکعب در ساعت تأمین کند. معمولاً سامانه آبیاری بارانی ۹۰ درصد ساعات شبانه‌روز کار می‌کند و ده درصد باقی‌مانده ساعات شبانه‌روز به استراحت و تعمیرات احتمالی اختصاص دارد؛ بنابراین کل جریان سامانه به  $53/3$  مترمکعب در ساعت افزایش می‌یابد.

هنوز برای تکمیل این طراحی نیاز به محاسبات هست. فشار کاری سامانه، قطر لوله و آبپاش بایستی انتخاب شود. این جنبه‌های طراحی بعداً در کتاب موردبررسی قرار می‌گیرد.

### ۳-۲۱- مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری

به‌طور کلی، سامانه‌های آبیاری طوری طراحی شده‌اند که نیازهای متوسط مصرف آب را برآورده کنند. گاهی اوقات، برای کاهش هزینه‌ها یا به دلیل محدودیت منابع آب در دسترس، سامانه آبیاری برای بهینه‌سازی تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی طراحی شده‌اند. در چنین مواردی می‌توان سامانه‌هایی را طراحی کرد که فقط حدود ۸۰ درصد از نیازهای اوج مصرف آب را تأمین کرده و همچنان تا ۹۵ درصد عملکرد مطلوب گیاه را به دست آورد. برای گیاهان با ریشه عمیق در خاک‌های با ساختمان مناسب، می‌توان مقدار قابل توجهی آب را قبل از دوره‌های حساس اوج مصرف ذخیره کرد. با استفاده از این آب ذخیره‌شده، می‌توان حداکثر نیاز سامانه را بدون کاهش پتانسیل عملکرد کاهش داد.

## ۳-۲۲- کنترل شوری

تمام آب‌های آبیاری حاوی مقداری نمک محلول هستند که همراه با آب آبیاری وارد منطقه توسعه ریشه گیاه می‌شوند. با استفاده از آب آب‌شویی، اکثر نمک‌ها را می‌توان به زیر ناحیه ریشه رانده یا شست‌وشو داد. برای محاسبه آب آب‌شویی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \quad (۳-۱۱)$$

که در آن:

LR=نیاز آب‌شویی برای آبیاری بارانی

$EC_w$ =هدایت الکتریکی آب آبیاری برحسب dS/m یا mmhos/cm

$EC_e$ =هدایت الکتریکی اشباع خاک برحسب dS/m یا mmhos/cm

توصیه می‌شود که مقدار  $EC_e$  ارائه شده در جدول (۳-۴) در معادله ۳-۱۱ استفاده شود. این‌ها مقادیری هستند که تقریباً باعث کاهش ۱۰ درصدی محصول می‌شوند که توسط آیرز و وسکات (۱۹۸۵) ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۴- مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک،  $EC_e$ ، که باعث ۱۰ درصد افت عملکرد می‌شود

| گیاه      | $EC_e$<br>dS/m | گیاه        | $EC_e$<br>dS/m | گیاه       | $EC_e$<br>dS/m |
|-----------|----------------|-------------|----------------|------------|----------------|
| گندم      | ۷/۴            | بادام       | ۲              | پیاز       | ۷/۸            |
| جو        | ۱۰             | سیب و گلابی | ۲/۳            | لوبیا      | ۷/۵            |
| ذرت       | ۲/۵            | شیدر        | ۲/۳            | سویا       | ۵/۵            |
| یونجه     | ۳/۴            | زیتون       | ۳/۸            | پنبه       | ۹/۶            |
| چغندر قند | ۸/۷            | نخل خرما    | ۶/۸            | سیب زمینی  | ۲/۵            |
| سورگم     | ۵/۱            | هویج        | ۷/۷            | کلم بروکلی | ۳/۹            |
| انگور     | ۲/۵            | گوجه فرنگی  | ۳/۵            | کاهو       | ۲/۱            |

منبع: آیرز و وسکات (۱۹۸۵)

**مثال:** مزرعه تحت کشت ذرت با سامانه آبیاری قرقه‌ای آبیاری می‌شود. هدایت الکتریکی آب آبیاری ۲ dS/m است. میزان آب آب‌شویی را محاسبه کنید.

با توجه به جدول ۳-۴ برای ذرت  $EC_e=۲/۵$  dS/m است. بنابراین:

$$LR = ۲ \div (۵ \times ۲/۵ - ۲) = ۱۹$$

یعنی باید ۱۹ درصد به عمق آب آبیاری برای تأمین نیاز آب‌شویی افزوده شود.

در شرایط آبیاری کامل، اگر نیاز آب‌شویی محاسبه‌شده کمتر از ۱۰ درصد باشد، تلفات نفوذ عمقی، حتی در بیشتر مناطق کم آب، به‌طور معمول برای تأمین نیاز آب‌شویی کافی خواهد بود. اگر محاسبات عمق آب آبیاری و نیاز آب‌شویی به‌درستی انجام نشوند، یا برنامه آبیاری مناسبی اعمال نشود و یا یکنواختی پخش سامانه آبیاری مناسب نباشد، مازاد آب آبیاری سبب ایجاد مشکل ماندابی و عدم تهویه مناسب خاک خواهد شد. در این حالت باید آب اضافی را دفع کرد. تخلیه آب اضافی از خاک و انتقال آن به یک مخزن برای استفاده مجدد یا دفع آن به‌اندازه آبیاری مهم است. در حقیقت، زهکشی طبیعی یا مصنوعی برای حفظ پایداری تولید کشاورزی آبی ضروری است. بدون آن، نمک‌ها در خاک انباشته می‌شود تا برای رشد گیاه سمی شود و سطح آب بالا می‌رود و به معنای واقعی کلیه گیاهان را دچار خفگی می‌کند. علاوه‌براین، حاصلخیزی و قابلیت تولید خاک ممکن است به‌شدت آسیب ببیند و احتیاج به احیای مجدد داشته باشد تا دوباره توان تولید محصول را داشته باشد.

### ۳-۲۳- عمق آب آبیاری و فواصل آبیاری

برای سامانه‌های آبیاری بارانی، مطلوب است که فاصله آبیاری‌ها تا حد امکان زیاد باشد تا هزینه کارگری کاهش یابد. برای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و سنتریوت، درجه خودکارسازی سامانه به‌طور کلی به‌اندازه کافی بالا است که هزینه‌های نیروی کار در تعیین دفعات آبیاری ملاک اصلی نباشد. در این شرایط، می‌توان دور آبیاری را به‌گونه‌ای انتخاب کرد که با توجه به محدودیت‌های فیزیکی سامانه، محیط مطلوبی را برای رشد گیاه فراهم کند.

سامانه‌های آبیاری معمولاً به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که دبی، عمق آب کاربردی و دفعات آبیاری آن‌ها نیاز آبی را در دوره اوج مصرف برآورده سازد. به همین دلیل این سامانه‌ها باید به شکلی مدیریت شوند تا از هدر رفتن آب در دوره‌های دیگر فصل رشد گیاه، زمانی که نیاز آبی کمتر است، جلوگیری شود. این امر مستلزم برنامه‌ریزی آبیاری است تا شرایط موردنیاز برای محصول مناسب باشد. اگر سامانه‌های آبیاری با استفاده از ظرفیت کامل طراحی سامانه اجرا شوند، آب، نیروی کار و انرژی در آغاز و پایان فصل و همچنین در مواقع بارندگی، هدر می‌رود. علاوه‌براین، در مراحل اولیه رشد گیاه، زمانی که ریشه‌ها کم‌عمق هستند، ممکن است آبیاری سبک بیشتر موردنیاز باشد. آبیاری را می‌توان با در نظر گرفتن بیلان آب در خاک بر اساس برآورد تبخیر-تعرق یا پایش نمایه‌های خاک نظیر رطوبت خاک و مکش خاک، نمایه‌های گیاه نظیر دمای پوشش سبز گیاه، ظرفیت آب برگ و قطر ساقه و نمایه‌های اقلیمی نظیر دمای هوا و رطوبت هوا برنامه‌ریزی کرد.

### ۳-۲۴- نفوذپذیری خاک

یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک در ارتباط با طراحی آبیاری بارانی، نفوذپذیری خاک است. طبق تعریف، ورود آب از سطح خاک به داخل خاک نفوذ نامیده می‌شود. سرعت نفوذ آب در خاک روی شدت پخش آب در آبیاری بارانی تأثیر دارد و حتی می‌تواند در فرایند انتخاب نوع سامانه آبیاری بارانی مؤثر باشد. با توجه به این که حرکت آب در خاک در آبیاری بارانی معمولاً یک‌بعدی است، بنابراین می‌توان از روش‌هایی نظیر استوانه‌های مضاعف به منظور تعیین ویژگی‌های نفوذپذیری خاک استفاده کرد. همچنین در ادامه یک روش اختصاصی آبیاری بارانی با استفاده از یک آبپاش شرح داده می‌شود.

#### ۳-۲۴-۱- تعیین ویژگی‌های نفوذپذیری خاک در آبیاری بارانی

تعیین سرعت نفوذ نهایی خاک و همچنین تعیین مدت‌زمان لازم برای رسیدن به آن در طراحی سامانه آبیاری بارانی ضروری است؛ بنابراین بایستی ویژگی‌های نفوذ خاک تحت آبیاری بارانی تعیین شوند. هرچند ورود آب به خاک در آبیاری بارانی مانند آبیاری سطحی یک‌بعدی و در راستای قائم است، ولی در آبیاری بارانی، قطرات آب با دارا بودن انرژی جنبشی و پس از طی کردن مسیر خود به سطح خاک برخورد می‌کنند؛ بنابراین ماهیت نفوذ در آبیاری بارانی با آبیاری سطحی متفاوت است. با در نظر گرفتن این تفاوت، بهتر است از روشی برای تعیین ویژگی‌های نفوذ خاک استفاده شود که ماهیت آن مشابه آبیاری بارانی باشد. در ادامه روش کاربردی تک آبپاش برای تعیین ویژگی‌های نفوذ خاک توضیح داده می‌شود.

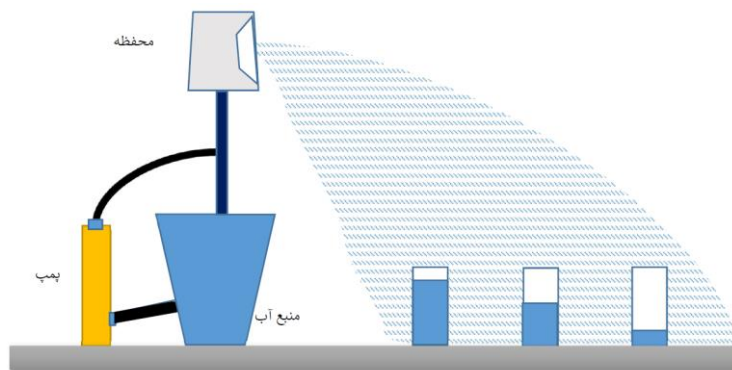
توزیع آب در دایره پاشش دارای الگوی شبه مثلی است. یعنی اگر از مرکز دایره پاشش یک تک آبپاش در حال کار در راستای یک شعاع به سمت بیرون دایره پاشش حرکت کنیم، شدت پخش به تدریج کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. بیشترین مقدار شدت پخش در مرکز دایره پاشش خواهد بود. معمولاً در کاتالوگ یک آبپاش یک عدد ثابت که متوسط شدت پخش در دایره پاشش است، به عنوان شدت پخش آورده می‌شود. در ادامه با روش میدانی تعیین شدت پخش آبپاش آشنا می‌شویم. با توجه به مشکلات تأمین حجم آب بالای موردنیاز برای اجرای آزمایش، یک محفظه روی آبپاش قرار می‌گیرد تا فقط در یک راستای مشخص که باران‌سنج‌ها نصب شده‌اند، آب پخش شود (شکل ۳-۲). آبی که در سایر جهات پخش می‌شود با برخورد به محفظه به داخل منبع آب برمی‌گردد تا برای تأمین آب موردنیاز آبپاش مجدداً مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت کار پایش وضعیت نفوذ آب در خاک نیز با سهولت بیشتری انجام می‌شود.

در مزرعه‌ای که قرار است برای آن سامانه آبیاری بارانی طراحی شود، یک تک‌آپاش نصب می‌کنیم. در راستای شعاع پرتاب از محل قرارگیری آپاش تا حداکثر مقدار شعاع پرتاب، تعدادی باران-سنگ بافاصله یک متر نصب می‌شوند. آپاش در شرایط بدون باد یا باد ملایم شروع به کار می‌کند. با شروع کار آپاش، مقداری آب در باران‌سنگ‌ها جمع می‌شود. با توجه به الگوی پخش مثلی مقدار آب جمع شده در باران‌سنگ‌ها متفاوت است و هر چه از محل آپاش به سمت بیرون حرکت کنیم از مقدار آب جمع شده در باران‌سنگ‌ها کاسته می‌شود.

بعد از حداقل یک ساعت از شروع آزمایش (تا چند ساعت برای خاک‌های با نفوذپذیری بالا)، اگر از بیرون دایره پاشش در راستای باران‌سنگ‌های نصب شده به سمت آپاش حرکت کنیم و وضعیت نفوذ آب به خاک را به صورت چشمی بررسی کنیم، معمولاً به منطقه‌ای خواهیم رسید که خاک به حالت اشباع رسیده است و خاک حالت براق و شفاف دارد. در این منطقه هر مقدار آبی که فرومی‌ریزد به داخل خاک نفوذ می‌کند. به عبارتی دیگر شدت پخش برابر سرعت نفوذ نهایی خاک است. اگر حجم آب جمع شده در باران‌سنگ واقع شده در این منطقه را بر مدت زمان کارکرد آپاش تقسیم کنیم، شدت پخش آب یا سرعت نهایی نفوذ خاک به دست می‌آید. هر چند این روش کاربردی، ساده و ارزان قیمت است ولی توانایی شبیه‌سازی همپوشانی آپاش‌ها را ندارد.

### ۳-۲۵- شیب زمین

شیب اصلی زمین، طولانی‌ترین شیب قطعه زمین است و به شیب عمود بر آن شیب فرعی گفته می‌شود. بهترین شیب برای اجرای سامانه آبیاری بارانی شیب کمتر از دو درصد است. البته سامانه‌های آبیاری بارانی در زمین‌های با شیب ۱۵ تا ۲۵ درصد نیز اجرا می‌شوند. برای سامانه‌های آبیاری بارانی که متحرک هستند رعایت حداکثر شیب تا ۱۵ درصد توصیه می‌شود.



شکل ۳-۲- مجموعه تک‌آپاش برای تعیین سرعت نفوذ نهایی خاک

### ۳-۲۶- آزمایش‌های آب و خاک در پروژه‌های آبیاری بارانی

قبل از اجرای یک پروژه آبیاری بارانی بایستی ویژگی‌های خاک و آب آبیاری تعیین شود. توصیه می‌شود که ویژگی‌های خاک نظیر بافت، عمق، نفوذپذیری، درصد گچ، اسیدیته، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، هدایت الکتریکی، عصاره اشباع، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با تعیین در محل پروژه یا نمونه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شوند.

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب آبیاری نیز باید تعیین شود. پس از نمونه‌برداری از منبع آب آبیاری، تعیین برخی ویژگی‌های آب شامل: اسیدیته، هدایت الکتریکی، کلر، بر، کربنات، بی‌کربنات، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، نسبت جذب سدیم و سختی آب توصیه می‌شود. تحلیل کیفیت آب آبیاری بر اساس دستورالعمل‌های معتبر نظیر فائو انجام می‌شود. در این خصوص توجه به حساسیت‌های گیاه تحت آبیاری ضروری است. مثلاً اندام هوایی برخی گیاهان نظیر سیب به میزان بالایی به در آب حساسیت دارد و دچار سوختگی برگ می‌شود.





## فصل چهارم

تجربیات داخلی و خارجی بهره‌برداری

از شبکه‌های آبیاری بارانی در شرایط گرم و خشک

#### ۴-۱- مقدمه

عدم استفاده صحیح از منابع آب و پایین بودن راندمان آبیاری از مهم‌ترین مسائل و مشکلات مربوط به بخش آب در کشور است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک عدم تعادل شدیدی بین بارندگی و تبخیر و تعرق وجود دارد و رقابت شدیدی بین تقاضای آب کشاورزی، صنعتی و بخش‌های آب شهری دیده می‌شود؛ لذا استفاده بهینه از منابع آب در این مناطق برای دستیابی به توسعه پایدار اجتناب‌ناپذیر است. آبیاری بارانی یکی از روش‌های مدرن آبیاری تحت فشار است که به‌عنوان سامانه‌ای با پتانسیل دستیابی به بهره‌وری بالای آب مطرح است و می‌تواند باعث توسعه یا احیای اراضی کشاورزی گردد. متأسفانه با گذشت چند دهه از اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در کشور هنوز راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب در این سامانه‌ها پایین است و این امر بر کارایی کاربرد سیستم و عملکرد محصول تأثیرگذار است. از مهم‌ترین عوامل پایین بودن راندمان و یکنواختی در سامانه‌های آبیاری بارانی می‌توان به عدم طراحی و اجرای صحیح این سامانه‌ها، عدم برنامه صحیح آبیاری متناسب با عوامل آب، خاک، گیاه و اقلیم و همچنین عدم نظارت کافی و مؤثر بر بهره‌برداری اشاره کرد.

شناخت مسائل مربوط به سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده ضرورتی است که باعث شناخت نواقص کار و ایجاد دید بهتری در راستای اصلاح آن شده و منجر به ارائه راهکارهایی جهت توسعه و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. در این راستا با توجه به نتایج تجربیات عملی کاربرد سامانه‌های آبیاری بارانی در سطوح ملی و بین‌المللی می‌توان دلایل موفقیت یا عدم موفقیت سامانه‌ها را تعیین و در راستای افزایش بهره‌وری آن‌ها گام‌های صحیح برداشت.

با توجه به گستردگی مسائل و موضوعات مربوط به سامانه‌های آبیاری بارانی، در این فصل تجربیات مرتبط با مهم‌ترین مسائل سامانه‌های بارانی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سه بخش تبخیر و بادبردگی، شوری خاک و شوری آب آبیاری جمع‌بندی و ارائه گردیده است.

#### ۴-۲- تبخیر و بادبردگی

آب خروجی از یک آبپاش در سیستم آبیاری بارانی به علت تحت فشار بودن به قطرات ریز تبدیل شده و تا رسیدن به سطح زمین تحت تأثیر عوامل جوی قرار می‌گیرد. تعدادی از این قطرات در اثر باد از منطقه تحت آبیاری خارج شده و بخشی از قطرات باقی‌مانده نیز تبخیر می‌شوند، هدر رفت آب بدین‌صورت تلفات محسوب شده و باعث کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری بارانی می‌شود. به جزء اول از این تلفات، تلفات ناشی از باد یا بادبردگی و به جزء دوم تلفات تبخیری و به مجموع آن دو تلفات پاششی یا تلفات تبخیر و بادبردگی گفته می‌شود. از آنجایی که نواحی

مختلف ایران دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است، به دست آوردن میزان واقعی تلفات تبخیر و بادبردگی و درک صحیح از فاکتورهای مؤثر بر این تلفات به‌منظور کاهش اثرات این عوامل و مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است.

#### ۴-۲-۱- تجربیات داخلی و خارجی

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه میزان تلفات بادبردگی و تبخیر در هنگام پخش آب در آبیاری بارانی بر اساس روش‌های مزرعه‌ای، آزمایشگاهی و تحلیلی انجام گرفته است. اولین تحقیق در این زمینه را در سال ۱۹۵۵ فراست و شوالن انجام دادند. این دو محقق با استفاده از نتایج ۷۰۰ آزمایش که در شرایط مختلف اقلیمی بر اساس پارامترهای درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار آبپاش و اندازه نازل انجام شده بود، دریافتند که میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، با سرعت باد و فشار آب رابطه مستقیم و با رطوبت نسبی و اندازه قطر نازل رابطه عکس دارد. تریمر (۱۹۸۷) روی نمودار فراست و شوالن تجزیه و تحلیل‌های زیادی انجام داد و سرانجام مطالعات او منجر به ارائه معادله‌ای شد که با استفاده از آن می‌توان میزان تلفات تبخیر و باد را تخمین زد. معادله تریمر و برخی دیگر از محققین در جدول (۴-۱) ارائه شده است. پلاین و همکاران (۲۰۰۵) نیز ضمن ارائه مدلی برای برآورد میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، عوامل به کار گرفته شده جهت برآورد میزان تلفات در برخی از مهم‌ترین مدل‌های پیشنهادی محققان مختلف را به‌صورت جدول (۴-۲) ارائه نمودند. میزان تلفات تبخیر و بادبردگی با توجه به تحقیقات یازار (۱۹۸۴)، ۲ تا ۴۰ درصد و بر اساس تحقیقات اسپارژتون و همکاران (۱۹۸۳) در مناطق گرم و خشک حدود ۳۰ درصد گزارش شده است و در این پژوهش‌ها عامل باد نقش بسیار مؤثری بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی داشته است.

جدول ۴-۱- فرمول‌های تجربی تلفات تبخیر و بادبردگی

| مدل                     | فرمول تجربی                                                                                        |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تریمر (۱۹۷۸)            | $Ls = (7.198 D^{-0.77} + 0.22(es - ea)^{0.63} + 3/6 \times 10^{-4} P^{0.16} + 0.4 W^{-0.7})^{0.2}$ |
| تارجلو و همکاران (۲۰۰۰) | $Ls = 0.007 P + 7/38 (es - ea)^{0.5} + 0.844 W$                                                    |
| فاسی و همکاران (۲۰۰۱)   | $Ls = 0.74 D + 2/58 W + 0.47 T$                                                                    |
| دکمی و همکاران (۲۰۰۳)   | $Ls = 7/479 + 5/28 W$                                                                              |
| پلاین و همکاران (۲۰۰۵)  | $Ls = 1/55 + 1/13 W$                                                                               |

$Ls$  = تلفات تبخیر و بادبردگی،  $D$  = قطر نازل برحسب mm،  $(es - ea)$  = کمبود فشار بخار اشباع برحسب kPa،  $W$  = سرعت باد برحسب m/s،  $ET$  = تبخیر و تعرق برحسب mm،  $CI$  = شاخص درشتی،  $P$  = فشار کارکرد برحسب kPa،  $T$  = دمای هوا برحسب سلسیوس

جدول ۴-۲- عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی از نظر محققین مختلف

| نام پژوهش‌گران   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | متغیرهای هواشناسی |   |         |    |   |   |   |   | متغیرهای سامانه |         |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------|---|---------|----|---|---|---|---|-----------------|---------|--|--|
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ET <sub>0</sub>   | R | (es-ea) | RH | T | U | P | h | Ddrop           | Dnozzle |  |  |
| فراست وشوالن     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   | +       | -  | + | + | + |   |                 | -       |  |  |
| سگینر            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   | + |         | -  | + | + |   |   |                 |         |  |  |
| هرمسمایر         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         | -  | + | + |   | + |                 |         |  |  |
| یازار            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   | +       |    |   | + | + |   |                 |         |  |  |
| ادلینگ           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         |    |   | + |   | + | -               |         |  |  |
| تریمر            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   | +       |    |   | + | + |   |                 | -       |  |  |
| کلر و بلیسنر     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | +                 |   |         |    |   | + | + |   |                 | -       |  |  |
| فاسی و برکرو     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         |    |   | + |   |   |                 |         |  |  |
| تارجلو           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         | -  | + | + |   |   | -               |         |  |  |
| سیلوا و جیمز     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         | -  | + | + |   |   |                 |         |  |  |
| مونتر و          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   | +       |    |   | + | + |   |                 |         |  |  |
| تارجلو و همکاران |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   | + |         |    |   | + | + | + | -               |         |  |  |
| فاسی و همکاران   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         |    |   | + | + |   |                 | -       |  |  |
| پلاین و همکاران  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                   |   |         |    |   | + |   |   |                 |         |  |  |

کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) اندازه ذرات آب را یکی از عوامل مؤثر در میزان تلفات بادبردگی و تبخیر دانسته‌اند. کینکید و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که تلفات تبخیر و باد بردگی در آبیاری عمدتاً بستگی به نوع آبپاش و اندازه قطر نازل دارد. تارجلو و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که فشار کارکرد آبپاش، رطوبت هوا و سرعت باد بر تلفات تبخیر و باد مؤثرند.

مونتر و همکاران (۲۰۰۳) با در نظر گرفتن تیمارهای مختلف نظیر نوع آبپاش، اندازه و تعداد نازل‌ها، فشار آب و ارتفاع پایه آبپاش با استقرارهای متفاوت آبپاش‌ها و شرایط مختلف جوی، سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع محیط را از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و باد دانستند. همچنین این محققین در سال ۲۰۰۳ دریافتند که قطرات درشت مقاومت بیشتری در برابر حرکت توده‌هوا از خود نشان می‌دهند و با افزایش فشار کارکرد، قطر قطرات کاهش یافته و باعث افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی می‌شود.

شیخ اسماعیلی (۱۳۹۱) در تحقیقات خود دریافت که سرعت باد، درجه حرارت هوا و کمبود فشار بخار اشباع محیط از مهم‌ترین پارامترهای جوی مؤثر بر میزان تلفات تبخیر و باد است. سانچز و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که سرعت باد و دما از اصلی‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تلفات تبخیر و باد است. اما باوی (۱۳۸۷) و رحمت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که کمبود فشار بخار اشباع

محیط و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و باد هستند و نسبت به سایر پارامترهای جوی همبستگی بیشتری با میزان تلفات تبخیر و باد ایجاد می‌کنند. سهرابی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار شبکه آبیاری قزوین را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نیز دلیل توزیع یکنواختی نسبتاً پایین در برخی از سامانه‌ها را سرعت زیاد باد در منطقه نشان داد.

رحمت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی را برای اندازه‌گیری تلفات تبخیر و باد برای دو نوع آبپاش سه نازله و تک نازله مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک انجام داده و روابط منطقی با استفاده از رگرسیون چندمتغیره برای تخمین مقادیر تلفات تبخیر و باد تحت شرایط مختلف جوی و هیدرولیکی به دست آوردند. در آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک معمولاً در هر زمان روی هر بال آبیاری تنها یک آبپاش در حال کار است و این امر می‌تواند باعث متفاوت بودن تلفات تبخیر و باد در این روش نسبت به روش‌های دیگر باشد. آزمایش‌ها به صورت آبپاش منفرد در محدوده فشارهای توصیه شده از سوی کارخانه سازنده هر آبپاش در مزرعه آزمایشی واقع در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. تلفات تبخیر و باد در این تحقیق بین  $1/4$  تا  $12/8$  درصد متغیر بود. نتایج به دست آمده نشان داد سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع محیط مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و باد بوده و فشار کارکرد سیستم کمترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و باد دارد. باید توجه شود فشارهای انتخاب شده در محدوده توصیه شده کارخانه سازنده هر آبپاش است و برای فشارهای بزرگ‌تر از آنچه انتخاب شده ممکن است به علت ریزتر شدن قطرات آب نتایج متفاوت باشد.

رستمیان و همکاران (۱۳۹۳) تحقیقی را با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر میزان تلفات تبخیر و باد و ارائه معادلاتی جهت برآورد مقادیر این تلفات در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط مختلف جوی و هیدرولیکی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در روستای دوشان انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد در همه آبپاش‌های مورد آزمایش، پارامترهای کمبود فشار بخار اشباع محیط و دما بیشترین میزان همبستگی را با تلفات تبخیر و باد دارند. در این تحقیق با افزایش ۱ متر بر ثانیه بر سرعت باد، میزان تلفات تبخیر و باد بر دگی به میزان  $9/4$  درصد افزایش یافت. یکی از عوامل مهم دیگر مؤثر بر میزان تلفات تبخیر و باد در این تحقیق، عوامل سامانه‌ای از جمله ساختمان مهندسی آبپاش ارزیابی شد که در ترکیب با عوامل جوی و هیدرولیکی، میزان نهایی تلفات تبخیر و باد را رقم می‌زنند.

اوجاقلو و همکاران (۱۳۹۶) اثر سرعت باد بر عملکرد ۱۳ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط اقلیمی مختلف از نظر سرعت باد را در استان زنجان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد سرعت باد اثر قابل توجهی بر کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب دارد به طوری که

افزایش سرعت باد (از محدوده ۲ تا ۳ کیلومتر بر ساعت تا محدوده ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر بر ساعت) به طور متوسط منجر به کاهش ۲۱/۴ درصدی راندمان کاربرد واقعی چارک پایین و حدود ۲۰ درصدی یکنواختی توزیع آب شده است. مقادیر شاخص یکنواختی توزیع آب در شرایط باد ملایم در درجه بندی متوسط تا خوب و در شرایط باد تند در درجه بندی ضعیف تا متوسط ارزیابی گردید. مقادیر اندازه گیری شده نشان دهنده کاهش قابل توجه عمق آب رسیده به زمین در شرایط بادی در اثر افزایش تلفات پاششی آب بود. تغییرات فشار آب، متفاوت بودن زاویه لترال ها با جهت باد غالب و همچنین تغییرات موضعی سرعت باد از مهم ترین عوامل متفاوت بودن تلفات پاششی ارزیابی شد. در شرایط باد ملایم دو عامل عمق آب کاربردی نامتناسب با شرایط رطوبتی و تغییرات فشار آب مهم ترین عوامل مؤثر بر کاهش راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب بوده و در شرایط باد تند علاوه بر دو عامل اشاره شده، سرعت باد بیشترین اثر کاهنده بر مقادیر شاخص های یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد داشته است. در این تحقیق بررسی دقیق تر تطابق پذیری سامانه های آبیاری بارانی با شرایط موجود مخصوصاً از نظر سرعت باد، بازنگری در روش های طراحی این سامانه ها و همچنین ارائه برنامه دقیق آبیاری مبتنی بر شرایط رطوبتی خاک و سرعت باد به عنوان راهکاری برای افزایش عملکرد سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت پیشنهاد شد.

از آن جاکه برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با مدل های ارائه شده در شرایط اقلیمی مختلف، نتایج متفاوتی را دربرداشته و ارائه مدل مرجع امکان پذیر نیست، حسینی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی پارامترهای مؤثر اقلیمی بر تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه عقربه ای و ارائه مدلی بهینه با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در منطقه مورد مطالعه پرداختند. این پژوهش در استان اردبیل و در شهرستان پارس آباد و در بخش شش کشت و صنعت مغان، در سرعت های باد ۰ تا ۳ و ۳ تا ۶ متر بر ثانیه و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد در سرعت باد کمتر از ۳ متر بر ثانیه پارامترهای ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان های پتانسیل و واقعی ربع پایین در محدوده مناسبی قرار گرفته و در سرعت های متوسط و زیاد باد، پارامترهای ارزیابی در محدوده مطلوبی قرار نمی گیرد و این نشان دهنده اهمیت طراحی سامانه عقربه ای در مناطق بادخیز است؛ بنابراین به نظر می رسد در این مناطق باید محدوده تغییرات فشار مجاز را تابعی از شرایط اقلیمی و سرعت باد منطقه در نظر گرفت، اگرچه ممکن است در این شرایط بار اقتصادی مضاعفی بر طرح تحمیل گردد، ولی با بالا رفتن راندمان شبکه و افزایش محصول جبران خواهد شد. نتایج نشان داد در سرعت های بالای باد، راندمان ربع پایین به شدت کاهش یافته و باعث تنش رطوبتی گیاه و کاهش محصول در آن مناطق می گردد؛ بنابراین برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در منطقه مغان استفاده از نازل هایی با قطر روزنه بیشتر می تواند مفید باشد. در صورت لزوم می توان با بازبینی در تعداد اسپم های دستگاه و کاهش آن ها جهت کاهش فشار کلی سیستم و افزایش شاخص اندازه ذرات آب، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی را

کاهش داد. همچنین در این تحقیق استفاده از لوله‌های عصایی برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی توصیه شده است. طبق تحقیقات کینکید و همکاران (۱۹۹۶) نیز ارتفاع پایه آبپاش در میزان تلفات بادبردگی بسیار مؤثر است؛ زیرا سرعت باد نسبت به ارتفاع از سطح زمین به صورت لگاریتمی افزایش می‌یابد. حساسیت راندمان سامانه عقربه‌ای به سرعت باد در منطقه نشان می‌دهد جهت کارکرد مناسب سامانه بررسی دوره‌ای کارکرد صحیح آبپاش‌ها و تعیین بهترین و کم‌ترین فشار کارکرد امری مهم و ضروری است. در این تحقیق متوسط تلفات نفوذ عمقی در سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه بیش از مقادیر تلفات نفوذ در سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانیه بوده ولی تلفات تبخیر و بادبردگی در سرعت‌های کمتر باد، کمتر است. اگرچه به نظر می‌رسد که برهم‌کنش این دو عامل تقریباً باهم برابری می‌کند، ولی کاهش قابل توجه سایر شاخص‌های ارزیابی، تأثیر منفی و قابل توجه سرعت باد را بر کارایی سامانه نشان داد. همچنین مشخص شد تأثیر سرعت باد بر پارامترهای طراحی، در نقاط نزدیک به مرکز دستگاه بیشتر است. افزایش نسبی عمق آب نفوذ کرده با فاصله گرفتن از مرکز دستگاه در پژوهش‌های حمدی احمدآباد و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش شده است.

به‌منظور بررسی تأثیر سیکل‌های حرکت و توقف سامانه عقربه‌ای بر شاخص‌های ارزیابی و همچنین تأثیر باد روی این پارامترها اوزا و همکاران (۲۰۱۵) پژوهشی انجام دادند و نتایج نشان داد با کاهش زمان توقف دستگاه در این شرایط، عملکرد سامانه بهبود می‌یابد.

رنجبر و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی سامانه آبیاری عقربه‌ای را در دانشکده کشاورزی تبریز مورد ارزیابی قرار دادند و تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه را با استفاده از معادله‌ای مبتنی بر شاخص‌های مؤثر بر آن با ضریب تبیین ۸۵ درصد برآورد نمودند. بر اساس نتایج ایشان، در سرعت‌های باد بالاتر از ۴ متر بر ثانیه، به دلیل بالا بودن تلفات بادبردگی و تبخیر، آبیاری با روش‌های مختلف بارانی و از جمله سامانه آبیاری عقربه‌ای توصیه نمی‌شود و بیان گردید، زمان کارکرد سامانه‌های آبیاری بارانی باید به‌گونه‌ای تنظیم گردد که این سامانه‌ها با سرعت‌های بالای وزش باد و دمای حداکثر روز مواجه نشوند. فوکایدس (۲۰۰۰) نیز استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی را زمانی که باد سریع‌تر از ۳/۵ متر بر ثانیه می‌وزد توصیه نمی‌کند.

اکبری و رحیم‌زادگان (۱۳۷۵) اثر باد را بر یکنواختی توزیع آب آبپاش‌ها بررسی کرده و نشان دادند که با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع به سرعت کاهش می‌یابد و این ارتباط تا سرعت باد ۲۰ کیلومتر در ساعت تقریباً به صورت خطی است. در این تحقیق توصیه شده است به دلیل پایین بودن ضریب یکنواختی، در مناطقی که سرعت باد بیشتر از ۱۵ کیلومتر در ساعت است از آبیاری بارانی استفاده نشود. در همین رابطه پلاین و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که باد مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی است و از کاهش شدید یکنواختی آبیاری به‌عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد نام بردند.



نتایج تحقیق موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۶) در استان خراسان رضوی نشان داد با افزایش سرعت باد، کمبود فشار بخار اشباع، فشار کارکرد و کاهش قطر نازل مقدار تلفات افزایش یافته است. در این تحقیق توصیه شده است جهت دستیابی به یکنواختی توزیع بالا و کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایطی که سرعت باد از ۵ متر بر ثانیه تجاوز می‌کند از به‌کارگیری سیستم آبیاری بارانی اجتناب شده و یا زمان کارکرد سیستم به شب یا اوایل صبح محدود گردد. علاوه‌براین تا حد امکان سعی شود از کاربرد فشارهای بالا به همراه قطرهای کوچک نازل به‌منظور کاهش تلفات تبخیر و باد خودداری شود.

نتایج پژوهش یاکوبی و همکاران (۲۰۱۰) در مزرعه گوجه‌فرنگی در تونس نشان داد، تلفات تبخیر و بادبردگی در شب نسبت به روز به‌ترتیب از ۲۴ به ۷ درصد کاهش و یکنواختی آبیاری از ۵۰ درصد در روز به ۶۴ درصد در شب افزایش می‌یابد و عملکرد محصول در آبیاری شبانه بهتر است. همچنین شیخ اسماعیلی (۱۳۹۱) در پژوهش خود نشان داد که با آبیاری شبانه می‌توان تلفات تبخیر و بادبردگی را در جنوب خوزستان از ۲۶/۸ درصد به ۲ درصد کاهش داد؛ بنابراین آبیاری شبانه را در شرایط سرعت بالای باد در منطقه پیشنهاد نمود.

سراج رضایی و حسن‌نیا (۱۳۹۳) به‌منظور تعیین اثرات سرعت‌های مختلف باد در ساعات شب و روز بر عملکرد پنج نوع آبپاش ضربه‌ای طی دوره رشد گیاه، با استفاده از مدل‌های سری زمانی به پیش‌بینی مقادیر سرعت باد برای سه سال در منطقه تبریز پرداختند. نتایج نشان داد که بین سرعت‌های باد روز و شب در فصل بهار اختلاف نسبتاً قابل‌توجهی وجود دارد اما در فصل تابستان این اختلاف زیاد نیست. در طول دوره رشد، آبیاری شبانه ضریب یکنواختی پخش آبپاش‌های مورد استفاده در آزمایش را به‌طور متوسط ۳/۴۶ درصد نسبت به آبیاری در روز افزایش داد. آن‌ها بیان نمودند که آبیاری شبانه در ماه‌های فصل بهار به دلیل کاهش تلفات بادبردگی و در ماه‌های فصل تابستان به دلیل کاهش تلفات تبخیر نسبت به آبیاری در اوقات روز قابل‌توصیه است.

کاورو و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی عملکرد محصول ذرت را در آبیاری شبانه و روزانه بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که انجام آبیاری در روز باعث کاهش ۵ تا ۷ درصدی ضریب یکنواختی کریستین‌سن و کاهش ۱۰ درصدی عملکرد محصول نسبت به آبیاری شبانه می‌شود.

کریمی (۱۳۹۵)، مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تلفات تبخیر و بادبردگی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان واقع در استان کردستان انجام داد. دشت دهگلان یکی از مناطق بادخیز در استان کردستان است که به سبب سرعت باد زیاد در این منطقه تلفات آب ناشی از سامانه‌های بارانی موجود در این دشت قابل‌توجه است. از طرف دیگر این منطقه جزء دشت‌های ممنوعه کشور است که با توجه به کاهش شدید سطح ایستابی و کمبود آب، نیاز به صرفه‌جویی در مصرف آب در این منطقه اهمیت مضاعفی پیدا کرده است. در این تحقیق به بررسی میزان تلفات تبخیر و بادبردگی

در آبیاری شبانه و روزانه و همچنین بررسی تأثیر ارتفاع پایه آبپاش (۱ و ۵/۵ متری) بر تلفات تبخیر و بادبردگی پرداخته شده است. با توجه به نتایج، انجام آبیاری در شب به بهبود راندمان آبیاری کمک شایانی نمود. همچنین در شرایط یکسان، استفاده از آبپاش با ارتفاع پایه یک‌متری توصیه گردید.

عرفانیان و همکاران (۱۳۸۷) مطالعه‌ای به منظور بررسی تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه‌های آبیاری بارانی در استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی و ارائه معادله رگرسیون چندمتغیره جامع، جهت برآورد مقدار تلفات و محاسبه راندمان کلی سامانه‌ها انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش پارامترهای فشار، سرعت باد و دمای هوا و کاهش رطوبت نسبی و اندازه قطر نازل مقدار تلفات افزایش می‌یابد. نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی مقدار تلفات برای استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی نشان می‌دهد که در کلیه فشارهای مورد مطالعه، مقدار تلفات از شمال به جنوب منطقه و در نواحی شرقی و غربی افزایش نشان می‌دهد، به طوری که بدترین شرایط در شهرهای سبزوار، تربت جام، تایباد و نهبندان، به دلیل زیاد بودن سرعت باد و دمای هوا و همچنین کم بودن رطوبت نسبی اتفاق افتاده است. بر اساس نتایج بررسی تأثیرات متقابل پارامترهای فشار و قطر، توصیه می‌شود از کاربرد قطرهای کوچک با فشار زیاد، خصوصاً در مناطق بادخیز به منظور کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی پرهیز شود. همچنین جهت دستیابی به یکنواختی توزیع بالا و کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایطی که سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه تجاوز می‌کند، از به کارگیری سیستم آبیاری بارانی اجتناب شود و یا زمان کار سیستم به شب موکول می‌گردد.

شیخ اسماعیلی (۱۳۹۱) تحقیقی با هدف دستیابی به روابطی جهت برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی انجام داد. آزمایش‌ها با سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دو حالت فشار آب ۴۵ و ۵۰ متر به روش استقرار آبپاش منفرد در منطقه جنوب شرقی استان خوزستان انجام پذیرفت. در این بررسی با استفاده از آنالیز واریانس مشخص گردید که افزایش فشار آب از ۴۵ به ۵۰ متر تأثیر معنی‌داری بر میزان تلفات تبخیر و باد ندارد. معادلات حاصل نشان داد در شرایطی که سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه و کمبود فشار بخار اشباع محیط از ۶ کیلوپاسکال بیشتر گردد، تلفات تبخیر و باد از ۲۰ درصد تجاوز خواهد نمود و آبیاری بارانی در این شرایط توصیه نمی‌شود. آبیاری پس از غروب تا صبح زود منجر به کاهش چشمگیر تلفات تبخیر و باد حتی در فصل تابستان شد به طوری که تلفات تبخیر و باد به ۱ تا ۲ درصد تنزل یافت. توصیه می‌شود جهت کاهش تلفات تبخیر و باد در فصل گرم و بادخیز تابستان از گیاهانی در الگوی کشت استفاده شود که فصل برداشت آن‌ها حداکثر تا تیرماه پایان پذیرفته یا زمان کشت آن‌ها از اواخر شهریور آغاز شود. با این راهکار تعداد آبیاری‌ها در فصل تابستان به حداقل می‌رسد.

استینر و همکاران (۱۹۸۳) با انجام آزمایش‌هایی که روی ۱۵ نوع آبپاش انجام دادند، نتیجه گرفتند که سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع محیط تأثیر زیادی در میزان تلفات تبخیر و باد داشته و

اندازه نازل، فشار کارکرد و درجه حرارت محیط در مرتبه بعدی اهمیت قرار دارند. نتایج آنان نشان داد در مواقعی که سرعت باد کمتر از  $4/5$  متر بر ثانیه باشد، میزان تلفات تبخیر و باد ارتباطی به سرعت باد ندارد و در سرعت باد  $4/5$  تا  $8/5$  متر بر ثانیه دامنه تلفات از  $10$  تا  $30$  درصد تغییر می کند. مطالعه‌ای جهت بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار در جنوب خراسان (بیرجند، نهبندان، فردوس، قائن و طبس) توسط نجفی مود و همکاران (۱۳۸۶) انجام شد. نتایج نشان داد سامانه‌های آبیاری بارانی از عملکرد مطلوبی در منطقه برخوردار نیستند و علت اصلی آن سرعت باد است. به طوری که در نهبندان با بیشترین سرعت باد کمترین عملکرد و در بیرجند با سرعت باد کمتر بیشترین مقادیر یکنواختی توزیع، بازده پتانسیل و واقعی به دست آمد. پایین بودن فشار کارکرد آبپاش‌ها نسبت به فشار طراحی شده و استفاده از وسایل معیوب نیز از دیگر عوامل مؤثر در کاهش بازده بودند. با توجه به نتایج این تحقیق برای سامانه‌های آبیاری بارانی جهت کاهش قابل توجه اثرات منفی باد انجام آبیاری در شب، کاهش فواصل و رعایت جابه‌جایی لترال‌ها و همچنین تنظیم فشار مناسب سیستم مطابق با فشار طراحی شده پیشنهاد می گردد.

تحقیقی به منظور ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در سطح استان گلستان در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در ۲۱ مزرعه به اجرا درآمد (کیانی، ۱۳۷۸). در ۳۹ درصد از طرح‌ها میزان تلفات پاششی ناشی از تبخیر و بادبردگی بیش از ۲۰ درصد بود که برای سامانه‌های آبیاری بارانی غیرقابل قبول است. عامل اصلی این تلفات سرعت باد در حین آبیاری گزارش شد. بنابراین آبیاری در زمان وزش باد حتی با سرعت کم می‌تواند عامل تلفات بادبردگی بیش از حد مورد قبول در این سامانه‌ها باشد. در این استان سود اقتصادی کوتاه مدت ناشی از کشت شالی باعث شده است تا تعدادی از کشاورزان که دارای سامانه آبیاری بارانی هستند، از روش‌های غرقابی استفاده کنند و عملاً عدم به کارگیری سامانه‌ها علاوه بر هدررفت منابع آب و خاک، به تدریج موجب فرسودگی آن‌ها نیز شده است. بیش از ۴۰ درصد سامانه‌ها به دلیل فشار کارکرد پایین آبپاش‌ها، مستهلک شدن وسایل، آبیاری در زمان وزش باد و عدم رعایت فواصل مناسب برای آبپاش‌ها، یکنواختی پخش مناسبی نداشتند. در عمده موارد، مقادیر کم راندمان کاربرد مربوط به عدم تنظیم برنامه آبیاری از نظر زمان و مقدار آب آبیاری است. یکی از عوامل مهم در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی برای کاهش هزینه‌ها و یا کاهش روان آب تطبیق سرعت نفوذ آب در خاک با شدت پاشش آبپاش‌ها است که این مهم در هیچ کدام از سامانه‌های مورد بررسی در این تحقیق مشاهده نشد.

اکبری و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی در ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در کرج برای بررسی ارتباط بین سرعت باد و یکنواختی توزیع آب انجام دادند. نتایج نشان داد که رابطه سرعت باد و ضریب یکنواختی در آبپاش‌های مورد بررسی خطی نیست و با افزایش

سرعت باد، ضریب یکنواختی با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. در شرایط باد آرام تقریباً تمام آبپاش‌های موردبررسی دارای یکنواختی قابل‌قبول بودند. با افزایش فشار در طیف مطالعه‌شده در همه سرعت‌های باد ضریب یکنواختی افزایش یافته است. اثر متقابل سرعت باد در آبپاش‌های مختلف حاکی از آن است که در هر آبپاش با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع آب کاهش می‌یابد. نوع آبپاش باید با توجه به یکنواختی توزیع آب و سایر مشخصات لازم از جمله دما، رطوبت و تابش خورشیدی انتخاب گردد. توصیه می‌گردد قبل از اجرای سامانه‌های آبیاری در سطح وسیع با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی منطقه چند نوع آبپاش متداول و مناسب انتخاب گردد و در شرایط اقلیمی منطقه از نظر یکنواختی توزیع آب، عملکرد و مقاومت به شرایط محیطی منطقه بررسی گردند.

وریز و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که فشار کارکرد آبپاش اصلی‌ترین عامل مؤثر بر توزیع اندازه قطرات آب است. با افزایش فشار کارکرد و یا کاهش اندازه نازل، ذرات آب کوچک‌تر و حساس‌تر به باد ایجاد می‌شوند. این قطرات کوچک به راحتی توسط باد برده شده و باعث تغییر شکل الگوی توزیع آب و غیریکنواختی سیستم می‌شوند.

پلاین و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاری شبانه و روزانه ۸۹ سیستم بارانی مجموعه ثابت لترال متحرک در زاراگوزای اسپانیا را موردبررسی قرار دادند. در شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک زاراگوزای اسپانیا متوسط تبخیر و بادبردگی برای سیستم کلاسیک ثابت به ترتیب در طول روز و شب ۸/۵ و ۱۵/۴ درصد بود و برای سامانه‌هایی با لترال‌های متحرک تلفات ۹/۸ درصد و ۵ درصد به دست آمد. آبیاری بارانی تأثیر کمی بر متغیرهای هواشناسی داشته و باعث افزایش رطوبت نسبی (۳/۹ درصد) و کاهش دمای هوا (۵٪ درجه سلسیوس) در طول رویداد آبیاری و چند دقیقه پس‌از آن شد که تأثیر زیادی در میزان تبخیر و تعرق گیاه ندارد و نشان می‌دهد که تلفات تبخیر و بادبردگی به‌طور قابل‌توجهی کمکی به برآورده کردن نیازهای آبی محصول نکرده و بنابراین باعث از دست دادن آب مصرفی می‌شود. چنین نتیجه‌گیری‌ای توسط کاورو و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأیید شده است.

با توجه به این که یکی از مناسب‌ترین سامانه‌های آبیاری بارانی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک سامانه‌های کلاسیک ثابت و سامانه‌هایی با لترال متحرک است، تارجلو (۱۹۹۹) آزمایش‌های بسیاری روی سامانه‌های کلاسیک ثابت و سنتریپوت در منطقه کاستیلا لمانچای اسپانیا به‌منظور تجزیه و تحلیل عوامل اصلی مؤثر بر کاربرد آب و تلفات تبخیر و بادبردگی با این سامانه‌ها (فشار، سرعت باد، نوع آبپاش و...) انجام داد. نتایج بررسی‌های او نشان داد برای طراحی و مدیریت آبیاری بارانی به‌منظور افزایش راندمان و یکنواختی در مناطق نیمه‌خشک استفاده از فشار کاری کم و آبپاش‌هایی با توانایی تولید ذرات متوسط همراه با آبیاری شبانه برای به حداقل رساندن تلفات تبخیر و بادبردگی جنبه‌های مهمی هستند.

در تحقیقی که در شرایط نیمه‌خشک اسپانیا در حوضه ابرو روی آبیاری بارانی کلاسیک و کشت ذرت توسط دکمی و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد، مشاهده گردید که با افزایش سرعت باد از ۶٪ به ۶/۲ متر بر ثانیه، مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی از ۶ به ۳۷/۴ درصد افزایش و یکنواختی توزیع سیستم از ۸۹/۸ به ۵۷/۳ درصد کاهش یافته است. این محققین گزارش کردند که افزایش ارتفاع نازل از سطح زمین و در نتیجه طولانی‌تر شدن مسیر قطره و مدت‌زمان قرار گرفتن بیشتر در معرض باد، باعث افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی می‌شود. نتایج نشان داد بخش قابل‌توجهی از تغییرات در میزان ضریب یکنواختی کریستین سن و تلفات تبخیر و بادبردگی مربوط به سرعت باد است. در این تحقیق عملکرد محصول نیز تحت تأثیر عدم یکنواختی توزیع آب ناشی از تلفات تبخیر و بادبردگی در طول فصل زراعی به‌خصوص در مرحله گل‌دهی و پس‌از آن قرار گرفت.

لازم به ذکر است اهمیت یکنواختی آبیاری بارانی از اوایل سال ۱۹۴۲ شناخته شد (کریستیانسن، ۱۹۴۲). در آبیاری بارانی، یکنواختی تحت تأثیر نوع آبپاش، فاصله، فشار عملیاتی و شرایط باد غالب است (کارا و همکاران، ۲۰۰۸). مقدار آستانه یکنواختی برای سیستم آبیاری بارانی باید در محدوده قابل‌قبول توصیه‌شده توسط محققان قرار گیرد. مقدار CU کمتر از ۸۵٪ که نشان‌دهنده یکنواختی «کم» و ۸۵٪ یا بالاتر نشان‌دهنده یکنواختی «خوب» است (مریام و کلر، ۱۹۷۸)، کی (۱۹۸۸) و کلر و بلیسنر (۱۹۹۰). عوامل زیادی بر یکنواختی آبیاری بارانی تأثیر می‌گذارد، از جمله سیستم بارانی، شرایط آب‌وهوایی و شیوه‌های مدیریت مزرعه (مریام و کلر، ۱۹۷۸).

با توجه به عوامل متعدد مؤثر بر عملکرد تولید محصول علاوه بر کمبود تبخیر و تعرق، یکنواختی آبیاری بارانی نیز به‌طور معناداری در این مهم نقش دارد. طبق گفته دارکو و همکاران (۲۰۱۷)، سامانه‌های آبیاری بارانی با یکنواختی کم منجر به کاهش عملکرد محصول به دلیل تنش آبی می‌شوند که باعث افزایش هزینه آبیاری و... می‌شود. این محققین عوامل مختلفی که بر یکنواختی و راندمان مصرف آب در آبیاری بارانی تأثیر می‌گذارند، را تشریح نموده و راه‌های ممکن برای بهبود این عوامل در افزایش کمیت و کیفیت تولید محصول را جمع‌بندی کردند. در این مطالعه بر در دسترس بودن آب کافی در ناحیه توسعه ریشه‌ها به‌خصوص در مراحل حساس رشد گیاه تأکید شده است. یکنواختی آبیاری یک جزء کلیدی در راندمان کلی آبیاری بارانی است و از این‌رو نقش مهمی در برنامه‌ریزی آبیاری برای برآوردن نیازهای رطوبتی محصول دارد. با این حال، یکنواختی بالا به‌خودی‌خود منجر به سامانه‌ای کارآمد نمی‌شود. برای این که سیستم به‌اندازه کافی خوب کار کند، آب باید به‌گونه‌ای اعمال شود که در ناحیه ریشه باقی بماند، همیشه به مقدار کافی برای تأمین نیازهای محصول وجود داشته باشد و تغییرات میزان آب در محدوده قابل‌تحمل گیاه حفظ شود.

هزارجریبی و همکاران (۱۳۹۰) بر این است که ایجاد یکنواختی در آبیاری بارانی یک رویکرد کلیدی در افزایش عملکرد محصول در مزارع آبیاری بارانی و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب است. یکنواختی آبیاری هدف اصلی طراحی سیستم آبیاری بارانی است و عدم یکنواختی ممکن است در مقادیر آب یا تغییر در عمق آبیاری ایجاد شود.

نوع آبپاش‌ها و فاصله آن‌ها همچنین محدودیت‌های هیدرولیکی در شبکه لوله‌های آبپاش می‌تواند به عنوان شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری یکنواختی مورد ارزیابی قرار گیرد و باعث شود محصولات در حال رشد میزان آب متفاوتی دریافت کنند. اگر سیستم آبپاش طوری عمل کند که قسمتی از مزرعه که کمترین مقدار آب را دریافت می‌کند، نیاز آبی خود را تأمین کند، سایر قسمت‌های مزرعه بیش از حد آبیاری می‌شوند و بالعکس (مریام و کلر، ۱۹۷۸). آب اضافی از طریق افزایش شست‌وشوی مواد مغذی گیاه، بروز بیماری‌ها یا عدم تحریک رشد بخش‌های با ارزش تجاری گیاهان، عملکرد محصول را زیر محدوده توصیه‌شده کاهش می‌دهد. کمبود آب نیز ممکن است منجر به ضعیف‌تر شدن گیاهان و کاهش عملکرد محصول شود (نجفی و همکاران، ۲۰۲۱).

کلارک و همکاران (۲۰۰۳) مطالعاتی برای تعیین اثر قطر کلکتور بر عمق آبیاری بارانی و یکنواختی انجام دادند و گزارش کردند علاوه بر قطر، ارتفاع کلکتور، مدت‌زمان آبیاری و سرعت سیستم آبیاری بارانی بر میزان یکنواختی تأثیر می‌گذارد.

یکی از قوانین طراحی سیستم بارانی این است که میزان آب کاربردی نباید از میزان نفوذ اولیه خاک بیشتر شود. نرخ کاربرد متناسب با دبی جریان است و با حاصل‌ضرب دو بعد فاصله نسبت معکوس دارد. برای یک فشار معین، افزایش اندازه نازل هم سرعت جریان آبپاش و هم قطر خیس شده را افزایش می‌دهد، اما سرعت جریان به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از قطر افزایش می‌یابد. افزایش قطر خیس‌شده باعث ایجاد فاصله‌ای کمی بزرگ‌تر می‌شود، اما افزایش سرعت جریان این امر را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد، به‌طوری‌که برای یکنواختی ثابت، افزایش اندازه نازل معمولاً به معنای افزایش نرخ کاربرد نیز است؛ بنابراین دو عاملی که اغلب اندازه و فاصله نازل آبپاش را تعیین می‌کند یکنواختی مطلوب و میزان نفوذ خاک است. برای محصولات با ارزش بالا، اغلب از نازل‌های کوچک (قطر ۳ میلی‌متر) و فاصله‌های نزدیک (۹ متر  $\times$  ۱۲ متر) استفاده می‌شود و در خاک‌های درشت‌بافت و یا جایی که یکنواختی کمتر قابل‌قبول است، می‌توان از نازل‌های بزرگ‌تر با فاصله‌های بیشتر استفاده کرد. فشارهای کاری معمول برای این آبپاش‌ها در محدوده ۳/۵ تا ۴/۵ بار است، اما با هزینه بالای انرژی، تمایل به کاهش فشار عملکرد وجود دارد و فشار عملیاتی در آبپاش‌های جدید اغلب ۱ بار کمتر از نازل‌های سنتی است. در ضمن آبپاش‌هایی که به‌سرعت در حال چرخش هستند بیشتر از آبپاش‌هایی با سرعت چرخش پایین‌تر تحت تأثیر باد قرار می‌گیرند. زاویه پاشش آبپاش نیز می‌تواند بر الگوی آب و در نتیجه یکنواختی تأثیر بگذارد. برای استفاده از آبپاش‌ها در شرایط باد متوسط تا

شدید، زوایای پاشش کمتری توصیه می‌شود. لازم به ذکر است در اکثر کاربردهای کشاورزی، آبپاش منفرد ترجیح داده می‌شود. مگر این که شرایط باد به‌طور غیرعادی آرام باشد، آبپاش منفرد عموماً پوشش بهتر، یکنواختی بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر باد خواهد داشت (دارکو و همکاران، ۲۰۱۷).

مول و همکاران (۲۰۱۲) در شرایط آب‌وهوایی حاکم در تابستان جنوب فرانسه تحقیقی روی سامانه‌های آبیاری بارانی انجام دادند و نتیجه گرفتند ۳۰ تا ۵۰ درصد تلفات، تلفات ناشی از تبخیر و ۵۰ تا ۷۰ درصد تلفات در اثر باد است که باعث می‌شود قطرات کوچک به خارج از منطقه هدف حرکت کنند. از آنجایی که باد به‌تنهایی می‌تواند حدود دوسوم کل تلفات را سبب شود، برای طراحی آبیاری بارانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توجه به باد مهم‌تر از دما و تشعشع ارزیابی شد. از آنجایی که باد و دما معمولاً باهم مرتبط هستند، محدود کردن آبیاری در گرم‌ترین ساعات روز معقول‌ترین راه‌حل است، اما ممکن است کشاورزان را وادار کند که سامانه‌های آبیاری خود را بزرگ‌تر کنند تا بتوانند سریع‌تر آبیاری نمایند. برای لحاظ نمودن خطر تلفات مرتبط با کاهش یکنواختی توزیع، لازم است توجه به باد قبل از تبخیر لحاظ گردد.

موضوع تبخیر در آبیاری بارانی بسیار پیچیده‌تر از اثر باد است. باد که یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر سامانه‌های آبیاری بارانی است، به دلیل برهم زدن الگوی توزیع آب آبپاش‌ها، بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی اثر منفی می‌گذارد. به‌گونه‌ای که با افزایش سرعت باد از یک محدوده معین، راه‌اندازی سامانه‌های بارانی به دلیل کاهش یکنواختی و راندمان آبیاری توصیه نمی‌شود. از طرف دیگر، مهم‌ترین عاملی است که بر میزان تلفات تبخیر تأثیر می‌گذارد. افزایش شدت تبخیر و تداوم آن و همچنین بروز تلفات بادبردگی حاکی از اهمیت تأثیر باد بر تلفات تبخیر و بادبردگی است. از طرف دیگر، بالا رفتن تبخیر در سطح مزرعه باعث افزایش رطوبت محیط و کاهش دما شده و این خود منجر به کاهش سرعت تبخیر می‌شود، مگر آن که باد باعث گردد تا رطوبت از سطح مزرعه خارج شده و هوای خشک جایگزین آن شود که در این صورت عمل تبخیر ادامه پیدا خواهد کرد (شیخ اسماعیلی، ۱۳۹۱).

در پدیده تبخیر عوامل مؤثر زیادی شناسایی شده‌اند، که اثر هرکدام از آن‌ها روی سایر عوامل باعث شده تا نتوان مقدار دقیق و واقعی تلفات تبخیری را به دست آورد. باوی و همکاران (۲۰۰۹) تلفات تبخیر در سامانه‌های آبیاری بارانی تحت شرایط عملیاتی مختلف را در استان خوزستان بررسی نمودند. نتایج نشان داد سرعت باد و کمبود فشار بخار مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر از آبپاش است.

رابینسون (۱۹۷۰) و مک‌لین و همکاران (۲۰۰۰) برای جدا کردن تلفات ناشی از تبخیر از تلفات ناشی از باد، از عامل هدایت الکتریکی (EC) آب استفاده نمودند. آن‌ها EC را در کلکتورها اندازه‌گیری و این مقادیر را با EC آب تخلیه‌شده از آبپاش‌ها مقایسه کردند. تغییر در EC مستقیماً با تغییر غلظت

نمک که تابعی از تبخیر است، مرتبط است. یازار (۱۹۸۴) با استفاده از این روش در شرایط خشک نبراسکای آمریکا دریافت که تلفات تبخیر حدود ۱/۵ تا ۱۶/۸ درصد از کل حجم کاربردی را تشکیل می‌دهد. او نتیجه گرفت که باد و کمبود فشار بخار در تلفات تبخیر نقش مهمی دارند. طی آبیاری بارانی، خرداقلیم مرطوبی ایجاد می‌شود که تبخیر از گیاه را کاهش می‌دهد. با این حال، تأثیر واقعی بر تبخیر ناچیز است؛ زیرا آب قرارگرفته روی گیاه سریع‌تر از آبی که از گیاه عبور می‌کند تبخیر می‌شود، بنابراین در کل میزان مصرف افزایش می‌یابد (استینر و همکاران، ۱۹۸۳).

از آنجایی که برآورد میزان واقعی تبخیر در کشاورزی حائز اهمیت است، لورنزینی (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای تأثیر دمای محیط اطراف بر میانگین تبخیر آب در آبیاری بارانی را بررسی نمود. این تحقیق مقدار آبی را که در آبیاری بارانی، آب به دلیل دمای محیط به خاک نمی‌رسد و تبخیر می‌شود را برآورد می‌کند. یک مجموعه آزمایشی در بخش مهندسی کشاورزی گروه اقتصاد و مهندسی کشاورزی (دانشگاه بولونیا، ایتالیا)، واقع در کادریانو (نزدیک بولونیا) طراحی و ساخته شد تا با ثابت نگه‌داشتن کلیه عوامل مؤثر بر تبخیر، خطا را به حداقل رسانده و میزان تأثیر دمای هوا را در میزان تبخیر از سیستم بارانی ارزیابی نماید. در این آزمایش به دلیل متغیر بودن دمای هوا از ۲۱ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد، تبخیر از ۴/۱۵ تا ۷/۷۳ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد تبخیر در آبیاری بارانی با یک رابطه لگاریتمی به دمای هوا وابسته است. برای ارزیابی کامل پدیده تبخیر لازم است عوامل مؤثر بر آن مانند تشعشع و باد در نظر گرفته شود.

#### ۴-۲-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها

با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور استفاده بهینه از منابع آب یک ضرورت غیرقابل اجتناب است. همان‌طور که ذکر گردید پایداری و توسعه زراعت‌های آبی در گرو یکنواختی توزیع و کسب مقادیر بالای بازده کاربرد آب است، لذا شناخت و کنترل عوامل مؤثر بر آن‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند نقش به‌سزایی در بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود داشته باشد. با توجه به نتایج مطالعات انجام‌شده در خصوص سامانه‌های آبیاری بارانی، تبخیر و بادبردگی از منابع اصلی تلفات آب در این سامانه‌هاست لذا با شناسایی عوامل تأثیرگذار و کنترل این تلفات و تلاش برای کاهش آن‌ها، می‌توان یکنواختی و راندمان را افزایش داد و در پی آن در صرفه‌جویی آب و به‌تبع آن کاهش مصرف انرژی کمک شایانی نمود.

پارامترها و عوامل متعددی بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثرند که به‌طور کلی می‌توان این عوامل را به دو دسته متغیرهای اقلیمی و سامانه‌ای تقسیم نمود. با توجه به مطالعات صورت گرفته از میان متغیرهای سامانه‌ای، فشار کارکرد و قطر نازل و از میان پارامترهای جوی، سرعت باد و کمبود



فشار بخار اشباع، که از طریق پارامترهای دمای هوا و رطوبت نسبی قابل محاسبه است، تأثیر فراوانی بر مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی دارند.

باد را دشمن آبیاری بارانی می‌دانند؛ زیرا از یک طرف باعث کاهش یکنواختی توزیع آب شده و از طرف دیگر مهم‌ترین عاملی است که روی شدت تبخیر و تداوم آن تأثیر می‌گذارد. اگرچه پژوهش‌های زیادی عامل باد را مهم‌ترین عامل مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی و کیفیت و عملکرد آبیاری بارانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیان نموده‌اند ولی همان‌طور که نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد ترکیب عوامل مؤثر نتایج دقیق‌تری در برداشته و می‌تواند در اقلیم‌های مختلف منجر به نتایج واقع‌بینانه‌تری گردد. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در اقلیم ایران عمده‌ترین دلایل پایین بودن یکنواختی و راندمان در سامانه‌های آبیاری بارانی وجود بادهای شدید به‌خصوص در طول روز، گرمای هوا و پایین بودن رطوبت نسبی، تغییرات فشار بیش‌ازحد مجاز طراحی در بعضی از سامانه‌ها و کیفیت نامناسب و غیراستاندارد وسایل و تجهیزات مورد استفاده تشخیص داده شده است.

پیشرفت‌های عمده صرفه‌جویی در مصرف آب حاصل از آبیاری در آینده عمدتاً از طریق مدیریت و طراحی نوآورانه سامانه‌های یکپارچه تحویل آب محقق خواهد شد. مدیریت و توسعه زیرساخت‌ها و سیاست‌های امنیت آب برای برآوردن عادلانه خواسته‌های همه استفاده‌کنندگان از این منبع محدود، کاری چالش‌برانگیز و طولانی است. در این فرایند لازم است بهره‌وری در واحد آب مصرفی افزایش یابد و انجام این کار مستلزم تغییرات عمده سامان‌مند، فرهنگی، مدیریتی، مهندسی و نهادی است که این امر باید با تقویت سامانه‌های تحویل آب، نظارت، مدل‌سازی و پشتیبانی انجام شود. با توجه به نتایج پژوهش‌هایی که در این فصل به آن‌ها اشاره شد، توصیه‌های زیر برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی به‌منظور افزایش راندمان، یکنواختی توزیع آب و عملکرد محصول پیشنهاد می‌گردد:

- توجه ویژه به خاک منطقه پیش از طراحی سیستم آبیاری بارانی
- توجه ویژه به مسئله باد در منطقه و داشتن اطلاعات کافی از بادهای موسمی از طریق داده‌های هواشناسی یا دانش بومی کشاورزان
- استفاده از سامانه‌های هوشمند هشدار و پیش‌بینی باد
- توجه به زمان آبیاری بارانی و موکول کردن آبیاری به شب و اوایل صبح که سرعت باد و دمای هوا کمتر است.
- عدم به‌کارگیری سامانه آبیاری بارانی در مناطقی با سرعت باد بیشتر از ۴ متر بر ثانیه
- ارائه برنامه دقیق آبیاری مبتنی بر شرایط رطوبتی خاک و سرعت باد: در مناطقی که بادهای غالب دارد بهتر است آبیاری طوری برنامه‌ریزی شود که در هر بار آبیاری همان قسمت‌های مزرعه در یک ساعت از روز آبیاری نشود. این فرصتی را برای تغییرات طبیعی در سرعت و

جهت باد ایجاد می‌کند تا متعادل شود و یکنواختی کاربرد در آبیاری‌های متوالی بهبود یابد.

- توجه به اندازه قطر نازل و فشار به‌خصوص در مناطق بادخیز: با افزایش فشار و یا کاهش اندازه نازل، قطرات کوچک‌تری تولید می‌شود که به وزش باد حساس بوده و به راحتی از ناحیه کاربرد خارج می‌شوند. علاوه بر این با کوچک‌تر شدن قطرات، سطح تبخیرشونده افزایش یافته و منجر به افزایش مقدار تلفات خواهد شد.
- انتخاب نوع آبپاش با توجه به یکنواختی توزیع آب و سایر مشخصات لازم از جمله دما، رطوبت و تابش خورشیدی
- استفاده از آبپاش منفرد که عموماً پوشش بهتر، یکنواختی بالاتر و مقاومت برتر در برابر باد را خواهد داشت.
- کاهش ارتفاع پایه آبپاش
- استفاده از گیاهانی در الگوی کشت که فصل رشد آن‌ها در ماه‌های گرم و پرباد نباشد.
- استفاده از لوازم و تجهیزات مرغوب
- بررسی دوره‌های الگوی پاشش آب با آبپاش‌ها و تعویض نازل‌های فرسوده در صورت لزوم
- استفاده از سامانه‌های کم‌فشار (اسپریر) به جای سامانه‌های پرفشار (گان)
- کم کردن فاصله لوله‌های جانبی از هم و رعایت تناوب آبیاری
- توجه به هماهنگی لازم بین طراح، مجری طرح و بهره‌بردار
- تلاش برای کم کردن تفاوت و فاصله دو دیدگاه کارشناسی (دستیابی به سودمندی‌های درازمدت در مقیاس حوضه) و بهره‌بردار (دستیابی به سودهای کوتاه‌مدت و ملموس در مقیاس مزرعه)
- توجه به علاقه و سطح آگاهی کشاورز از سیستم در انتخاب روش آبیاری
- تلاش برای افزایش آگاهی بهره‌برداران از سامانه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری: برای مدیریت و راهبری صحیح از سامانه آبیاری بارانی، نیاز به آموزش مبانی جهت کسب آگاهی کلی از برنامه آبیاری در این سامانه است، که در این زمینه متولیان امور باید گام‌های مؤثری بردارند. به‌طور کلی انگیزه کشاورزان به‌خصوص با پرداخت تسهیلات از طرف متولیان برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار، زیاد است، ولی برای دستیابی به اهدافی که در اثر اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی دنبال می‌شود، مانند استفاده بهینه از منابع آبی، هنوز با چالش‌های جدی مواجه هستیم.
- افزایش ظرفیت و توانمندی جامعه محلی و مشارکت آنان در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده و دارایی‌های ملی

- ایجاد برنامه جامع مدیریت آب (WMP) برای مزرعه به منظور استفاده از آب، شناسایی منابع آلودگی، رد پای آبی محصولات و برنامه‌های بهره‌وری مصرف آب
- کاربرد آبیاری هوشمند: آبیاری هوشمند سامانه‌ای است که آبیاری زمین موردنظر را با توجه به نیاز آن زمان‌بندی کرده و به صورت خودکار، در زمان‌های مختلف آبیاری می‌کند. واپایش‌گرهای آبیاری هوشمند آب و هوا، شرایط خاک، تبخیر و میزان آب مورد نیاز گیاه را سنجیده و به شکل خودکار زمان‌بندی آبیاری را برای شرایط حال حاضر محل تنظیم می‌کنند. سامانه‌های هوشمند آبیاری تحت فشار با سنجش رطوبت خاک، امکان آبیاری خودکار در زمان بهینه را فراهم می‌کند، ضمن جلوگیری از اتلاف آب به بالا بردن راندمان سیستم و کم کردن مصرف انرژی و صرفه جویی در نیروی انسانی و همچنین کاهش تنش وارده به گیاه کمک می‌کند.
- استفاده از ابزارهای پشتیبانی تصمیم (DSS) برای کمک به تولیدکنندگان و مدیران در بهینه‌سازی تخصیص آب محدود به محصولات، انتخاب محصولات بر اساس شرایط منطقه و اتخاذ محصولات جایگزین مناسب در شرایط خاص

#### ۴-۳- شوری خاک

تخریب خاک در اثر آبیاری به واسطه تجمع نمک یا سدیمی شدن آن، تهدیدی در تغییر خصوصیات زیست-شیمیایی و میکروبی زمین‌های کشاورزی است. به خاکی که میزان نمک آن فراتر از حد تحمل گیاه باشد خاک شور می‌گویند. با توجه به وضعیت آب و هوای کشور، وجود خشکسالی‌ها و افزودن کودهای مختلف به مزارع، خاک‌های اکثر مناطق کشور حالتی قلیایی، سدیمی و شور پیدا کرده‌اند. با افزایش املاح سدیم، ذرات رس و هوموس خاک انتشار یافته و لایه یا افقی بسیار متراکم در زیر خاک به وجود می‌آید که از رسیدن آب و هوا به ریشه گیاه جلوگیری می‌کند. همچنین این املاح، فشار اسمزی محلول خاک را بالا برده و در نتیجه با به هم خوردن تعادل یونی، قدرت جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد و به تدریج با ادامه این روند خاک شور می‌شود. به طور کلی محصولات زراعی در خاک‌های شور کیفیت و کمیت پایینی داشته و در برابر آفات و بیماری‌ها مقاومت کمتری دارند.

آبیاری به عنوان استفاده از آب به منظور تأمین رطوبت ضروری برای رشد گیاه تعریف می‌شود. بخش زیادی از کل زمین‌های زیر کشت دنیا تحت کشت دیم بوده و سهم مناسبی از غذای جهان را تأمین می‌کنند. در حالی که بخش کمی از اراضی فاریاب بوده، به نسبت سهم مناسب‌تری از منابع غذایی را تأمین می‌نمایند. همچنین مشاهده شده است که میانگین عملکرد محصولات آبی ۲ تا ۳ برابر بیشتر از محصولات دیم است؛ بنابراین، ملاحظه می‌گردد که کشاورزی آبی نقش مهمی در تولید

مواد غذایی در جهان ایفا می‌کند. از طرفی آبیاری در کنار افزایش عملکرد و امنیت غذایی باعث ایجاد اثرات نامطلوب احتمالی به دلیل تجمع نمک در خاک می‌شود.

آمار و ارقام ارائه‌شده در منابع مختلف مؤید آن است که سطح اراضی شور ایران در حال افزایش است (پذیرا، ۱۳۹۱). شور شدن زمین‌های آبی چالش بزرگی برای تأمین غذای موردنیاز به‌منظور رفع نیازهای جمعیت روزافزون جهان است. به گفتهٔ قدیر و همکاران (۲۰۱۴) در ۲۰ سال گذشته روزانه بیش از ۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های آبی به دلیل شور شدن از بین رفته‌اند. زیان اقتصادی، اجتماعی و هزینه‌های زیست‌محیطی مرتبط با افزایش فرسایش آبی و بادی این مسئله بسیار زیاد و قابل‌تأمل است. اصلاح خاک برای حذف نمک‌ها از ناحیهٔ ریشه پرهزینه و زمان‌بر است و در بسیاری از موارد خسارت آن غیرقابل‌برگشت است؛ بنابراین راه‌حل اقتصادی و پایدار برای حل مسئلهٔ شوری، پیشگیری به‌جای درمان است.

یکی از راهکارهای کنترل روند افزایش شوری زمین‌های زراعی و کاهش املاح ورودی به اراضی تحت آبیاری، افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی است. ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در قالب سه راهکار تغییر الگوی کشت به گیاهان کم‌آب‌بر، اصلاح روش آبیاری سنتی به سطحی مدرن و تغییر روش آبیاری سنتی به تحت‌فشار است (پذیرا، ۱۳۹۱).

بهترین راه برآورد شوری خاک اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) است؛ چراکه از طرفی در محدودهٔ رطوبتی مزرعه که برای گیاهان حائز اهمیت است اندازه‌گیری شده و ثانیاً اختلاف اثرات یون‌های مختلف املاح در هدایت الکتریکی منعکس می‌شود. باید به این نکته توجه داشت که هر اقدامی که باعث افزایش شوری خاک شود گامی در جهت تخریب اراضی و سوق دادن آن به سمت بیابان‌زایی است. کم بودن آب‌های سطحی، شوری آب زیرزمینی، شوری و قلیایی بودن خاک، کمبود اراضی جهت آیش و عدم آگاهی کشاورزان باعث تخریب اراضی می‌گردد. عامل اصلی شوری زمین‌های کشاورزی را رها کردن زمین و آمایش غیراصولی، شیوهٔ نادرست آبیاری و الگوی کشت نامناسب معرفی کرده‌اند (پذیرا، ۱۳۹۱).

آبشویی، روش معمول احیای خاک‌های شور است. آبشویی شامل انحلال نمک‌ها، گذراندن محلول حاصل از میان خاک و خارج کردن آن از ناحیهٔ ریشهٔ گیاه است. راندمان آبشویی را می‌توان مقدار املاح شسته‌شده در ازای واحد حجم آب به‌کاررفته تعریف کرد (زارع و همکاران، ۲۰۲۲). فزونی آب آبیاری نسبت به نیاز آبی واقعی گیاه موجب آبشویی و کاهش شوری خاک است. انباشت آب بر سطح خاک، سنتی‌ترین روش آبشویی است که به آن آبشویی پیوسته گویند و نیازمند صرف مقادیر زیادی از آب است. در این روش، آب به‌طور یکنواخت از نیم‌رخ خاک عبور نمی‌کند، بلکه عمدهٔ آن به‌صورت ترجیحی از میان خلل و فرج درشت عبور می‌نماید (قنبری و همکاران، ۱۴۰۰). جریان ترجیحی ناشی از تمایل آب به عبور از محیط بین خاکدانه‌ای، بر راندمان آبشویی که فرایند آن درون خاکدانه‌ها رخ

می‌دهد، تأثیر منفی دارد. آیشویی یکنواخت و با راندمان بالا هنگامی اتفاق می‌افتد که خاک در شرایط غیراشباع آیشویی شود. آیشویی املاح با استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی، منجر به ایجاد جریان غیراشباع در خاک می‌گردد و بدین ترتیب، هدررفت آب را از میان خلل و فرج درشت خاک که تأثیری در فرایند شست‌وشوی املاح ندارد، به حداقل می‌رساند و به همین دلیل، راندمان آیشویی املاح در مقایسه با سایر روش‌ها بالاتر است. آبیاری بارانی این مزیت را دارد که آب را به‌صورت یکنواخت بر سطح خاک پخش کرده و با ایجاد جریان‌های غیراشباع و کاهش آب متحرک، سبب افزایش راندمان آیشویی املاح در مقایسه با سایر روش‌ها گردد. لیکن روش آبیاری بارانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که مستعد به وجود آمدن خاک‌های شور است چندان معمول نیست و آیشویی با آبیاری قطره‌ای نیز به تشکیل پهنه‌های نامنظم شوری در سطح منتهی می‌گردد. جدول ۳-۴ کارایی روش‌های مختلف آبیاری را در آیشویی املاح نشان می‌دهد. روش‌های مختلف آبیاری بر کیفیت و کمیت خاک تأثیر دارند و در بین روش‌های گوناگون آبیاری، روش‌های بارانی و قطره‌ای از نظر کنترل شوری قابلیت بالایی دارند؛ بنابراین تغییر روش آبیاری از کرتی و نشتی به قطره‌ای و بارانی، تأثیر مهمی در کنترل شوری دارد (پذیرا، ۱۳۹۱).

جدول ۴-۳- کارایی روش‌های مختلف آبیاری در آبشویی املاح

| روش آبیاری                                    | کاربرد                                                                                                | الگوی تجمع املاح                                                                            | کارایی آبشویی املاح                                                                                            | ملاحظات ویژه                                                                                                       |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| جوپچهای                                       | گیاهان ردیفی، خاک‌هایی با نفوذپذیری پایین تا متوسط                                                    | روى پشته‌ها و چنانچه یکپارختی آبیاری پایین باشد، در امتداد شیب                              | نمک از خاک به درون جوی شسته شده و روی پشته‌ها باقی می‌ماند. نسبت به روش‌های سبک‌تر آبیاری، آب بیشتری نیز دارد. | ندارد                                                                                                              |
| نواری                                         | کشت‌های متراکم                                                                                        | روی پشته بین نوارها                                                                         | مشابه آبیاری جوپچهای                                                                                           | ندارد                                                                                                              |
| کرتی                                          | کشت‌های متراکم                                                                                        | روی پشته‌هایی که کرت‌ها را جدا می‌کند.                                                      | مشابه آبیاری جوپچهای                                                                                           | ندارد                                                                                                              |
| بارانی ثابت                                   | بیشتر گیاهان، در خاک‌های با بافت خاک ریزدانه محدودیت دارد.                                            | اگر سامانه آبیاری به‌خوبی طراحی و مدیریت شود، هیچ تجمعی از نمک در ناحیه ریشه باقی نمی‌ماند. | آبشویی یکپارخت می‌تواند برای آبشویی املاح به‌جامانده از کاربرد سایر روش‌ها به کار گرفته شود.                   | می‌تواند باعث گسترش بیماری در گیاهان حساس شود (مثل لوبیا). آب آبیاری شور می‌تواند بقایای مضر روی گیاه به‌جا گذارد. |
| بارانی متحرک                                  | تاکستان‌ها، قابل کاربرد در زمین‌های ناهموار                                                           | مشابه آبیاری بارانی ثابت                                                                    | مشابه آبیاری بارانی ثابت                                                                                       | مشابه آبیاری بارانی ثابت                                                                                           |
| روش‌های خردآبیاری (قطره-ای، موضعی و زیرزمینی) | به دلیل هزینه‌های سرمایه‌ای بالا، بیشتر برای کشت‌های با ارزش‌تر و یا کشت‌های با هزینه بالای نیروی کار | خارج از نیاز رطوبتی قطره-چکان‌ها                                                            | پیش‌از رطوبتی به‌خوبی آبشویی می‌شود، ولی آبشویی تمام سطح مزرعه تا عمق ریشه بسیار مشکل است.                     |                                                                                                                    |

#### ۴-۳-۱- تجربیات داخلی و خارجی

گزارش‌های متفاوتی از انباشت و تراکم نمک‌ها، تأثیر املاح بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش مقدار نمک خاک در فرایند آبیاری تحت فشار وجود دارد (جوادزاده و همکاران، ۱۳۹۴). در راستای بهبود بازده مصرف آب در اراضی طرح ۵۵۰ هزار هکتاری خوزستان و ایلام، متخصصین مؤسسه جهاد نصر به‌عنوان متولیان اجرای این طرح، پیگیر بهره‌گیری از این روش‌ها پس از رفع ابهاماتی در زمینه محدودیت‌های محتمل شوری و سدیمی بودن خاک‌های برخی مناطق زیرپوشش طرح گردیده‌اند. آسالان و دهقانی سانچ (۱۳۹۴) در این پژوهش تغییرات شوری خاک در یک مزرعه گندم تحت سیستم آبیاری بارانی و آبیاری سطحی تحت مدیریت کشاورزی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد سیستم آبیاری سطحی در آبخویی خاک عملکرد مناسب‌تری داشته و عملکرد پایین سیستم آبیاری بارانی در آبخویی خاک به ضعف مدیریت آبیاری نسبت داده شد. همچنین نتایج نشان داد با آن‌که در شرایط مدیریت کشاورزی، کاهش شوری متأثر از روش بارانی اندک بود اما به‌واسطه فراهم شدن آبیاری با دور کمتر کارایی مصرف آب افزایش یافت.

شریفی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) اعتقاد دارند پخش یکنواخت آب در سطح زمین می‌تواند موجب شست‌وشوی یکسان نمک‌ها از سطح زمین گردد که این مسئله از نقاط قوت آبیاری بارانی با آب شور به‌واسطه راندمان بالای شست‌وشوی نمک نسبت به سایر روش‌های آبیاری است.

عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۲) در تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر پساب تصفیه‌خانه شاهین‌شهر اصفهان و سامانه‌های آبیاری روی EC خاک، آزمایش‌هایی را برای چند محصول زراعی به مدت یک سال انجام داد. تیمارهای آب آبیاری شامل آبیاری با پساب و آبیاری با آب چاه و تیمارهای سیستم آبیاری شامل سیستم آبیاری بارانی و سیستم آبیاری سطحی و محصولات کشت‌شده، چغندر قند، ذرت و آفتابگردان بود. نمونه‌برداری از خاک، در چهار عمق ۲۰-، ۴۰-، ۸۰- و ۱۲۰- سانتی‌متری در سه مرحله اول، وسط و انتهای فصل رشد انجام گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پساب، کاهش شوری خاک را در پی داشته است، به‌طوری‌که این کاهش در مقایسه با تیمار آب چاه معنی‌دار است. بهره‌گیری از پساب برای آبیاری باعث شده است که خاک‌های شور و سدیمی منطقه به یک خاک با شوری بین ۷/۲۵ تا ۲/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر تغییر یابند. در این تحقیق آبیاری بارانی تأثیر معنی‌داری بر کاهش شوری خاک در مقایسه با آبیاری سطحی داشته است و املاح در طول فصل رشد، در اثر آبخویی کاهش یافته و به زیر عمق توسعه ریشه‌ها منتقل گردیده است. مقدار این کاهش بستگی به نسبت آبخویی و بافت خاک در عمق‌های مختلف خاک دارد. در سیستم آبیاری بارانی به دلیل افزایش راندمان پخش آب در سطح خاک، راندمان آبخویی املاح بیش از آبیاری سطحی است. روند آبخویی املاح، در کشت چغندر و ذرت به جهت بالا بودن نیاز آبی، بیش از کشت آفتابگردان بود.

خاک زراعی منبعی ارزشمند است و تهیه و توسعه نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر کیفی خاک، نقش مهمی در حفظ و مدیریت حاصلخیزی و توسعه پایدار هر منطقه ایفا می‌نماید. ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر کیفی خاک امکان تغذیه متعادل خاک و گیاه و تدارک، توصیه و عناصر غذایی برای مناطق مختلف مزرعه را فراهم می‌سازد. ضمن آن‌که بخش اجرا نیز امکان تأمین سبدهای غذایی خاک و گیاه را به‌طور منطقه‌ای و مناسب برای کشاورزان خواهد یافت (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). بیات و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند پهنه‌بندی پراکنش عناصر غذایی و پارامترهای شیمیایی خاک می‌تواند نشان‌دهنده مشکلات احتمالی در زمین‌های مورد آبیاری باشد؛ بنابراین پهنه‌بندی پراکنش پارامترهای کیفی خاک در توجیه تغییر روش آبیاری با توجه به کمبود منابع آب، کنترل عناصر کیفی خاک و تصمیم‌گیری‌های مناسب در مدیریت کشاورزی کارایی دارد.

در سال‌های اخیر به دلیل محدودیت منابع آب در دشت ملایر، روش‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار در حال تغییر است. زارع ایبانه و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی تغییرات کیفیت خاک با تغییر روش آبیاری پرداخته‌اند. در این پژوهش ۱۴ مزرعه و دو باغ مجهز به سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای انتخاب و تغییرات کیفی خاک آن‌ها نسبت به مقادیر متناظر قبل از اجرا ارزیابی شد. نتایج نشان داد تغییر روش آبیاری باعث کاهش پتاسیم و افزایش فسفر و نیتروژن خاک شده است. شوری یا هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) مهم‌ترین پارامتر کیفی خاک است که در ۶۰ درصد از نمونه‌ها، با مقادیر متفاوتی از کاهش در حد ۷/۱ تا ۸۲/۶ درصد و در ۴۰ درصد از نمونه‌ها با مقادیر متفاوتی از افزایش در حد ۵۷/۷ تا ۱۸۷/۳ درصد مواجه بوده است. در مجموع، شوری خاک در اثر اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار به‌طور میانگین ۷/۲۹ درصد افزایش غیر معنی‌دار داشته است. پهنه‌بندی خصوصیات شیمیایی خاک در این تحقیق نشان داد میزان هدایت الکتریکی خاک قبل از اجرای سامانه آبیاری تحت فشار در ۸۸ درصد از اراضی دشت کمتر از ۷۴۱ dS/m بود که با اجرای آبیاری تحت فشار میزان شوری در ۸۹ درصد از اراضی به کمتر از ۵۸۰ dS/m کاهش یافت. کاهش شوری خاک با مطالعات عابدی کوپایی (۱۳۸۲) و شریفی پور و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر نقش آبیاری بارانی بر کاهش شوری خاک در مقایسه با آبیاری سطحی همخوانی دارد. به نظر می‌رسد سامانه‌های نوین آبیاری به دلیل راندمان مناسب پخش و توزیع یکنواخت آب ضمن کاستن از مصرف کود و مواد غذایی، از تجمع املاح در خاک جلوگیری می‌نمایند. در مجموع کم بودن EC اولیه خاک و به تبع کاهش مقدار آن پس از اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار موجب حفظ و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و فعالیت ریشه گیاهان می‌شود که نتیجه آن می‌تواند به بهبود وضعیت عملکرد محصولات زراعی بیانجامد (بیات و همکاران، ۱۳۹۵).

مختاران و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی تأثیر بهره‌برداری از سامانه آبیاری بارانی را بر خاک‌های مستعد به شور و سدیمی شدن در کشت‌های گندم و ذرت در مناطق مرکزی و جنوبی



استان خوزستان در سه کشت بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، در صورتی که همراه با تعیین دقیق نیاز آبی و آبشویی باشد و مدیریت آبیاری متناسب با نیاز واقعی گیاه انجام گیرد، می تواند موجب کنترل شوری در پروفیل یک متری خاک گردد. از سوی دیگر، آیش ماندن زمین در فاصله دو کشت تابستانه می تواند به شدت شوری خاک را افزایش داده و در نتیجه آن، تهیه زمین متناسب در ابتدای فصل کشت بعدی ضرورت می یابد.

ناصری و همکاران (۲۰۰۹) کیفیت خاک را در سامانه های مختلف آبیاری در دشت لالی بررسی نمودند. پس از تجزیه و تحلیل و ارزیابی ویژگی های خاک منطقه، نقشه های مناسب برای روش های آبیاری سطحی، بارانی و قطره ای با استفاده از فن سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. نتایج نشان داد که ۴۸/۴۵ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه برای تمام روش های آبیاری بسیار مناسب است، در حالی که ۱۰/۸ درصد از سطح منطقه برای روش های آبیاری سطحی نامناسب است. نتایج نشان داد که با اعمال روش های آبیاری بارانی و قطره ای به جای روش های آبیاری سطحی، طبقات تناسب اراضی به میزان ۳۸۴ هکتار (۱۰/۸ درصد) برای دشت لالی بهبود می یابد. البته در استفاده از این نوع آبیاری، تغییر مدیریت کشاورزی ضروری است و مستلزم در دسترس بودن سرمایه اولیه زیاد تر برای کشاورزان و همچنین سازمان دهی انبار و بازار متفاوت است. از سوی دیگر، به دلیل کمبود آب به خصوص در اقلیم خشک و نیمه خشک، سامانه های آبیاری تحت فشار، پتانسیل قابل توجهی در صرفه جویی در مصرف آب دارند.

برخی از محققان مطالعات طولانی مدت شوری را در مقیاس های جغرافیایی بزرگ تر، مانند مناطق آبیاری انجام داده اند. آن ها به این نتیجه رسیدند که تغییر خالص سالانه شوری مختص سایت است و مطالعات بیشتری برای درک روند تغییر نمک و دلایل آن مورد نیاز است. آن ها همچنین خاطرنشان کردند که نظارت بر شوری در مکان های خاص در دراز مدت می تواند به درک بهتر الگوهای حرکت نمک در پروفیل خاک کمک کند.

اگرچه مطالعات ارزشمندی در مورد تغییرات طولانی مدت شوری خاک در مقیاس های بزرگ انجام شده است ولی در هیچ یک از آن ها دوره هایی از رویدادهای شدید آب و هوایی مانند خشکسالی و سیل دیده نمی شود. از آنجایی که انتظار می رود تغییرات آب و هوایی تأثیر فراوانی در روند شوری خاک داشته باشد، چمکی و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه ای در این خصوص در منطقه آبیاری LAID جنوب غربی اوکلاهما (بزرگ ترین طرح آبیاری آب سطحی در اوکلاهما) در طول هشت فصل رشد انجام دادند. در نیمی از این دوره منطقه با خشکسالی شدید مواجه بود که در آن آبیاری متوقف شد و پس از این دوره منطقه با بارش های شدید همراه شد. خاک این منطقه قبل و بعد از یک دوره نمونه برداری شد. به جز pH و کلسیم (Ca)، پارامترهای مورد مطالعه در کل منطقه، تغییر آماری معنی داری

را نشان نداد. میانگین pH به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت و میانگین کلسیم در طول دوره مطالعه کاهش یافت. در این تحقیق کاهش سدیم (Na) و هدایت الکتریکی (EC) در لایه‌های بالایی و افزایش این پارامترها در لایه‌های پایین مشاهده شد. به‌طور کلی، چهار سال خشکسالی شدید بدون کاربرد آبیاری با یک دوره بارندگی شدید، شوری خاک را در لایه سطحی کاهش داد، اما نمک‌ها را به سمت پایین به بخش میانی پروفیل خاک منتقل کرد. این کاهش شوری سطح خاک برای استقرار نهال مفید بوده ولی به دلیل بالا بودن سطوح pH، EC و ESP در لایه‌های پایینی خاک باعث کاهش عملکرد می‌گردد.

#### ۴-۳-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها

تغییر روش‌های آبیاری از سطحی و سنتی به تحت فشار و مدرن به دلیل محدودیت منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر است و ممکن است موجب تغییرات کیفی خاک‌های زراعی به‌واسطه ارتقای راندمان آبیاری و کاهش آب مصرفی گردد. گزارش‌های متفاوتی از انباشت و تراکم نمک‌ها، تأثیر املاح بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش یا افزایش مقدار شوری خاک در فرایند آبیاری بارانی وجود دارد. همان‌طور که ملاحظه گردید برخی محققان معتقدند آبیاری بارانی باعث کنترل شوری خاک شده و عده‌ای معتقدند آبیاری بارانی باعث افزایش شوری در پروفیل خاک به‌خصوص در مناطق گرم و خشک و کم‌آب می‌شود.

باید توجه داشت که تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر اقلیم، نوع سامانه آبیاری و مدیریت کشاورز است؛ در نتیجه تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک از جمله شوری خاک را نمی‌توان منحصرأ به سیستم آبیاری بارانی نسبت داد.

آبیاری بارانی باعث آبهویی متناوب خاک می‌شود و کارایی این نوع آبهویی از عواملی چند تأثیر می‌پذیرد:

- زمانی که آبهویی متناوب در شرایطی با تبخیر بالا انجام شود، ممکن است نمکی که به لایه‌های کم‌عمق خاک آبهویی شده، در زمان قطع جریان، به دلیل تبخیر به سطح خاک برگردد.
- تسطیح خاک به راندمان این روش کمک می‌کند.
- استفاده از این روش در خاک‌های با هدایت هیدرولیکی بالاتر که پتانسیل جریان ترجیحی در آن‌ها قوی‌تر است، مؤثرتر خواهد بود.
- حضور گیاهان با کاهش تبخیر و توسعه نفوذپذیری سطحی، کارایی این روش را افزایش می‌دهد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اغلب نقاط کشور بهتر است برای استفاده بهینه از سامانه‌های آبیاری بارانی در راستای کنترل شوری خاک به موارد زیر توجه نمود:

- توسعه ترویج فرهنگ مناسب آبیاری و انتخاب الگوی کشت مناسب با شرایط منطقه
- استفاده از ارقام مقاوم به شوری
- رعایت اصول فواصل بین آبیاری و عدم آبیاری در ساعات گرم و پرباد
- رعایت اصول آیشویی با آبیاری بارانی
- آیشویی سطحی در زمان آیش یا فصول بدون کشت
- استفاده از سیستم آبیاری بارانی در خاک‌های سبک با زهکشی خوب
- نظارت و تجزیه و تحلیل مکرر نمونه‌های خاک و پایش شوری خاک از طریق تصاویر ماهواره-ای
- پهنه‌بندی شوری خاک در اراضی تحت کشت
- برنامه‌ریزی مناسب آبیاری
- مدیریت و ایجاد تعادل بین سطح توسعه و کمیت و کیفیت آب برای ایجاد تعادل نمک در خاک (حفظ تعادل بیلان آب و نمک)
- استفاده از سیستم هوشمند آبیاری بارانی برای کنترل شوری خاک

#### ۴-۴- شوری آب در آبیاری بارانی

در مناطق کم‌آب، دو راهبرد مهم مدیریتی برای افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی، استفاده از منابع آب‌های جایگزین (آب‌های شور) و ارتقای راندمان آبیاری است. آب‌های شور به دلایل مختلف (آثار و تبعات منفی بر گیاه، خاک و محیط‌زیست) جزء منابع آبی به شمار نمی‌آیند. ولی امروزه کمبود منابع آبی به حدی است که استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. البته شواهد متعددی در بین کشاورزان وجود دارد که مبادرت به استفاده موفقیت‌آمیز از این نوع آب‌ها برای تولیدات کشاورزی نمودند.

ریشه گیاهان رطوبت را از طریق غشاهای موجود در سلول‌های ریشه از طریق اسمز جذب می‌کند. اگر آب آبیاری شور باشد، گیاه برای جذب آب از خاک دچار سختی شده، رشد آن کند می‌شود و عملکرد کاهش می‌یابد. اگر آب آبیاری بسیار شور باشد، فرایند اسمز معکوس اتفاق می‌افتد و آب از ریشه به سمت محلول اطراف حرکت می‌کند. این گیاه رطوبت خود را از دست می‌دهد و دچار استرس می‌شود به همین دلیل است که علائم آسیب نمک شبیه به استرس رطوبتی بالا است. غلظت بیش‌ازحد یون‌های سدیم و کلر در آب آبیاری می‌تواند باعث ایجاد سمیت در گیاهان شود. این یون‌ها می‌توانند از طریق ریشه یا تماس مستقیم با برگ‌ها جذب شوند و آسیب بیشتری در اثر

جذب مستقیم از طریق برگ‌ها ایجاد می‌شود. علائم معمول سمیت سدیم، سوختگی برگ‌ها به-خصوص در امتداد لبه‌های بیرونی آن‌هاست. غلظت بالای سدیم در آب آبیاری می‌تواند باعث کمبود کلسیم و پتاسیم در خاک‌ها نیز شود. SAR بالا نشان می‌دهد که پتانسیل تجمع سدیم در خاک وجود دارد و ممکن است ساختار خاک با شکستن دانه‌های رسی تخریب شده و منجر به غرقابی و رشد ضعیف گیاه شود. یون کلرید به ریشه گیاه جذب شده و در برگ‌ها تجمع می‌یابد. تجمع بیش‌ازحد ممکن است باعث سوختن نوک یا حاشیه برگ‌ها، برنزه شدن و زردی زودرس برگ‌ها شود. گیاهان مختلف از نظر تحمل به کلرید و سدیم متفاوت هستند. برخی از گیاهان که به جذب یون‌های کلرید یا سدیم از طریق ریشه حساس نیستند، در صورت آبیاری بارانی با آب‌شور، علائم سوختگی برگ نشان می‌دهند. آسیب در شرایط گرم و خشک بسیار شدیدتر است؛ زیرا تبخیر، نمک‌ها را روی سطوح برگ متمرکز می‌کند. آسیب به برگ تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی مانند بادهای خشک، رطوبت کم، سرعت چرخش آبپاش‌ها و زمان و دفعات آبیاری تغییر می‌کند.

#### ۴-۴-۱- تجربیات داخلی و خارجی

محصولاتی که با آب‌شور آبیاری می‌شوند در معرض جذب برگ‌ی نمک و همچنین آسیب ناشی از شوری خاک هستند. کاهش عملکرد ناشی از شوری خاک در اغلب موارد بررسی و ارائه گردیده است. اگرچه آسیب برگ‌ی در بسیاری از محصولات آبیاری شده با آب شور، به‌ویژه محصولات درختی مشاهده شده است، اساساً اطلاعات دقیقی برای پیش‌بینی تلفات عملکرد به‌عنوان تابعی از غلظت نمک آب آبیاری در دسترس نیست. البته در سال ۱۹۸۵، مس فهرستی از آستانه تحمل گیاهان به آب شور در آبیاری بارانی را منتشر کرد. در این گزارش آستانه شوری برای آسیب محلول‌پاشی ناشی از آبیاری بارانی برای برخی از محصولات برآورد شده است. با این حال، شرایط آب‌وهوایی و استراتژی‌های مدیریتی تا حد زیادی بر شروع و میزان آسیب تأثیر می‌گذارند.

زهتابیان و همکاران (۱۳۸۵) با انجام تحقیقی در دشت کبوترخان در استان کرمان نتیجه گرفتند آبیاری با آب شور و بافت سنگین خاک از عوامل اصلی شوری خاک در این دشت است. قهرمانی پیرسلامی و همکاران (۱۳۹۵) به‌منظور بررسی اثر آبیاری بارانی با سطوح مختلف شوری شامل ۲/۹ (شاهد)، ۳/۵، ۴/۱۰، ۴/۷ و ۵/۳ دسی‌زیمنس بر متر بر عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک ذرت، آزمایشی با سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۲ در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام دادند. بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که آبیاری بارانی با آب شور با اختلال در اعمال فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش غلظت سدیم برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، محتوای آب نسبی، میزان سبزیگی برگ و کاهش سطح برگ، باعث کاهش تجمع ماده خشک و عملکرد دانه ذرت گردید. با این حال با توجه به شوری و نیمه‌شوری بسیاری از منابع آب خوزستان، اثرات نامطلوب

شوری آب و خاک در آبیاری بارانی، استفاده از این روش آبیاری برای کشت گیاه نسبتاً حساس ذرت توصیه شده است. در این تحقیق جهت دستیابی به مقادیر مطلوب عملکرد دانه، مقادیر آستانه شوری آب در آبیاری بارانی در حدود ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر شناخته شد.

محلوجی و اکبری (۱۳۸۰) به‌منظور مطالعه اثر شوری آب با روش آبیاری بارانی بر عملکرد ارقام مختلف گندم، آزمایشی در سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت اصفهان اجرا نمودند. کرت‌های اصلی به چهار تیمار آب (با هدایت الکتریکی آب ۵، ۷، ۹ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) و کرت‌های فرعی به چهار رقم گندم (مهدوی، کراس سرخ تخم، قدس و نیک‌نژاد) اختصاص یافت. آبیاری کرت‌ها از روش تلفیقی بارانی با آب شیرین و شور انجام شد. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها نشان داد که تیمارهای مختلف کیفیت آب بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری دارند. عملکرد دانه با کیفیت آب ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به ۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۰ درصد کاهش نشان داد. ارقام مختلف از نظر عملکرد، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. میانگین وزن خشک اندام‌های ارقام در مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک، میانگین وزن هزار دانه و میانگین انباشت یون سدیم و پتاسیم در برگ پرچم مرحله گلدهی، ارقام اختلاف معنی‌داری نشان دادند.

یکی از مهم‌ترین آثار شوری اختلال در جذب عناصر غذایی توسط گیاه است که باعث برهم خوردن تعادل کاتیونی در گیاه و آسیب به فعالیت‌های حیاتی آن می‌گردد. در گیاه جو، زیادی کلرورسدیم در محیط باعث ممانعت از جذب کلسیم می‌گردد و در این حالت علائم کمبود کلسیم در گیاه بروز نموده و کاهش رشد را به دنبال دارد. سدیم عنصری است که برخلاف بسیاری از عناصر دیگر در اثر شوری در بافت تجمع می‌یابد. تجمع سدیم در بافت گیاهی رابطه مستقیمی با میزان فعالیت با غلظت سدیم در محیط دارد و یک رابطه منفی بین میزان سدیم بافت گیاه و عملکرد وجود دارد. به نظر می‌رسد دفع نمک مکانیزمی برای بقای اغلب گیاهان زراعی در شرایط شور است. بین مقدار سدیم موجود در برگ و میزان تحمل به شوری همبستگی وجود دارد. لذا این همبستگی می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای مقاومت به شوری مورداستفاده قرار گیرد (پذیرا، ۱۳۹۱).

بنس و همکاران (۱۹۹۶) پیامدهای آبیاری بارانی با آب شور را روی محصول ذرت و جو ارزیابی کردند. آبیاری بارانی با آب شور باعث جذب املاح توسط برگ‌ها شده و می‌تواند باعث کاهش عملکرد بیشتر از آنچه در خاک‌های شور رخ می‌دهد، شود. برای این بررسی آزمایش‌های گلدانی در فضای باز و در پردیس اولادی در نزدیکی ساراگوزای اسپانیا روی ذرت و جو در چهار تیمار انجام شد (تیمار شاهد، خاک شور، آبیاری بارانی با آب شور و تیمار ترکیبی شوری خاک و آب آبیاری). محلول نمک مورداستفاده برای ذرت در سال ۱۹۹۳، ۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر و برای جو در سال ۱۹۹۴، ۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. آبیاری بارانی با آب شور (دو تا سه بار در هفته به مدت ۳۰ دقیقه) غلظت سدیم را بسیار بیشتر از شوری خاک (ریشه به‌طور مداوم در معرض شوری) به‌ویژه در گیاه ذرت

افزایش داد. در مقابل غلظت کلر در شیرۀ برگ در آبیاری بارانی با آب شور و شوری خاک در ذرت و بیشتر با آبیاری بارانی در جو افزایش یافت. نتیجه‌گیری می‌شود که برگ‌های جو و تا حد زیادی برگ‌های ذرت، فاقد توانایی حذف انتخابی سدیم در آبیاری بارانی با آب شور هستند. در تیمار خاک و آب شور، برگ‌های ذرت و جو، سدیم و کلر را ۱۱ تا ۱۴ درصد کمتر از مجموع تیمارهای خاک شور و آب شور جذب کردند که نشان‌دهنده تعامل جزئی بین فرایندهای جذب برگ و ریشه است. در ذرت، عملکرد نسبت به شاهد برای گیاهانی که فقط در معرض آبیاری بارانی با آب شور یا شوری خاک قرار داشتند کاهش یافت، درحالی‌که در جو، آبیاری بارانی با آب شور مضرتر از شوری خاک بود. ذرت و جویی که با آب شور آبیاری بارانی شده بودند، اما خاک آن‌ها شور نبود، غلظت قابل‌توجهی از سدیم و کلر در شیرۀ برگ خود داشتند. در این گیاهان، سدیم و کلر عمدتاً از طریق برگ‌ها جذب شدند و غلظت این یون‌ها در شیرۀ برگ به همان اندازه یا در مورد سدیم بیشتر از گیاهانی بود که آبیاری با آب معمولی داشتند و در خاک شور رشد کردند (جذب یون عمدتاً از طریق ریشه)؛ بنابراین به نظر می‌رسد که مقادیر زیادی سدیم و به میزان کمتر کلر توسط برگ‌های ذرت و جو جذب می‌شود. با توجه به کوتاهی زمان قرار گرفتن برگ‌ها در معرض نمک‌پاشی (کل زمان تجمعی کمتر از یک روز)، در مقایسه با مواجهۀ مداوم ریشه با خاک شور، سرعت جذب یون توسط برگ‌های ذرت و جو بسیار سریع است. افزایش غلظت سدیم و کلر شیرۀ برگ ناشی از جذب برگ با کاهش زیست‌توده رویشی در هر دو گونه و کاهش عملکرد دانه و تمام اجزای آن در جو همراه بود.

اکبری و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از سیستم آبیاری بارانی خطی، به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری (عناصر مضر سدیم و کلر) بر دو گیاه ذرت و یونجه در استان کرمان پرداختند. برای ایجاد سطوح مختلف شوری در این پژوهش از سه خط آبیاری بارانی استفاده شد که خط وسط از آب شور و دو خط مجاور در دو طرف آن از منبع آب غیرشور تغذیه گردید. نتایج تجزیه و تحلیل‌ها حاکی از آن است که کاهش قابل‌مقایسه عملکرد محصول ذرت دانه‌ای از شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمایان گردید و در شوری بالاتر از ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر برگ‌های گیاه ذرت دانه‌ای دچار سوختگی شدید شدند. اگرچه کاهش عملکرد محصول یونجه در شوری آب آبیاری بیشتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، لیکن سوختگی شدید در برگ‌های یونجه در شوری بالاتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، محدوده مجاز شوری آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی برای گیاه ذرت و یونجه کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. در صورتی که شوری آب آبیاری بیش از مقدار ذکر شده باشد، بهتر است از مدیریت‌های خاص مانند آبیاری در شب و یا از سایر سامانه‌های آبیاری که آب روی شاخ و برگ گیاه پاشیده نمی‌شود استفاده گردد.

ایزلا و آراگوس (۲۰۱۰) عملکرد گیاه ذرت را در آبیاری بارانی با آب شور بررسی نمودند. این کار در حوضه رودخانه ابرو اسپانیا طی ۳ سال برای آب‌های با شوری بین ۵٪ تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. نتایج نشان داد غلظت سدیم و کلر در بافت‌های مختلف گیاهی به‌صورت خطی با افزایش هدایت الکتریکی آب افزایش می‌یابد. کلر گیاه در EC کم بسیار بیشتر از سدیم بود، اما جذب یون برگ با افزایش EC برای سدیم بیشتر از کلر بوده و عملکرد نسبت به سدیم گیاه حساس‌تر از تجمع کلر ارزیابی شد. در این مطالعه، آبیاری شبانه تأثیری روی کاهش تجمع سدیم و کلر برگ و افزایش عملکرد نداشت.

برنستین و فرانکوایز (۱۹۷۳) اثرات فراوانی آبیاری بارانی با آب شور را در مقایسه با آبیاری قطره‌ای روزانه در گیاه فلفل دلمه‌ای مقایسه نمودند. فلفل دلمه‌ای در کرت‌های کوچک به‌طور متوسط هر ۲/۳، ۳/۵ و ۴/۷۵ روز یک‌بار با آب کم‌نمک، متوسط و شور (به‌ترتیب ۴۵۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) آبیاری بارانی شد. در سه قطعه نیز به‌صورت روزانه با هر سه آب آبیاری قطره‌ای انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد آبیاری بارانی با آب کم‌نمک و آبیاری قطره‌ای با هر سه آب هیچ آسیبی به برگ‌ها وارد نکرد. گیاهانی که هر ۲/۳ روز یک‌بار با آب شور آبیاری بارانی می‌شوند، نسبت به گیاهانی که کمتر آبیاری بارانی می‌شوند، بیشتر دچار سوختگی برگ شده و عملکرد کمتری تولید می‌کنند. آبیاری بارانی با آبی با شوری متوسط عملکرد را به میزان قابل‌توجهی فقط در تعداد دفعات بالای آبیاری (۲/۳ روز یک‌بار) کاهش داد، اما آبیاری بارانی با آب شور باعث کاهش عملکرد بیش از ۵۰ درصد در تمام دفعات آبیاری شد درحالی‌که در آبیاری قطره‌ای کاهش عملکرد ۱۴ درصد مشاهده شد. به نظر می‌رسد آبیاری بارانی با آب شور باعث ایجاد حساسیت به سدیم و کلر در فلفل دلمه‌ای می‌شود، درحالی‌که در آبیاری سطحی با آب شور این حساسیت وجود ندارد. دهقان‌پور (۱۳۹۱) به‌منظور بررسی فناوری الکترومغناطیس در استفاده از آب شور در آبیاری بر مراحل جوانه‌زنی و سبزی‌نگی گیاه ماش در تاریخ کشت‌های مختلف، تحقیقی را در تابستان ۱۳۹۰ در اراضی کهنک از توابع شهرستان دزفول واقع در استان خوزستان با اجرای دو تیمار آبیاری بارانی با آب شور بدون مغناطیس (مزرعه شاهد) و آبیاری بارانی با آب شور مغناطیس‌شده در سه نوبت کشت تیر، مرداد و شهریور انجام داد. مشاهده شد در کلیه تکرارها همواره تعداد بذره‌های جوانه‌زده و میزان سبزی‌نگی در مزرعه تیمار نسبت به مزرعه شاهد بیشتر بوده، ولی این تفاوت بین گروه‌های شاهد و تیمار در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده و فناوری مذکور تأثیر لازم بر گروه تیمار را نداشته است. در اندام گیاهی نیز در تکرارهای مزارع شاهد، اندازه برگ کوچک‌تر ولی طول ریشه بلندتر از مزارع تیمار بود، ضمناً اثر شدید برگ‌سوزی تا توقف رشد و از بین رفتن کامل در مرحله ۲ تا ۵ برگی مزرعه مشهود بود.

احسان قاضی‌زاده و سیاری (۱۳۹۲) نیز در تحقیقی اثرات آب مغناطیسی را بر شوری و آب‌گرفتگی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار (بارانی و قطره‌ای) بررسی کردند و از میدان مغناطیسی برای کاهش ترکیبات یون کلسیم آب شور استفاده کردند.

#### ۴-۴-۲- جمع‌بندی، توصیه‌ها و راهکارها

محصولات تحت کشت با آبیاری بارانی در معرض آسیب‌های ناشی از جذب نمک به برگ‌ها و سوختن در اثر تماس آب شور با برگ‌ها هستند. با توجه به شوری و نیمه‌شوری بسیاری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور، به‌ویژه در مناطق دارای آب‌وهوای گرم‌وخشک برای استفاده مطلوب از آب‌های شور در کشاورزی، علی‌رغم اثرات نامطلوب شوری آب‌وخاک در آبیاری بارانی، شاید بتوان از این روش آبیاری با لحاظ موارد زیر بهره برد:

- استفاده از گونه‌ها و ارقام زراعی مقاوم به شوری آب‌وخاک: این گیاهان دارای سامانه‌های ریشه‌ای هستند که به‌طور مؤثر انتقال سدیم و کلر را به اندام‌های هوایی محدود می‌کنند.
- توجه به مرحله رشد گیاه: گیاهان به‌طور کلی در طول جوانه‌زنی و در مرحله گیاهچه بیشتر مستعد آسیب شوری هستند، بهتر است در این مرحله در صورت امکان از آب با کیفیت بالاتری استفاده شود.

- آبیاری شبانه به‌خصوص در شرایط گرم‌وخشک

- عدم آبیاری در هنگام وزش بادهای شدید

- عدم استفاده از آبپاش‌های کوچک که قطرات ریز و غبار تولید می‌کنند.

- استفاده از آب مغناطیسی‌شده

لازم به ذکر است در هنگام استفاده از آبیاری بارانی با آب شور علاوه بر بررسی کیفی آب، می‌بایست سایر عوامل همچون عوامل جوی، خاک، تحمل به شوری و یون‌های ویژه گیاه و مدیریت آبیاری مدنظر قرار گیرد.





## فصل پنجم

طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی

### ۵-۱- هدف طراحی سامانه آبیاری بارانی

هدف اصلی از طراحی سامانه آبیاری بارانی تأمین آب موردنیاز گیاه در زمان اوج آن است. عمق پخش آب با سامانه آبیاری بارانی به موارد زیر بستگی دارد:

- تبخیر-تغرق در زمان اوج آن
- گنجایش نگهداری آب در خاک ( $W_a$ )
- بیشینه تخلیه مجاز آب خاک ( $MAD$ )
- عمق ریشه گیاه ( $Z$ )

تبخیر-تغرق گیاه را می‌توان بر اساس داده‌های هواشناسی و فرمول‌های تجربی محاسبه تبخیر-تغرق تعیین کرد. بیشینه عمق آبی که در هر آبیاری می‌توان در منطقه توسعه ریشه گیاه ذخیره کرد ( $I_x$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_x = 0.01 \times MAD \times W_a \times Z \quad (۱-۵)$$

نیاز آبی روزانه گیاه در دوره اوج ( $U_d$ ) با در نظر گرفتن تبخیر-تغرق بیشینه گیاه ( $ET_c - max$ ) و بارندگی مؤثر ( $P_{eff}$ ) که معمولاً در این موقع از فصل رشد برابر صفر است، از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$U_d = ET_c - max - P_{eff} \quad (۲-۵)$$

بارندگی مؤثر در دو اقلیم خشک و مرطوب از روابط زیر محاسبه می‌شود (کولانیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱):

$$\text{If } P \leq 70mm \rightarrow P_{eff} = 0.6P - 10 \quad (۳-۵)$$

$$\text{If } P > 70mm \rightarrow P_{eff} = 0.8P - 24 \quad (۴-۵)$$

با در اختیار داشتن نیاز آبی گیاه در دوره اوج مصرف ( $U_d$ ) و بیشینه عمق آب آبیاری ( $I_x$ )، می‌توان حداکثر دور آبیاری ( $fx$ ) را حساب کرد:

$$fx = \frac{I_x}{U_d} \quad (۵-۵)$$

حاصل رابطه بالا به عدد صحیح پایین‌تر رانده می‌شود، مثلاً اگر جواب  $۵/۷$  روز باشد به ۵ روز رانده می‌شود. البته این بیشینه دور آبیاری است و با توجه به مسائل مدیریتی در اکثر مواقع مقداری

کمتر از  $f_x$  لحاظ می‌شود که آن را با  $f^*$  نشان می‌دهند؛ بنابراین،  $I_x$  نیز که بیشینه عمق آب آبیاری است نیز کاهش می‌یابد. با اضافه کردن مواردی نظیر نیاز آبتوی و جبران راندمان آبیاری ( $E_a$ ) به عمق خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری ( $E_a$ ) تعیین می‌شود. اگر نیاز آبتوی کمتر از ۱۰ درصد باشد، از اضافه کردن آن به عمق ناخالص آبیاری صرف‌نظر می‌شود و عمق ناخالص آبیاری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_g = \frac{I_n}{E_a} \quad (۶-۵)$$

در حالتی که نیاز آبتوی بیشتر از ۱۰ درصد باشد  $I_g$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_g = \frac{I_n}{(1 - LR)E_a} \quad (۷-۵)$$

در برخی مواقع در صورت کسر یک ضریب ۹/۰ استفاده می‌شود که برای اطمینان از تأمین آب موردنیاز گیاه بهتر است حذف شود. عمق ناخالص آبیاری و سرعت پخش آن در آبیاری بارانی باید به گونه‌ای انتخاب شود که روان‌آب در سطح واحد آبیاری ایجاد نشود. برای جلوگیری از بروز روان‌آب، بایستی سرعت پخش آبپاش کوچک‌تر و حداکثر مساوی سرعت نفوذ نهایی خاک باشد. البته این محدودیت شامل سامانه‌های متحرک نظیر سنتریپوت و لینیئر نمی‌شود.

سرعت یا شدت پخش ناخالص آبپاش به مقدار آبی گفته می‌شود که در واحد زمان در دایره پاشش پخش می‌شود. متوسط سرعت پخش یک آبپاش ( $dg$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$dg = 60 \frac{Q}{a} \quad (۸-۵)$$

که در آن:

$dg$  = شدت پخش (میلی‌متر در ساعت)

$Q$  = دبی آبپاش (لیتر در دقیقه)

$a$  = مساحت دایره پاشش (مترمربع)

اگر تعدادی آبپاش باهم کار کنند می‌توان به جای مخرج کسر از حاصل ضرب فاصله لترال‌ها روی لوله اصلی و فاصله آبپاش‌ها روی لترال استفاده کرد ( $a = S_m \times S_l$ ). از مقدار آبی که از طریق آبپاش پخش می‌شود بخشی با تبخیر و بادبردگی ( $L_s$ ) تلف می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد؛ بنابراین شدت پخش خالص ( $da$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$da = dg (1 - L_s) \quad (۹-۵)$$

برای محاسبه تلفات تبخیر و بادبردگی می‌توان از روش تریمر استفاده کرد که در مرحله اول باید کمبود فشار بخار را محاسبه کرد:

$$es-ea = \frac{0.61}{(10-5)} \exp\left(\frac{17.27 \times T}{T + 23.73}\right) \times (1 - RH) \quad (10-5)$$

که در آن:

$es-ea$  = کمبود فشار بخار (کیلوپاسکال)

$T$  = دمای هوا (درجه سلسیوس)

$RH$  = رطوبت نسبی هوا (اعشار)

در مرحله دوم با استفاده از رابطه زیر تلفات تبخیر و بادبردگی محاسبه می‌شود:

$$Ls = \left( \frac{0.98 \times D^{-0.72}}{0.22(es-ea)^{-0.63}} + \frac{3}{6 \times 10^{-4}} \times h^{0.76} + \frac{0.14 \times U^{-0.7}}{0.22} \right)^{0.2} \quad (11-5)$$

که در آن:

$Ls$  = تلفات تبخیر و بادبردگی (درصد)

$D$  = قطر نازل (میلی‌متر)

$h$  = فشار آب در نازل (کیلوپاسکال)

$U$  = سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)

طراحی بیشتر سامانه‌های آبیاری بارانی شبیه همدیگر است و از اصول هیدرولیکی یکسانی تبعیت می‌کند. در ادامه برخی موارد کلی آورده شده است. اصل کلی برای طراحی لترال، رعایت اختلاف فشار در طول لترال است که در نتیجه آن، دبی آبپاش‌ها از یک محدوده مشخص خارج نخواهد شد. این اختلاف فشار معمولاً ۲۰ درصد است و بیشینه مجاز افت فشار از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_l = 0.2 H_a - H_e \quad (12-5)$$

که در آن:

$H_l$  = بیشینه مجاز افت فشار در اثر اصطکاک (متر)

$H_a$  = فشار طراحی شده برای آبپاش (متر)

$H_e$  = تغییر رقوم لوله در جهت جریان (متر)، اگر لوله رو به بالا باشد مقدار  $H_e$  مثبت و اگر رو به پایین باشد، منفی است.

حال باید افت واقعی در لوله لترال محاسبه شود و نباید از افت مجاز محاسبه شده بیشتر باشد. با توجه به خروج آب در طول لترال از طریق آبپاش‌ها و در نتیجه متغیر بودن دبی در طول آن، محاسبه افت در لوله لترال با لوله‌های معمولی متفاوت است. برای ساده کردن شیوه محاسبه افت فرضیات زیر لحاظ می‌شوند:

- فواصل آبپاش‌ها در طول لوله لترال مساوی هستند.
- دبی آبپاش‌ها برابر است.
- کل دبی

برای تکمیل فرایند محاسبه افت واقعی، مفهوم لوله معادل را در نظر می‌گیریم. لوله معادل، لوله‌ای است که قطر و ضریب اصطکاک آن برابر لوله لترال است، ولی آبپاشی روی آن نصب نیست یا به عبارتی دبی در سرتاسر طول آن ثابت است. از رابطه زیر برای محاسبه افت اصطکاک در لوله لترال استفاده می‌شود:

$$H_{l-a} = F \times H_{l-p} \quad (۱۳-۵)$$

که در آن:

$$H_{l-a} = \text{افت اصطکاک در لوله لترال (متر)}$$

$$H_{l-p} = \text{افت اصطکاک در لوله معادل (متر)}$$

$F$  = ضریب کریستین‌سن که بستگی به تعداد آبپاش نصب‌شده روی لترال دارد.

معمولاً از فرمول‌هایی نظیر هیزن-ویلیامز، دارسی-وایسباخ و اسکویی برای محاسبه افت اصطکاک در لوله‌ها استفاده می‌شود که استفاده از فرمول هیزن-ویلیامز کاربرد بیشتری دارد:

$$hf = ۱.۴۲ \times ۱۰^{-۱۰} \times L \left[ \frac{(Q/C)^{۱.۸۵۲}}{D^{۴.۸۷}} \right] \quad (۱۴-۵)$$

که در آن:

$$hf = \text{افت اصطکاک (متر)}$$

$$L = \text{طول لوله (متر)}$$

$$Q = \text{دبی (لیتر بر ثانیه)}$$

$$C = \text{ضریب هیزن-ویلیامز}$$

$$D = \text{قطر داخلی لوله (میلی‌متر)}$$

ضریب کریستین‌سن در دو حالت و از روابط زیر محاسبه می‌شود:

اگر اولین آبپاش با فاصله SI از لوله اصلی نصب شده باشد:

$$F = \frac{۱}{m+۱} + \frac{۱}{۲N} + \frac{(m-۱)^{۰.۵}}{۶N^۲} \quad (۱۵-۵)$$

اگر اولین آبپاش با فاصله SI/2 از لوله اصلی نصب شده باشد:

$$F = \frac{۲N}{۲N-۱} \left\{ \frac{۱}{m+۱} + \frac{(m-۱)^{۰.۵}}{۶N^۲} \right\} \quad (۱۶-۵)$$

که در آن‌ها:

$N =$  تعداد آبپاش‌ها روی لوله لترا

$m =$  ضریبی که بستگی به فرمول محاسبه افت دارد (برای هیزن-ویلیامز:  $1/852$ ، برای داریسی-وایسباخ:  $2$  و برای اسکوبی:  $1/9$ )

برای این که افت واقعی کمتر از افت مجاز باشد می‌توان قطر یا طول لوله لترا را تغییر داد. فشار لازم در نقطه اتصال لترا به لوله اصلی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_m = H_a + [0.75(H_f + H_e) + H_r] \quad (17-5)$$

که در آن:

$H_m =$  فشار لازم در محل اتصال لترا به لوله اصلی (متر)

$H_a =$  فشار کاری مطلوب آبپاش (متر)

$H_f =$  افت اصطکاک در لوله لترا (متر)

$H_e =$  افزایش رقوم ارتفاعی لترا از محل آبگیری تا آبپاش بحرانی (متر)

$H_r =$  ارتفاع پایه آبپاش یا رایزر (متر)

عدد  $0.75$  ضریبی است برای حصول اطمینان از این که متوسط فشار در نقطه وسط لترا برقرار است. آبپاش بحرانی، آبپاش دارای کمینه فشار روی لوله لترا است و اگر واحد آبیاری دارای شیب کم یا مسطح باشد، معمولاً آخرین آبپاش است. فشار کاری در هر نقطه از لوله اصلی، مجموع مقادیر زیر است:

- فشار کاری لازم در نقطه‌ای در جهت جریان که بعد از نقطه مدنظر است.

- افت اصطکاک بین نقطه مدنظر روی لوله اصلی و نقطه بعدی

- افزایش رقوم ارتفاعی بین نقطه مدنظر روی لوله اصلی و نقطه بعدی

- افزایش بار معادل سرعت بین نقطه مدنظر روی لوله اصلی و نقطه بعدی

که این مقادیر در قالب رابطه زیر نشان داده شده‌اند:

$$H_i = H_n + H_f-in + H_e-in + H_v-in \quad (18-5)$$

که در آن:

$H_i =$  بار فشار مورد نیاز در نقطه  $i$ ، (متر)

$H_n =$  بار فشاری مورد نیاز در نقطه  $n$ ، (متر)

$H_f-in =$  افزایش رقوم ارتفاعی بین نقطه  $i$  و  $n$  (متر)

$H_v-in =$  افزایش بار سرعت بین نقطه  $i$  و  $n$  (متر)

معمولاً از بار سرعت به دلیل کوچک بودن صرف‌نظر می‌شود. برای محاسبه فشار در نقطه  $i$  باید فشار در نقطه پایین‌دست آن یعنی  $n$  را داشته باشیم، یعنی برای محاسبه فشار در لوله اصلی باید از

پایین دست یا انتها به سمت پمپ حرکت کنیم. پمپ باید نیاز نقطه بحرانی در طول لوله اصلی را تأمین کند. نقطه بحرانی بیشترین فشار را در طول لوله اصلی لازم دارد. فشار مورد نیاز پمپ یا بار کل دینامیکی پمپ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TDH_i = H_i + h_{f-pi} + H_{e-si} + h_{f-s} + \frac{(V_i)^2}{2g} \quad (۱۹-۵)$$

$TDH_i$  = بار کل دینامیکی مورد نیاز برای نقطه  $i$  (متر)

$h_{f-pi}$  = افت اصطکاک از پمپ تا نقطه  $i$  (متر)

$H_{e-si}$  = افزایش رقوم ارتفاعی از سطح آب در منبع تا نقطه  $i$  (متر)

$h_{f-s}$  = افت اصطکاک در بخش مکش پمپ (متر)

$V_i$  = سرعت جریان آب در نقطه  $i$  (متر بر ثانیه)

## ۵-۲- ویژگی‌های راهبری سامانه آبیاری بارانی سنترپیوت

مسافت طی شده توسط آخرین اسپن سامانه سنترپیوت از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$d = \pi L \quad (۲۰-۵)$$

که در آن:

$d$  = مسافت طی شده توسط آخرین اسپن (متر)

$L$  = طول دستگاه (متر)

مساحت تحت پوشش دستگاه سنترپیوت از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{\pi L^2}{10000} \quad (۲۱-۵)$$

که در آن:

$S$  = مساحت تحت پوشش دستگاه (هکتار)

$L$  = طول دستگاه (متر)

کمینه زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان با فرمول زیر به دست می‌آید:

$$T_{min} = \frac{d}{60V} \quad (۲۲-۵)$$

که در آن:

$T_{min}$  = کمینه زمان طی کردن یک سیکل (ساعت)

$d$  = مسافت طی شده توسط آخرین اسپن (متر)

$V$  = سرعت دستگاه (متر بر دقیقه)



دبی دستگاه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Q = \text{hydromodule} \times S$$

(۲۳-۵)

که در آن:

$Q$  = دبی دستگاه سنتریپوت (لیتر بر ثانیه)

$\text{hydromodule}$  = هیدرومدول (لیتر بر ثانیه در هکتار)

$S$  = مساحت تحت پوشش دستگاه (هکتار)

میزان ریزش دستگاه از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$d = \frac{0.36 \times Q \times T}{S}$$

(۲۴-۵)

که در آن:

$d$  = میزان ریزش دستگاه سنتریپوت (میلی متر)

$Q$  = دبی دستگاه سنتریپوت (لیتر بر ثانیه)

$T$  = زمان طی کردن یک سیکل (ساعت)

$S$  = مساحت تحت پوشش دستگاه (هکتار)

### ۵-۳- ویژگی های راهبری سامانه آبیاری بارانی لینیر

کمینه زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان با فرمول زیر به دست می آید:

$$T_{min} = \frac{d}{6.7V}$$

(۲۵-۵)

که در آن:

$T_{min}$  = کمینه زمان طی کردن یک سیکل (ساعت)

$d$  = مسافت طی شده توسط دستگاه (متر)

$V$  = سرعت دستگاه (متر بر دقیقه)

دبی دستگاه به صورت زیر به دست می آید:

$$Q = \text{hydromodule} \times S$$

(۲۶-۵)

که در آن:

$Q$  = دبی دستگاه سنتریپوت (لیتر بر ثانیه)

$\text{hydromodule}$  = هیدرومدول (لیتر بر ثانیه در هکتار)

$S$  = مساحت تحت پوشش دستگاه (هکتار)

میزان ریزش دستگاه لینیر از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$d = \frac{0.36 \times Q \times T}{S} \quad (5-27)$$

که در آن:

$d$  = میزان ریزش دستگاه لاینر (میلی‌متر)

$Q$  = دبی دستگاه سنترپیوت (لیتر بر ثانیه)

$T$  = زمان طی کردن یک سیکل (ساعت)

$S$  = مساحت تحت پوشش دستگاه (هکتار)

#### ۵-۴- مثال طراحی آبیاری بارانی سنترپیوت

- راندمان آبیاری سنترپیوت با توجه به بررسی‌های میدانی برابر ۷۵ درصد
- طول دستگاه سنترپیوت که بر اساس مساحتی که قرار است به وسیله سامانه سنترپیوت آبیاری شود تعیین می‌گردد که در این مثال برابر ۲۸۴ متر است.
- مسافت طی شده توسط آخرین اسپین: ۱/۱۷۸۴ متر
- مساحت تحت پوشش دستگاه که در این مثال برابر ۳/۲۵ هکتار است.
- زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان برابر ۱۱ ساعت
- دبی دستگاه از ضرب هیدرومُدول ۱/۱۸ لیتر بر ثانیه در هکتار برابر ۲۹/۹ لیتر بر ثانیه
- سرعت دستگاه ۲/۷ متر در دقیقه
- میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر): (جدول ۵-۱)

## جدول ۵-۱- ویژگی‌های سامانه سنتریوت

| درصد تنظیم سامانه سنتریوت         |                             |                   |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| طول دستگاه                        | ۲۸۴/۱                       | متر               |
| مسافت طی شده در آخرین اسپن دستگاه | ۱۷۸۴/۱                      | متر               |
| مساحت تحت پوشش                    | ۲۵/۳                        | هکتار             |
| دبی دستگاه                        | ۲۹/۹                        | لیتر بر ثانیه     |
| سرعت دستگاه                       | ۲/۷                         | متر بر دقیقه      |
| کمینه زمان طی کردن یک سیکل        | ۱۱                          | ساعت              |
| میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر)      | زمان طی کردن یک سیکل (ساعت) | درصد تنظیم دستگاه |
| ۴/۶۸                              | ۱۷/۰۱                       | ۱۰۰               |
| ۴/۹۲                              | ۱۷/۵۹                       | ۹۵                |
| ۵/۲۰                              | ۱۲/۲۴                       | ۹۰                |
| ۵/۵۰                              | ۱۲/۹۶                       | ۸۵                |
| ۵/۸۵                              | ۱۳/۷۷                       | ۸۰                |
| ۶/۲۴                              | ۱۴/۶۸                       | ۷۵                |
| ۶/۶۸                              | ۱۵/۷۳                       | ۷۰                |
| ۷/۲۰                              | ۱۶/۹۴                       | ۶۵                |
| ۷/۸۰                              | ۱۸/۳۶                       | ۶۰                |
| ۸/۵۱                              | ۲۰/۰۲                       | ۵۵                |
| ۹/۳۶                              | ۲۲/۰۳                       | ۵۰                |
| ۱۰/۴۰                             | ۲۴/۴۷                       | ۴۵                |
| ۱۱/۷۰                             | ۲۷/۵۳                       | ۴۰                |
| ۱۳/۳۷                             | ۳۱/۴۷                       | ۳۵                |
| ۱۵/۵۹                             | ۳۶/۷۱                       | ۳۰                |
| ۱۸/۷۱                             | ۴۴/۰۵                       | ۲۵                |
| ۲۳/۳۹                             | ۵۵/۰۷                       | ۲۰                |
| ۳۷/۱۹                             | ۷۳/۴۲                       | ۱۵                |
| ۴۶/۷۸                             | ۱۱۰/۱۳                      | ۱۰                |
| ۹۳/۵۷                             | ۲۲۰/۲۷                      | ۵                 |

### ۵-۵-مثال طراحی آبیاری بارانی لینیئر

- راندمان آبیاری لینیئر با توجه به بررسی‌های میدانی برابر ۷۵ درصد.
  - طول دستگاه لینیئر که بر اساس عرض زمینی که قرار است به این روش آبیاری شود تعیین می‌شود که در این مثال برابر ۲۲۴ متر است.
  - مسافت طی‌شده توسط دستگاه برابر با طول زمینی است که قرار است به روش خطی آبیاری شود در این مثال برابر ۵۰۰ متر است.
  - مساحت تحت پوشش دستگاه که در این مثال برابر ۱۷/۲ هکتار است.
  - زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان برابر ۳/۱ ساعت که با توجه به فرمول زیر به دست می‌آید:
- $$60 / \text{سرعت دستگاه بر حسب متر بر دقیقه} / \text{مسافت طی شده توسط دستگاه} = \text{مینیمم زمان طی کردن یک سیکل}$$
- دبی دستگاه از ضرب هیدرومُدول ۱/۱۸ لیتر بر ثانیه در هکتار برابر ۱۳/۲ لیتر بر ثانیه به‌صورت زیر به دست می‌آید:
- $$\text{دبی دستگاه (lit/s)} = \text{هیدرومُدول بر حسب لیتر در ثانیه در هکتار} \times \text{مساحت تحت پوشش بر حسب هکتار}$$
- سرعت دستگاه ۲/۷ متر در دقیقه
  - میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر) میزان ریزش در این سیکل برابر ۱/۳۱ میلی‌متر
- $$\text{میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر)} = \frac{\text{زمان طی کردن یک سیکل (hr)} \times 3600 \times \left(\frac{\text{lit}}{\text{s}}\right) \times \text{دستگاه دبی}}{\text{مساحت تحت پوشش دستگاه (ha)}}$$

جدول ۵-۲- ویژگی‌های دستگاه لاینر

| درصد تنظیم سامانه لاینر           |                             |                   |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| طول دستگاه                        | ۲۲۴                         | متر               |
| مسافت طی شده در آخرین اسپن دستگاه | ۵۰۰                         | متر               |
| مساحت تحت پوشش دستگاه             | ۱۷/۲                        | هکتار             |
| دبی دستگاه                        | ۱۳/۲                        | لیتر بر ثانیه     |
| سرعت دستگاه                       | ۲/۷                         | متر بر دقیقه      |
| کمینه زمان طی کردن یک سیکل        | ۳/۱                         | ساعت              |
| میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر)      | زمان طی کردن یک سیکل (ساعت) | درصد تنظیم دستگاه |
| ۱/۳۱                              | ۳/۰۹                        | ۱۰۰               |
| ۱/۳۸                              | ۳/۲۵                        | ۹۵                |
| ۱/۴۶                              | ۳/۴۳                        | ۹۰                |
| ۱/۵۴                              | ۳/۶۳                        | ۸۵                |
| ۱/۶۴                              | ۳/۸۶                        | ۸۰                |
| ۱/۷۵                              | ۴/۱۲                        | ۷۵                |
| ۱/۸۷                              | ۴/۴۱                        | ۷۰                |
| ۲/۰۲                              | ۴/۷۵                        | ۶۵                |
| ۲/۱۹                              | ۵/۱۴                        | ۶۰                |
| ۲/۳۸                              | ۵/۶۱                        | ۵۵                |
| ۲/۶۲                              | ۶/۱۷                        | ۵۰                |
| ۲/۹۱                              | ۶/۸۶                        | ۴۵                |
| ۳/۲۸                              | ۷/۷۲                        | ۴۰                |
| ۳/۷۵                              | ۸/۸۲                        | ۳۵                |
| ۴/۳۷                              | ۱۰/۲۹                       | ۳۰                |
| ۵/۲۴                              | ۱۲/۳۵                       | ۲۵                |
| ۶/۵۶                              | ۱۵/۴۳                       | ۲۰                |
| ۸/۷۴                              | ۲۰/۵۸                       | ۱۵                |
| ۱۳/۱۱                             | ۳۰/۸۶                       | ۱۰                |
| ۲۶/۲۲                             | ۶۱/۷۳                       | ۵                 |

### ۵-۶- مثال طراحی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با جابه‌جایی

قطر ۶۳ میلی‌متر لترال‌های آبیاری بارانی و با در نظر گرفتن حداکثر سرعت ۲ متر بر ثانیه، دبی قابل‌عبور از لوله لترال آبیاری بارانی محاسبه‌شده و با توجه به دبی محاسبه‌شده سطح قابل پوشش هر شیر خودکار تعیین می‌گردد.

با توجه به دوره تناوب کشت گیاهان زراعی الگوی کشت طرح توسعه و امکان به‌کارگیری سیستم مناسب با گیاهی که در هر سال کشت می‌شود مبحث تلفیق سامانه‌های آبیاری در شبکه فرعی آبیاری تحت فشار اراضی مطرح گردیده است. لذا در طرح پایاب سد ماکو، جهت افزایش کارایی سیستم آبیاری بارانی و ایجاد امکان و قابلیت برای تلفیق آن با سیستم آبیاری نواری (تیپ) برای کاشت گیاهانی که قابلیت کاشت ردیفی دارند، کارفرمای طرح جامع شبکه‌های آبیاری و زهکشی فرعی رودخانه‌های مرزی کشور، امکان‌سنجی این قابلیت را در دستور کار خود قرار داد.

### ۵-۷- راهکارهای تلفیق سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و

#### سیستم آبیاری نواری (تیپ)

با توجه به اجرای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در طرح پایاب سد ماکو با لوله‌های آب‌رسان و لترال مدفون در زیر خاک، تنها امکان انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار که روی زمین قرار دارند وجود دارد. از طرفی مانیفولد سیستم نواری (تیپ) به همراه لوله‌های تیپ متصل به آن روی خاک قرار دارند. جهت انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار، یک اتصال مناسب در نظر گرفته‌شده است که مانیفولد آبیاری تیپ از این طریق به شیر خودکاری که موقعیت آن مشخص شده متصل گردیده و سپس جریان آب به درون لوله‌های تیپ برقرار خواهد شد.

### ۵-۸- الزامات روش تلفیق انتخابی

با انشعاب‌گیری از شیرهای خودکار طرح بارانی کلاسیک ثابت و اتصال مانیفولد آبیاری تیپ به آن، امکان آبیاری به روش تیپ فراهم می‌گردد. جهت انجام این کار از شیرهای خودکار نصب‌شده روی لترال‌های آبیاری بارانی استفاده می‌گردد. با توجه به این که این شیرهای خودکار در فواصل مربعی ۲۲×۲۲ متر قرار دارند، باید شبکه انتخابی به شکلی تعیین گردد که طول و عرض زیرواحدهای انتخابی مضربی از ۲۲ متر (فواصل لترال‌ها و شیرهای خودکار) باشد. با توجه به قطر ۶۳ میلی‌متر لترال‌های آبیاری بارانی و با در نظر گرفتن حداکثر سرعت ۲ متر بر ثانیه، دبی قابل‌عبور از لوله لترال آبیاری بارانی محاسبه‌شده و با توجه به دبی محاسبه‌شده سطح قابل پوشش هر شیر خودکار تعیین می‌گردد.

با توجه به توضیحات ارائه شده و کلیه قیود در نظر گرفته شده، سطح تقریبی هر زیر واحد حدود ۵۸٪ هکتار خواهد بود که در اکثر قسمت‌ها تقسیم‌بندی به شکلی انجام شده است که مزارعی به ابعاد ۸۶×۶۶ متر در نظر گرفته شود (به‌استثنای گوشه مزارع و بخش‌های نامنظم).

#### ۵-۹- جنس لوله‌های آبیاری نواری (تیپ)

از آنجاکه آب‌رسان و لترال‌های سیستم نواری (تیپ) روی زمین اجرا می‌شوند می‌بایست در مقابل اشعه ماوراءبنفش خورشید مقاوم باشند و همچنین در پایان فصل آبیاری جمع‌آوری و انتقال آن‌ها به خارج از مزرعه توسط کشاورز امکان‌پذیر باشد. بدین منظور می‌توان به‌جای استفاده از آب‌رسان از جنس لوله پلی‌اتیلن، از لوله‌های لی‌فلت (Lay Flat) استفاده کرد. از مزایای این لوله‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- اتصال آسان لترال‌های نواری (تیپ) به لوله‌های لی‌فلت

۲- سهولت در جمع و پهن کردن این لوله‌ها

۳- کاهش هزینه حمل و جابه‌جایی این لوله‌ها

۴- مقاومت در برابر تابش نور خورشید

#### ۵-۱۰- نحوه اتصال لوله آب‌رسان نواری (تیپ) به شیر خودکار

به‌منظور اتصال آب‌رسان سیستم نواری (تیپ) به شیرهای خودکار نیاز به یک رایزر قلاب‌دار نظیر رایزر قلاب‌دار آلومینیومی زیر آبپاش سیستم بارانی است که کشاورز بتواند توسط آن به‌راحتی لوله لی‌فلت آبیاری نواری (تیپ) را از طریق شیرهای خودکار به لترال‌های آبیاری بارانی متصل کند. همچنین وجود یک شیر قطع و وصل در زیر رایزر جهت قطع و وصل جریان هنگام نوبت‌بندی آبیاری نواری (تیپ) ضروری است.

#### ۵-۱۱- کاهش فشار سیستم آبیاری بارانی جهت تناسب با آبیاری نواری (تیپ)

با توجه به فشار کارکرد حداقل در نظر گرفته شده برای سیستم آبیاری بارانی پایاب سد ماکو (برابر ۴۰ متر) و با در نظر گرفتن این‌که حداکثر فشار قابل تحمل لوله‌های نواری (تیپ) برابر ۲۰ متر است، جهت جلوگیری از خسارت به سیستم نواری (تیپ) در حالت بهره‌برداری نیاز به شکستن فشار ورودی به درون لوله‌ها است. به این منظور می‌توان از شیرهای خودکار یا دستی کنترل فشار به‌صورت کنارگذر در کنار شیر قطع و وصل ورودی به مزرعه آبیاری بارانی استفاده کرد. به این ترتیب که هنگام کار با سیستم آبیاری بارانی مسیر شیر قطع و وصل کشویی باز بوده و در هنگام کار سیستم آبیاری

نواری (تیپ) جریان به درون حوضچه فشارشکن انتقال داده شده و بعد از شکسته شدن فشار، وارد شبکه خواهد شد. البته می‌توان فیلتر دیسکی موردنیاز را در حوضچه شیر فشارشکن نیز لحاظ نمود.

### ۵-۱۲- الگوی کشت

محصولات پیشنهادی در مطالعات مرحله اول طرح توسعه شامل گندم، جو، کلزا، یونجه، ذرت علوفه‌ای و زردآلو است. درصد کشت هر یک از این محصولات به شرح جدول شماره (۸-۳) است.

جدول ۵-۳- الگوی کشت مطالعات مرحله اول

| نوع محصول    | سهم محصول در الگوی کشت (درصد) |
|--------------|-------------------------------|
| گندم         | ۴۵                            |
| جو           | ۴                             |
| کلزا         | ۲۰                            |
| یونجه        | ۲۵                            |
| ذرت علوفه‌ای | ۵                             |
| زردآلو       | ۱                             |
| جمع          | ۱۰۰                           |

با توجه به جدول الگوی کشت می‌توان مشاهده کرد که برخی از گیاهان آن قابلیت کشت نواری (تیپ) را دارا هستند و از آن‌جاکه طراحی هر دو سیستم آبیاری کلاسیک و نواری (تیپ) بر اساس گیاه پرمصرف الگوی کشت طرح یعنی ذرت علوفه‌ای انجام پذیرفته، امکان تأمین آب موردنیاز بقیه گیاهان نیز با سیستم طراحی شده وجود خواهد داشت.

محاسبه آب موردنیاز خالص نباتات جدول الگوی کشت بر مبنای روش توصیه‌شده در نشریه شماره ۵۶ سازمان FAO، تحت عنوان «تبخیر و تعرق گیاه» انجام گرفته است.

با توجه به شرایط منطقه و انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای برای محصولات باغی و سیستم آبیاری بارانی و نواری (تیپ) برای محصولات زراعی و در صورت بهره‌برداری و نگهداری مناسب، دستیابی به راندمان ۷۵ درصد برای سیستم بارانی و ۸۵ درصد برای سیستم آبیاری نواری (تیپ) امکان‌پذیر است.



مدول آبیاری یا هیدرومدول به مقدار دبی گفته می‌شود که برای آبیاری یک واحد مساحت مزرعه پیش‌بینی می‌گردد و معمولاً برحسب لیتر بر ثانیه بر هکتار توصیف می‌شود. مدول آبیاری پارامتری است که بستگی به نیاز آبی و ساعات آبیاری روزانه (در این طرح ۲۰ ساعت در شبانه‌روز) داشته و چون نیاز آبی یک گیاه ثابت نیست، مدول آبیاری نیز برای یک زراعت در طول دوره رشد، متغیر است. لذا هیدرومدول ۲۰ ساعته هر یک از گیاهان الگوی کشت طرح توسعه در طول دوره رشد محاسبه شده است.

با توجه به جدول (۴-۸) هیدرومدول متوسط الگوی کشت در ماه پیک (خردادماه) با اعمال ضریب اطمینان ۳۰ درصد ۴۸٪ لیتر بر ثانیه بر هکتار و هیدرومدول گیاه پرمصرف (ذرت علوفه‌ای) در ماه پیک (تیرماه) با اعمال ضریب اطمینان ۱۱ درصد ۷۲۷ لیتر بر ثانیه بر هکتار در نظر گرفته شد.

جدول ۵-۴- هیدرومدول محصولات زراعی و باغی (لیتر بر ثانیه بر هکتار)

| محصول                                   | درصد سطح زیر کشت | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر  | مرداد | شهریور | مهر  | آبان | آذر  | دی   | بهمن | اسفند |
|-----------------------------------------|------------------|---------|----------|-------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|
| گندم                                    | ۴۵               | ۰/۲۶    | ۰/۴۱     | ۰/۳۳  | ۰/۵۵ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۵۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۱۰  |
| جو                                      | ۴                | ۰/۳۶    | ۰/۳۸     | ۰/۱۳  | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۱۰  |
| یونجه                                   | ۲۷               | ۰/۲۹    | ۰/۳۲     | ۰/۴۷  | ۰/۷۰ | ۰/۵۹  | ۰/۵۹   | ۰/۷۰ | ۰/۷۰ | ۰/۷۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  |
| کلزا                                    | ۲۰               | ۰/۳۶    | ۰/۴۱     | ۰/۳۳  | ۰/۵۵ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۵۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۱۰  |
| ذرت علوفه‌ای                            | ۵                | ۰/۰۰    | ۰/۱۰     | ۰/۶۸  | ۰/۱۴ | ۰/۰۹  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰ | ۰/۰۹ | ۰/۱۴ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  |
| زرغالو                                  | ۱                | ۰/۵۵    | ۰/۲۳     | ۰/۳۷  | ۰/۵۹ | ۰/۵۴  | ۰/۲۵   | ۰/۲۵ | ۰/۵۴ | ۰/۵۹ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  |
| متوسط الگوی کشت                         |                  |         |          |       |      |       |        |      |      |      |      |      |       |
| متوسط الگوی کشت با ضریب اطمینان ۳۰ درصد |                  | ۰/۴۲    | ۰/۴۸     | ۰/۴۸  | ۰/۳۵ | ۰/۳۱  | ۰/۲۰   | ۰/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۹  |

### ۵-۱۳- مشخصات آبیاری بارانی کلاسیک و آبیاری نواری (تیپ)

شبکه آبیاری طرح پایاب سد ماکو دربرگیرنده هر دو نوع سیستم بارانی کلاسیک ثابت و سیستم نواری (تیپ) است. از آنجاکه هدف تلفیق و طراحی خطوط لوله بر اساس امکان به کارگیری هر دو نوع سیستم آبیاری مذکور در یک زمین است، لذا ابتدا به بررسی دو سیستم مذکور پرداخته و مبانی طراحی هیدرولیکی و نحوه مشخص شدن دبی و بار فشار موردنیاز هر بخش از طرح، شرح داده خواهد شد.

### ۵-۱۴- آبیاری بارانی کلاسیک

با مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده و سوابق اجرا و بهره‌برداری سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار در کشور، سیستم آبیاری بارانی کلاسیک برای بخش بارانی در منطقه طرح، مناسب تشخیص داده شده است. از مزایای این سیستم می‌توان به سهولت آبیاری، تطبیق آن با هر شکل و ابعاد زمین، عدم نیاز به دانش فنی زیاد جهت بهره‌برداری و نگهداری و... اشاره نمود.

#### ۵-۱۴-۱- اجزای سیستم آبیاری کلاسیک

۱- واحد تأمین فشار (ایستگاه پمپاژ)

فشار موردنظر در هم آب در نظر گرفته در همه نقاط بالای ۴۰ متر است.

۲- خطوط لوله اصلی و آبرسان

۳- خطوط لوله آبده (لترال)

جنس این لوله‌ها پلی‌اتیلن و قطر آن‌ها ثابت و با توجه به دبی آبپاش انتخابی می‌تواند ۵۰ و ۶۳ میلی‌متر باشد. در برخی از واحدهای آبیاری به دلیل تغییرات توپوگرافی ممکن است از هر دو قطر لوله استفاده گردد.

۴- شیرهای خودکار

در پروژه پایاب سد ماکو این شیر خودکارها از نوع پلیمری و با سایز ۲ اینچ در نظر گرفته شده است.

۵- آبپاش‌ها

به منظور برقرار کردن توازن بین خصوصیات نازل و نیازهای مختلف سیستم آبیاری در شرایط آب‌وهوایی محدوده طرح، آبپاش KOMET مدل ۱۶۲ با نازل ۸ میلی‌متر انتخاب شده است. دبی خروجی این آبپاش ۱/۹۳ لیتر بر ثانیه با فشار کارکرد ۴۰ متر است. فاصله آبپاش‌ها

در این طرح از آرایش مربعی با آرایش ۲۲×۲۲ متر استفاده شده است.

\* مدت زمان آبیاری در آبیاری بارانی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جدول شماره (۵-۸) و تجربیات به‌دست‌آمده در شبکه‌های آبیاری، دور آبیاری در سیستم کلاسیک در ماه‌های حداکثر مصرف، برابر ۷ روز در نظر گرفته شده است.

**جدول ۵-۵ - برنامه‌ریزی آبیاری برای گیاه ذرت علوفه‌ای در سامانه بارانی کلاسیک اراضی پایاب سد ماکو**

| ردیف | شرح پارامتر                         | واحد   | مقدار | توضیحات                                  |
|------|-------------------------------------|--------|-------|------------------------------------------|
| ۱    | فاصله آبپاش روی لوله لترال          | m      | ۲۲    | Sm                                       |
| ۲    | فاصله لوله‌های لترال از یکدیگر      | m      | ۲۲    | Sl                                       |
| ۳    | دبی آبپاش                           | Lit/s  | ۱/۹۳  | q                                        |
| ۴    | شعاع پاشش آبپاش                     | m      | ۲۲    | Rp                                       |
| ۵    | راندمان آبیاری                      | %      | ۷۵    | Ea                                       |
| ۶    | ظرفیت ذخیره آب در خاک               | mm/m   | ۱۵۰   | TAW                                      |
| ۷    | عمق مؤثر توسعه ریشه گیاه            | m      | ۰/۸   | Z                                        |
| ۸    | درصد تخلیه مجاز رطوبت خاک           | %      | ۵۰    | MAD                                      |
| ۹    | حداکثر تبخیر و تعرق روزانه          | mm/day | ۶/۱۳  | ETc                                      |
| ۱۰   | مدت‌زمان آبیاری در شبانه‌روز        | hr     | ۲۰    | Ti                                       |
| ۱۱   | شدت پخش آبپاش (با همپوشانی)         | mm/hr  | ۱۴/۴  | $I_{max}=(q \times 3600)/(Sm \times Sl)$ |
| ۱۲   | حداکثر آب برای گیاه پرمصرف          | mm     | ۶۰    | $dx=TAW \times Z \times MAD$             |
| ۱۳   | حداکثر دور آبیاری                   | day    | ۹/۸   | $T_x=dx/ETc$                             |
| ۱۴   | دور آبیاری طراحی                    | day    | ۷     | T                                        |
| ۱۶   | عمق ناخالص آبیاری                   | mm     | ۵۷/۲  | $dg=(ETc \times T)/Ea$                   |
| ۱۷   | ساعت آبیاری                         | hr     | ۴/۰   | $t_i=dg/I_{max}$                         |
| ۱۸   | ساعت آبیاری طراحی                   | hr     | ۴     | t                                        |
| ۲۰   | تعداد جابه‌جایی آبپاش در روز        |        | ۵     | $N=Ti/t$                                 |
| ۲۱   | تعداد جابه‌جایی آبپاش در دور آبیاری |        | ۳۵    | $m=T \times N$                           |

### ۵-۱۵- آبیاری نواری (تیپ)

به منظور آبیاری اکثر گیاهان ردیفی، درختان، صیفی، جالیز و گیاهان زینتی از نوارهای آبیاری به نام نواری (تیپ) استفاده می‌شود. نوار آبیاری از یک مجرا با شیارهای زیگزاکی تشکیل شده که جریان در هنگام عبور از آن نیمه متلاطم شده، در اثر اصطکاک با دیواره‌ها مقدار آب خروجی کنترل می‌شود. در طول این نوار، خروجی‌هایی به فواصل یکسان وجود دارد و به صورت یک گسیلنده عمل می‌کنند. فواصل بین این خروجی‌ها می‌توانند ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر باشند و در هر متر لوله با فواصل مختلف و فشارهای مختلف و دبی‌های متفاوتی خواهیم داشت. فواصل خروجی کمتر از ۲۰ سانتی‌متر برای گیاهانی که در خاک‌های سبک کشت می‌شوند و نیاز به دبی‌های زیاد دارند، استفاده می‌شود. برای گیاهانی که در خاک‌های متوسط و سنگین و یا در جاهایی که طبق معیار طراحی با دبی زیاد مشکل دارند، فواصل ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر توصیه می‌شوند. به طور کلی برای گیاهان با فواصل مختلف می‌توان فاصله بین خروجی‌ها را تغییر داد. دبی زیاد در این خروجی‌ها برای بیشتر گیاهان و خاک‌ها مناسب است و دبی کم معمولاً برای خاک‌های سنگین و آبیاری طولانی‌مدت است. حدود دبی در هر متر از این نوارها ۲ تا ۸ لیتر در ساعت است.

در هر متر لوله با توجه به فواصل مختلف خروجی‌ها و فشارهای متفاوت در ابتدای لوله، آبدبی خروجی‌ها متغیر است. فشار کارکرد این نوارها بین ۳٪ تا ۱۵٪ اتمسفر بوده و میزان آن از یک اتمسفر نباید تجاوز نماید. قطر داخلی این لوله‌ها ۱۶ و ۲۵ میلی‌متر است و طول مجاز نوارها با توجه به فواصل خروجی‌ها، دبی خروجی‌ها، یکنواختی توزیع، فشار ورودی و شیب زمین انتخاب می‌شود.

### ۵-۱۵-۱- مشخصات سیستم آبیاری نواری (تیپ) در اراضی طرح پایاب سد ماکو

لوله‌های نواری (تیپ) انتخاب شده دارای قطر ۱۶ میلی‌متر هستند، فشار خروجی‌ها حدود یک بار و دبی هر روزنه ۶٪ لیتر بر ساعت است.

#### ❖ مدت زمان آبیاری در سیستم نواری (تیپ)

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول شماره (۸-۶) و تجربیات به دست آمده در شبکه‌های آبیاری، دور آبیاری در سیستم نواری (تیپ) در ماه‌های حداکثر مصرف، برابر ۲ روز در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به ساعت کارکرد سیستم برابر ۲۰ ساعت، برای هر نوبت آبیاری در دوره حداکثر مصرف، ۵ ساعت مورد نیاز است.

جدول ۵-۶ - برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه نواری (تیپ) برای گیاه ذرت علوفه‌ای در اراضی پایاب سد ماکو

| ردیف | شرح پارامتر                                                   | واحد   | مقدار | توضیحات                            |
|------|---------------------------------------------------------------|--------|-------|------------------------------------|
| ۱    | فاصله ردیف‌های کشت                                            | M      | ۰/۶   | Sr                                 |
| ۲    | فاصله روزنه‌ها                                                | M      | ۰/۳   | Sp                                 |
| ۳    | فاصله بوته‌ها (روزنه‌ها)                                      | M      | ۰/۳   |                                    |
| ۴    | تعرق خالص ماه پیک                                             | mm/mon | ۱۹۰   | Tm                                 |
| ۵    | حداکثر تعرق روزانه                                            | mm/day | ۶/۱۳  | Td                                 |
| ۶    | ظرفیت ذخیره آب در خاک                                         | mm/m   | ۱۵۰   | Wa                                 |
| ۷    | عمق مؤثر توسعه ریشه گیاه                                      | m      | ۰/۸   | Z                                  |
| ۸    | درصد تخلیه مجاز رطوبت خاک اولیه                               | %      | ۳۰    | MAD                                |
| ۹    | حداقل سطح خیس خوردگی                                          | %      | ۵۰    | Pw                                 |
| ۱۰   | عمق خالص آب آبیاری                                            | mm     | ۳۶/۰  | $I = Z \times Wa \times MAD$       |
| ۱۱   | حداکثر عمق آب آبیاری                                          | mm     | ۱۸/۰  | $dx = Wa \times Z$                 |
| ۱۲   | حداکثر دور آبیاری                                             | day    | ۲/۹   | $Fx = dx / Td$                     |
| ۱۳   | دور آبیاری طراحی                                              | day    | ۲     | fi                                 |
| ۱۴   | عمق خالص آبیاری                                               | mm     | ۱۲/۳  | $dn = fi \times Td$                |
| ۱۵   | راندمان کاربرد (راندمان یکنواختی فرض شده)                     |        | ۰/۸۵  | Ea                                 |
| ۱۶   | عمق ناخالص آبیاری                                             | mm     | ۱۴/۴  | $d = dn / Ea$                      |
| ۱۷   | حجم ناخالص آبیاری (برای هر بوته در یک دور آبیاری)             | lit    | ۲/۶   | $G = d \times Sp \times Sr$        |
| ۱۸   | دبی هر روزنه                                                  | lit/hr | ۰/۶   | qa                                 |
| ۱۹   | مدت آبیاری                                                    | hr     | ۴/۳   | $t = G / n \times qa$              |
| ۲۰   | (اصلاحی) مدت آبیاری                                           | hr     | ۵     | t'                                 |
| ۲۱   | ساعات آبیاری در شبانه‌روز                                     | hr     | ۲۰    | T                                  |
| ۲۲   | تعداد نوبت آبیاری در هر دور                                   | نوبت   | ۸     | $N = (fi \times T) / t$            |
| ۲۳   | تعداد بوته در هر هکتار                                        |        | ۵۵۵۵۶ | $N = 10000 / (Sr \times Sp)$       |
| ۲۴   | دبی هر هکتار                                                  | lit/s  | ۹/۲۶  | $Q = N' \times n \times qa / 3600$ |
| ۲۵   | دبی بهینه مانیفولد برای سرعت ۲ متر بر ثانیه و قطر ۹۰ میلی‌متر | lit/s  | ۱۰/۴۰ | Q'                                 |
| ۲۶   | مساحت هر قطعه                                                 | ha     | ۷/۱۲  | Q'/Q                               |

### ۵-۱۶- آبیاری تلفیقی بارانی و نواری (تیپ)

قطر و دبی لوله‌های سامانه بارانی و سامانه نواری (تیپ): با توجه به اجرای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در بخش اعظم اراضی زراعی طرح پایاب سد ماکو، قطر لوله‌های آبرسان طرح غیرقابل تغییر است. درواقع باید هماهنگ با سیستم شبکه اجراشده و با اعمال تغییراتی در شبکه فرعی زیر هر آبرسان امکان تجهیز سیستم به روش نواری (تیپ) را نیز امکان‌پذیر نمود. اساس محاسبه قطر آبرسان سیستم بارانی سرعت ۷/۸ تا حداکثر ۲ متر بر ثانیه است و حداقل قطر لوله آبرسان در سیستم بارانی، ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. خطوط لوله لترال نیز در کل طرح، لوله پلی‌اتیلن ۶۳ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. از آن جاکه در محدوده در نظر گرفته شده برای اجرای طرح تلفیق قطر، تمام لترال‌ها برابر ۶۳ میلی‌متر است و با توجه به دبی ۷/۹۳ برای آبپاش در نظر گرفته شده برای سیستم بارانی طرح، سرعت حرکت آب در لترال برابر ۷۵/۰ متر بر ثانیه خواهد بود.

در حالت نصب آبرسان سیستم نواری (تیپ) به شیر خودکار سیستم آبیاری بارانی، حداکثر سرعت جریان آب درون لترال برابر ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. به این ترتیب حداکثر دبی قابل جریان در لترال‌های بارانی در هنگام نصب آبرسان نواری (تیپ) برابر ۵/۱ لیتر بر ثانیه خواهد بود. از آن جاکه دبی هر هکتار در آبیاری نواری (تیپ) بر اساس جدول محاسبه پارامترهای آبیاری نواری (تیپ) (جدول ۵-۵)، ۹/۲۶ لیتر بر ثانیه محاسبه گردیده، با دبی ۵/۱ لیتر بر ثانیه حداکثر سطح قابل پوشش هر قطعه نواری (تیپ) برابر ۵۵/۰ هکتار است. البته همان‌طور که قبلاً اشاره شد ابعاد قطعات جهت سهولت انشعاب‌گیری برای سیستم نواری (تیپ) به صورت مضربی از ۲۲ متر (فواصل لترال‌ها و شیرهای خودکار) در نظر گرفته شده است. لذا قطعات به سطح تقریبی ۵۸/۰ مترمربع تقسیم‌بندی شده است. افزایش سرعت در لوله‌ها به علت افزایش دبی مصرف، افزایش افت اصطکاکی مسیر را به دنبال خواهد داشت. این موضوع با توجه به فشار اضافی شبکه به نسبت فشار موردنیاز سیستم نواری (تیپ) امری مطلوب خواهد بود.

برای توزیع فشاری مناسب در شبکه، شیر خودکاری که آگیری از آن برای هر قطعه انجام می‌شود در مرکز قطعه واقع شده است. بدین شکل که هم لوله لی‌فلت منشعب شده به عنوان مانیفولد و هم لترال‌های نواری (تیپ) به صورت دوطرفه کارگذاری خواهند شد.

## فصل ششم

### اجرای شبکه‌های آبیاری بارانی



## ۶-۱- مقدمه

با توجه به این که منابع و اطلاعات کافی و منبع مشخصی در مورد مسائل اجرایی شبکه وجود ندارد، لذا در این فصل سعی بر آن است تا ضمن بیان نحوه اجرای یک سیستم آبیاری بارانی به طور گام به گام، به تشریح مسائل و مشکلات احتمالی و نحوه حل و فصل آن ها پرداخته شود. لازم به ذکر است بسیاری از راه حل های مطرحه بر اثر تجارب و سعی و خطا در حین انجام پروژه های مختلف به دست آمده است. اولین گام برای اجرای شبکه آبیاری بارانی داشتن نقشه است، پس از طراحی و استخراج نقشه، اقدام به برآورد لوازم، اتصالات و لوله ها و تجهیزات مورد نیاز نموده و با یک برنامه ریزی دقیق اقدام به ثبت سفارش از کارخانه های تولید کننده می شود تا لوازم مورد نیاز به موقع وارد کارگاه شده و در روند اجرا وقفه ای پیش نیاید.

## ۶-۲- نقشه برداری و میخکوبی

پس از دریافت نقشه مربوط به مزرعه، مختصات نقاط مربوط به ابتدا و انتهای لوله های اصلی، نیمه اصلی، مانیفولدها و محل حوضچه ها استخراج می شود. گاهی اوقات دو نقطه در ابتدا و انتها کافی نبوده و به مختصات نقاط بیشتری نیاز داریم. معمولاً پیشنهاد می شود به ازای هر ۵۰ متر یک نقطه داشته باشیم. گاهی اوقات دو نقطه حتی با فاصله ۵۰ متر نسبت به همدیگر دید ندارند، مثلاً ممکن است تپه ای بین دو نقطه واقع شده باشد که مانع دیده شدن یکی از نقطه ها شود و یا هنگام ریسمان کشیدن بین دو نقطه وسط آن با سطح زمین در تماس باشد، در چنین مواقعی استخراج مختصات نقاط دیگری ضروری است.

در مرحله بعد مختصات نقاط را در اختیار نقشه بردار قرار داده و با حضور در محل، ابتدا به شناسایی نقاط پنج مارک پرداخته و پس از انتقال آن نقاط به مزرعه و با دوربین شروع به پیاده کردن نقاط مزبور در مزرعه می کنند. چنانچه شرایط ذکر شده قبلی در مزرعه مشاهده شد باید نقاط بیشتری در بین دو نقطه ابتدا و انتهای خط پیاده شود. برای پیاده کردن خطوط از میخ چوبی و یا فلزی استفاده می شود. بهتر است هر یک از میخ ها دارای نشانه ای باشد تا در مراحل بعدی، شناسایی آن ها راحت تر شود.

پس از میخکوبی و مشخص شدن مسیر لوله ها، اقدام به بوته کنی در مسیر لوله ها با حداقل عرض مورد نیاز می شود، البته بهتر است برای انجام این کار از گریدر استفاده شود. هدف از انجام این کار مشخص شدن مسیر لوله ها است. گاهی برخی از گروه های اجرایی بسته به امکانات موجود از باکت جلوی تراکتور یا باکت بیل بکھو استفاده می کنند که این کار نتیجه چندان مطلوبی ندارد. هنگامی که مسیر لوله ها در دامنه تپه عمود بر جهت شیب قرار دارد، در این مواقع عمق دکوپاژ (برداشت خاک نباتی) بیشتر در نظر گرفته شده و با کات کردن قسمت بالای شیب، پایین شیب پر می شود تا نهایتاً

به یک سطح تراز مناسب که در آن ماشین‌آلات حفاری و سایر ماشین‌های حمل لوله‌ها و اتصالات قادر به حرکت باشند، برسد (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- دکوپاژ (برداشت خاک نباتی) مسیر خط لوله

### ۶-۳- حمل و ریشه کردن لوله‌ها

قاعداً و طبق مراحل اجرایی در نظر گرفته‌شده، فهرست بها و سایر منابع اکنون بایستی اقدام به گچ‌ریزی و حفاری کرد، اما طبق تجارب به‌دست‌آمده بعد از میخکوبی و دکوپاژ باید اقدام به حمل لوله‌ها و ریشه کردن آن‌ها در مسیر و شروع به جوشکاری نمود و هنگامی که عمل جوشکاری در مزرعه، پیشرفتی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد داشت، شروع به حفاری کرد. این بدین دلیل است که برای مدت طولانی ترانشه حفر شده و لوله روی زمین می‌ماند و به خاطر طولانی شدن این مدت امکان ریزش ترانشه‌ها و پر شدن آن‌ها در اثر بارندگی و وقوع سیلاب و احتمال سقوط احشام به داخل ترانشه‌ها و تلف شدن آن‌ها وجود دارد؛ بنابراین هرچقدر مدت‌زمان بین حفر ترانشه و لوله‌گذاری و خاک‌ریزی کوتاه‌تر باشد، خطر وقوع چنین حوادثی کاهش می‌یابد. حداکثر زمان در این خصوص ۷۲ ساعت است.

حمل لوله‌ها بسته به سایز و نحوه تولید آن‌ها (کلافی یا شاخه‌ای) به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. معمولاً مشاهده می‌شود که گروه‌های اجرایی از تریلی‌های پشت تراکتور، به‌گونه‌ای که تیرهای چوبی در اطراف آن به‌طور عمودی قرار داده‌شده‌اند، استفاده می‌کنند. بعضی از تراکتورها که دارای باکت یا بیل هستند نیز می‌توانند با بستن کلاف لوله‌ها با کمربند در بلند کردن کلاف لوله‌ها و بارگیری آن‌ها کمک کنند. حتی در یک ابتکار عمل مشاهده شده است با جوش دادن چند قطعه

تیرآهن به صورت L و یک قلاب به انتهای آن و متصل نمودن این مجموعه به سیستم هیدرولیکی در پشت مال بند تراکتور، از آن برای بلند کردن کلاف لوله‌ها استفاده نموده‌اند.



شکل ۶-۲- حمل لوله‌های پلی‌اتیلن به وسیله تریلی

بدین ترتیب بارگیری، حمل، تخلیه و ریسه کردن لوله‌ها باید به نحوی باشد که به هیچ وجه لوله‌ها روی زمین کشیده نشوند و آسیبی به لوله‌ها نرسد و در اثر فشار لهیده و تا نشوند، چراکه این امر موجب تغییر سطح مقطع لوله از دایره‌ای شکل به تخم‌مرغی یا بیضوی می‌شود و در کل، لوله دچار تغییر شکل می‌شود. برای باز کردن کلاف لوله‌ها که معمولاً ۱۰۰ متری هستند باید بسیار احتیاط کرد تا لوله‌ها زخمی نشوند. بدین صورت که طناب سر کلاف را به انتهای خودرو می‌بندند و آن را می‌کشند.



شکل ۶-۳- باراندازی و تخلیه لوله‌های پلی‌اتیلن در طول خط لوله

#### ۴-۶- جوشکاری لوله‌های پلی‌اتیلن

کاربرد لوله‌های PE برای شبکه‌های گازرسانی تقریباً از سال ۱۹۶۰ و برای شبکه‌های آبرسانی از قبل از آن در دنیا مطرح بوده است و امروزه بسیاری از کشورهای دنیا شبکه‌های گازرسانی و آبرسانی را با لوله‌های پلی‌اتیلن به لحاظ فواید و مزایای بسیار آن مورد استفاده قرار می‌دهند. بعضی از فواید لوله‌های مذکور به شرح ذیل است:

- عمر کاری طولانی
- سرعت و سهولت در اجرای شبکه‌ها
- سبکی لوله‌ها و در نتیجه حمل‌ونقل آسان و سریع
- مقاومت بالا در مقابل خوردگی و عدم نیاز به پوشش و سامانه‌های حفاظت کاتدیک
- جوشکاری بسیار ساده و سریع
- سهولت در نگهداری و تعمیرات
- ارزان بودن

البته در مقابل مزایای فراوان لوله‌های مذکور معایبی نیز برای این لوله‌ها مطرح است که از جمله آن‌ها خسارت و مشکلات ناشی از تشعشعات خورشیدی (UV) و حرارت بالا است. مسلماً طول عمر مناسب و مطلوب شبکه‌های پلی‌اتیلن، علاوه‌براین که متأثر از محاسن پلی‌اتیلن است مرهون عملیات اجرایی صحیح نیز است. در این راستا مراجعه به استانداردهای ملی و معتبر می‌تواند راهگشا باشد. گروه‌های اجرایی بایستی به هنگام عملیات اجرایی، استانداردهای مربوطه را دقیقاً رعایت نمایند. یکی از مهم‌ترین نکات و مسائلی که در اجرای شبکه‌ها قابل توجه است نحوه جوشکاری لوله‌ها و اتصالات است که به دو صورت الکتروفیوژن<sup>۱</sup> و لب‌به‌لب<sup>۲</sup> صورت می‌پذیرد. البته روش‌های دیگری نیز وجود دارد که کمتر رایج هستند و کاربرد فراوانی ندارند (در فصل یازدهم توضیحاتی در این خصوص ارائه شده است).

علاوه بر بازرسی‌های چشمی جوش، روش‌های دیگری نیز برای کنترل جوش وجود دارد که به دو دسته آزمایش‌های مخرب<sup>۳</sup> (DT) و غیرمخرب<sup>۴</sup> (NDT) تقسیم می‌شوند که شرکت‌های گازرسانی و آبرسانی بر اساس استانداردهای قابل قبول و موردنظر خود نوع آزمایش‌ها را مشخص نموده و گروه مجری ملزم به انجام آن هستند.

<sup>۱</sup>. Electro Fusion

<sup>۲</sup>. Butt Fusion

<sup>۳</sup>. Destructive Test

<sup>۴</sup>. Non Destructive Test

#### ۱-۴-۶- جوشکاری لب به لب

- به هیچ وجه جوشکاری لب به لب نبایستی در هوای بارانی، برفی، بادهای تند، طوفان و سرمای شدید صورت پذیرد و اگر قرار است در چنین شرایطی اقدام به جوشکاری شود، لازم است از چادر استفاده گردد.
- توصیه می شود فضایی که در آن جوشکاری صورت می گیرد دارای دمای بالاتر از صفر درجه سلسیوس باشد و لذا در صورتی که دمای محیط زیر حد مذکور باشد استفاده از چادر و ایجاد دمای مناسب ضروری است.
- در صورتی که نیروی محرکه دستگاه از طریق ژنراتور تأمین می شود لازم است قبل از جوشکاری مقدار سوخت ژنراتور کنترل شود تا از خاموش شدن ژنراتور در خلال عملیات جوشکاری پیشگیری شود.



شکل ۴-۶- جوشکاری با نیروی محرکه ژنراتور در شرایط نامناسب جوی

#### ۲-۴-۶- مراحل جوشکاری لب به لب

**مرحله ۱:** لوله ها یا سایر اجزای جوش در گیره های دستگاه بسته می شود (شکل ۵-۶) و در صورتی که برش قبلی لوله عمود بر امتداد آن باشد لازم است در حدود ۲۰-۳۰ سانتی متر سر آن ها از گیره بیرون بماند. بدیهی است دستگاه باید دارای واسطه گیره برای سایزهای مختلف باشد تا از طریق آن ها، گیره ها کاملاً هم اندازه لوله جوشکاری شود. لازم است گیره ها تا حدی محکم شود که لوله ها کاملاً درگیر باشند، البته محکم کردن بیش از حد گیره ها می تواند به لوله ها آسیب وارد نماید. به منظور کاهش فشار کششی (Drag Pressure) لازم است انتهای دیگر لوله ها روی تکیه گاه های مناسبی قرار گیرد (Roller).



شکل ۶-۵- بستن لوله در گیره‌های دستگاه جوشکاری برای لوله‌های با قطر بالا

لوله‌های موجود در گیره‌های متحرک به وسیله ماشین حرکت داده می‌شود و در حین حرکت آرام لوله، میزان فشار اعمال شده از روی فشارسنج قرائت می‌شود تا فشار کششی مربوط به همان لوله مشخص شود و مقدار آن یادداشت می‌گردد. در صورتی که دستگاه به مدت طولانی کارنکرده باشد لازم است چند بار گیره‌های متحرک عقب و جلو رفته تا روان شوند و بعد از آن فشار کششی یادداشت گردد. تعیین و یادداشت فشار کششی برای هر جوش لازم است چون با توجه به عوامل مختلف از قبیل نوع دستگاه، وزن لوله و... تغییر می‌نماید. نحوه قرار گرفتن لوله‌ها در این مرحله در شکل ۶-۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۶-۶- نحوه قرار گرفتن لوله‌ها در جوش لب‌به‌لب

**مرحله ۲:** به منظور برطرف کردن لایه اکسید روی لبه‌های دو لوله و ایجاد تطابق بین آن‌ها ضروری است که دو لبه لوله‌های مورد جوشکاری، رنده شود. این عمل از طریق رنده مخصوصی (Plane) صورت می‌گیرد. رنده مذکور بین دو لوله در دستگاه قرار می‌گیرد و با اعمال فشار مناسب عمل رنده‌کاری صورت می‌گیرد (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷- رنده‌کاری لبه لوله‌های پلی‌اتیلن

سر لوله‌ها تا دیدن تراشه کامل از هر دو سو رنده می‌شود. بعد از این که از دو سر لوله‌ها، تراشه کامل دیده شد فشار را کم کرده و پس از جدا شدن دو سر لوله‌ها از روی رنده، آن را خاموش می‌کنیم. اگر به این ترتیب عمل نشود سر لوله‌ها ناصاف و پله‌پله خواهد شد. یادآوری می‌شود در شروع رنده‌کاری اول باید رنده را روشن و سپس فشار را اعمال نمود. ضمناً به منظور جلوگیری از کنده شدن تیغه رنده بهتر است قبل از رنده‌کاری با یک پارچه تمیز سر لوله‌ها تمیز شود. اکیداً توصیه می‌گردد که ضایعات حاصله از رنده کردن لوله‌ها از محیط پیرامون جمع‌آوری شده و تا پایان پروژه نگهداری شوند.

**مرحله ۳:** رنده را برداشته لوله‌ها را لب‌به‌لب می‌نماییم تا بتوانیم هم‌ترازی و فاصله بین لوله‌ها را کنترل کنیم. پس از رنده شدن دو سر لوله‌ها به هیچ وجه مجاز نیستیم دست یا چیز آلوده‌ای را به سطوح بزنیم. هم‌ترازی لوله‌ها حداکثر می‌تواند تا ۱۰٪ ضخامت لوله‌ها باشد و در صورتی که از این مقدار بیشتر باشد بایستی لوله‌ها با روش‌های زیر هم‌تراز شوند:

- سفت و شل کردن مهره گیره‌ها
- چرخاندن لوله

## - تنظیم تکیه‌گاه‌های دو انتهای دیگر لوله‌ها



شکل ۶-۸- تنظیم و تراز کردن دو سر لوله‌های پلی‌اتیلن

در صورتی که به‌منظور هم‌ترازی، لوله‌ها در داخل گیره‌ها تغییر مکان یابند لازم است مجدداً عمل رنده کردن (Planning) صورت گیرد. حداکثر فاصله (gap) بین دو سر لوله بعد از رنده کردن ۵٪ میلی‌متر است. در صورتی که به‌طور ناخواسته دست با سطح رنده‌شده تماسی پیدا کرد بایستی از پارچه پنبه‌ای تمیز و آغشته به سیال مجاز (الکل سفید و آستون) استفاده و سطح رنده‌شده را تمیز نمود.

**مرحله ۴:** دستگاه را امتحان می‌کنیم که آیا لوله کاملاً درگیر است و آیا دمای اتو مناسب است؟ پس از حصول اطمینان، اتو را بین دو لوله در دستگاه قرار داده و فشار را تا حد موردنظر (فشار اعلام‌شده از طرف سازنده دستگاه به‌اضافه فشار کششی) افزایش داده و صبر می‌کنند تا ارتفاع (Bead) در حد ۱ تا ۴ میلی‌متر گردد. شایان‌ذکر است حتی‌الامکان بایستی اتو را به لبه لوله نزدیک نمود تا بر اثر حرکت فک متحرک مدت‌زمان بیشتری لبه لوله دیگر با اتو تماس نداشته باشد.





شکل ۶-۹- قرارگیری اتو بین دو سر لوله

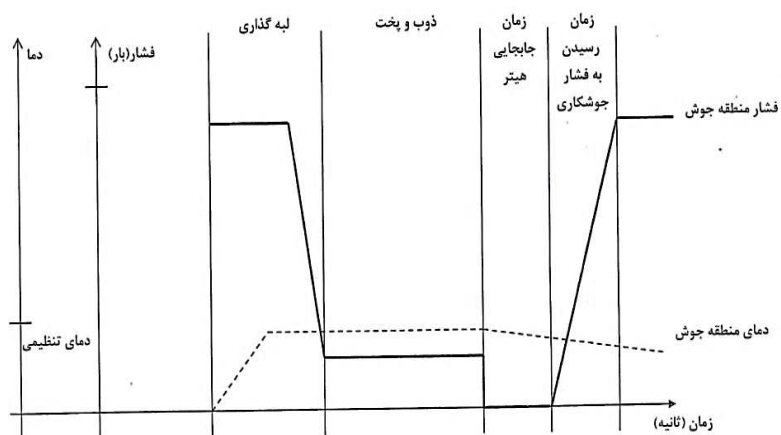
**مرحله ۵:** پس از ایجاد Bead در حد موردنظر فشار را می‌اندازیم، به‌طوری‌که فقط دو سر لوله با اتو در تماس باشد. در صورتی‌که سازنده دستگاه در این مرحله فشار معینی را توصیه کرده باشد لازم است فشار مشخص‌شده، رعایت گردد. در این مرحله انرژی گرمایی در لوله نفوذ می‌نماید و بایستی تا تمام شدن مدت‌زمان توصیه‌شده صبر کرد.

**مرحله ۶:** پس از اتمام زمان نفوذ انرژی حرارتی، دو لوله از روی اتو جدا و عقب کشیده می‌شوند. باید دقت شود که اتو به یکی از دو سر لوله اصابت نکند. در صورتی‌که به هنگام عقب راندن فک متحرک اتو به یکی از دو سر لوله بچسبد با زدن ضربه آهسته‌ای به دسته اتو درحالی‌که با دست دیگر آن را کنترل کرده‌ایم، اتو را از لوله جدا می‌نماییم. بعد از برداشتن اتو به سرعت لبه‌های لوله را به هم چسبانده و فشار تا حد موردنظر (فشار اعلام‌شده از طرف سازنده دستگاه به‌اضافه فشار کششی) افزایش می‌یابد. اعمال فشار مذکور نبایستی یک‌مرتبه و فوری صورت گیرد و لازم است در طول زمان مناسب به اوج خود برسد. پس از این‌که فشار در این مرحله به اوج خود رسید اجازه داده می‌شود که دو لوله تحت این فشار به‌طور ثابت، در دستگاه باقی بماند و زمان معین‌شده از طرف سازنده دستگاه سپری شود.



شکل ۶-۱۰- لوله پس از انجام عملیات جوشکاری

**مرحله ۷:** پس از اتمام زمان سرد شدن اشاره شده در مرحله قبل، لوله‌های جوش داده شده را از دستگاه خارج می‌کنیم و صبر می‌کنیم لوله‌ها طی زمان توصیه شده از طرف سازنده در محلی قرار بگیرد. برای پیگیری مراحل مختلف جوشکاری لب به لب معمولاً استفاده از منحنی شکل (۶-۱۱) مناسب است. در شکل (۶-۱۲) نمونه‌هایی از جوش‌های نامناسب نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۱- نمودار مراحل مختلف جوشکاری (زمان، دما و فشار جوشکاری)



شکل ۶-۱۲- نمونه‌هایی از جوش‌های نامناسب

#### ۶-۴-۳- توصیه‌های مهم در جوشکاری لب‌به‌لب

- قبل از هر جوش بایستی سطوح اتو کاملاً تمیز شود. بدین منظور لازم است قبل از جوشکاری اصلی لوله‌ها، جوش آزمایشی<sup>۱</sup> صورت گیرد. در جوش آزمایشی تمام اقدامات جوش اصلی تا مرحله پنجم صورت می‌گیرد و سر خمیری لوله که روی اتو چسبیده است عامل جدا شدن تمام آلودگی‌ها و ذرات باقی‌مانده جوش‌های قبلی خواهد بود؛ بنابراین در صورتی که سائز لوله‌ها عوض شود بایستی مجدداً جوش آزمایشی انجام شود.
- همواره باید صحت عملکرد ترموستات مربوط به اتو از طریق ترمومترهای دقیق دیجیتالی کنترل شود تا اطمینان حاصل شود دمای موردنظر در اتو تأمین می‌گردد.
- به‌جز مواقعی که اتو در بین دو لوله قرار دارد، همواره این وسیله بایستی در غلاف مربوطه نگهداری شود تا از جریان باد، گردوخاک و خرابی محافظت شود.
- فقط لوله‌هایی را می‌توان تحت این نوع جوشکاری قرار داد که از نظر قطر و ضخامت برابر بوده و از نظر جنس یکسان باشند.

<sup>۱</sup>. Dummy Joist

- همواره لازم است دو سر لوله‌های مورد جوشکاری که خارج از دستگاه هستند به وسیله درپوش‌های مربوط (Cap) پوشیده شود تا از جریان سریع هوا و جریان هوا در امان باشند، در غیر این صورت سریع سرد می‌شوند و معیوب خواهند شد.
- بهتر است در زیر دستگاه جوشکاری بستر مناسب و تمیزی پهن شود تا آلودگی و ذرات مزاحم محیط مانع کار نگردند.
- حتماً از روغن ۱۰ هیدرولیک زرد استفاده شود.

#### ۶-۴-۴- بهره‌برداری از دستگاه

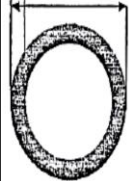
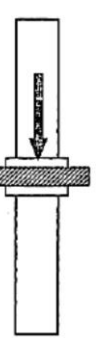
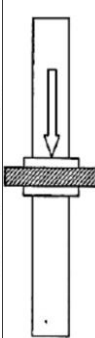
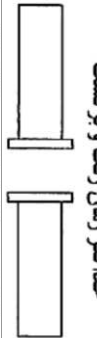
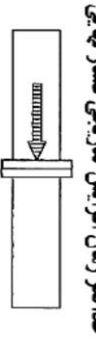
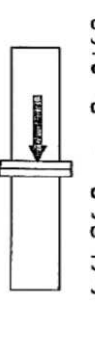
- مروری بر خلاصه عملیات جوشکاری به شرح ذیل ارائه می‌شود:
- دستگاه و متعلقات مربوطه به محل اجرا برده می‌شود.
- برای انجام جوشکاری یک نفر جوشکار و یک نفر به عنوان کمک جوشکار مورد نیاز است.
- گیره‌های دستگاه منطبق بر قطر لوله آماده می‌شود.
- دستگاه به برق وصل می‌شود.
- لوله در محل‌های مربوطه قرار گرفته و لبه‌های لوله‌ها با پارچه‌ای تمیز می‌شود.
- عمل رنده کاری انجام می‌شود.
- با استفاده از جداول ۶-۱ تا ۶-۶ که مشخصات جوشکاری لوله‌های پلی‌اتیلن با فشارهای اسمی مختلف (۲/۵ الی ۱۶ بار) را نشان داده است، مراحل بعدی جوشکاری صورت می‌گیرد.
- اتو را در محل مربوطه قرار داده و فشار لازم اعمال می‌گردد. این فشار حاصل جمع فشار خوانده شده از جداول و فشار کششی اندازه‌گیری شده است. بعد از این که فشار لازم ایجاد شد بایستی صبر کرد تا لبه لوله‌ها روی اتو در حد ۱ تا ۴ میلی‌متر (ضخامت چوب کبریت) بلند شود.
- به محض ایجاد لبه مناسب، فشار اولیه را تا حد فشار کششی کاهش داده و تا تمام شدن زمان تأمل می‌گردد. بدیهی است تایمر دستگاه تمام شدن زمان را هشدار می‌دهد.
- پس از تمام شدن زمان لازم فرصت محدودی برای برداشتن اتو وجود دارد.
- پس از برداشتن اتو دو سر لوله به طرف هم آورده می‌شود و تحت فشار مناسب (فشار کششی) در هم جوش می‌خورند. لازم به ذکر است ایجاد فشار به صورت تدریجی و در مدت زمان مشخص شده صورت می‌گیرد. پس از این که زمان مشخص شده به اتمام رسید و فشار به حد مناسب خود رسید زمان بعدی شروع می‌شود و در واقع جوش تحت فشار ثابت طی مدت زمان مقرر صورت می‌گیرد، تا سرد شود.

- پس از زمان ذکر شده لازم است اجزای جوش را از دستگاه خارج نموده و طی مدت زمان اعلام شده در جداول در بیرون از دستگاه جهت سرد شدن نگه داشت.

#### ۶-۴-۵- ایمنی

- هنگام کار با دستگاه بایستی مراقب بود تا دست بین لوله ها گیر نکند (ترجیحاً از دستکش استفاده شود).
- از محکم شدن رنده در محل خود هنگام کار با آن مطمئن شد.
- به علت حرارت زیاد اتو احتیاط شود تا دست به صفحه گرم اتو نخورد.
- قبل از استفاده از دستگاه، روغن هیدرولیک آن را کنترل نمود.
- در صورت استفاده از ژنراتور کنترل شود توان خروجی مربوطه حداقل ۳/۵ کیلووات باشد.
- در صورتی که ماده مذاب پلی اتیلن به دست چسبیده، به هیچ وجه اقدام به جدا کردن نکرده و بلافاصله زیر آب سرد گرفته شود.
- در هنگام گرم بودن اتو بایستی مراقب بود تا به کابل مربوط به صفحه گرم شونده اصابت ننماید تا احتمالاً باعث زخمی شدن آن نشود.

جدول ۶-۱- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۲/۵ بار

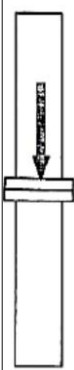
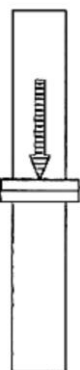
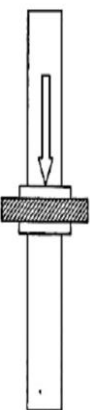
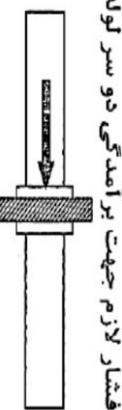
| <div>  </div>                                                                                                     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| ۱۶۰                                                                                                                                                                                                    | ۱۴۰ | ۱۲۵ | ۱۱۰ | ۹۰  | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰ | ۳۲ |
| ۳/۹                                                                                                                                                                                                    | ۳/۵ | ۳/۱ | ۲/۷ | ۲/۳ | ۱/۹ | ۱/۸ | ۱/۸ | -  | -  |
| ۴                                                                                                                                                                                                      | ۳   | ۲   | ۲   | ۱   | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | -  | -  |
| <div> <p>فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله</p> <p>ارتفاع لبه (میلی متر)</p> <p>زمان و فشار لازم جهت پخت</p>  </div> |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| ۰/۵                                                                                                                                                                                                    | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | -  | -  |
| ۰/۴                                                                                                                                                                                                    | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰   | ۰   | ۰   | -  | -  |
| ۶۰                                                                                                                                                                                                     | ۵۴  | ۴۸  | ۴۱  | ۳۳  | ۲۰  | ۲۰  | ۲۰  | -  | -  |
| <div> <p>زمان (ثانیه)</p> <p>حداکثر زمان رفت و برگشت</p>  </div>                                                    |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| ۴                                                                                                                                                                                                      | ۴   | ۳   | ۳   | ۳   | ۲   | ۲   | ۲   | -  | -  |
| <div> <p>زمان (ثانیه)</p> <p>حداکثر زمان افزایش تدریجی فشار نهایی</p>  </div>                                       |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| ۵                                                                                                                                                                                                      | ۵   | ۴   | ۴   | ۲   | ۲   | ۲   | ۲   | -  | -  |
| <div> <p>زمان (ثانیه)</p> <p>فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش</p>  </div>                                          |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| ۴                                                                                                                                                                                                      | ۲   | ۲   | ۲   | ۱   | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | -  | -  |
| <div> <p>فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش</p> <p>زمان (دقیقه)</p>  </div>                                          |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| ۵                                                                                                                                                                                                      | ۵   | ۴   | ۲   | ۲   | ۲   | ۲   | ۳   | -  | -  |

جدول ۶-۲- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۳/۲ بار

|                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                                                                     |  |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ۱۶۰                                   | ۱۴۰ | ۱۲۵ | ۱۱۰ | ۹۰  | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۲  |    |  |
| ۵                                     | ۴/۴ | ۳/۹ | ۳/۵ | ۲/۸ | ۲/۴ | ۲   | ۲   | ۷/۸ | ۱/۸ | قطر لوله (میلیمتر)                                                                  |  |
| ۵                                     | ۴   | ۳   | ۲   | ۲   | ۲   | ۱   | ۱   | ۰/۴ | ۰/۳ | فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله                                                    |  |
| ۱                                     | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ارتفاع لبه (میلی‌متر)                                                               |  |
| ۰/۵                                   | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰   | ۰   | ۰   | ۰   | زمان و فشار لازم جهت پخت                                                            |  |
| ۸۰                                    | ۶۸  | ۶۰  | ۵۴  | ۴۳  | ۳۴  | ۳۰  | ۳۰  | ۳۰  | ۳۰  | زمان (ثانیه)                                                                        |  |
| ۴                                     | ۵   | ۴   | ۴   | ۳   | ۳   | ۳   | ۳   | ۲   | ۲   | حد اکثر زمان رقت و برگشت                                                            |  |
| حد اکثر زمان افزایش تدریجی فشار نهایی |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                                                                     |  |
| ۵                                     | ۶   | ۵   | ۵   | ۴   | ۴   | ۴   | ۴   | ۲   | ۲   |   |  |
| ۵                                     | ۴   | ۳   | ۲   | ۲   | ۲   | ۱   | ۱   | ۰/۴ | ۰/۳ | فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش                                                   |  |
| ۷                                     | ۶   | ۵   | ۴   | ۴   | ۴   | ۴   | ۴   | ۳   | ۳   |  |  |

جدول ۶-۳- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۴ بار

| جدول ۶-۳- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۴ بار |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| قطر لوله (میلیمتر)                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۱۶۰                                     | ۱۴۰ | ۱۲۵ | ۱۱۰ | ۹۰  | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۲  |
| ۶/۲                                     | ۵/۴ | ۴/۹ | ۴/۳ | ۳/۵ | ۲/۹ | ۲/۵ | ۲/۴ | ۱/۹ | ۱/۹ |
| فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۶                                       | ۴   | ۴   | ۳   | ۲   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۶/۴ |
| ارتفاع لبه (میلی‌متر)                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۱                                       | ۱   | ۱   | ۵/۵ | ۵/۵ | ۵/۵ | ۵/۵ | ۵/۵ | ۵/۵ | ۵/۵ |
| ۶/۴                                     | ۵/۴ | ۵/۴ | ۵/۳ | ۵/۲ | ۵/۲ | ۵/۱ | ۵/۱ | ۵/۰ | ۵/۰ |
| فشار (بار)                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۱۰۴                                     | ۸۸  | ۷۸  | ۶۷  | ۵۴  | ۴۶  | ۴۰  | ۳۸  | ۳۰  | ۳۰  |
| زمان (ثانیه)                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| حداکثر زمان رقت و برگشت                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۵                                       | ۵   | ۴   | ۴   | ۴   | ۳   | ۳   | ۳   | ۳   | ۳   |
| زمان (ثانیه)                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| حداکثر زمان افزایش تدریجی فشار نهایی    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۷                                       | ۶   | ۵   | ۶   | ۵   | ۵   | ۴   | ۴   | ۴   | ۴   |
| زمان (ثانیه)                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۶                                       | ۴   | ۴   | ۳   | ۲   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۶/۴ |
| فشار (بار)                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ۹                                       | ۷   | ۷   | ۴   | ۴   | ۳   | ۳   | ۳   | ۴   | ۴   |
| زمان (دقیقه)                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |



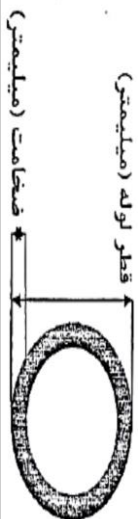


جدول ۶-۴- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۶ بار

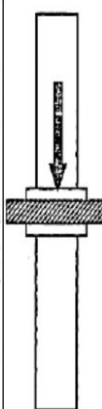
| ۱۶۰ | ۱۴۰ | ۱۲۵ | ۱۱۰ | ۹۰  | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۲  | قطر لوله (میلیمتر)    | فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------|----------------------------------|
| ۹/۱ | ۸   | ۷/۱ | ۶/۳ | ۵/۱ | ۳/۴ | ۳/۴ | ۳   | ۲/۴ | ۲/۴ | فشار (بار)            | فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله |
| ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱   | ۱   | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ارتفاع لبه (میلی متر) | فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله |
| ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰   | ۰   | فشار (بار)            | فشار لازم جهت پخت                |
| ۱۴۹ | ۱۳۴ | ۱۲۱ | ۱۰۸ | ۸۴  | ۷۸  | ۷۸  | ۶۶  | ۵۳  | ۵۳  | زمان (ثانیه)          | فشار لازم جهت پخت                |
| ۶   | ۶   | ۶   | ۶   | ۴   | ۳   | ۳   | ۳   | ۳   | ۳   | زمان (ثانیه)          | فشار لازم جهت پخت                |
| ۱۰  | ۹   | ۸   | ۷   | ۵   | ۵   | ۴   | ۴   | ۴   | ۴   | زمان (ثانیه)          | فشار لازم جهت پخت                |
| ۸   | ۶   | ۵   | ۴   | ۳   | ۲   | ۲   | ۱   | ۱   | ۰/۶ | فشار (بار)            | فشار لازم جهت پخت                |
| ۱۲  | ۱۱  | ۱۰  | ۹   | ۷   | ۶   | ۵   | ۴   | ۳   | ۳   | زمان (دقیقه)          | فشار لازم جهت پخت                |

جدول ۶-۵- مشخصات جوشکاری لوله‌های ۱۰ بار

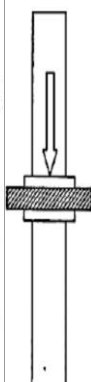
| قطر لوله (میلیمتری)              |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ۱۶۰                              | ۱۴۰  | ۱۲۵  | ۱۱۰ | ۹۰  | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۲  |
| ۱۴/۶                             | ۱۲/۸ | ۱۱/۴ | ۱۰  | ۸/۲ | ۶/۸ | ۵/۸ | ۴/۶ | ۳/۷ | ۲/۹ |
| فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
| ۱۳                               | ۱۰   | ۸    | ۶   | ۴   | ۳   | ۲   | ۱   | ۱   | ۵/۵ |
| ۲                                | ۲    | ۱/۵  | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱   | ۱   | ۱   |
| ۱/۳                              | ۱    | ۵/۸  | ۵/۶ | ۵/۴ | ۵/۳ | ۵/۲ | ۵/۱ | ۵   | ۵   |
| زمان و فشار لازم جهت پخت         |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
| ۲۱۲                              | ۱۹۷  | ۱۸۲  | ۱۶۲ | ۱۳۷ | ۱۱۵ | ۹۹  | ۷۸  | ۶۳  | ۴۹  |
| ۷                                | ۶    | ۸    | ۷   | ۶   | ۶   | ۶   | ۵   | ۵   | ۴   |
| ۱۲                               | ۱۱   | ۱۱   | ۱۰  | ۹   | ۹   | ۹   | ۷   | ۷   | ۶   |
| ۱۳                               | ۱۰   | ۸    | ۶   | ۴   | ۳   | ۲   | ۱   | ۱   | ۵/۵ |
| ۱۹                               | ۱۷   | ۱۴   | ۱۲  | ۱۱  | ۱۰  | ۸   | ۶   | ۵   | ۳   |



فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله



ارتفاع لبه (میلی‌متر)



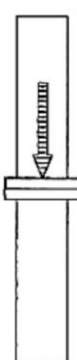
فشار (بار)

زمان و فشار لازم جهت پخت



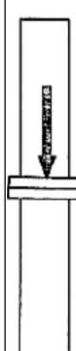
زمان (ثانیه)

حداکثر زمان رقت و برگشت



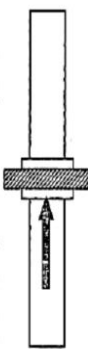
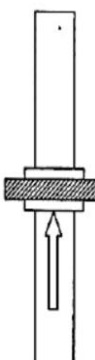
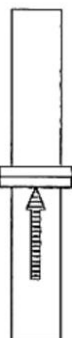
زمان (ثانیه)

فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش



زمان (دقیقه)

جدول ۶-۶- مشخصات چوشکاری لوله‌های ۱۶ بار

|      | قطر لوله (میلیمتر) |      |      |      |      |     |     |     |     |    |                                                                                     |
|------|--------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
|      | ۱۶۰                | ۱۴۰  | ۱۲۵  | ۱۱۰  | ۹۰   | ۷۵  | ۶۳  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۲ |                                                                                     |
| ۲۲/۱ | ۱۹/۳               | ۱۷/۳ | ۱۵/۲ | ۱۲/۴ | ۱۰/۳ | ۸/۶ | ۵/۵ | ۵/۵ | -   | -  |    |
| ۱۸   | ۱۴                 | ۱۱   | ۹    | ۶    | ۴    | ۳   | ۱   | ۱   | ۱   | -  | فشار لازم جهت برآمدگی دو سر لوله                                                    |
| ۲/۵  | ۲/۵                | ۲    | ۲    | ۲    | ۱/۵  | ۱/۵ | ۱   | ۱   | ۱   | -  |    |
| ۱۸   | ۱/۵                | ۱    | ۰/۹  | ۰/۶  | ۰/۴  | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | -  | زمان و فشار لازم جهت پخت                                                            |
| ۲۸۵  | ۲۵۳                | ۲۳۶  | ۲۱۸  | ۱۹۳  | ۱۶۵  | ۱۳۸ | ۹۰  | ۸۸  | -   | -  |    |
| ۱۰   | ۷                  | ۹    | ۸    | ۶    | ۵    | ۵   | ۴   | ۴   | -   | -  | حداکثر زمان رفت و برگشت                                                             |
| ۱۷   | ۱۵                 | ۱۴   | ۱۲   | ۱۰   | ۹    | ۹   | ۶   | ۶   | -   | -  | حداکثر زمان افزایش تدریجی فشار نهایی                                                |
| ۱۸   | ۱۴                 | ۱۱   | ۹    | ۶    | ۴    | ۳   | ۱   | ۱   | ۱   | -  |   |
| ۲۸   | ۲۴                 | ۱۷   | ۲۰   | ۱۶   | ۱۴   | ۱۲  | ۸   | ۸   | ۸   | -  | فشار لازم طی زمان خنک شدن محل جوش                                                   |
|      |                    |      |      |      |      |     |     |     |     |    |  |

پس از پیشرفت حدود ۶۰ تا ۷۰ درصدی جوشکاری لوله‌ها بایستی عملیات حفاری آغاز شود. اما قبل از شروع عملیات حفاری، مقدماتی باید صورت گیرد. لازم است بین میخ‌ها ریسمان کشی شده و دقت شود که در مسیر ریسمان کشی شده، جایی ریسمان به زمین یا بوته (که ممکن است بعد از عمل دکوپاژ به‌جامانده باشد) گیر نکرده باشد و کاملاً آزاد بوده و در یک خط مستقیم قرار گیرد. سپس از روی ریسمان اقدام به گچ‌ریزی کرده و محور ترانشه مشخص می‌شود. گاه بسته به این که از چه ماشینی برای حفاری استفاده می‌شود محل گچ‌ریزی متفاوت است. مثلاً برای حفاری به‌وسیله دستگاه ترنچر مسیر داخلی یا خارجی یکی از چرخ‌های آن را گچ‌ریزی می‌کنند. یا همان‌گونه که در شکل ۶-۱۳ نشان داده شده برای حفاری به‌وسیله بیل مکانیکی دو طرف لبه بکت آن را گچ‌ریزی می‌کنند.

پیشنهاد می‌شود که گچ‌ریزی هم‌زمان با حفاری انجام شود؛ چراکه ممکن است گچ‌ریزی‌ها به علت وقوع بارندگی‌ها و مرور زمان از روی زمین محو شوند و موجب دوباره‌کاری شوند. همچنین بهتر است در حین گچ‌ریزی محل حوضچه‌ها نیز مشخص و ابعاد آن‌ها تعیین و گچ‌ریزی شود.



شکل ۶-۱۳- گچ‌ریزی مسیر حفاری خط لوله

## ۵-۶- حفاری

حفاری ترانشه‌ها معمولاً با بیل مکانیکی چرخ زنجیری یا چرخ لاستیکی یا بیل بکهو و یا ترنچر چرخ لاستیکی یا چرخ زنجیری انجام می‌شود (شکل ۶-۱۴). حفاری با دستگاه ترنچر بیشتر توصیه می‌شود؛ چراکه حفاری‌های انجام‌شده با این دستگاه دارای عمق یکسان در طول مسیر بوده و معمولاً پس از حفاری کف آن نیاز به رگلاژ ندارد و از آن‌جاکه تیغه‌های زنجیر آن خاک را خراش داده و حفاری

می‌کنند، دیواره‌ها و لبه‌های آن کمتر ریزش نموده و از پایداری بیشتری برخوردارند. ترنچرها یا دارای نوار نقاله هستند که خاک حاصل از حفاری را در فاصله حدود نیم متری در یکی از دو طرف ترانشه دپو می‌کنند و یا این که دارای ماریپیچ دوطرفه هستند که خاک حاصله را در دو طرف ترانشه ریشه می‌کند و برخی از انواع ترنچرها دارای هر دو مکانیزم هستند که قابل انتخاب است. حفاری به وسیله ترنچر نیاز به راننده چندان ماهر و ندارد و کافی است راننده قادر باشد دستگاه را در خط صاف در مسیر گچ‌ریزی شده کنترل کند. این در حالی است که در حفاری به وسیله بیل مکانیکی مهارت راننده در کنترل ماشین، دقیق بودن مسیر و عمق حفاری و سرعت کار نقش بسیار مهمی دارد. بهتر است در صورت حفاری با بیل مکانیکی از باکت با عرض ۴۰ سانتی‌متر برای لوله‌های با سایز پایین استفاده شود و پاکت آن حتماً دارای ناخن باشد.



شکل ۶-۱۴- حفاری ترانشه مسیر خط لوله با بیل مکانیکی و ترنچر

در هنگام حفاری بایستی محل حوضچه‌ها نیز حفاری شود (شکل ۶-۱۵)، در شبکه‌ها معمولاً جایی که خطوط آب‌رسان از نیمه‌آب‌رسان‌ها آب می‌گیرند یک حوضچه وجود دارد، همچنین ممکن

است حوضچه در انتهای خطوط نیمه‌آبرسان و یا در محلی در وسط خط، جایی که از نظر توپوگرافی تمام آب درون لوله به‌طور ثقلی تخلیه می‌شود، تعبیه گردد. لازم به ذکر است حوضچه تخلیه یک خط حتماً باید در محلی واقع شود که پایین‌ترین کد ارتفاعی را داشته و تمام آب لوله بتواند به‌طور ثقلی به آن محل تخلیه شود.



شکل ۶-۱۵- حفاری محل احداث حوضچه شیرآلات

در هنگام حفاری خطوط مانیفولد پیشنهاد می‌گردد که یک و نیم متر ابتدا و یک متر انتهای خط با عرض بیشتری (حداقل ۶۰ سانتی‌متر) حفاری شود؛ چراکه در ابتدای خطوط مانیفولد به فاصله یک متری از خط نیمه‌آبرسان یک شیر کشویی دسته‌بلند قرار می‌گیرد که برای ثابت قرار دادن این شیر، دو بلوک سیمانی توپر به عرض ۲۰ سانتی‌متر در طرفین آن قرار می‌دهند و خود شیر هم حدود ۲۰ سانتی‌متر عرض دارد؛ پس ضخامت ترانشه در آن نقطه باید حداقل ۶۰ سانتی‌متر باشد. در انتهای مانیفولد نیز به‌منظور سهولت در امر تخلیه یک زانوی ۹۰° جوش خورده و لوله حدود ۱ متر بالا می‌آید و روی آن یک فلنج کور بسته می‌شود. چون این فلنج کور بایستی در دسترس باشد زانوی زیر آن را همانند شیر دسته‌بلند از طریق ۲ بلوک سیمانی توپر ثابت می‌کنند و روی آن‌ها دو حلقه لوله سیمانی ۴۰۰، هر یک به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر قرار می‌دهند و اطراف آن را با شن شکسته با حداقل سائز سه‌هشتم تا سه‌چهارم اینچ پر می‌کنند. این امر باعث می‌شود تا فلنج کور در جای خود ثابت شود. البته لازم نیست که فلنج کور دقیقاً در وسط لوله سیمانی قرار داده شود؛ چراکه هنگام باز کردن پیچ و مهره‌های آن فضای کافی برای آچار وجود نخواهد داشت. هنگام حفاری خطوط لوله در دامنه‌های شیب‌دار (عمود بر شیب) بهتر است خاک حاصل از حفاری را در بالادست شیب دپو کرد، تا حتی‌الامکان در صورت بارندگی شدید از سرازیر شدن روان‌آب حاصله به درون ترانشه‌ها جلوگیری شود و خسارت کمتری حادث شود.

## ۶-۶- نصب اتصالات

### ۶-۶-۱- نصب اتصالات روی مانیفولدها

مانیفولدها لوله‌هایی هستند که از لوله‌های نیمه‌آبرسان منشعب شده و معمولاً ابتدای آن از سایز ۷۵ میلی‌متر شروع شده، سپس ۶۳ میلی‌متر و در نهایت به ۵۰ میلی‌متر ختم می‌شود. چنانچه هنگام پیاده کردن نقشه روی زمین به عوارضی برخورد کنیم که مجبور به کوتاه کردن طول مانیفولد شویم (گاه به علت عدم انطباق نقشه‌ها با طبیعت و...)، این کوتاه کردن را در کوچک‌ترین سایز لوله مانیفولد که همان انتهای لوله است اعمال می‌کنیم. در ابتدای خطوط مانیفولد در فاصله ۱ متری از خط نیمه آبرسان شیر قطع و وصل (شیرفلکه کشویی زبانه لاستیکی دسته‌بلند) قرار دارد. معمولاً سایز این شیر ۵۰ است و در قبل و بعد آن از تبدیل استفاده می‌شود.



شکل ۶-۱۶- قرار دادن شیر قطع و وصل جریان در ابتدای خطوط مانیفولد

در مرحله بعدی شروع به سوراخ‌کاری مانیفولدها می‌کنیم. عملیات سوراخ‌کاری مانیفولدها به وسیله دریل با سر مته ۱۰/۵ میلی‌متر صورت می‌گیرد (شکل ۶-۱۷). البته در دستورالعمل‌های مربوطه آمده است که سوراخ‌کاری با مته ۱۱ انجام شود، ولی پس از چندین مرحله آزمون مشاهده شده که مته ۱۱ کمی بزرگ بوده و آب می‌دهد و این در حالی بود که سوراخ ایجاد شده با مته ۱۰ کوچک بوده و هنگام جا انداختن واشر باعث پارگی آن می‌شود. فاصله سوراخ‌ها بستگی به فواصل ردیف‌ها در احداث باغ دارد. مثلاً در آرایش دوردیفی که فاصله کشت ردیف درختان ۵ متر است، از شیر دسته‌بلند در ابتدای مانیفولد یک متر فاصله گرفته و اولین سوراخ زده می‌شود، سپس یک متر دیگر فاصله گرفته و سوراخ دوم، این دو سوراخ درواقع تغذیه‌کننده دو ردیف لوله اطراف ردیف اول درختان باغ هستند. برای زدن

سوراخ سوم از سوراخ دوم ۴ متر فاصله گرفته و سوراخ چهارم با فاصله یک متری از سوراخ سوم زده شده و این کار به همین ترتیب تا انتهای مانیفولد ادامه می‌یابد. بایستی توجه نمود که برای سوراخ‌کاری از متنه کوتاه استفاده شود؛ چراکه سر متنه‌های بلند موجب می‌شوند که طرف دیگر لوله نیز سوراخ شود. جهت شروع عملیات سوراخ‌کاری بایستی زانوی انتهای مانیفولد به سمت بالا ثابت شود تا تمام سوراخ‌هایی که ایجاد می‌شوند به سمت بالا باشند. در غیر این صورت گاهی لوله پیچ‌خورده و برخی سوراخ‌ها به سمت کف ترانشه قرار می‌گیرند و آبگیری از آن‌ها به وسیله لوله‌های ۱۶ میلی‌متری تقریباً غیرممکن می‌شود. در این مرحله نوبت به مونتاژ اتصالات ۱۶ میلی‌متری می‌رسد. انجام این عملیات می‌تواند در یک محل سرپوشیده یا در کارگاه انجام شود و سپس به مزرعه منتقل گردد. لوازم آن شامل واشر لاستیکی بست ابتدایی، بست فشاری ابتدایی، کمربند بست ابتدایی، بست کابلی، بست انتهایی (عینکی)، لوله ۱۶ میلی‌متری به طول ۷/۵ متر است.



شکل ۶-۱۷- سوراخ‌کاری مانیفولدها برای اتصال لترال

#### ۶-۶-۲- تجربه شبکه آبیاری ناحیه ۲ خداآفرین

در ابتدای پروژه از بست فشاری همراه واشر آن برای اتصال لوله ۱۶ میلی‌متری به لوله مانیفولد استفاده شد ولی در هنگام آزمون بر اثر فشار در داخل لوله، این بست‌های فشاری به سمت خارج پرتاب می‌شدند، علاوه بر این لوله‌ها توسط برخی از حیوانات کشیده شده و به راحتی از جا درمی‌آمدند. همچنین این لوله‌ها بسیار آزادانه حرکت نموده و این حرکت چرخشی آن‌ها باعث پاره شدن واشر لاستیکی و آب دادن واشر می‌گردید. همچنین گاهی اوقات که مدت زیادی بین عمل مونتاژ و آزمون و خاک‌ریزی لوله طول می‌کشید واشرهای لاستیکی به خاطر تابش نور آفتاب خشک شده و ترک می‌خوردند. پس از بررسی‌های به عمل آمده بست‌های ابتدایی سفارش داده شد که روی آن‌ها سپری



وجود داشت و این سپری دارای یک کمربند بود که دورتادور لوله بسته می‌شد. مشکل این سپری‌ها این است که در آن‌ها واشر بست ابتدایی حذف شده و به جای آن از یک رینگ برای آب‌بندی استفاده می‌شود که البته خود رینگ از مقاومت زیادی برخوردار نیست، همچنین برای بخش‌هایی از مانیفلد که سایز لوله ۵۰ میلی‌متر است مناسب نیست چون کمربند آن به خوبی محکم نمی‌شود. کلاً شرط خوب عمل کردن این سپری این است که کمربند آن خوب محکم شود تا سپری به خوبی روی لوله بنشیند و آرینگ بین آن‌ها نقش آب‌بندی خود را به خوبی ایفا کند.

مسئله دیگری که در این اتصال جدید تغییر کرده، محل اتصال لوله ۱۶ میلی‌متری به بست ابتدایی است. یکی از مشکلاتی که در بست قبلی وجود داشت این بود که گاه در هنگام آزمون، خود لوله از بست جدا می‌شد. در راستای حل این مشکل در سپری جدید یک قطعه کوچک سفیدرنگ که در وسط آن شیار وجود داشت، اضافه شد که همانند دندان‌های روی قسمتی بود که وارد لوله می‌شد که این قطعه بین دندان‌ها قرار گرفته و درواقع موجب می‌شد که دندان‌های روی بست ابتدایی بلندتر شده و درگیری آن با لوله ۱۶ میلی‌متری بیشتر شود تا از خارج شدن آن در اثر فشار جلوگیری کند. اما مشکل اینجا بود که برای وارد کردن انتهای بست ابتدایی به داخل لوله ۱۶ میلی‌متری نیروی بسیار زیادی لازم بود و معمولاً کارگران قادر به انجام این کار نبودند، تا این که پیشنهاد شد که ابتدا سر لوله‌ها را در آب جوش قرار دهند تا قدری نرم و منبسط شوند، سپس بست را به داخل آن‌ها فروکنند، اما این کار بسیار وقت‌گیر بود و حتی تهیه آب جوش در مزرعه نیز کار ساده‌ای نبود و لوله‌ها در هنگام آزمون آب می‌دادند، چون لوله‌ها پس از سرد شدن به شکل اولیه خود برنمی‌گشتند. مشکل دیگری که وجود دارد، سوراخ‌کاری لوله‌های مانیفلد است. لوله‌های مانیفلد حتماً باید توسط یک کارگر ماهر سوراخ شده و هنگام سوراخ‌کاری نباید دست وی بلرزد؛ چراکه موجب می‌شود سوراخ ایجادشده به صورت بیضی‌شکل باشد و چنین سوراخی هرگز به وسیله واشر آب‌بندی نمی‌شود و چنانچه هنگام سوراخ‌کاری ممتد به صورت عمود روی سوراخ قرار نگیرد و سوراخ به صورت مورب ایجاد شود، هنگام جا انداختن واشر، لبه تیز آن موجب پاره شدن واشر می‌شود. از دیگر مواردی که باید در سوراخ‌کاری رعایت شود این است که ابتدا باید زانوی ۹۰ درجه و فلنج کور انتهای مانیفلد را به صورت عمودی روی زمین قرار داد، در غیر این صورت ممکن است لوله پیچ‌خورده و بعضی از سوراخ‌ها در زیر لوله قرار بگیرند که در این صورت عمل انشعاب‌گیری از آن‌ها مشکل می‌شود. بهتر است ابتدا عمل مونتاژ لوله‌های ۱۶ میلی‌متری انجام شود (می‌تواند این عمل درجایی خارج از کارگاه انجام شود) سپس هم‌زمان سوراخ‌کاری‌ها انجام شود. نکته مهم در این مرحله این است که واشرهای لاستیکی را باید درست هنگامی که می‌خواهیم بست ابتدایی فشاری را در روی لوله نصب کنیم، روی سوراخ‌ها مونتاژ نماییم چون اگر واشرها (به خصوص در فصول گرم) مدت زیادی زیر نور آفتاب بمانند، خاصیت ارتجاعی خود را از دست داده، خشک شده و ترک می‌خورند و آب‌بند نخواهند بود.

قبلاً که از هیچ‌گونه کمربندی برای بست ابتدایی فشاری استفاده نمی‌شد حتی بعد از مونتاژ نیز تا هنگام خاک‌ریزی خطر ترک‌خوردگی و اشرها وجود داشت اما بعد از استفاده از کمربند، عملاً خود کمربند به خاطر لبه‌هایی که دارد از تابش مستقیم نور خورشید به و اشرها لایستیکی جلوگیری می‌کند. مونتاژ آن‌ها بدین‌صورت است که و اشرا دارای دو لبه است که یک لبه آن در داخل لوله و لبه دیگر آن روی لوله قرار می‌گیرد. اما معمولاً مونتاژ و اشرا روی سوراخ با دست امکان‌پذیر نبوده و کارگران از وسیله‌ای که تیز و برنده نباشد استفاده می‌کنند؛ چراکه قطعاً موجب پارگی و اشرها خواهند شد. وسیله‌ای که در پروژه آبیاری تحت‌فشار دشت فتحعلی (در واحد (۱) طرح خداآفرین- دشت مغان در استان اردبیل) مورد استفاده قرار گرفت و به و اشرها آسیبی نمی‌رساند و در آزمون‌ها، و اشرها آب‌بند بودند، دسته شیرهای گازی بود که از لبه آن برای جا انداختن و اشرا روی سوراخ استفاده می‌شد.

### ۶-۳-۶- بستن شیرآلات و اتصالات

در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار همیشه روی خطوط، بسته به نیاز و اهداف مختلف، شیرآلاتی در نظر گرفته می‌شود. این شیرآلات به‌منظور قطع و وصل کردن جریان و یا به‌منظور انجام تعمیرات در هنگام بروز حوادث احتمالی لحاظ می‌گردند. برخی از این شیرآلات نقش تخلیه لوله یا هوا و یا صافی و یا فشارشکن را ایفا می‌کند.

در ابتدای کلیه خطوط نیمه‌آبرسان یک حوضچه شیرآلات (بتنی یا بلوکی) احداث و یک شیر قطع و وصل در آن تعبیه می‌شود. در انتهای خطوط نیمه‌آبرسان و یا در وسط آن‌ها بسته به کد ارتفاعی نیز یک حوضچه تخلیه در نظر گرفته می‌شود که در درون حوضچه یک شیر تخلیه (معمولاً سایز ۵۰ دو سر فلنج) برای تخلیه خط لوله در مواقع اضطراری در نظر گرفته می‌شود. در ابتدای خطوط مانیفولد در فاصله یک‌متری از خطوط نیمه‌آبرسان یک شیر کشویی زبانه لایستیکی دسته‌بلند جهت قطع و وصل جریان در نظر گرفته می‌شود. وجود این شیر در ابتدای خط بسیار ضروری است. نحوه قرار گرفتن شیرآلات روی خط بدین‌صورت است که معمولاً این شیرآلات دارای فلنج بوده و با جوش دادن رینگ و فلنج روی خط لوله و قرار دادن یک و اشرا لایستیکی منجیت‌دار بین ۲ فلنج به کمک پیچ و مهره محکم می‌شود. برای بستن پیچ و مهره‌ها، استفاده از یک و اشرا تخت و فنری فلزی در پشت مهره لازم است چون اگر این و اشرا فنری وجود نداشته باشد بر اثر فشار درون خط لوله و شیر این مهره باز می‌شود.



شکل ۶-۱۸- شنریزی دور لوله‌های پلی‌اتیلن

#### ۶-۷- آزمون هیدرولیکی

عمل آزمون هیدرولیکی جهت اطمینان از کارکرد صحیح خط لوله و عدم وقوع ترکیدگی و آب دادن اتصالات در حین بهره‌برداری انجام می‌شود؛ چراکه اگر این اتفاق در حین بهره‌برداری و بعد از خاک‌ریزی رخ دهد، هزینه و وقت زیادی برای تعمیر آن صرف خواهد شد. برای انجام عملیات آزمون هیدرولیکی به لوازم متعددی نیاز است که از مهم‌ترین آن‌ها پمپ سم‌پاش و فشارسنج است. برای شروع عملیات آزمون هیدرولیکی، ابتدا بازه‌ای که قرار است آزمون شود مشخص می‌شود. لازم است در هر بازه یک شیر قطع و وصل وجود داشته باشد. طول بازه‌ای که برای آزمون انتخاب می‌شود بسته به قطر و جنس لوله متفاوت است. این طول را برای لوله‌های پلی‌اتیلن سایز کوچک تا ۸۰۰ متر نیز می‌توان در نظر گرفت ولی در خطوط نیمه‌اصلی که سایز بزرگ‌تری دارند، نباید از ۴۰۰ متر تجاوز کند.

برای شروع عملیات ابتدا بایستی از نظر توپوگرافی بلندترین و پست‌ترین نقاط را مشخص و اختلاف ارتفاع بین این نقاط را محاسبه نمود. مراحل اول آگیری لوله از بالاترین نقطه انجام می‌شود تا آب به‌طور ثقلی وارد لوله‌ها شود، ولی هنگام ایجاد فشار باید محلی در پایین‌ترین نقطه تعبیه کرد تا بتوان از آنجا فشار را در سیستم بالا برد. سپس در نقاط مرتفع شیرهای هوا و یا اتصالاتی را که موجود است باز کرده تا هوای محبوس‌شده درون لوله‌ها کاملاً تخلیه گردد. تخلیه کامل هوا از این نظر مهم است که اگر هوا در خط لوله باقی‌مانده باشد به علت قابل تراکم بودن آن نمی‌توان فشار لازم برای انجام آزمایش در خط را ایجاد نمود. هنگام اتصال پمپ به شبکه برای ایجاد فشار، لوازم خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً برای اتصال پمپ به خط لوله یک فلنج کور را سوراخ کرده و در وسط آن لوله‌ای تعبیه کرده و جوش می‌دهند و سر شیلنگ رابط را به آن وصل می‌کنند. بهتر است از یک شیر قطع و وصل، یک شیر یک‌طرفه و یک اندازه‌گیر استفاده شود. گیج‌های مختلفی در بازار وجود دارد، که مهم‌ترین آن‌ها گیج‌های (gage) روغنی است. در هنگام کار با اندازه‌گیرها باید دقت

نمود که شیر بین اندازه‌گیر و منبع فشار یک‌باره باز نشود تا به متر درون آن ضربه وارد نشده و از عمر آن کاسته نشود. باید شیر حدفاصل بین گیج و منبع فشار را به آرامی باز کرد تا به نرمی فشار به گیج وارد شود و پس از قرائت دوباره شیر را در بسته قرارداد. فشار آزمایش برای هر خط لوله باید حداقل ۷/۵ برابر فشار کاری آن خط باشد. طول مسیر خط لوله تحت آزمایش باید دقیقاً مورد بررسی و بازرسی قرار گرفته و در صورتی که در قسمتی از خط لوله اثرات نشت آب ملاحظه شود، آزمایش متوقف شده و از آن قسمت و یا اتصالی که نشت داشته است رفع نقص شود و پس از آن دوباره خط لوله آبیگری گردد.

برای انجام عملیات آزمون هیدرولیکی لوله پلی‌اتیلن موارد زیر الزامی است:

- از انجام آزمون در شرایط بارانی و یا خیس بودن ترانشه باید خودداری نمود؛ زیرا در این شرایط امکان تشخیص نشتی مشکل است.
- چنانچه دمای لوله پلی‌اتیلن بیش از ۴۰ درجه باشد نباید آن را مورد آزمایش هیدرواستاتیکی قرار داد، به دلیل قابلیت بالای لوله پلی‌اتیلن در جذب اشعه UV، دمای لوله در اثر تابش نور خورشید حتی در دمای محیطی پایین به سرعت بالا می‌رود لذا توصیه می‌شود از تابش نور مستقیم به لوله جلوگیری شود و پوشاندن لوله با خاک و گذاشتن سایبان بر روی سرجوش‌ها صورت گیرد.

## ۶-۸- مشخصات فنی اجرایی در شبکه فرعی سیستم آبیاری تحت فشار به صورت کلاسیک ثابت

مراحل عملیات اجرایی تا حفاری مسیر لوله‌گذاری مشابه سایر عملیات لوله‌گذاری است و در این قسمت از مرحله، نحوه جوشکاری، آزمون و... عنوان می‌شود:

معمولاً با توجه به دبی و وسعت اراضی و نوع طراحی و ملاحظات توپوگرافی زمین، محدودیت‌های ناشی از تقسیمات مالکین سائز لوله‌گذاری ۷۵ میلی‌متر، ۶۳ میلی‌متر و ۵۰ میلی‌متر هست از آنجایی که تولیدات کارخانه‌ها در این سائزها به شکل کلافی در طول‌های ۱۰۰ متر و ۱۵۰ متر است، این لوله‌ها به صورت کلافی وارد کارگاه می‌شوند و در اثر کلافی شدن لوله‌ها انحنایافته و به صورت مستقیم و راست قرار نمی‌گیرند، لذا قبل از هرگونه عملیات برش و جوشکاری لازم است لوله‌ها باز شده و روی زمین در محل کار خوابانده و حداقل یک روز به آن حالت قرار گرفته تا تاب لوله‌ها گرفته شود.

از آنجایی که برای بالا بردن ایمنی محل اتصالات در پروژه‌های اخیر باید از اتصالات جوشی استفاده گردد لذا با توجه به نقشه، مشخصات و شبکه‌های (۱۸×۱۸، ۲۲×۲۲، ۲۵×۲۵) لوله‌های ریشه شده که آماده برش هستند، خط‌های اندازه جهت برش روی لوله تعیین و برشکاری آن شروع می‌گردد اما

به جهت افزایش سرعت کار و کنترل‌های بهتر پیشنهاد می‌شود مجموعه رایزر شامل (قطعه سهراهی، قطعه TF و لوله پلی‌اتیلن میانی) در محل سرپوشیده یا کارگاه جوشکاری و پکیج مجموعه رایزر آماده گردد. و این کار بنا به دلایل زیر است.

مزیت‌های مونتاژ پکیج رایزر در کارگاه عبارت‌اند از:

۱- با توجه به این که جوشکاری در محیط بسته انجام می‌شود در تمام فصول سال قابل اجرا بوده

که موجب افزایش راندمان کار می‌شود.

۲- عملیات مونتاژ مجموعه رایزر، به سهولت قابل کنترل بوده که موجب ارتقای کیفیت عملیات

اجرای می‌شود.

۳- محیط عملیات جوشکاری پلی‌اتیلن از شرایط جوی مضر (سرما، گرما، رطوبت، گردوغبار و...) به دور است.

۴- هزینه مونتاژ پکیج رایزر در یک آیتم جدید (ستاره‌دار) آنالیز و قیمت‌گذاری می‌شود که با

لحاظ قیمت جدید برای این عملیات، تناقضات پرداخت آیتم‌های لوله‌گذاری به این مورد

مرتفع می‌شود.

\* با توجه به این که شاقول بودن رایزرهای آبپاش‌ها در عملیات لوله‌گذاری شبکه تحت فشار

مزارع کلاسیک ثابت، از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا در حین جوشکاری لوله

لترال به یک رایزرها می‌بایست دقت شود که کلیه رایزرهای لترال در یک امتداد

جوشکاری گردد.

همچنین در زمان جاگذاری مجموعه رایزر و لوله لترال در داخل ترانشه می‌بایست رایزرها

به صورت قائم شاقول گردد. لذا برای این کار اطراف رایزرها به فاصله یک‌متری با خاک

مناسب تثبیت می‌گردد تا شرایط برای تثبیت رایزرها با بتن و شاقول نهایی فراهم

گردد.

\* لوله پلی‌اتیلن لترال‌ها با تغییرات دمای محیط به دلیل انبساط و انقباض در داخل ترانشه

جابه‌جا می‌گردد. لذا به دلیل اهمیت در یک راستا بودن لوله لترال و شاقول بودن

رایزرها می‌بایست بعد از جاگذاری لوله لترال در داخل ترانشه نسبت به خاک‌ریزی،

خاک سرندی حداقل به اندازه ۳۰ سانتی‌متر اقدام گردد تا از جابه‌جایی لوله‌های پلی-

اتیلن جلوگیری شود.

\* در محل اتصال لوله لترال به آب‌رسان به دلیل اولویت‌بندی مراحل اجرایی، لوله‌های

آب‌رسان و لترال‌ها جداگانه در داخل ترانشه قرار داده می‌شود. لذا برای جوشکاری

اتصال لترال به آب‌رسان نیاز به فضایی است که دستگاه جوش و جوشکار به راحتی در

داخل ترانشه، عملیات جوشکاری را انجام دهند به همین دلیل در زمان حفاری می‌بایست محل سهراهی آب‌رسان به لترال متناسب با سایز لوله بزرگ‌تر حفاری شود. \* پیشنهاد می‌شود شیرهای خودکار در شبکه‌های کلاسیک ثابت تا زمان تحویل موقت به بهره‌برداران نصب نگردد. با عنایت به تجربیات دستگاه نظارت مقیم می‌توان بر شبکه کلاسیک ثابت با استفاده از درپوش مناسب بر روی قطعه TF که در کارگاه مونتاژ می‌شود آزمون استاتیکی انجام داد و عملیات تثبیت را تکمیل نمود و سپس در زمان تحویل به بهره‌برداری، اقدام به نصب شیرهای خودکار نموده و عملیات آزمون دینامیکی را انجام داد. این روش از سرقت و سایر حوادث که بار مالی زیادی بر پروژه تحمیل می‌کند جلوگیری می‌نماید.

۱- تجربه آزمون‌های استاتیکی در ناحیه عمرانی چهارم خداآفرین نشان داد که شیرهای دسته‌بلند تمام پلی‌اتیلنی مناسب شبکه آبیاری تحت فشار کلاسیک ثابت نیست؛ زیرا در حین باز کردن شیرهای دسته‌بلند، وقتی که سیستم تحت فشار است، سایر اتصالات نیز هم‌زمان باز شده و سمت اپراتور پرتاب می‌شود که احتمال خطرات جانی هست.

معمولاً برای ایجاد شبکه‌بندی و هم‌راستا بودن شیرهای خودکار و پوشش مناسب حین آبیاری ملاحظات فنی در ایجاد شبکه‌بندی قبل از شروع عملیات لوله‌گذاری در تهیه نقشه‌های کارگاهی الزامی است.

اکیپ‌های اجرایی تحت نظر سرپرست عملیات لوله‌گذاری نسبت به برش و جوشکاری لوله‌های پلی‌اتیلن اقدام می‌نمایند.

## ۹-۶- مشخصات فنی اجرایی در شبکه فرعی سیستم آبیاری تحت فشار با دستگاه

### سنتریوت و لینیر

سیستم آبیاری تحت فشار با دستگاه‌های آبیاری به دو صورت با دستگاه دوار مرکزی و لینیر یا حرکت خطی صورت می‌گیرد:

ملاحظات عمده اجرایی در دستگاه دوار با مرکز ثابت شامل موارد زیر است:

کلیه عملیات اجرایی لوله‌گذاری همانند لوله‌گذاری در سایزهای بالای ۹۰ میلی‌متر خواهد بود و در این بخش به دلیل تکرار و مشابه بودن مشخصات از اشاره دوباره به آن خودداری می‌شود.

لوله‌گذاری دستگاه سنتریوت از محل انشعاب که معمولاً از خط اصلی ست، پس از انشعاب‌گیری که در ابتدای خط لوله آب‌رسان دستگاه شیر قطع و وصل منظور می‌شود.

انتهای لوله آب‌رسان به لوله S شکل دستگاه سنتریوت منتهی می‌گردد و وصل می‌شود این اتصال از نوع فلنج به فلنج و مکانیکی هست.

جهت ورود هرگونه مواد اضافی به داخل لوله‌ها در صورت عدم آماده بودن لوله S شکل دستگاه‌ها بایستی با شیئی مناسب پوشانیده شود.

\* در خصوص موارد اجرایی فونداسیون دستگاه آبیاری دوار و لوله‌گذاری آبرسان این دستگاه‌ها مواردی به شرح ذیل مدنظر قرار گیرد:

۱- با عنایت به مسائل و مشکلات اجرایی پیش‌آمده در پروژه‌های مشابه در حین بهره‌برداری الزامی است که فونداسیون دکل مرکزی دستگاه‌های سنتریپوت برای پیشگیری از هرگونه عدم تراز و نهایتاً عدم آب‌بندی از محل جنت ابتدای دستگاه‌ها، پس از پی‌کنی و قبل از اجرای فونداسیون با بتن مسلح پیرامون آن به نحو مناسب از مصالح سنگ چینی و یا شفته‌ریزی و یا بتن با عیار ۲۰۰ کیلوگرم در مترمکعب اجرا گردد تا بستر مناسب برای استقرار فونداسیون دستگاه ایجاد گردد.

۲- در صورت ایجاد وقفه در اتصال لوله آبرسان به دستگاه جهت هرگونه ورود مواد زائد به درون لوله‌های اسپن‌ها، لوله به نحو مناسب حتماً شست‌وشو شود.

۳- الزامی است که وضعیت جانمایی فونداسیون سنتریپوت‌ها طوری اجرا گردد که مسیر حفاری و لوله‌گذاری در راستای خروجی لوله S شکل و عمود بر ضلع آن وجه فونداسیون اجرا شود. قبل از شروع بحث لوله‌گذاری لاینر می‌توان اشاره کرد تأمین آب در این روش آبیاری به دو طریق برداشت آب از کانال آب هم‌راستا با مسیر حرکت این دستگاه‌ها است و همچنین می‌تواند از لوله آبرسان با انشعابات به فواصل ۴۵ تا ۵۵ متر طبق مشخصات دستگاه اجرا شود.

تمام مراحل لوله‌گذاری آبرسان ماشین لاینر مشابه آبرسان سنتریپوت است ولی به دلیل پیش‌بینی هیدرانت‌ها انشعابات و رایزرهای تحت لوله‌های هیدرانت روی لوله آبرسان تعبیه می‌گردد و به دلیل وجود نیروهای کششی الزامی است که این انشعابات به صورت اتصال جوشی صورت گیرد. ضروری است که پای رایزر هیدرانت‌ها با بتن به عیار ۲۵۰ کیلوگرم در مترمکعب با ابعاد  $۶ \times ۶ \times ۱۷۲$  متر اجرا و تثبیت شود.

## فصل هفتم

برنامه‌ریزی آبیاری سامانه‌های مختلف بارانی



## ۷-۱-مقدمه

یکی از اقدامات مهم در راستای مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری است. برنامه‌ریزی آبیاری<sup>۱</sup> میزان و زمان مناسب آبیاری را تعیین می‌کند، یعنی چقدر آب بدهیم و چه موقع آبیاری کنیم تا با مصرف حداقل آب، حداکثر عملکرد امکان‌پذیر گردد. برنامه‌ریزی آبیاری افزون بر کاهش مصرف آب سبب کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف نهاده‌های کشاورزی و کاهش مشکلات زهکشی در مزرعه شده و ضمن کاهش هزینه‌های تولید، عملکرد و درآمد محصولات را افزایش خواهد داد. برنامه‌ریزی آبیاری و آبیاری به‌موقع نیاز به ابزارهای مختلفی دارد و بر اساس شاخص‌های خاک، گیاهی و یا با محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) با به‌کارگیری اطلاعات هواشناسی آنلاین صورت می‌گیرد. تحقیقات انجام‌شده در نقاط مختلف کشور و سایر کشورهای جهان نشان می‌دهد که با برنامه‌ریزی آبیاری و اجرای دقیق آن حداقل ۲۰ درصد می‌توان در مصرف آب، انرژی و نهاده‌های کشاورزی صرفه‌جویی کرد و بسیاری از مشکلات زهکشی و زیست‌محیطی را کاهش داد. برنامه‌ریزی آبیاری در شبکه‌های آبیاری تحت فشار با توجه به استفاده از سامانه‌های لوله‌ای و وجود انواع شیرآلات کنترلی، آسان‌تر، کم‌هزینه‌تر و نتیجه‌بخش‌تر است.

## ۷-۲-روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری

روش‌های مختلف برنامه‌ریزی و تعیین زمان و میزان آب آبیاری شامل استفاده از شاخص‌های رطوبتی خاک، شاخص‌های گیاهی و محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) با استفاده از اطلاعات هواشناسی آنلاین و مدل‌های کامپیوتری است که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

### ۷-۲-۱-شاخص‌های رطوبتی خاک

روش‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری به‌وسیله شاخص‌های رطوبتی خاک شامل لمس با دست، اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه و یا آزمایشگاه و کاربرد تانسومتر، بلوک‌های گچی و وسایل مشابه است. روش لمس کردن رطوبت خاک با دست، روشی ساده و بسیار تقریبی است که بستگی به تجربه فرد دارد و روش اندازه‌گیری رطوبت وزنی خاک در آزمایشگاه، پرهزینه و زمان‌بر است. تانسومتر رطوبت خاک را بر اساس تغییرات مکش خاک تعیین می‌کند و کارگذاری و قرائت آن آسان است و در خاک‌های با بافت سبک و متوسط عملکرد بهتری داشته و تحت تأثیر شوری خاک قرار نمی‌گیرد. بلوک‌های گچی در اطراف دو الکترود ریخته‌گری شده و الکترودهای هم‌مرکز جریان را به داخل بلوک یا حس‌گر منتقل می‌کنند. وقتی بلوک یا حس‌گر در خاک دفن می‌شود رطوبت را از خاک جذب

<sup>۱</sup> Irrigation scheduling

کرده و یا رطوبت را به خاک آزاد نموده تا با خاک به تعادل برسد. تغییرات رطوبت در بلوک یا حس‌گر از طریق تفاوت در مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. بلوک‌های گچی پتانسیل منفی خاک را نسبت به تانسیومتر در شرایط کم‌آبی بیشتر اندازه‌گیری می‌نماید.

#### ۷-۲-۲- شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های ظاهری گیاه مانند شادابی برگ‌ها، شاخه‌ها و رنگ برگ‌ها از جمله پارامترهایی هستند که با تغییر شدید آن‌ها در هنگام تشنگی گیاه، می‌توان زمان آبیاری را تا حدودی تعیین کرد. شاخص دیگر تشنگی گیاه، بالا رفتن دمای برگ‌هاست. کاربردی‌ترین وسیله اندازه‌گیری دمای برگ‌ها ترمومترهای مادون‌قرمز به صورت دستی و یا ادوات نصب‌شده روی هواپیما و یا ماهواره است که برای اندازه‌گیری درجه حرارت پوشش سبز گیاه استفاده می‌شود. شاخص دیگر، پتانسیل آب برگ است. هرچه این پتانسیل کمتر باشد نشانه این است که نیاز بیشتری به آب است. برای اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ باید برگ را از گیاه جدا کرده و با استفاده از محفظه فشاری<sup>۱</sup> اندازه‌گیری‌ها انجام می‌شود.

#### ۷-۲-۳- محاسبه تبخیر و تعرق روزانه گیاه (ETc) به صورت آنلاین

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) با استفاده از اطلاعات هواشناسی آنلاین صورت می‌گیرد. در این روش چنانچه درصد حجمی رطوبت در یک روز و روز ماقبل مشخص باشد با توجه به نیاز آبی گیاه و باران مؤثر در همان روز، می‌توان تغییرات رطوبت خاک را محاسبه و با جمع آن در روزهای متوالی زمان آبیاری را تعیین کرد.

در صورتی که اطلاعات آنلاین ایستگاه هواشناسی نزدیک و یا داخل مزرعه به صورت روزانه در اختیار بهره‌بردار قرار گیرد با استفاده از این اطلاعات و محاسبه نیاز آبی روزانه می‌توان زمان آبیاری را تعیین نمود. این ایستگاه‌ها می‌تواند به صورت کوچک مختص یک مزرعه و یا به صورت یک سیستم به هم پیوسته ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مختلف مستقر شوند و برای محاسبه نیاز آبی و نیاز آبیاری محصولات مختلف در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار گیرند.

#### ۷-۲-۴- روش تشت تبخیر

یکی از روش‌های دیگر تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشت تبخیر است. در این روش مقدار تبخیر از سطح تشتک اندازه‌گیری و پس از اعمال ضرایب اصلاحی، تبخیر و تعرق روزانه گیاه به دست آمده و زمان آبیاری تعیین می‌شود. لازم به ذکر است، روش‌هایی که گفته شد تنها تعدادی از روش‌های

<sup>۱</sup>. Pressure bomb

مورد استفاده در برنامه ریزی آبیاری و تعیین زمان آبیاری است. علاوه بر روش های فوق، روش های بیشتری نیز در این زمینه وجود دارد.

### ۷-۳- اثرات برنامه ریزی آبیاری در مصرف بهینه آب

الماسی شوشتری و همکاران در تحقیقی که در کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی در جنوب اهواز انجام دادند، اعلام کردند برنامه ریزی آبیاری در مزارع نیشکر در استان خوزستان به روش کراپ لاگ و با استفاده از درصد رطوبت غلاف برگ تعیین می شود که این روش مستلزم صرف وقت و هزینه است و به جای آن، اندازه گیری اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا می تواند به عنوان ابزاری برای برنامه ریزی آبیاری به کار گرفته شود و نتایج نشان داد تعیین زمان آبیاری با استفاده از روش اختلاف دمای پوشش سبز گیاه-هوا می تواند جایگزین مناسبی برای روش درصد رطوبت غلاف برگ به کار گرفته شود.

وردی نژاد و همکاران، خودکار کردن سیستم آبیاری تحت فشار (سنتریپوت) را با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه بررسی کردند. جمع بندی ها نشان داد روش برنامه ریزی آبیاری خودکار سنتریپوت با تنظیم آهنگ حرکت و کنترل سنتریپوت با توجه به نیاز آبی گیاه و کاهش هزینه های کارگری با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه، سهولت بهره برداری، افزایش راندمان آبیاری و عملکرد محصول را به همراه دارد.

خزایی و همکاران کاربرد دستگاه های هواشناسی در مزرعه در محاسبه نیاز آبی به هنگام ذرت و تأثیر آن بر افزایش کارایی مصرف آب در منطقه ساوه را بررسی کردند و نشان دادند که در آبیاری سنتریپوت در حالت استفاده از داده های به هنگام، آب مصرفی ۵۳۸۳ مترمکعب در هکتار، مقدار تولید علوفه ۳۸/۵۸ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۷/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب و در حالت استفاده از داده های بلندمدت هواشناسی، این مقادیر به ترتیب ۶۳۱۰ مترمکعب در هکتار، ۳۰/۲ تن در هکتار و ۴/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. در این پژوهش ۱۷/۲ درصد کاهش مصرف آب و ۴۹/۶ درصد افزایش کارایی مصرف آب را موجب شد.

علیزاده و همکاران تأثیر استفاده از داده های به هنگام هواشناسی مزرعه در محاسبه نیاز آبیاری بر افزایش کارایی مصرف آب در ذرت علوفه ای را در شهرستان کرج منطقه محمدشهر در آبیاری با سیستم سنتریپوت بررسی کردند. در این تحقیق به منظور مقایسه میزان مصرف آب آبیاری و تأثیر آن بر کارایی مصرف آب در سه وضعیت یعنی میزان آب آبیاری بر اساس داده های به هنگام هواشناسی مزرعه، داده های به هنگام ایستگاه هواشناسی خارج از مزرعه و داده های میانگین هواشناسی منطقه محاسبه شد. نتایج نشان داد که بین داده های هواشناسی دما، رطوبت و سرعت باد در مزرعه و نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی و یا داده های میانگین درازمدت آمار منطقه تفاوت وجود داشته و

همین امر باعث گردید در وضعیتی که مقدار آب آبیاری بر اساس داده‌های هواشناسی به‌هنگام داخل مزرعه صورت گرفت، مصرف آب در هر هکتار ذرت ۶۸۳۸ مترمکعب و مقدار تولید ۷۸ تن و کارایی مصرف آب ۱۷/۴ کیلوگرم علوفه بر مترمکعب بوده است. حال آن‌که این ارقام در شرایطی که مقدار آب آبیاری بر اساس داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی خارج از مزرعه که در فاصله ۴ کیلومتری واقع بود صورت گرفت به ترتیب ۷۶۴۰، ۷۸/۲ و ۱۰/۲ و در شرایطی که از آمار میانگین ۲۰ ساله هواشناسی برای آبیاری مزرعه استفاده گردید به ترتیب ۹۳۵۰، ۷۹/۹ و ۸/۵ به دست آمد که نشان می‌دهد در صورت اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در مزرعه و انجام آبیاری بر اساس آن‌ها نسبت به وضعیتی که از میانگین درازمدت داده‌های هواشناسی منطقه استفاده شود ۲۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شده است.

عباسی و همکاران استفاده از داده‌های به‌هنگام هواشناسی مزرعه در محاسبه نیاز آبیاری و اثر آن بر افزایش کارایی مصرف آب در باغات زردآلو را بررسی کردند. محل اجرای پژوهش در منطقه کرج و روش آبیاری، قطره‌ای بود و در این پژوهش از دستگاه خودکارسازی MMetos استفاده شد. این پژوهش در سه مزرعه یک هکتاری زردآلو انجام شد. در مزرعه (۱) بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی، مزرعه (۲) بر اساس داده‌های بلندمدت هواشناسی و مزرعه (۳) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در تمامی مزارع دور آبیاری دو روز بود. در مزرعه (۱) مقدار آب مصرفی درختان در فصل رویش نسبت به مزرعه (۲)، ۹۷۶ مترمکعب (۲۲/۷۵ درصد) و نسبت به مزرعه (۳)، ۳۵۰۲/۳۶ مترمکعب (۵۷/۳۸ درصد) در هکتار کاهش داشت و میزان کارایی مصرف آب در مزرعه (۱) برابر ۲/۰۷ کیلوگرم در هکتار در هر مترمکعب آب مصرفی بود که نسبت به مزرعه (۲) و مزرعه (۳) به ترتیب ۲۷ درصد و ۹۳ درصد افزایش را نشان داد. مجموع ساعات آبیاری در طول فصل زراعی در مزرعه (۱) برابر ۵۱۰/۶۰ ساعت بود که نسبت به مزرعه (۲)، ۱۴۶/۹۸ ساعت و نسبت به مزرعه (۳)، ۵۳۴/۴ ساعت کمتر بود. بر همین اساس استفاده از داده‌های واقعی و آنلاین هواشناسی روزانه مزرعه نسبت به داده‌های بلندمدت منجر به افزایش بهره‌وری مصرف آب شد.

قاسم زراعی و همکاران با استفاده از یک تانسیموتر الکترونیکی و سیستم ثبت و کنترل‌کننده اطلاعات کامپیوتر در گلخانه بر روی گل رز نشان دادند که با آبیاری خودکار گل رز امکان تولید گل‌های با کیفیت یکسان همراه با مصرف کمتر آب وجود دارد. میزان تولید ۶۶ درصد نسبت به حالت مرسوم آبیاری قطره‌ای افزایش داشته است و مقدار آب صرفه‌جویی شده نیز برابر ۲۶ درصد و میزان افزایش کارایی مصرف آب ۱۲۶ درصد بوده است.

در یکی از مراکز تحقیقاتی در ایالت نبراسکا در آمریکا منطقه‌ای که تأمین آب آبیاری به‌وسیله پمپاژ صورت می‌گیرد نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی آبیاری به‌طور متوسط ۳۵ درصد در آب و انرژی

صرفه‌جویی می‌کند به‌طوری‌که برای هر سیستم آبیاری سنتریپوت، هزینه سوخت بیش از ۱۰۰۰ کیلووات ساعت در هکتار در هر فصل صرفه‌جویی می‌شود.

<sup>۱</sup>Cimis یا سیستم اطلاعات مدیریت آبیاری در ایالت کالیفرنیا در آمریکا شامل بیش از ۱۴۵ ایستگاه هواشناسی، در نقاط کلیدی سایت‌های کشاورزی و روستایی این ایالت است. ایستگاه‌های هواشناسی اطلاعات را هر دقیقه جمع‌آوری می‌کنند. اطلاعات به‌صورت ساعتی و روزانه محاسبه شده و ذخیره می‌شود. این ایستگاه‌ها در سراسر کالیفرنیا پراکنده شده‌اند. پارامترهای محاسبه‌شده شامل تبخیر و تعرق پتانسیل با تابش خالص و دمای نقطه شبنم و پارامترهای اندازه‌گیری شده از قبیل تابش نور خورشید، دمای هوا و رطوبت نسبی و سرعت باد در بانک اطلاعاتی Cimis به‌صورت نامحدود ثبت می‌شود. با استفاده از این سیستم اطلاعاتی، مدیریت آبیاری در منطقه پتالوما<sup>۲</sup> در محدوده ۶ پارک توانستند بین ۲۷ تا ۴۰ درصد و به‌طور متوسط ۳۵ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی نمایند. در منطقه‌ای دیگر در کالیفرنیا در مزرعه برادران یودر<sup>۳</sup> به وسعت حدود ۸ هکتار استفاده از سیستم اطلاعات مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری باعث ۳۳ درصد کاهش در مصرف الکتریسیته و ۴۴ درصد کاهش در مصرف آب شد.

به‌منظور بهبود وضعیت شبکه آبیاری دره اردن کانال‌های روباز آبیاری به لوله‌های انتقال تبدیل شده، علاوه‌بر آن از برنامه‌ریزی صحیح آبیاری برای مقابله با بحران آب در دهه ۱۹۹۰ استفاده شده است. دو روش فوق برای جلوگیری از هدررفت آب و افزایش راندمان آبیاری صورت گرفته است. با به‌کارگیری برنامه‌ریزی آبیاری دقیق بر اساس نیاز آبی گیاه، توانستند ۳۰ تا ۶۰ درصد از آب مصرفی آبیاری در مزرعه را کاهش داده و راندمان آبیاری را به همین میزان افزایش دهند.

جدول ۷-۱- اثرات برنامه‌ریزی آبیاری بر روی درصد کاهش مصرف آب و انرژی و افزایش محصول

| منطقه                            | درصد کاهش مصرف آب | درصد کاهش مصرف انرژی | درصد افزایش محصول |
|----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| آبیاری سنتریپوت ذرت در ساوه      | ۱۷                | -                    | -                 |
| آبیاری سنتریپوت ذرت علوفه‌ای کرج | ۲۷                | -                    | -                 |
| آبیاری سطحی چغندر قند            | ۲۲                | -                    | ۳۱                |
| آبیاری قطره‌ای مرکبات جهرم       | ۱۱                | -                    | -                 |
| گل رز در گلخانه                  | ۲۶                | -                    | ۶۶                |
| مرکز تحقیقاتی در Nebraska آمریکا | ۳۵                | ۳۵                   | -                 |
| منطقه Petaluma - کالیفرنیا       | ۳۵                | -                    | -                 |
| مزرعه برادران یودر - کالیفرنیا   | ۴۴                | ۳۳                   | -                 |
| دره اردن                         | ۳۰-۶۰             | -                    | -                 |

<sup>۱</sup>. California Irrigation Management Information System

<sup>۲</sup>. Petaluma

<sup>۳</sup>. Yoder Brothers Nursery

#### ۷-۴- برای مثال پارامترهای برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و داده های آنلاین روزانه هواشناسی

اطلاعات هواشناسی: برنامه‌ریزی آبیاری به‌گونه‌ای باید عملیاتی و اجرایی شود که شبکه آبیاری را به حداکثر راندمان ممکن برساند. قبل از هر چیز بایستی ایستگاه‌های هواشناسی را در منطقه انتخاب نماییم. ایستگاه‌های هواشناسی بایستی کلیه پارامترهای موردنیاز محاسبه  $ET_0$  را اندازه‌گیری و به‌صورت آنلاین هر دقیقه و یا هر ساعت و یا روزانه به مرکز جمع‌آوری اطلاعات مخابره نمایند. بنابراین بایستی تجهیزات لازم را برای این کار دارا باشند. مثلاً برای طرح خداآفرین در دشت مغان استان اردبیل مرکز جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی ممکن است در پارس‌آباد مغان و یا در مرکز اراضی مستقر شود. خوشبختانه در حال حاضر ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت روزانه آمار و اطلاعات خود را در صبح روز بعد منتشر و در معرض فروش قرار می‌دهند و روزانه می‌توان از این اطلاعات استفاده نمود و  $ET_0$  روز قبل را محاسبه کرد. در این صورت هر دوره تا روز قبل اطلاعات در دست بوده و همان روز را نیز با قبول تقریب جزئی، معادل روز قبل قرار داده و به‌صورت آنلاین  $ET_0$  روزانه قابل‌محاسبه خواهد بود.

تعیین  $K_c$  گیاهان: در خصوص تعیین  $K_c$  یا ضریب گیاهی در مناطق مختلف کشور، در حال حاضر بانک اطلاعات  $K_c$  به‌صورت یکپارچه وجود ندارد. ولی با توجه به کارهای انجام‌شده به‌وسیله مراکز تحقیقات کشاورزی و پژوهش‌های دانشگاهی و با استفاده از اطلاعات مندرج در نشریات آبیاری و زهکشی FAO خصوصاً نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی این سازمان قابل محاسبه است.

- محاسبه تبخیر و تعرق گیاه ( $ET_c = ET_0 \times K_c$ ) به‌صورت روزانه و تجمعی (نیاز خالص گیاه)

- محاسبه و اعمال سه پارامتر ضریب یکنواختی ( $U_c$ )، پخش آب در مزرعه، نیاز آبیاری ( $LR$ ) و راندمان آبیاری ( $E_a$ ) و تأثیر آن در تبخیر و تعرق تجمعی روزانه (نیاز خالص گیاه) برای محاسبه (نیاز کل) و یک نوبت آبیاری

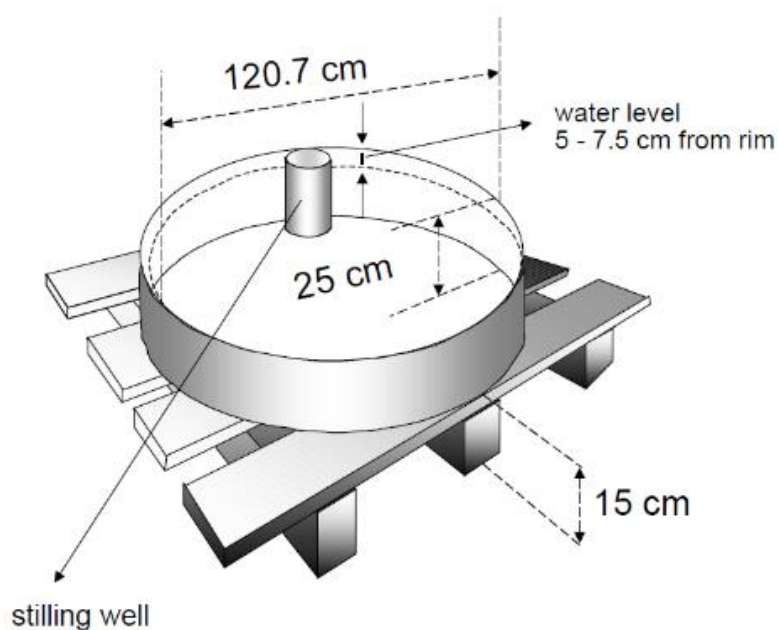
عوامل ایجاد عدم قطعیت در محاسبات تبخیر و تعرق گیاه در این روش به شرح زیر است:

- مدل محاسباتی تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و تطابق آن با منطقه و نیاز و یا عدم نیاز آن به ضرایب اصلاحی
- پارامترهای آب و هوایی و محل استقرار ایستگاه هواشناسی و تطابق آن با شرایط منطقه و محل کشت گیاه.
- ضریب گیاهی ( $K_c$ ) تا چه اندازه با گیاه موردنظر در منطقه تطابق دارد؟ معمولاً ضرایب گیاهی برای هر منطقه متفاوت است و در بسیاری از کشورها مستقیم برای هر گیاه در هر

منطقه وجود ندارد به همین دلیل از کتب مرجع (FAO) برای تعیین (Kc) استفاده می شود.

#### ۷-۵- برنامه ریزی آبیاری بر اساس تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از تشت تبخیر

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و تبخیر و تعرق گیاهان ( $ET_c$ ) برای استفاده از نتایج در برنامه ریزی آبیاری را می توان با استفاده از تشت تبخیر نیز انجام داد. تشت تبخیر وسیله ساده ای است، فلزی پر از آب و تبخیر از سطح آب را نشان می دهد. تبخیر از سطح آب در تشتک تحت تأثیر همان پارامترهای آب و هوایی مانند درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی یعنی درست همان پارامترهای اصلی که با استفاده از آنها به وسیله فرمول پنمن-مونتیت تبخیر و تعرق پایه و تبخیر و تعرق گیاهان محاسبه می گردد. شکل (۷-۱) ابعاد تشتک تبخیر کلاس (A) و نحوه استقرار آن را روی پایه چوبی نشان می دهد.



شکل ۷-۱- ابعاد تشت تبخیر کلاس A

علاوه بر تأثیر پارامترهای آب‌وهوایی، تبخیر از سطح آب در تشتک تحت تأثیر وضعیت محیط اطراف و پوشش سبز و یا خشک اراضی خصوصاً در جهتی که باد می‌وزد قرار دارد. چنانچه باد از سمت اراضی خشک و بدون پوشش گیاهی به سمت تشتک تبخیر بوزد مسلماً میزان تبخیر کمی بیشتر شده و در صورتی که باد از اراضی با پوشش گیاهی سبز به سمت تشتک بوزد، تبخیر از سطح تشتک کمتر خواهد شد. برای جلوگیری از ورود علف‌های خشک و خار و خاشاک و پرندگان به تشتک تبخیر، معمولاً روی تشتک با توری درشت‌دانه و یا شبکه‌ی میله‌گرد پوشیده می‌شود. شکل (۷-۲)



شکل ۷-۲- تشتک کلاس A مجهز به توری درشت‌دانه

با توجه به این که تبخیر و تعرق پایه ( $ET_0$ ) از سطح سبز گیاه غالباً کمتر از تبخیر از سطح تشتک است، یکی از مسائل مهم، محاسبه‌ی ضریب تشتک برای به دست آوردن  $ET_0$  هست.

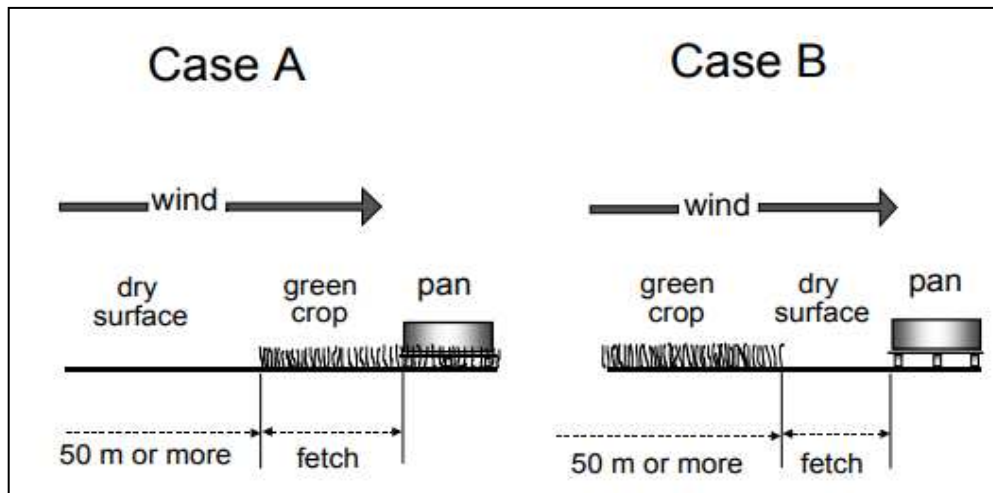
$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \quad (۷-۱)$$

ضریب تشت تبخیر ( $K_p$ ) معمولاً کمتر از (۱) است. این ضریب در مناطق مختلف، فصول مختلف و ماه‌های مختلف سال دارای تغییراتی است و پس از محاسبه‌ی آن بهتر است با داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی و تدقیق گردد. ضریب تشتک بستگی به عوامل زیر دارد:

- موقعیت استقرار محل تشتک و محیط اطراف آن (حالت A) و (حالت B) در شکل (۷-۳)
- میانگین روزانه‌ی رطوبت نسبی (درصد)
- میانگین روزانه‌ی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)



- فاصله سطح سبز گیاهان در بالادست تشت در جهت باد  
حالت (A) گیاهان علفی و یا کوتاه در بالادست تشت و حالت (B) گیاه خشک یا خاک بدون پوشش  
در حالت (A) سطح سبز در بالادست تشت و جهت باد از بالادست به سمت تشتک قرار دارد،  
در حالی که حالت (B) زمین لخت و خشک در حاشیه تشت است.  
در جدول شماره (۷-۲) نحوه محاسبه ضریب تشتک ( $K_p$ ) را در دو حالت A و B بر اساس پارامترهای مؤثر نشان داده شده است.



شکل ۷-۳- تشت تبخیر دارای پوشش گیاهی (A) و فاقد پوشش سطح سبز گیاهی (B)

شکل (۷-۳) در حالت (A) محیط اطراف تشت تبخیر دارای پوشش گیاهی و در حالت (B) محیط اطراف محل استقرار تشت، خشک و فاقد سطح سبز گیاهی است.

جدول ۷-۲- نحوه محاسبه ضریب تشت تبخیر کلاس A (Kp) بر اساس پارامترهای موثر

| الف: تشت در ناحیه با پوشش گیاهی سبز کوتاه |                        |                                |      | ب: تشت در ناحیه خشک یا آیش |                     |                   |                     |
|-------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| تشت کلاس A                                | میانگین رطوبت نسبی (%) | فاصله بادگیر از پوشش سبز گیاهی | درصد | بالاتر از ۷۰ درصد          | پائین تر از ۴۰ درصد | بالاتر از ۷۰ درصد | پائین تر از ۴۰ درصد |
| تشت کلاس A                                | میانگین رطوبت نسبی (%) | فاصله بادگیر از پوشش سبز گیاهی | درصد | بالاتر از ۷۰ درصد          | پائین تر از ۴۰ درصد | بالاتر از ۷۰ درصد | پائین تر از ۴۰ درصد |
| سرعت باد (m/s)                            |                        |                                |      |                            |                     |                   |                     |
| سبک                                       | ۱                      | ۵/۵                            | ۶/۵  | ۷/۵                        | ۷                   | ۸                 | ۸/۵                 |
| ۲                                         | ۱۰                     | ۶/۵                            | ۷/۵  | ۸/۵                        | ۶                   | ۷                 | ۸                   |
| ۳                                         | ۱۰۰                    | ۷                              | ۸    | ۸/۵                        | ۵/۵                 | ۶/۵               | ۷/۵                 |
| ۴                                         | ۱۰۰۰                   | ۷/۵                            | ۸/۵  | ۸/۵                        | ۵                   | ۶                 | ۷                   |
| متوسط                                     | ۱                      | ۵                              | ۶    | ۶/۵                        | ۶/۵                 | ۷/۵               | ۸                   |
| ۵-۲                                       | ۱۰                     | ۶                              | ۷    | ۷/۵                        | ۵/۵                 | ۶/۵               | ۷                   |
| ۶                                         | ۱۰۰                    | ۶/۵                            | ۷/۵  | ۸                          | ۵                   | ۶                 | ۶/۵                 |
| ۷                                         | ۱۰۰۰                   | ۷                              | ۸    | ۸                          | ۴/۵                 | ۵/۵               | ۶                   |
| قوی                                       | ۱                      | ۴/۵                            | ۵    | ۶                          | ۶                   | ۶/۵               | ۷                   |
| ۸-۵                                       | ۱۰                     | ۵/۵                            | ۶    | ۶/۵                        | ۵                   | ۵/۵               | ۶/۵                 |
| ۹                                         | ۱۰۰                    | ۶                              | ۶/۵  | ۷                          | ۴/۵                 | ۵                 | ۶                   |
| ۱۰                                        | ۱۰۰۰                   | ۶/۵                            | ۷/۵  | ۷/۵                        | ۴                   | ۴/۵               | ۵/۵                 |
| خیلی قوی                                  | ۱                      | ۴                              | ۴/۵  | ۵                          | ۵                   | ۶                 | ۶/۵                 |
| ۱۱                                        | ۱۰                     | ۴/۵                            | ۵/۵  | ۶                          | ۴/۵                 | ۵                 | ۵/۵                 |
| ۱۲                                        | ۱۰۰                    | ۵                              | ۶    | ۶/۵                        | ۴                   | ۴/۵               | ۵                   |
| ۱۳                                        | ۱۰۰۰                   | ۵/۵                            | ۶    | ۶/۵                        | ۳/۵                 | ۴                 | ۴/۵                 |

جدول ۷-۳- فرمول‌ها، پارامترها، ضرایب و محدوده آن‌ها برای محاسبه  $K_p$ 

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تشتک کلاس A در سطح سبز           | $K_p = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422 \ln(FET) + 0.1434 \ln(RH_{mean}) - 0.00063 [\ln(FET)]^2 \ln(RH_{mean})$                                                                                                                                                                                                                                          |
| تشتک کلاس A در سطح آیش و خشک     | $K_p = 0.61 + 0.0034 \ln RH_{mean} - 0.000162 u_2 RH_{mean}$ $- 0.0000959 u_2 FET + 0.00327 u_2 \ln(FET)$ $- 0.00289 u_2 \ln(86.4 u_2) - 0.0106 \ln(86.4 u_2) \ln(FET)$ $+ 0.00063 [\ln(FET)]^2 \ln(86.4 u_2)$                                                                                                                                     |
| ضرایب و پارامترها و محدوده آن‌ها | <p><math>K_p</math>: ضریب تشتک</p> <p><math>U_2</math>: متوسط سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)</p> <p><math>RH_{mean}</math>: میانگین رطوبت نسبی</p> <p><math>FET</math>: فاصله از سطح تعریف شده</p> <p><math>1m/s &lt; u_2 &lt; 8m/s</math><br/> <math>30\% &lt; RH_{mean} &lt; 84\%</math><br/> <math>1m &lt; FET &lt; 1000m</math></p> |

## ۷-۶- عمق آب آبیاری

عمق آب آبیاری بستگی به عوامل و پارامترهای مختلفی به شرح زیر دارد:

- پارامترهای مربوط به خاک
- آب و شبکه آبیاری
- عوامل مرتبط با گیاه
- عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی

برنامه‌ریزی آبیاری را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول مربوط به زمان آبیاری است که بر اساس پایش رطوبت خاک و نصب حس‌گرهای رطوبتی، پایش گیاه و یا بر اساس اندازه‌گیری و محاسبه مصرف آب به وسیله گیاه و محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) تعیین می‌گردد. بخش دوم مربوط به مقدار و عمق آب آبیاری است که علی‌رغم اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. مقدار آب آبیاری بستگی به شناخت ویژگی‌ها و مسائل مربوط به خاک مزرعه، آب آبیاری، نوع شبکه آبیاری و زهکشی، خصوصیات گیاه و عمق ریشه آن و بررسی عوامل آب‌وهوایی و شرایط اقلیمی منطقه دارد. بدون مطالعه، بررسی و شناخت پارامترهای مذکور، امکان برنامه‌ریزی دقیق آبیاری و دستیابی به اهداف آن یعنی مصرف بهینه آب با حداکثر بهره‌وری در تولید محصولات کشاورزی ناممکن خواهد بود. آب آبیاری در هر نوبت، خاک را اشباع نموده و پس از گذشت چند ساعت تا یک و یا دو روز و توزیع مجدد آن درون خاک، به رطوبت مزرعه (FC) رسیده و با مصرف تدریجی گیاه و تبخیر از سطح خاک، میزان رطوبت به تدریج کم شده و به نقطه‌ای می‌رسد که نیاز به آبیاری مجدد دارد. لذا کلیه ابزارهایی که در مزرعه نصب شده و خاک یا گیاه را پایش می‌کنند، برای تعیین زمان آبیاری و عمق آب آبیاری هستند.

## ۷-۶-۱- پارامترهای مربوط به نوع خاک

**بافت و ساختمان خاک:** خاک محل نگهداری آب برای مصرف گیاه است. آب موجود در خاک بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائمی (PWP) نگهداری می‌شود. از کل آب موجود در خاک معمولاً حدود ۵٪ آن و یا کمتر به آسانی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. جدول (۷-۴) تخلیه آب خاک در مکش‌های مختلف را نشان می‌دهد. معمولاً مصرف آب آبیاری از رطوبت مزرعه FC شروع شده و در مکش‌های حدود ۲ تا ۳ بار با توجه به نوع خاک زمان آبیاری بعدی فرامی‌رسد.

جدول ۷-۴- رابطه بین مکش و آب موجود در خاک‌های مختلف

| مکش آب خاک (بار)          | ۰/۲ | ۰/۵ | ۲/۵ | ۱۵ |
|---------------------------|-----|-----|-----|----|
| رس سنگین                  | ۱۸۰ | ۱۵۰ | ۸۰  | ۰  |
| رس سیلتی                  | ۱۹۰ | ۱۷۰ | ۱۰۰ | ۰  |
| لوم                       | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۷۰  | ۰  |
| لوم سیلتی                 | ۲۵۰ | ۱۹۰ | ۵۰  | ۰  |
| لوم رسی سیلتی             | ۱۶۰ | ۱۲۰ | ۷۰  | ۰  |
| خاک‌های با بافت ریزدانه   | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۷۰  | ۰  |
| لوم رسی شنی               | ۱۴۰ | ۱۱۰ | ۶۰  | ۰  |
| لوم شنی                   | ۱۳۰ | ۸۰  | ۳۰  | ۰  |
| شن ریز لومی               | ۱۴۰ | ۱۱۰ | ۵۰  | ۰  |
| خاک‌های با بافت متوسط     | ۱۴۰ | ۱۰۰ | ۵۰  | ۰  |
| شن ریز متوسط              | ۶۰  | ۳۰  | ۲۰  | ۰  |
| خاک‌های با بافت درشت‌دانه | ۶۰  | ۳۰  | ۲۰  | ۰  |

جدول برگرفته از نشریه شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی (FAO) سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی

در خاک‌های رسوبی رودخانه‌ای که اغلب اراضی کشاورزی آبی جهان را تشکیل می‌دهند ساختمان خاک‌ها به صورت لایه‌های موازی رسوبی و دارای بافت و نفوذپذیری متفاوتی هستند. در میان این لایه‌ها غالباً لایه‌های کم‌نفوذ نیز وجود دارد. به همین دلیل نفوذپذیری عمودی این نوع خاک‌ها کم، درحالی‌که نفوذپذیری افقی آن‌ها مناسب است و در مواردی به ۵ تا ۱۰ برابر عمودی می‌رسد. نفوذپذیری کم باعث ایجاد تأخیر در حرکت عمودی آب شده و این امر ریشه گیاه را با مشکل ماندابی و کمبود تهویه مواجه نموده و از رشد و توسعه عمودی آن جلوگیری می‌نماید؛ زیرا ریشه گیاهان به حالت سختی و اشباع خاک حساسیت داشته و تمایل ندارند وارد آن محل شوند. وجود چنین شرایطی باعث می‌گردد که عمق توسعه ریشه گیاهان محدود شده و هیچ‌گاه به توسعه حداکثری خود نرسد. در این حالت حداکثر عمق ریشه برای آبیاری، بالای لایه کم نفوذ است و برای شناخت چنین شرایطی لایه‌بندی خاک و انجام آزمایش نفوذپذیری عمودی روی تک‌تک لایه‌ها ضروری است.

– **درصد زیاد گچ یا آهک:** در اراضی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و از آن جمله کشور ما، خاک‌های گچی و آهکی یا دارای لایه‌های گچی و آهکی به‌وفور یافت می‌شود. درصد گچ چنانچه به حدی برسد که بر روی خصوصیات خاک برای کشاورزی اثر سوء داشته باشد آن خاک را خاک گچی می‌گویند. این درصد با توجه به نوع گچ ممکن است بین ۱۵ تا ۳۰

درصد باشد. خاک‌های گچی علاوه بر آن که بخشی از حجم آن‌ها به وسیله گچ اشغال می‌شود، درصد بالای گچ موجب بالا رفتن (EC) خاک نیز خواهد شد. آهک در خاک ضرر و زیان کمتری دارد ولی بالاتر از ۲۵ تا ۳۰ درصد، حجم زیادی از خاک را اشغال نموده و حاصلخیزی آن را کاهش خواهد داد. در بسیاری از خاک‌های تپه‌ماهوری کشور که معمولاً به آبیاری تحت فشار اختصاص می‌یابند عمق خاک زراعی کم و بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر است و زیر لایه خاک سطحی، لایه آهکی پودری به رنگ روشن وجود دارد. ضمن این که خاک سطحی نیز دارای درصدی آهک است. به طور کلی خاک‌هایی که دارای درصد بالایی گچ و آهک هستند ظرفیت نگهداری آب در خاک در آن‌ها پایین بوده و آب را سریع جذب کرده و سریع هم از دست داده و تشنه می‌شوند؛ بنابراین فاصله آبیاری‌ها در این نوع خاک‌ها بایستی کوتاه و مقدار آب آبیاری نیز کم باشد.

– **شوری و قلیائیت خاک:** با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک اغلب نقاط کشور و وقوع خشکسالی‌های اخیر و لزوم صرفه‌جویی در مصرف آب و هم‌زمان با این شرایط توسعه شبکه‌های آبیاری تحت فشار، بیلان نمک در اراضی کشاورزی به تدریج مثبت شده و این روند بر عملکرد و تولید محصول اثرات سوء خواهد گذاشت. لذا متأسفانه در سال‌های اخیر با کمبود شدید آب در بخش کشاورزی علاوه بر حذف آبشویی، اغلب اراضی آبی با کم شدن آبیاری مواجه شده و این امر روند تجمع نمک در اراضی را تشدید نموده است. لذا در چنین شرایطی اضافه نمودن آب آبشویی به آب آبیاری امری ضروری است در غیر این صورت به تدریج این خاک‌ها شور و قلیایی شده و غیرقابل کشت می‌گردند.

– **درصد زیاد سنگ‌ریزه:** بسیاری از اراضی جدید کشاورزی خصوصاً اراضی طرح‌های آبیاری تحت فشار در مناطق تپه‌ماهوری و ناهموار با درصدهای مختلفی از سنگ و سنگ‌ریزه در خاک‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. برخی از این اراضی دارای ۲۰، ۳۰ و حتی بیشتر سنگ‌ریزه در سطح زمین و داخل پروفیل خاک هستند و در عمل ۷۴ و تا ۷۳ از حجم این اراضی به جای خاک با سنگ‌ریزه اشغال شده است. این امر در محاسبات آبیاری و عمق آب در هر نوبت آبیاری مؤثر است. برای مثال چنانچه ۷۳ حجم خاکی سنگ‌ریزه باشد و آب موجود در یک متر خاک معادل ۱۵۰ میلی‌متر، با احتساب درصد سنگ‌ریزه، آب موجود در این خاک معادل ۲/۳ یعنی ۱۰۰ میلی‌متر در متر خاک خواهد بود؛ بنابراین عمق آب آبیاری نیز لازم است بر این اساس تعیین گردد و ۷/۳ آن کاسته شود.

## ۷-۷-عوامل مرتبط با آب و شبکه آبیاری

عوامل مربوط به کیفیت آب و نوع شبکه آبیاری در تعیین عمق آب آبیاری مؤثرند. این عوامل شامل کیفیت آب، نوع شبکه آبیاری شامل سطحی، بارانی و یا قطره‌ای و راندمان و یکنواختی کاربرد آب در این شبکه‌ها است.

– **کیفیت آب آبیاری:** در بخش خاک گفته شد که چنانچه خاک دارای مشکل شوری و قلیائیت باشد، لازم است مسئله اضافه نمودن جزئی آبشویی به آب آبیاری به‌طور جدی در دستور کار قرار گیرد. در مورد آب آبیاری نیز چنین است و در فرمول آبشویی این مسئله دیده شده است؛ زیرا به دلایل مختلف اغلب شبکه‌های آبیاری خصوصاً آبیاری تحت فشار کشور دچار نوعی کم‌آبیاری هستند و چنانچه آب آبشویی نیز به عمق آب آبیاری اضافه نشود و کیفیت آب آبیاری نیز پایین باشد، گرایش به شوری خاک در منطقه تسریع خواهد شد.

این امکان وجود دارد که شبکه آبیاری دچار کمبود آب شده و آب موجود برای آبیاری کامل اراضی کافی نباشد. در این حالت برای رعایت عدالت بین مصرف‌کنندگان دو راه حل وجود دارد. راه حل اول کم کردن عمق آبیاری است و راه حل دوم افزایش فاصله بین آبیاری هاست. با توجه به شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و نیمه‌خشک اغلب نقاط کشور، لازم است که بدون کاهش عمق آب آبیاری، فاصله آبیاری‌ها طولانی‌تر گردد. ضمن این که برای جلوگیری از تبخیر آب در زمان انجام آبیاری، بهتر است به جای ساعات روز، آبیاری را در ساعات غروب و شب تا پیش از ظهر روز بعد انجام داد تا تلفات تبخیر حین آبیاری نیز به حداقل برسد.

## ۷-۷-۱- نوع شبکه آبیاری به صورت سطحی، بارانی و قطره‌ای

– **ضریب یکنواختی توزیع آب (DU):** ضریب یکنواختی توزیع آب در مزرعه دارای اهمیت زیادی است و مستقیماً در تولید محصول مؤثر است. یکی از چالش‌های اصلی شبکه‌های آبیاری سطحی ضریب یکنواختی پخش آب است که به نوع خاک، تسطیح مزرعه و رعایت اصول هیدرولیکی آبیاری بستگی دارد. در آبیاری تحت فشار بارانی و قطره‌ای فناوری ساخت آبپاش و قطره‌چکان، هیدرولیک شبکه و تغییرات سرعت باد در شبکه‌های بارانی در یکنواختی پخش آب مؤثرند و هرچه یکنواختی پخش آب کمتر باشد برای جبران آن باید عمق آب آبیاری را بیشتر نمود.

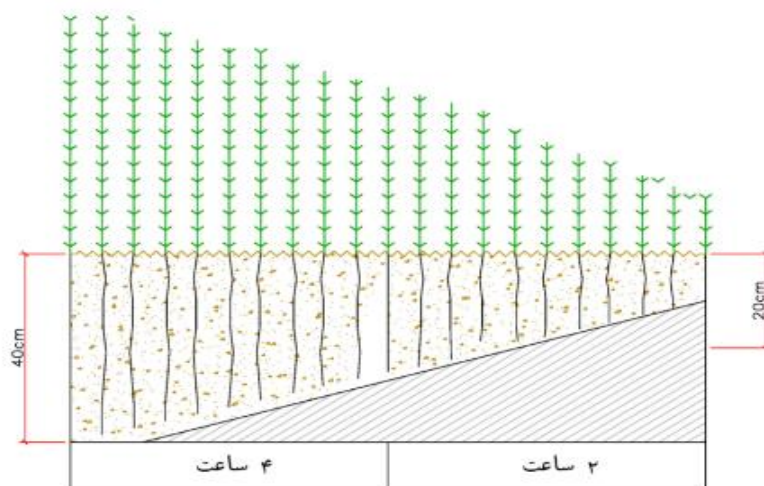
### ۷-۷-۲- عوامل مرتبط با گیاه

مهم‌ترین عامل گیاهی در تعیین عمق آب آبیاری ریشه گیاه است. شاید بتوان گفت که چالش اصلی و مهم‌ترین پارامتر در تعیین عمق آب آبیاری در کشور ریشه گیاه باشد. به‌طور کلی الگوی رشد ریشه گیاه در دوره اولیه تا حدودی با الگوی رشد سبزینه گیاه انطباق دارد. الگوی رشد گیاه که در نمودار ( $K_c$ ) نشان داده می‌شود شامل چهار بخش است. بخش اول، رشد اولیه، بخش دوم، دوره رشد سریع و رسیدن به نقطه حداکثر، بخش سوم، دوره ادامه رشد با همان آهنگ و دوره چهارم، انتهای فصل گیاه است و در این دوره رشد به تدریج کم شده و گیاه آماده برداشت خواهد شد. ریشه در دوره اول و دوم و اوایل دوره سوم به رشد حداکثر رسیده و پس از آن در ادامه دوره سوم و دوره چهارم ثابت خواهد ماند.

عامل بعدی در گسترش ریشه، فشردگی ساختمان و لایه‌های خاک و عمق آب زیرزمینی است. گیاهانی مانند یونجه که ریشه مرکزی قوی دارند در صورت وجود خاک مناسب رشد عمقی زیادی می‌کنند ولی چنانچه در مسیر رشد به لایه فشرده‌ای کم نفوذ برخورد کنند و یا به آب زیرزمینی برسند مسیر خود را ۹۰ درجه تغییر داده و به جای ادامه حرکت عمودی، به صورت افقی حرکت خواهند کرد؛ بنابراین حداکثر عمق ریشه این نوع گیاهان، عمق لایه کم نفوذ و یا سطح آب زیرزمینی است. لازم به ذکر است که بیشترین رشد ریشه گیاه در خاک‌های تکامل یافته و عمیق صورت گرفته و به حداکثر می‌رسد که معمولاً وجود چنین خاک‌هایی در کشور نادر است.

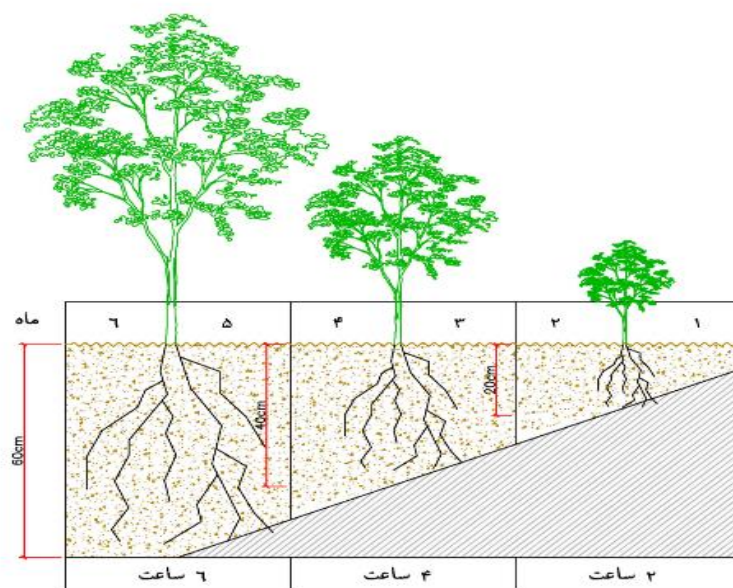
دوره رشد ریشه گیاهان در محاسبات عمق آب آبیاری، با توجه به طول دوره به یک مرحله، دو مرحله و در مواردی به سه مرحله قابل تقسیم است و اعمال آن در محاسبات عمق آب آبیاری در راستای بهینه نمودن مصرف آب صورت می‌گیرد. در این حالت عمق آب آبیاری به جای یک مقدار ثابت به ۲ عمق و یا ۳ عمق تقسیم می‌گردد. شکل (۷-۴) تقسیم دوره رشد ریشه گیاه را به ۲ دوره و شکل (۷-۵) دوره رشد ریشه گیاه را به ۳ دوره با عمق‌های مختلف آبیاری و شکل (۷-۶) رشد ریشه ذرت را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد.





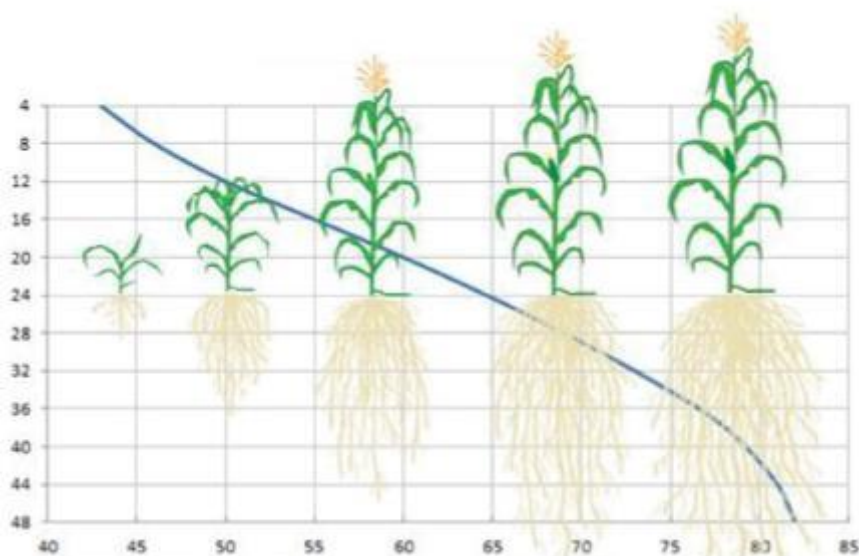
مدت زمان آبیاری در هر نوبت

شکل ۷-۴- تقسیم دوره آبیاری به ۲ عمق مختلف بر اساس رشد ریشه



مدت زمان آبیاری در هر نوبت

شکل ۷-۵- تقسیم رشد ریشه گیاه به ۲ دوره ۲ ماهه و عمق آب آبیاری به ۳ مقدار



شکل ۷-۶- دوره‌های رشد ذرت با عمق‌های مختلف ریشه

در مورد عمق ریشه گیاهان مختلف، نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۵۶ سازمان خواروبار کشاورزی جهانی (FAO) جداولی ارائه نموده است. در این جدول حداکثر عمق ریشه گیاهان مختلف در ۳ صفحه ارائه شده است. جدول (۷-۵) عمق ریشه برخی از گیاهان را در جدول (FAO56) نشان می‌دهد. ریشه گیاه بادمجان، کدو، جو، گندم، یونجه و نیشکر. چنانچه ملاحظه می‌گردد، عمق ریشه‌ها در مواردی مانند گندم ۳ تا ۴ برابر عمق واقعی ریشه و در مورد نیشکر ۱/۵ تا ۲/۵ برابر عمق واقعی ریشه است، لذا آنچه مسلم است استفاده از اطلاعات این جداول و جداول مشابه می‌تواند ما را دچار انحراف از واقعیت نموده و مشکل‌ساز باشد و برنامه‌ریزی آبیاری را کم‌اثر نماید. در این صورت اطلاعات مراکز تحقیقاتی و پژوهشی داخل کشور و کارهای مستقیم مهندسین مشاور و از همه مهم‌تر بررسی‌های میدانی در مزرعه چاره‌ساز خواهد بود.

جدول ۷-۵- عمق ریشه برخی از گیاهان

| گیاه         | بیشترین عمق ریشه (متر) |
|--------------|------------------------|
| بادمجان      | ۰/۱-۷/۲                |
| کدو          | ۷/۱-۰/۵                |
| جو           | ۷/۱-۰/۵                |
| گندم زمستانه | ۷/۱-۵/۸                |
| یونجه        | ۰/۸                    |
| نیشکر        | ۰/۶                    |

برگرفته از جداول مربوط به عمق ریشه گیاهان مختلف نشریه شماره (۵۶) آبیاری و زهکشی FAO، در مورد یونجه و نیشکر بر اساس تجربه نویسندگان اصلاح انجام شده است.

### ۷-۷-۳- عوامل آب و هوایی و اقلیمی

تولید گازهای گلخانه‌ای، باعث گرمایش عمومی زمین و تغییر شدید آب‌وهوایی شده است. به‌طوری‌که کشور ما در سال‌های اخیر به‌طور متوسط ۲ درجه گرم‌تر شده و در ماه قبل یعنی فروردین‌ماه ۱۴۰۰ افزایش دما نسبت به متوسط سال‌های قبل حدود ۳ درجه بوده است. لذا این مسئله بسیار جدی است و دامن‌گیر تمامی کشورها شده است. با توجه به این‌که درجه حرارت به‌طور مستقیم در برآورد آب موردنیاز گیاهان تأثیر دارد، افزایش آن به‌تدریج آب موردنیاز را افزایش داده و درعین‌حال در کوتاه کردن طول فصل رشد گیاهان نیز بی‌تأثیر نخواهد بود؛ بنابراین با توجه به ثابت بودن عمق آب آبیاری، افزایش تدریجی درجه حرارت باعث افزایش تبخیر و تعرق گیاه و کاهش دور و یا فواصل آبیاری‌ها خواهد شد. این مسئله و تأثیر آن در برنامه‌ریزی آبیاری در آینده یکی از چالش‌هاست.

### ۷-۸- مثال شماره ۱

#### برنامه‌ریزی آبیاری بارانی سنترپیوت چغندرقد در استان اردبیل (دشت مغان)

در دشت مغان اغلب مزارع چغندرقد با استفاده از سامانه سنترپیوت آبیاری می‌گردد. لذا برنامه‌ریزی آبیاری چغندرقد بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و کاربرد داده‌های هواشناسی روزانه آنلاین برای چغندرقد صورت گرفته است. محاسبات این مثال هرچند در اینجا بر مبنای داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه هواشناسی مغان برای سال ۱۳۹۹ انجام شده است، برنامه آبیاری را ارائه می‌نماید، ولی در عمل برنامه‌ریزی با استفاده از اطلاعات هواشناسی آنلاین نیز بر همین منوال صورت خواهد گرفت. مشخصات مزرعه چغندرقد و شبکه آبیاری سنترپیوت:

- عمق ریشه چغندر قند (۷۰-۷۲٪) متر
- نوع خاک (  $SiCl$  تا  $Cl$  )
- آب موجود در خاک ۱۶۰ میلی‌متر در متر خاک
- ضریب آب سهل‌الوصول (MAD) معادل ۵٪
- راندمان آبیاری سنترپیوت ۷۵ درصد
- طول دستگاه سنترپیوت ۲۸۴ متر
- مساحت تحت پوشش دستگاه ۲۵/۳ هکتار
- زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان برابر ۱۱ ساعت
- دبی دستگاه با در نظر گرفتن هیدرومُدول ۱/۱۸ لیتر بر ثانیه در هکتار برابر ۲۹/۹ لیتر بر ثانیه
- سرعت دستگاه ۲/۷ متر در دقیقه

جدول ۷-۶- ویژگی‌های سامانه سنتریوت

| درصد تنظیم دستگاه سنتریوت         |                             |                   |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| طول دستگاه                        | ۲۸۴/۱                       | متر               |
| مسافت طی شده در آخرین اسپن دستگاه | ۱۷۸۴/۱                      | متر               |
| مساحت تحت پوشش دستگاه             | ۲۵/۳                        | هکتار             |
| دبی دستگاه                        | ۲۹/۹                        | لیتر در ثانیه     |
| سرعت دستگاه                       | ۲/۷                         | متر در دقیقه      |
| کمینه زمان طی کردن یک سیکل        | ۱۷۰                         | ساعت              |
| میزان ریزش دستگاه (میلی متر)      | زمان طی کردن یک سیکل (ساعت) | درصد تنظیم دستگاه |
| ۴/۶۸                              | ۱۷/۰۱                       | ۱۰۰               |
| ۴/۹۲                              | ۱۷/۵۹                       | ۹۵                |
| ۵/۲۰                              | ۱۲/۲۴                       | ۹۰                |
| ۵/۵۰                              | ۱۲/۹۶                       | ۸۵                |
| ۵/۸۵                              | ۱۳/۷۷                       | ۸۰                |
| ۶/۲۴                              | ۱۴/۶۸                       | ۷۵                |
| ۶/۶۸                              | ۱۵/۷۳                       | ۷۰                |
| ۷/۲۰                              | ۱۶/۹۴                       | ۶۵                |
| ۷/۸۰                              | ۱۸/۳۶                       | ۶۰                |
| ۸/۵۱                              | ۲۰/۰۲                       | ۵۵                |
| ۹/۳۶                              | ۲۲/۰۳                       | ۵۰                |
| ۱۰/۴۰                             | ۲۴/۴۷                       | ۴۵                |
| ۱۷/۷۰                             | ۲۷/۵۳                       | ۴۰                |
| ۱۳/۳۷                             | ۳۷/۴۷                       | ۳۵                |
| ۱۵/۵۹                             | ۳۶/۷۱                       | ۳۰                |
| ۱۸/۷۱                             | ۴۴/۰۵                       | ۲۵                |
| ۲۳/۳۹                             | ۵۵/۰۷                       | ۲۰                |
| ۳۷/۱۹                             | ۷۳/۴۲                       | ۱۵                |
| ۴۶/۷۸                             | ۱۱۰/۱۳                      | ۱۰                |
| ۹۳/۵۷                             | ۲۲۰/۲۷                      | ۵                 |

جدول ۷-۷- محاسبات نیاز آبی گیاه چغندر قند

| پارامترها                           | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر   | مرداد | شهریور | مهر  |
|-------------------------------------|---------|----------|-------|-------|-------|--------|------|
| ETc (mm/mon)                        | ۱۷/۷    | ۶۷/۶     | ۱۱۸/۸ | ۱۸۴/۲ | ۱۹۰/۵ | ۱۲۸/۳  | ۳۷/۸ |
| ETc (mm/day)                        | ۰/۶     | ۲        | ۳/۸   | ۵/۹   | ۶/۱   | ۴/۱    | ۱    |
| Ig (mm/day)                         | ۰/۸     | ۲/۶      | ۵/۱   | ۷/۹   | ۸/۲   | ۵/۵    | ۷/۴  |
| دور آبیاری (روز)                    | ۱۰      | ۲        | ۲     | ۲     | ۲     | ۲      | ۱۰   |
| عمق ناخالص در دور آبیاری (میلی متر) | ۷۵      | ۵/۳      | ۱۰/۲  | ۱۵/۸  | ۱۶/۴  | ۱۱     | ۲/۷  |
| سرعت حرکت دستگاه (٪)                | ۳۰۸     | ۸۹       | ۴۶    | ۳۰    | ۲۹    | ۴۳     | ۱۷۲  |
| زمان چرخش                           | ۴       | ۱۲       | ۲۴    | ۳۷    | ۳۸    | ۲۶     | ۶    |

#### ▪ محاسبه عمق خالص آب آبیاری

$$mm = 0.5 \times 16 \times 1 = 8 \text{ } MAD \times Sa \times D = In$$

$$T \setminus In/ETc = 8 \text{ } 0/1 = 8$$

فاصله آبیاری‌ها (روز)

$$T \setminus 2 \rightarrow 2 = In/10 \rightarrow In = 20 \text{ } mm$$

کاهش زمان آبیاری به دو روز

$$Ig = In/Ea = 20/0.75 = 27$$

عمق ناخالص آب آبیاری (۲روزه) - میلی‌متر

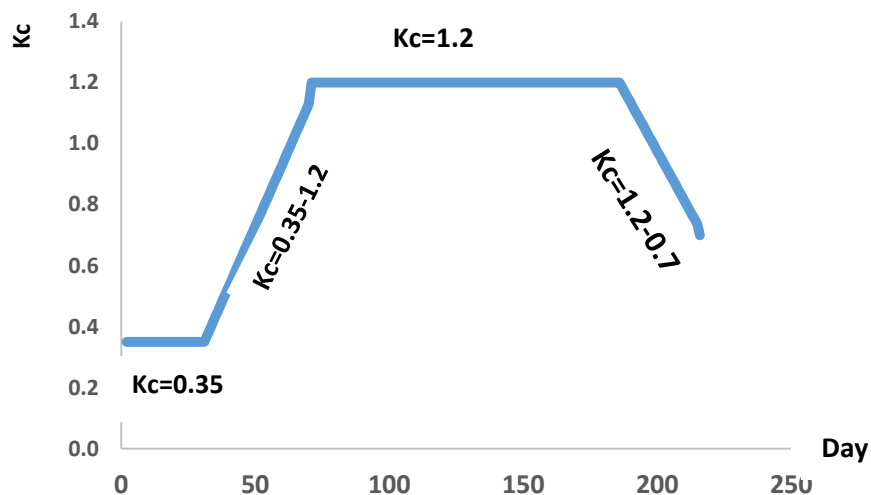
#### ▪ برنامه‌ریزی آبیاری سنتریوت گیاه چغندر قند

۱- مقادیر (Kc) ضریب گیاهی چغندر قند بر اساس اطلاعات محلی و منابع معتبر جهانی (FAO56)

(Kc) دوره اولیه رشد به مدت ۳۰ روز معادل (۰/۳۵)، (Kc) دوره رشد در مرحله دوم به مدت ۴۰

روز معادل (۰/۳۵-۷/۲)، Kc دوران میان فصل به مدت (۱۱۵) روز معادل (۷/۲) و (Kc) آخر فصل به

مدت ۳۰ روز معادل (۰/۷-۷/۲)



| پایانی | میان فصل | رشد | اولیه | دوره رشد |
|--------|----------|-----|-------|----------|
| ۳۰     | ۱۱۵      | ۴۰  | ۳۰    | روز      |

شکل ۷-۷- منحنی مقادیر ( $K_c$ ) ضریب گیاهی چغندر قند

۲-  $(ET_o)$  و  $(ET_c)$  با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسی آنلاین و با فرمول پنمن-مونتیت محاسبه شده است. در مرحله بعد با اثر دادن ضریب گیاهی ( $K_c$ ) در تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ ) مقدار تبخیر و تعرق گیاه ( $ET_c$ ) محاسبه شده است. جداول (۷-۸) نتایج محاسبات را نشان می‌دهد.

- شروع فصل رشد چغندر قند نیمه دوم فروردین (۹۹/۷/۱۷)

- پایان فصل رشد و برداشت، اواسط مهرماه (۹۹/۰۷/۳۰)

- آبیاری (۱) مدت ۲۵ ساعت معادل ۲۷ میلی‌متر در تاریخ ۹۸/۱۲/۱۵

- آبیاری (۲) و آبیاری‌های بعدی تا انتهای فصل بر اساس نیاز روزانه گیاه ( $ET_c$ ) و کسر باران مؤثر بر اساس جدول (۸-۱۰) انجام شده است.

جدول ۷-۸- باران مؤثر در دوره آبیاری چغندر قند

| ردیف | تاریخ بارندگی | میزان بارندگی (میلی‌متر) | مقدار بارندگی مؤثر (میلی‌متر) |
|------|---------------|--------------------------|-------------------------------|
| ۱    | ۹۹/۰۲/۰۴      | ۱۴/۴                     | ۱۷/۵                          |
| ۲    | ۹۹/۰۶/۰۲      | ۲۹/۱                     | ۲۳/۳                          |
| ۳    | ۹۹/۰۷/۱۴      | ۱۷                       | ۱۳/۶                          |

باران مؤثر معادل ۸۰ درصد بارندگی، باران مؤثر ۱۰ میلی‌متر و پایین‌تر نیز حذف شده است.

لازم به ذکر است که در زمان اجرای برنامه آنلاین آبیاری چغندر قند، کلیه اطلاعات هواشناسی شامل میانگین درجه حرارت، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میزان تشعشع خورشیدی یا ساعات آفتابی و بارندگی روزانه مربوط به روز قبل، هر روز صبح دریافت شده و بر اساس این اطلاعات ( $ET_0$ ) و ( $ET_c$ ) روزانه محاسبه می‌شود و با جمع تبخیر و تعرق روزانه گیاه ( $ET_c$ ) و رسیدن به عمق آب مورد نیاز آبیاری، آبیاری‌های بعدی صورت خواهد گرفت.

جدول (۷-۱۰) برنامه زمانی آبیاری‌ها را نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌شود در مجموع در طول فصول رشد چغندر قند معادل ۲۱۵ روز جمعاً ۳۸ نوبت آبیاری به عمق ۲۷ میلی‌متر و فاصله ۲ روز انجام شده و کل آب مصرفی معادل ۱۰۲۶ میلی‌متر و حجم آب آبیاری ۱۰۲۶۰ مترمکعب در هکتار محاسبه گردیده است.



جدول ۷-۹- نیاز آبی دوره اولیه (چغندر قند)

| E/Tc (mm/day) | Kc   | ETo (mm/day) | تاریخ    |
|---------------|------|--------------|----------|
| ۰/۳۷          | ۰/۳۵ | ۷/۳۴         | ۹۹/۱۲/۱۶ |
| ۰/۳۵          | ۰/۳۵ | ۷/۰۱         | ۹۹/۱۲/۱۷ |
| ۰/۷۴          | ۰/۳۵ | ۲/۱۱         | ۹۹/۱۲/۱۸ |
| ۰/۵۰          | ۰/۳۵ | ۷/۴۴         | ۹۹/۱۲/۱۹ |
| ۰/۲۶          | ۰/۳۵ | ۷/۳۱         | ۹۹/۱۲/۲۰ |
| ۰/۷۳          | ۰/۳۵ | ۲/۰۸         | ۹۹/۱۲/۲۱ |
| ۷/۰۹          | ۰/۳۵ | ۳/۱          | ۹۹/۱۲/۲۲ |
| ۰/۹۷          | ۰/۳۵ | ۲/۷۷         | ۹۹/۱۲/۲۳ |
| ۰/۵۹          | ۰/۳۵ | ۷/۶۸         | ۹۹/۱۲/۲۴ |
| ۰/۹۲          | ۰/۳۵ | ۲/۶۴         | ۹۹/۱۲/۲۵ |
| ۰/۴۷          | ۰/۳۵ | ۷/۳۵         | ۹۹/۱۲/۲۶ |
| ۰/۶۱          | ۰/۳۵ | ۷/۷۳         | ۹۹/۱۲/۲۷ |
| ۰/۳۵          | ۰/۳۵ | ۰/۹۹         | ۹۹/۱۲/۲۸ |
| ۰/۴۵          | ۰/۳۵ | ۷/۲۸         | ۹۹/۱۲/۲۹ |
| ۰/۵۱          | ۰/۳۵ | ۷/۴۵         | ۹۹/۱۲/۳۰ |
| ۰/۲۲          | ۰/۳۵ | ۰/۹          | ۹۹/۱۲/۳۱ |
| ۰/۳۸          | ۰/۳۵ | ۷/۰۸         | ۹۹/۱۲/۳۲ |
| ۰/۹۶          | ۰/۳۵ | ۲/۷۴         | ۹۹/۱۲/۳۳ |
| ۰/۷۹          | ۰/۳۵ | ۲/۲۵         | ۹۹/۱۲/۳۴ |
| ۰/۷۴          | ۰/۳۵ | ۲/۱۱         | ۹۹/۱۲/۳۵ |
| ۰/۹۴          | ۰/۳۵ | ۲/۶۹         | ۹۹/۱۲/۳۶ |
| ۰/۹۰          | ۰/۳۵ | ۲/۵۷         | ۹۹/۱۲/۳۷ |
| ۰/۵۲          | ۰/۳۵ | ۷/۴۸         | ۹۹/۱۲/۳۸ |
| ۰/۴۴          | ۰/۳۵ | ۷/۲۵         | ۹۹/۱۲/۳۹ |
| ۷/۱۳          | ۰/۳۵ | ۳/۲۲         | ۹۹/۱۲/۴۰ |
| ۷/۱۱          | ۰/۳۵ | ۳/۱۶         | ۹۹/۱۲/۴۱ |
| ۰/۸۷          | ۰/۳۵ | ۲/۴۸         | ۹۹/۱۲/۴۲ |
| ۰/۸۵          | ۰/۳۵ | ۲/۴۳         | ۹۹/۱۲/۴۳ |
| ۰/۷۱          | ۰/۳۵ | ۲/۰۴         | ۹۹/۱۲/۴۴ |
| ۰/۳۴          | ۰/۳۵ | ۰/۹۶         | ۹۹/۱۲/۴۵ |

ادامه جدول ۷-۹- نیاز آبی در دوره میان فصل (چغندر قند)

| E/Tc (mm/day) | Kc   | ETo (mm/day) | تاریخ    |
|---------------|------|--------------|----------|
| ۰/۹۲          | ۰/۳۷ | ۷/۴۹         | ۹۹/۱۲/۱۷ |
| ۰/۴۸          | ۰/۳۹ | ۷/۲۴         | ۹۹/۱۲/۱۸ |
| ۰/۳۱          | ۰/۴۱ | ۰/۷۵         | ۹۹/۱۲/۱۹ |
| ۰/۴۹          | ۰/۴۳ | ۷/۱۵         | ۹۹/۱۲/۲۰ |
| ۰/۸۱          | ۰/۴۵ | ۷/۸۱         | ۹۹/۱۲/۲۱ |
| ۰/۹۰          | ۰/۴۷ | ۷/۹۱         | ۹۹/۱۲/۲۲ |
| ۷/۲۹          | ۰/۴۹ | ۲/۶۳         | ۹۹/۱۲/۲۳ |
| ۷/۵۹          | ۰/۵۱ | ۲/۱۱         | ۹۹/۱۲/۲۴ |
| ۷/۶۶          | ۰/۵۳ | ۳/۰۴         | ۹۹/۱۲/۲۵ |
| ۷/۷۷          | ۰/۵۵ | ۳/۰۲         | ۹۹/۱۲/۲۶ |
| ۲/۴۱          | ۰/۵۷ | ۳/۱          | ۹۹/۱۲/۲۷ |
| ۲/۱۴          | ۰/۵۹ | ۴/۰۸         | ۹۹/۱۲/۲۸ |
| ۲/۵۶          | ۰/۶۱ | ۳/۵          | ۹۹/۱۲/۲۹ |
| ۲/۲۹          | ۰/۶۳ | ۴/۰۶         | ۹۹/۱۲/۳۰ |
| ۳/۲۷          | ۰/۶۵ | ۳/۵۲         | ۹۹/۱۲/۳۱ |
| ۲/۲۴          | ۰/۶۷ | ۴/۸۸         | ۹۹/۱۲/۳۲ |
| ۲/۵۱          | ۰/۶۹ | ۴/۶۹         | ۹۹/۱۲/۳۳ |
| ۰/۸۴          | ۰/۷۱ | ۳/۵۳         | ۹۹/۱۲/۳۴ |
| ۰/۸۹          | ۰/۷۳ | ۷/۱۵         | ۹۹/۱۲/۳۵ |
| ۷/۰۴          | ۰/۷۵ | ۷/۸          | ۹۹/۱۲/۳۶ |
| ۲/۸۴          | ۰/۷۷ | ۷/۳۵         | ۹۹/۱۲/۳۷ |
| ۲/۶۶          | ۰/۷۹ | ۳/۵۹         | ۹۹/۱۲/۳۸ |
| ۲/۵۶          | ۰/۸۱ | ۴/۵۲         | ۹۹/۱۲/۳۹ |
| ۲/۳۲          | ۰/۸۳ | ۳/۰۸         | ۹۹/۱۲/۴۰ |
| ۲/۶۰          | ۰/۸۵ | ۳/۹۱         | ۹۹/۱۲/۴۱ |
| ۳/۴۳          | ۰/۸۷ | ۴/۱۴         | ۹۹/۱۲/۴۲ |
| ۷/۷۳          | ۰/۸۹ | ۳/۸۵         | ۹۹/۱۲/۴۳ |
| ۳/۹۶          | ۰/۹۱ | ۷/۹          | ۹۹/۱۲/۴۴ |
| ۳/۳۲          | ۰/۹۳ | ۴/۲۶         | ۹۹/۱۲/۴۵ |
| ۲/۵۷          | ۰/۹۵ | ۴/۵۵         | ۹۹/۱۲/۴۶ |
| ۷/۸۶          | ۰/۹۷ | ۲/۶۸         | ۹۹/۱۲/۴۷ |
| ۲/۳۹          | ۰/۹۹ | ۷/۸۸         | ۹۹/۱۲/۴۸ |
| ۵/۳۳          | ۱/۰۱ | ۲/۳۷         | ۹۹/۱۲/۴۹ |
| ۷/۹۱          | ۱/۰۳ | ۵/۱۷         | ۹۹/۱۲/۵۰ |
| ۷/۷۱          | ۱/۰۵ | ۲/۷۷         | ۹۹/۱۲/۵۱ |
| ۲/۶۱          | ۱/۰۷ | ۷/۶          | ۹۹/۱۲/۵۲ |
| ۵/۱۶          | ۱/۰۹ | ۲/۳۹         | ۹۹/۱۲/۵۳ |
| ۴/۷۷          | ۱/۱۱ | ۴/۶۵         | ۹۹/۱۲/۵۴ |
| ۶/۲۸          | ۱/۱۳ | ۴/۲۲         | ۹۹/۱۲/۵۵ |
|               | ۱/۲۰ | ۵/۲۳         | ۹۹/۱۲/۵۶ |

| جدول ۷-۱- نیار آبی در میان فصل (چغندر قند) |     |              |     | ادامهٔ تاریخ |
|--------------------------------------------|-----|--------------|-----|--------------|
| ETc (mm/day)                               | Kc  | ETo (mm/day) | Kc  | ETc (mm/day) |
| ۱۱/۳۵                                      | ۷/۲ | ۹/۴۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵        |
| ۱۷/۱۰                                      | ۷/۲ | ۱۰/۰۸        | ۷/۲ | ۹۹/۴۶        |
| ۸/۳۴                                       | ۷/۲ | ۶/۹۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷        |
| ۴/۴۵                                       | ۷/۲ | ۳/۷۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸        |
| ۷/۷۲                                       | ۷/۲ | ۶/۴۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۹        |
| ۷/۷۲                                       | ۷/۲ | ۶/۴۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۰       |
| ۸/۶۲                                       | ۷/۲ | ۷/۱۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۱       |
| ۶/۰۷                                       | ۷/۲ | ۵/۰۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۲       |
| ۷/۹۸                                       | ۷/۲ | ۶/۶۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۳       |
| ۸/۰۴                                       | ۷/۲ | ۶/۷          | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۴       |
| ۸/۱۵                                       | ۷/۲ | ۶/۷۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۵       |
| ۹/۳۶                                       | ۷/۲ | ۷/۸          | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۶       |
| ۹/۶۷                                       | ۷/۲ | ۸/۰۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۷       |
| ۸/۷۵                                       | ۷/۲ | ۷/۲۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۸       |
| ۸/۹۴                                       | ۷/۲ | ۷/۴۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۱۹       |
| ۷/۷۲                                       | ۷/۲ | ۶/۴۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۰       |
| ۷/۷۲                                       | ۷/۲ | ۶/۴۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۱       |
| ۷/۶۲                                       | ۷/۲ | ۶/۳۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۲       |
| ۸/۲۱                                       | ۷/۲ | ۶/۸۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۳       |
| ۷/۷۹                                       | ۷/۲ | ۶/۴۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۴       |
| ۸/۳۵                                       | ۷/۲ | ۶/۹۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۵       |
| ۹/۲۵                                       | ۷/۲ | ۷/۷۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۶       |
| ۹/۲۶                                       | ۷/۲ | ۷/۷۲         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۷       |
| ۸/۱۸                                       | ۷/۲ | ۶/۸۲         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۸       |
| ۸/۲۴                                       | ۷/۲ | ۶/۸۷         | ۷/۲ | ۹۹/۴۲۹       |
| ۶/۹۲                                       | ۷/۲ | ۵/۷۷         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۰       |
| ۷/۲۶                                       | ۷/۲ | ۶/۰۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۱       |
| ۸/۸۹                                       | ۷/۲ | ۷/۴۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۲       |
| ۵/۹۸                                       | ۷/۲ | ۴/۹۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۳       |
| ۶/۹۲                                       | ۷/۲ | ۵/۷۷         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۴       |
| ۶/۲۴                                       | ۷/۲ | ۵/۲۲         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۵       |
| ۸/۰۸                                       | ۷/۲ | ۶/۷۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۶       |
| ۹/۹۱                                       | ۷/۲ | ۸/۲۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۷       |
| ۹/۱۴                                       | ۷/۲ | ۷/۶۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۸       |
| ۵/۹۵                                       | ۷/۲ | ۴/۹۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۳۹       |
| ۷/۲۰                                       | ۷/۲ | ۶            | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۰       |
| ۷/۶۶                                       | ۷/۲ | ۶/۳۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۱       |
| ۶/۷۴                                       | ۷/۲ | ۵/۶۲         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۲       |

| جدول ۷-۱- نیار آبی در میان فصل (چغندر قند) |     |              |     | تاریخ        |
|--------------------------------------------|-----|--------------|-----|--------------|
| ETc (mm/day)                               | Kc  | ETo (mm/day) | Kc  | ETc (mm/day) |
| ۴/۹۳                                       | ۷/۲ | ۴/۱۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۶       |
| ۷/۴۶                                       | ۷/۲ | ۶/۲۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۷       |
| ۹/۴۰                                       | ۷/۲ | ۷/۸۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۸       |
| ۵/۴۷                                       | ۷/۲ | ۴/۵۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۴۹       |
| ۸/۰۶                                       | ۷/۲ | ۶/۷۲         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۰       |
| ۵/۸۶                                       | ۷/۲ | ۴/۸۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۱       |
| ۷/۴۳                                       | ۷/۲ | ۶/۱۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۲       |
| ۶/۲۴                                       | ۷/۲ | ۵/۲          | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۳       |
| ۷/۵۷                                       | ۷/۲ | ۶/۳۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۴       |
| ۵/۷۵                                       | ۷/۲ | ۴/۷۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۵       |
| ۶/۰۱                                       | ۷/۲ | ۵/۰۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۶       |
| ۹/۴۱                                       | ۷/۲ | ۷/۸۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۷       |
| ۷/۵۱                                       | ۷/۲ | ۶/۲۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۸       |
| ۷/۴۵                                       | ۷/۲ | ۶/۲۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۵۹       |
| ۶/۴۶                                       | ۷/۲ | ۵/۳۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۰       |
| ۱۰/۵۶                                      | ۷/۲ | ۸/۸          | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۱       |
| ۱۰/۳۷                                      | ۷/۲ | ۸/۶۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۲       |
| ۸/۴۴                                       | ۷/۲ | ۷/۰۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۳       |
| ۸/۲۶                                       | ۷/۲ | ۶/۹۷         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۴       |
| ۹/۳۰                                       | ۷/۲ | ۷/۷۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۵       |
| ۱۰/۱۲                                      | ۷/۲ | ۸/۴۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۶       |
| ۹/۴۳                                       | ۷/۲ | ۷/۸۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۷       |
| ۶/۹۴                                       | ۷/۲ | ۵/۷۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۸       |
| ۷/۹۹                                       | ۷/۲ | ۶/۶۶         | ۷/۲ | ۹۹/۴۶۹       |
| ۸/۵۳                                       | ۷/۲ | ۷/۱۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۰       |
| ۸/۵۲                                       | ۷/۲ | ۶/۱۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۱       |
| ۷/۹۳                                       | ۷/۲ | ۶/۵۱         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۲       |
| ۸/۲۴                                       | ۷/۲ | ۶/۸۷         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۳       |
| ۷/۸۰                                       | ۷/۲ | ۶/۱۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۴       |
| ۱۰/۰۰                                      | ۷/۲ | ۸/۳۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۵       |
| ۹/۷۱                                       | ۷/۲ | ۸/۰۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۶       |
| ۱۱/۶۳                                      | ۷/۲ | ۹/۸۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۷       |
| ۸/۴۰                                       | ۷/۲ | ۹/۶۴         | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۸       |
| ۹/۱۰                                       | ۷/۲ | ۷            | ۷/۲ | ۹۹/۴۷۹       |
| ۹/۶۶                                       | ۷/۲ | ۷/۵۸         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۰       |
| ۱۱/۳۰                                      | ۷/۲ | ۸/۰۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۱       |
| ۱۰/۶۷                                      | ۷/۲ | ۹/۴۳         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۲       |
| ۹/۷۲                                       | ۷/۲ | ۸/۸۹         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۳       |
| ۱۰/۸۶                                      | ۷/۲ | ۹/۰۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۴       |
| ۹/۶۶                                       | ۷/۲ | ۸/۰۵         | ۷/۲ | ۹۹/۴۸۵       |

ادامه جدول ۷-۱۱- نیاز آبی در دوره پایانی فصل (چغندر قند)

| E/Tc (mm/day) | Kc   | ETo(mm/day) | تاریخ   |
|---------------|------|-------------|---------|
| ۵/۰۴          | ۷/۱۸ | ۴/۲۶        | ۹۹/۶/۱۷ |
| ۶/۱۶          | ۷/۱۷ | ۵/۲۷        | ۹۹/۶/۱۸ |
| ۵/۶۳          | ۷/۱۵ | ۴/۸۹        | ۹۹/۶/۱۹ |
| ۶/۰۷          | ۷/۱۴ | ۵/۳۴        | ۹۹/۶/۲۰ |
| ۵/۰۶          | ۷/۱۲ | ۴/۵۲        | ۹۹/۶/۲۱ |
| ۴/۰۸          | ۷/۱۰ | ۴/۷         | ۹۹/۶/۲۲ |
| ۴/۵۲          | ۷/۰۹ | ۴/۱۵        | ۹۹/۶/۲۳ |
| ۴/۴۹          | ۷/۰۷ | ۴/۱۹        | ۹۹/۶/۲۴ |
| ۵/۲۶          | ۷/۰۶ | ۴/۹۸        | ۹۹/۶/۲۵ |
| ۴/۳۱          | ۷/۰۴ | ۴/۱۴        | ۹۹/۶/۲۶ |
| ۴/۴۱          | ۷/۰۳ | ۴/۳۱        | ۹۹/۶/۲۷ |
| ۳/۴۷          | ۷/۰۱ | ۳/۴۴        | ۹۹/۶/۲۸ |
| ۶/۱۲          | ۰/۹۹ | ۶/۱۷        | ۹۹/۶/۲۹ |
| ۲/۴۵          | ۰/۹۸ | ۲/۵۱        | ۹۹/۶/۳۰ |
| ۷/۱۲          | ۰/۹۶ | ۷/۱۷        | ۹۹/۶/۳۱ |
| ۷/۵۱          | ۰/۹۴ | ۷/۱۶        | ۹۹/۷/۱  |
| ۷/۲۶          | ۰/۹۳ | ۷/۳۶        | ۹۹/۷/۲  |
| ۲/۵۵          | ۰/۹۱ | ۲/۸         | ۹۹/۷/۳  |
| ۲/۲۹          | ۰/۹۰ | ۳/۶۳        | ۹۹/۷/۴  |
| ۳/۲۹          | ۰/۸۸ | ۳/۷۴        | ۹۹/۷/۵  |
| ۳/۳۲          | ۰/۸۶ | ۳/۸۴        | ۹۹/۷/۶  |
| ۳/۱۴          | ۰/۸۵ | ۳/۷         | ۹۹/۷/۷  |
| ۲/۸۷          | ۰/۸۳ | ۳/۴۵        | ۹۹/۷/۸  |
| ۲/۶۹          | ۰/۸۲ | ۳/۳         | ۹۹/۷/۹  |
| ۲/۲۹          | ۰/۸۰ | ۲/۸۶        | ۹۹/۷/۱۰ |
| ۲/۳۰          | ۰/۷۸ | ۲/۹۴        | ۹۹/۷/۱۱ |
| ۲/۷۰          | ۰/۷۷ | ۳/۵۲        | ۹۹/۷/۱۲ |
| ۷/۳۸          | ۰/۷۵ | ۷/۸۴        | ۹۹/۷/۱۳ |
| ۰/۸۰          | ۰/۷۴ | ۷/۰۹        | ۹۹/۷/۱۴ |
| ۰/۷۱          | ۰/۷۰ | ۷/۰۱        | ۹۹/۷/۱۵ |

جدول ۷-۱۱- نیاز آبی در میان فصل (چغندر قند)

| E/Tc (mm/day) | Kc  | ETo(mm/day) | تاریخ   |
|---------------|-----|-------------|---------|
| ۷/۶۷          | ۷/۲ | ۶/۳۹        | ۹۹/۵/۱۲ |
| ۵/۳۰          | ۷/۲ | ۴/۴۲        | ۹۹/۵/۱۳ |
| ۶/۷۷          | ۷/۲ | ۵/۶۴        | ۹۹/۵/۱۴ |
| ۶/۶۲          | ۷/۲ | ۵/۵۲        | ۹۹/۵/۱۵ |
| ۷/۹۱          | ۷/۲ | ۶/۵۹        | ۹۹/۵/۱۶ |
| ۸/۰۸          | ۷/۲ | ۶/۷۳        | ۹۹/۵/۱۷ |
| ۸/۶۲          | ۷/۲ | ۷/۱۸        | ۹۹/۵/۱۸ |
| ۷/۸۲          | ۷/۲ | ۷/۱۸        | ۹۹/۵/۱۹ |
| ۴/۶۷          | ۷/۲ | ۶/۵۲        | ۹۹/۵/۲۰ |
| ۷/۰۷          | ۷/۲ | ۳/۸۹        | ۹۹/۵/۲۱ |
| ۷/۱۶          | ۷/۲ | ۵/۸۹        | ۹۹/۵/۲۲ |
| ۵/۲۰          | ۷/۲ | ۵/۹۷        | ۹۹/۵/۲۳ |
| ۴/۳۲          | ۷/۲ | ۴/۳۲        | ۹۹/۵/۲۴ |
| ۳/۷۵          | ۷/۲ | ۳/۷۵        | ۹۹/۵/۲۵ |
| ۳/۲۶          | ۷/۲ | ۳/۲۶        | ۹۹/۵/۲۶ |
| ۳/۴۸          | ۷/۲ | ۳/۴۸        | ۹۹/۵/۲۷ |
| ۴/۰۱          | ۷/۲ | ۳/۳۴        | ۹۹/۵/۲۸ |
| ۳/۸۸          | ۷/۲ | ۳/۲۳        | ۹۹/۵/۲۹ |
| ۶/۷۲          | ۷/۲ | ۵/۶         | ۹۹/۵/۳۰ |
| ۶/۵۳          | ۷/۲ | ۵/۴۴        | ۹۹/۵/۳۱ |
| ۸/۵۴          | ۷/۲ | ۷/۱۲        | ۹۹/۶/۱  |
| ۲/۰۹          | ۷/۲ | ۷/۷۴        | ۹۹/۶/۲  |
| ۳/۹۱          | ۷/۲ | ۳/۲۶        | ۹۹/۶/۳  |
| ۵/۳۳          | ۷/۲ | ۴/۴۴        | ۹۹/۶/۴  |
| ۵/۵۹          | ۷/۲ | ۴/۶۶        | ۹۹/۶/۵  |
| ۵/۱۴          | ۷/۲ | ۴/۲۸        | ۹۹/۶/۶  |
| ۵/۸۰          | ۷/۲ | ۴/۸۳        | ۹۹/۶/۷  |
| ۶/۶۵          | ۷/۲ | ۵/۵۴        | ۹۹/۶/۸  |
| ۶/۴۷          | ۷/۲ | ۵/۳۹        | ۹۹/۶/۹  |
| ۵/۳۶          | ۷/۲ | ۴/۴۷        | ۹۹/۶/۱۰ |
| ۵/۲۷          | ۷/۲ | ۴/۳۹        | ۹۹/۶/۱۱ |
| ۵/۶۲          | ۷/۲ | ۴/۶۸        | ۹۹/۶/۱۲ |
| ۴/۱۰          | ۷/۲ | ۳/۴۲        | ۹۹/۶/۱۳ |
| ۵/۷۲          | ۷/۲ | ۴/۷۷        | ۹۹/۶/۱۴ |
| ۶/۰۸          | ۷/۲ | ۵/۰۷        | ۹۹/۶/۱۵ |
| ۵/۲۱          | ۷/۲ | ۴/۳۴        | ۹۹/۶/۱۶ |

جدول ۷-۱۲- زمان بندی برنامه آبیاری

| ردیف                  | تاریخ    | دوره     | ساعت | عمق ناخالص آبیاری (میلی متر) |
|-----------------------|----------|----------|------|------------------------------|
| ۱                     | ۹۸/۱۲/۱۶ | اولیه    | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲                     | ۹۹/۷/۲۴  | توسعه    | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳                     | ۹۹/۲/۱۰  | توسعه    | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۴                     | ۹۹/۲/۱۸  | توسعه    | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۵                     | ۹۹/۲/۲۵  | توسعه    | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۶                     | ۹۹/۲/۲۹  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۷                     | ۹۹/۳/۲   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۸                     | ۹۹/۳/۶   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۹                     | ۹۹/۳/۱۰  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۰                    | ۹۹/۳/۱۳  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۱                    | ۹۹/۳/۱۶  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۲                    | ۹۹/۳/۲۰  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۳                    | ۹۹/۳/۲۳  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۴                    | ۹۹/۳/۲۶  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۵                    | ۹۹/۳/۲۹  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۶                    | ۹۹/۴/۱   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۷                    | ۹۹/۴/۴   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۸                    | ۹۹/۴/۷   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۱۹                    | ۹۹/۴/۱۱  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۰                    | ۹۹/۴/۱۵  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۱                    | ۹۹/۴/۱۸  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۲                    | ۹۹/۴/۲۱  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۳                    | ۹۹/۴/۲۴  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۴                    | ۹۹/۴/۲۷  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۵                    | ۹۹/۴/۳۱  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۶                    | ۹۹/۵/۴   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۷                    | ۹۹/۵/۷   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۸                    | ۹۹/۵/۱۱  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۲۹                    | ۹۹/۵/۱۵  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۰                    | ۹۹/۵/۱۸  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۱                    | ۹۹/۵/۲۲  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۲                    | ۹۹/۵/۲۸  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۳                    | ۹۹/۶/۶   | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۴                    | ۹۹/۶/۱۱  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۵                    | ۹۹/۶/۱۶  | میان فصل | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۶                    | ۹۹/۶/۲۱  | پایانی   | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۷                    | ۹۹/۶/۲۷  | پایانی   | ۱۱   | ۲۷                           |
| ۳۸                    | ۹۹/۷/۶   | پایانی   | ۱۱   | ۲۷                           |
| جمع کل ۱/۰۲۶۰ مترمکعب |          |          |      | ۱۰۲۶                         |

## ۷-۹-مثال شماره ۲

## - برنامه‌ریزی آبیاری بارانی لنینر چغندرقد در استان اردبیل (دشت مغان)

در دشت مغان مزارع چغندرقد با استفاده از سیستم لنینر نیز آبیاری می‌گردد. لذا برنامه‌ریزی آبیاری چغندرقد بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (Etc) و کاربرد داده‌های هواشناسی روزانه آنلاین برای چغندرقد صورت گرفته است. محاسبات این مثال هر چند در اینجا بر مبنای داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه هواشناسی مغان برای سال ۱۳۹۹ انجام شده است، برنامه‌ریزی را ارائه می‌نماید ولی در عمل برنامه‌ریزی با استفاده از اطلاعات هواشناسی آنلاین نیز بر همین منوال صورت خواهد گرفت. مشخصات مزرعه چغندرقد و شبکه آبیاری لنینر:

- عمق ریشه چغندرقد (۷۲-۷۰)٪ متر
- نوع خاک ( $SiCl$  تا  $Cl$ )
- آب موجود در خاک ۱۶۰ میلی‌متر در متر خاک
- ضریب آب سهل‌الوصول ( $MAD$ ) معادل ۵٪
- راندمان آبیاری لنینر ۷۵ درصد
- طول دستگاه لنینر ۲۲۴ متر
- مسافت طی‌شده دستگاه لنینر ۵۰۰ متر
- مساحت تحت پوشش دستگاه ۱۷/۲ هکتار
- دبی دستگاه بر اساس هیدرومُدول ۱/۱۸ برابر ۱۳/۲ لیتر در ثانیه
- زمان طی کردن یک سیکل در ۱۰۰ درصد زمان برابر ۳/۱ ساعت و میزان ریزش در این سیکل برابر ۷/۳۱ میلی‌متر

جدول ۷-۱۳- خصوصیات دستگاه خطی (لینیر)

| درصد تنظیم دستگاه خطی             |                             |                   |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| طول دستگاه                        | ۲۲۴                         | متر               |
| مسافت طی شده در آخرین اسپن دستگاه | ۵۰۰                         | متر               |
| مساحت تحت پوشش دستگاه             | ۱۷۲                         | هکتار             |
| دبی دستگاه                        | ۱۳/۲                        | لیتر در ثانیه     |
| سرعت دستگاه                       | ۲/۷                         | متر در دقیقه      |
| کمینه زمان طی کردن یک سیکل        | ۳/۱                         | ساعت              |
| میزان ریزش دستگاه (میلی‌متر)      | زمان طی کردن یک سیکل (ساعت) | درصد تنظیم دستگاه |
| ۱/۳۱                              | ۳/۰۹                        | ۱۰۰               |
| ۱/۳۸                              | ۳/۲۵                        | ۹۵                |
| ۱/۴۶                              | ۳/۴۳                        | ۹۰                |
| ۱/۵۴                              | ۳/۶۳                        | ۸۵                |
| ۱/۶۴                              | ۳/۸۶                        | ۸۰                |
| ۱/۷۵                              | ۴/۱۲                        | ۷۵                |
| ۱/۸۷                              | ۴/۴۱                        | ۷۰                |
| ۲/۰۲                              | ۴/۷۵                        | ۶۵                |
| ۲/۱۹                              | ۵/۱۴                        | ۶۰                |
| ۲/۳۸                              | ۵/۶۱                        | ۵۵                |
| ۲/۶۲                              | ۶/۱۷                        | ۵۰                |
| ۲/۹۱                              | ۶/۸۶                        | ۴۵                |
| ۳/۲۸                              | ۷/۷۲                        | ۴۰                |
| ۳/۷۵                              | ۸/۸۲                        | ۳۵                |
| ۴/۳۷                              | ۱۰/۲۹                       | ۳۰                |
| ۵/۲۴                              | ۱۲/۳۵                       | ۲۵                |
| ۶/۵۶                              | ۱۵/۴۳                       | ۲۰                |
| ۸/۷۴                              | ۲۰/۵۸                       | ۱۵                |
| ۱۳/۱۱                             | ۳۰/۸۶                       | ۱۰                |
| ۲۶/۲۲                             | ۶۱/۷۳                       | ۵                 |

جدول ۷-۱۴- جدول نیاز آبی چغندر قند

| پارامترها                            | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر   | مرداد | شهریور | مهر  |
|--------------------------------------|---------|----------|-------|-------|-------|--------|------|
| ETc(mm/mon)                          | ۱۷/۷    | ۶۷/۶     | ۱۱۸/۸ | ۱۸۴/۲ | ۱۹۰/۵ | ۱۲۸/۳  | ۳۷/۸ |
| ETc(mm/day)                          | ۰/۶     | ۲/۰      | ۳/۸   | ۵/۹   | ۶/۱   | ۴/۱    | ۷/۰  |
| Ig(mm/day)                           | ۰/۸     | ۲/۶      | ۵/۱   | ۷/۹   | ۸/۲   | ۵/۵    | ۱/۴  |
| دور آبیاری (روز)                     | ۱۰      | ۲        | ۲     | ۲     | ۲     | ۲      | ۱۰   |
| عمق ناخالص در دوره آبیاری (میلی متر) | ۷/۶     | ۵/۳      | ۱۰/۲  | ۱۵/۸  | ۱۶/۴  | ۱۷/۰   | ۱۳/۷ |
| سرعت حرکت دستگاه (٪)                 | ۱۸/۰    | ۲۵/۰     | ۱۳/۰  | ۹/۰   | ۸/۰   | ۱۲/۰   | ۱۰/۰ |
| زمان چرخش                            | ۱۷/۰    | ۱۲/۰     | ۲۴/۰  | ۳۴/۰  | ۳۹/۰  | ۲۶/۰   | ۳۷/۰ |

محاسبه عمق خالص آب آبیاری

$$In = MAD \times Sa \times D = ۰/۵ \times ۱۶۰ \times ۱ = ۸۰ \text{ mm}$$

$$T \setminus = In / ETc = ۸۰ / ۱۰ = ۸$$

فاصله آبیاری ها، روز

$$T \setminus = ۲ \rightarrow ۲ = In / ۱۰ \rightarrow In = ۲۰ \text{ mm}$$

کاهش زمان آبیاری به ۲ روز

$$Ig = In / Ea = ۲۰ / ۰/۷۵ = ۲۷$$

عمق ناخالص آب آبیاری (۲روزه) - میلی متر

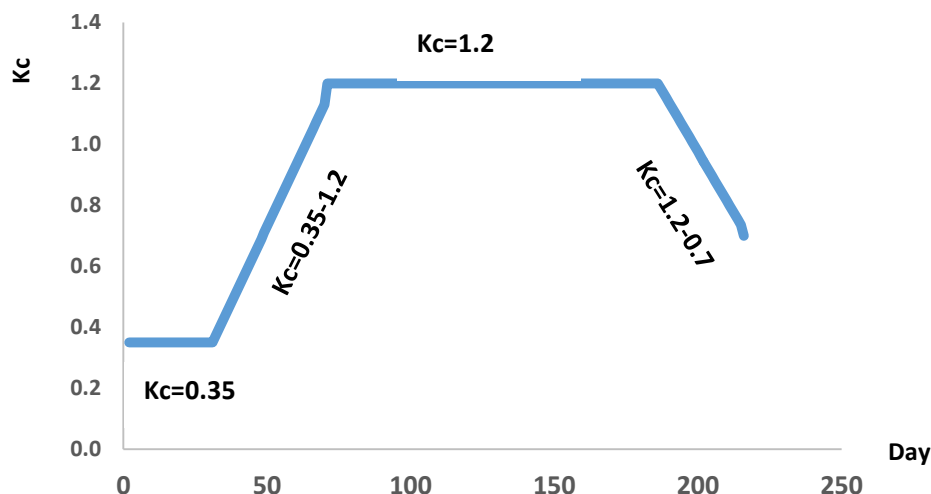
#### ■ برنامه ریزی آبیاری لینیر گیاه چغندر قند

۱- مقادیر (Kc) ضریب گیاهی چغندر قند بر اساس اطلاعات محلی و منابع معتبر جهانی (FAO56)

(Kc) دوره اولیه رشد به مدت ۳۰ روز معادل (۰/۳۵)، (Kc) دوره رشد در مرحله دوم به مدت ۴۰ روز

معادل (۰/۳۵-۰/۷۲)، Kc دوران میان فصل به مدت (۱۱۵) روز معادل (۰/۷۲) و (Kc) آخر فصل به مدت

۳۰ روز معادل (۰/۷-۰/۷۲)



| پایانی | میان فصل | رشد | اولیه | دوره رشد |
|--------|----------|-----|-------|----------|
| ۳۰     | ۱۱۵      | ۴۰  | ۳۰    | روز      |

شکل ۷-۸- منحنی مقادیر  $(K_c)$  ضریب گیاهی چغندر قند

۲-  $(ET_0)$  و  $(ET_c)$  با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسی آنلاین و با فرمول پنمن-مونتیث محاسبه شده است. در مرحله بعد با تأثیر ضریب گیاهی  $(K_c)$  در تبخیر و تعرق، پتانسیل  $(ET_0)$  مقدار تبخیر و تعرق گیاه  $(ET_c)$  محاسبه شده است. جداول (۹-۱۰) نتایج محاسبات را نشان می‌دهد.

- شروع فصل رشد چغندر قند نیمه دوم فروردین ماه (۹۹/۷/۱۷)

- پایان فصل رشد و برداشت، اواسط مهرماه (۹۹/۰۷/۳۰)

- آبیاری (۱) مدت ۱۷ ساعت معادل ۲۷ میلی‌متر در تاریخ ۹۸/۱۲/۱۵

- آبیاری (۲) و آبیاری‌های بعدی تا انتهای فصل بر اساس نیاز روزانه گیاه  $(ET_c)$  و کسر باران مؤثر بر اساس جدول (۱۰-۱۰) انجام شده است.

لازم به ذکر است که در زمان اجرای برنامه آنلاین آبیاری چغندر قند، کلیه اطلاعات هواشناسی شامل میانگین درجه حرارت، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میزان تشعشع خورشیدی یا ساعات آفتابی و بارندگی روزانه مربوط به روز قبل، هر روز صبح دریافت شده و بر اساس این اطلاعات  $(ET_0)$  و  $(ET_c)$  روزانه محاسبه می‌گردد و با جمع تبخیر و تعرق روزانه گیاه  $(ET_c)$  و رسیدن به عمق آب مورد نیاز آبیاری، آبیاری‌های بعدی صورت خواهد گرفت.

جدول (۷-۱۰) برنامه زمانی آبیاری‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، جمعاً در طول فصول رشد چغندر قند معادل ۲۱۵ روز جمعاً ۳۸ نوبت آبیاری به عمق ۲۷ میلی‌متر و به فاصله



۲ روز انجام شده و کل آب مصرفی معادل ۱۰۲۶ میلی‌متر و حجم آب آبیاری ۱۰۲۶۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شده است.

### ۷-۱۰- مثال شماره ۳

– برنامه‌ریزی آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (با فشار هماهنگ با سیستم Tape) برای ذرت علوفه‌ای پاییزه

با توجه به دوره تناوب کشت گیاهان زراعی، الگوی کشت طرح توسعه و امکان به‌کارگیری سیستم مناسب با گیاهی که در هر سال کشت می‌شود مبحث تلفیق سامانه‌های آبیاری در شبکه فرعی آبیاری تحت فشار اراضی مطرح گردیده است. جهت افزایش کارایی سامانه آبیاری بارانی و ایجاد امکان و قابلیت برای تلفیق آن با سیستم آبیاری نواری (تیپ) برای کاشت گیاهانی که قابلیت کاشت ردیفی دارند، در مثال زیر با انتخاب و طراحی حدود ۳۲ هکتار از اراضی گروه هم‌آب به بررسی امکان تلفیق دو سیستم آبیاری تحت فشار پرداخته است.

فشار موردنظر در هم‌آب در نظر گرفته در همه نقاط بالای ۴۰ متر هست. خطوط لوله آب‌ده (لترال) از لوله‌های آب‌رسان منشعب می‌گردد، جنس این لوله‌ها پلی‌اتیلن و قطر آن‌ها ثابت و با توجه به دبی آبپاش انتخابی می‌تواند ۵۰ و ۶۳ میلی‌متر باشد. این شیرهای خودکار از نوع پلیمری و با سایز ۲ اینچ در نظر گرفته شده است. آبپاش KOMET مدل ۱۶۲ با نازل ۸ میلی‌متر انتخاب شده است. دبی خروجی این آبپاش ۱/۹۳ لیتر بر ثانیه با فشار کارکرد ۴۰ متر هست.

\* فاصله آبپاش‌ها

در این طرح از آرایش مربعی با آرایش ۲۲×۲۲ متر استفاده شده است.

\* مدت‌زمان آبیاری در آبیاری بارانی

دور آبیاری در سیستم کلاسیک در ماه‌های حداکثر مصرف، برابر ۴ روز در نظر گرفته شده است. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت پاییزه، با استفاده از داده‌های آنلاین ایستگاه هواشناسی قرار است انجام شود. بدین منظور کلیه آمار روزانه این ایستگاه تهیه شده و به‌صورت الگوی برنامه‌ریزی آبیاری آنلاین با محاسبه تبخیر و تعرق روزانه گیاه (ETc) صورت گرفته است.

جدول ۷-۱۵- پارامترهای طراحی آبیاری کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک برای ذرت علوفه‌ای

| ردیف | شرح پارامتر                         | واحد   | مقدار | توضیحات                                 |
|------|-------------------------------------|--------|-------|-----------------------------------------|
| ۱    | فاصله آبیاش روی لوله لترال          | m      | ۲۲    | Sm                                      |
| ۲    | فاصله لوله‌های لترال از یکدیگر      | m      | ۲۲    | Sl                                      |
| ۳    | دبی آبیاش                           | Lit/s  | ۷۹۳   | q                                       |
| ۴    | شعاع پاشش آبیاش                     | m      | ۲۲    | Rp                                      |
| ۵    | راندمان آبیاری                      | %      | ۸۵    | Ea                                      |
| ۶    | ظرفیت ذخیره آب در خاک               | mm/m   | ۱۶۰   | TAW                                     |
| ۷    | عمق مؤثر توسعه ریشه گیاه            | m      | ۰/۷   | Z                                       |
| ۸    | درصد تخلیه مجاز رطوبت خاک           | %      | ۵۰    | MAD                                     |
| ۹    | حداکثر تبخیر و تعرق روزانه          | mm/day | ۶/۱۳  | ETc                                     |
| ۱۰   | مدت زمان آبیاری در شبانه‌روز        | hr     | ۲۰    | Ti                                      |
| ۱۱   | شدت پخش آبیاش (با همپوشانی)         | mm/hr  | ۱۴/۴  | $Imax=(q \times 3600)/(3.14 \times R2)$ |
| ۱۲   | حداکثر آب برای گیاه پرمصرف          | mm     | ۵۶    | $dx=TAW \times Z \times MAD$            |
| ۱۳   | حداکثر دور آبیاری                   | day    | ۹/۱   | $Tx=dx/ETc$                             |
| ۱۴   | دور آبیاری طراحی                    | day    | ۷     | T                                       |
| ۱۶   | عمق ناخالص آبیاری                   | mm     | ۵۰/۵  | $dg=(ETc \times T)/Ea$                  |
| ۱۷   | ساعت آبیاری                         | hr     | ۳/۵   | $ti=dg/(Imax \times 4)$                 |
| ۱۸   | ساعت آبیاری طراحی                   | hr     | ۴     | t                                       |
| ۲۰   | تعداد جابه‌جایی آبیاش در روز        |        | ۵     | $N=Ti/t$                                |
| ۲۱   | تعداد جابه‌جایی آبیاش در دور آبیاری |        | ۳۵    | $m=T \times N$                          |

### ■ عمق و زمان آبیاری ذرت

- حداکثر عمق ریشه ذرت ۷۰ سانتی‌متر

- نوع خاک (Sicl و cl) با ظرفیت نگهداری آب در خاک- ۱۶۰ میلی‌متر در یک متر خاک

- ضریب آب سهل‌الوصول یا (MAD) معادل ۵٪

- راندمان آبیاری کلاسیک ثابت برابر با ۸۵٪

- سطح تحت پوشش هر آبیاش  $(22 \times 22 = 484 \text{ m}^2)$

- دبی آبیاش  $q = 793 \text{ lit/s} \times 1000 = 6/95 \text{ m}^3/\text{hr}$

- دبی آبیاش در ساعت  $6/95 \div 484 = 4 \text{ cm/s} = 1/44 \text{ Cm/hr}$

- عمق خالص آب آبیاری - میلی‌متر  $In = MAD \times Sa \times D = 0/5 \times 160 \times 0/7 = 56 \text{ mm}$

- عمق ناخالص آب آبیاری - میلی‌متر  $Ig = In/Ea \times Cu = 56 \div (0/85) = 66 \text{ mm}$

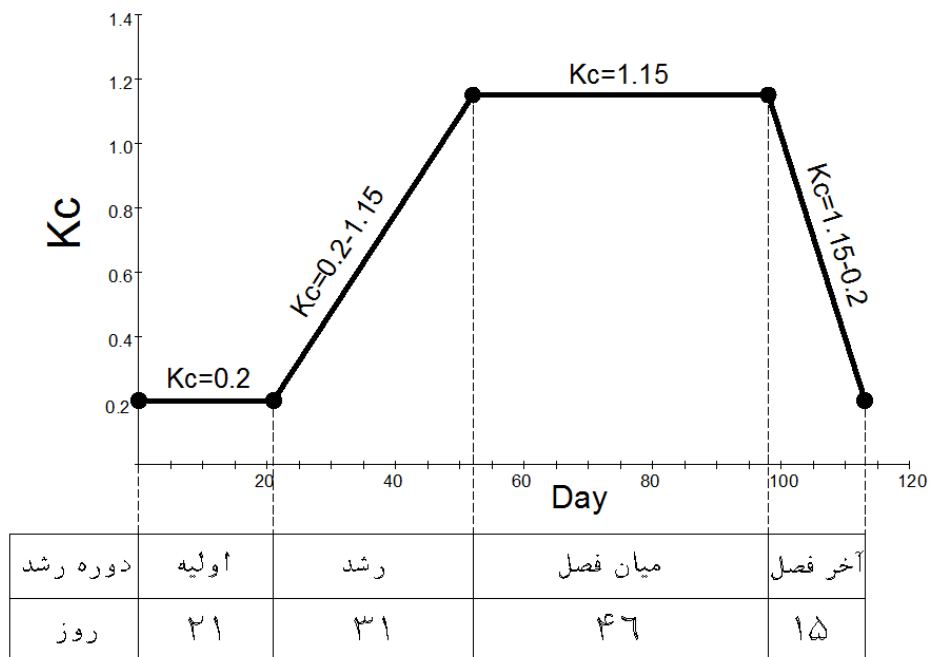
- ساعات آبیاری در روز  $66 \div (1/44 \times 10) = \text{ساعت } 4/58 \approx \text{ساعت } 5$

- در صورت آبیاری ۴ روزه زمان آبیاری چهار برابر  $5 \times 4 = 20 \text{ ساعت}$

▪ برنامه ریزی آبیاری ذرت با کلاسیک ثابت

- شروع آبیاری ۱۳۹۹/۰۴/۱۱ و آخرین آبیاری ۱۳۹۹/۰۶/۲۸

- نمودار زیر منحنی ( $Kc$ ) ذرت علوفه‌ای پائیزه



شکل ۷-۹- منحنی مقادیر ( $Kc$ ) ذرت علوفه‌ای پائیزه

- بر اساس آمار آنلاین روزانه اطلاعات هواشناسی محاسبات ( $ET0$ ) یعنی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، صورت گرفته و پس از استخراج میزان ( $Kc$ ) و با معادله  $(ETc = ET0 \times Kc)$  میزان تبخیر و تعرق گیاه ذرت پاییزه به صورت روزانه محاسبه گردیده است. جداول (۷-۱۲) تبخیر و تعرق گیاه را در ۴ دوره ( $Kc$ ) یعنی دوره اولیه رشد گیاه، دوره رشد کامل، دوره میان فصل و دوره انتهای فصل را به صورت روزانه نشان می‌دهد. همچنین در جدول شماره (۷-۱۳) آبیاری‌های انجام شده را بر اساس محاسبات ( $ETc$ ) یعنی نیاز آبی، گیاه می‌توان مشاهده نمود. به غیر از آبیاری‌های (۱) و (۲) در شروع کشت و ۲ هفته بعد از آن، بقیه آبیاری‌ها بر اساس برنامه محاسباتی و مقادیر ( $ETc$ ) صورت گرفته است. مشخصات آبیاری‌های انجام شده به شرح زیر است:

-آبیاری‌ها به مدت ۲۰ ساعت در روز طبق جدول (۷-۱۳) صورت می‌گیرد. چنانچه ملاحظه می‌گردد جمع کل آب مصرفی و یا آب موردنیاز ذرت در طول کشت پائیزه برابر است با ۳۹۶۰ مترمکعب هست. لازم به ذکر است که در زمان اجرای برنامه آنلاین آبیاری ذرت در مزرعه، کلیه اطلاعات هواشناسی شامل میانگین درجه حرارت، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میزان تشعشع خورشیدی یا ساعات آفتابی و بارندگی روزانه مربوط به روز قبل، هر روز صبح دریافت شده و بر اساس این اطلاعات ( $ET0$ ) و ( $ETc$ ) روزانه ذرت محاسبه می‌گردد و با جمع تبخیر و تعرق روزانه گیاه ( $ETc$ ) و رسیدن به عمق آب موردنیاز آبیاری، آبیاری های بعدی صورت خواهد گرفت.

| جدول ۷-۱۶- نیاز آبی دوره اولیه (ذرت) |                 |     |                 | جدول ۷-۱۷- نیاز آبی در دوره توسعه (ذرت) |                 |       |                 |
|--------------------------------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------------------------------|-----------------|-------|-----------------|
| تاریخ                                | ETo<br>(mm/day) | Kc  | ETc<br>(mm/day) | تاریخ                                   | ETo<br>(mm/day) | Kc    | ETc<br>(mm/day) |
| ۹۹/۴/۱۱                              | ۷/۱۸            | -/۲ | ۷/۴۴            | ۹۹/۵/۱                                  | ۷/۴۱            | -/۲۳  | ۷/۷۱            |
| ۹۹/۴/۱۲                              | ۵/۰۶            | -/۲ | ۷/۰۱            | ۹۹/۵/۲                                  | ۴/۹۸            | -/۲۶  | ۷/۳۰            |
| ۹۹/۴/۱۳                              | ۶/۶۵            | -/۲ | ۷/۳۳            | ۹۹/۵/۳                                  | ۵/۷۷            | -/۲۹  | ۷/۶۸            |
| ۹۹/۴/۱۴                              | ۶/۷             | -/۲ | ۷/۳۴            | ۹۹/۵/۴                                  | ۵/۲             | -/۳۲  | ۷/۶۸            |
| ۹۹/۴/۱۵                              | ۶/۷۹            | -/۲ | ۷/۳۶            | ۹۹/۵/۵                                  | ۶/۷۳            | -/۳۵  | ۷/۳۸            |
| ۹۹/۴/۱۶                              | ۷/۸             | -/۲ | ۷/۵۶            | ۹۹/۵/۶                                  | ۸/۲۶            | -/۳۸  | ۳/۱۷            |
| ۹۹/۴/۱۷                              | ۸/۰۶            | -/۲ | ۷/۶۱            | ۹۹/۵/۷                                  | ۷/۶۲            | -/۴۱  | ۳/۱۶            |
| ۹۹/۴/۱۸                              | ۷/۲۹            | -/۲ | ۷/۴۶            | ۹۹/۵/۸                                  | ۴/۹۶            | -/۴۵  | ۲/۲۱            |
| ۹۹/۴/۱۹                              | ۷/۴۵            | -/۲ | ۷/۴۹            | ۹۹/۵/۹                                  | ۶               | -/۴۸  | ۲/۸۵            |
| ۹۹/۴/۲۰                              | ۶/۴۳            | -/۲ | ۷/۲۹            | ۹۹/۵/۱۰                                 | ۶/۳۸            | -/۵۱  | ۳/۲۳            |
| ۹۹/۴/۲۱                              | ۶/۴۴            | -/۲ | ۷/۲۹            | ۹۹/۵/۱۱                                 | ۵/۶۲            | -/۵۴  | ۳/۰۲            |
| ۹۹/۴/۲۲                              | ۶/۳۵            | -/۲ | ۷/۲۷            | ۹۹/۵/۱۲                                 | ۶/۳۹            | -/۵۷  | ۷/۶۳            |
| ۹۹/۴/۲۳                              | ۶/۸۴            | -/۲ | ۷/۳۷            | ۹۹/۵/۱۳                                 | ۴/۴۲            | -/۶۰  | ۲/۶۴            |
| ۹۹/۴/۲۴                              | ۶/۴۹            | -/۲ | ۷/۳۰            | ۹۹/۵/۱۴                                 | ۵/۶۴            | -/۶۳  | ۳/۵۵            |
| ۹۹/۴/۲۵                              | ۶/۹۶            | -/۲ | ۷/۳۹            | ۹۹/۵/۱۵                                 | ۵/۵۲            | -/۶۶  | ۳/۶۴            |
| ۹۹/۴/۲۶                              | ۷/۷۱            | -/۲ | ۷/۵۴            | ۹۹/۵/۱۶                                 | ۶/۵۹            | -/۶۹  | ۴/۵۵            |
| ۹۹/۴/۲۷                              | ۷/۷۲            | -/۲ | ۷/۵۴            | ۹۹/۵/۱۷                                 | ۶/۷۳            | -/۷۲  | ۴/۸۵            |
| ۹۹/۴/۲۸                              | ۶/۸۲            | -/۲ | ۷/۳۶            | ۹۹/۵/۱۸                                 | ۷/۱۸            | -/۷۵  | ۵/۴۰            |
| ۹۹/۴/۲۹                              | ۶/۸۷            | -/۲ | ۷/۳۷            | ۹۹/۵/۱۹                                 | ۷/۱۸            | -/۷۸  | ۵/۶۲            |
| ۹۹/۴/۳۰                              | ۵/۷۷            | -/۲ | ۷/۱۵            | ۹۹/۵/۲۰                                 | ۶/۵۲            | -/۸۱  | ۵/۳۰            |
| ۹۹/۴/۳۱                              | ۶/۰۵            | -/۲ | ۷/۲۱            | ۹۹/۵/۲۱                                 | ۳/۸۹            | -/۸۴  | ۳/۲۸            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۲                                 | ۵/۸۹            | -/۸۷  | ۵/۱۵            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۳                                 | ۵/۹۷            | -/۹۰  | ۵/۴             |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۴                                 | ۴/۳۳            | -/۹۴  | ۴/۰۵            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۵                                 | ۳/۷۵            | -/۹۷  | ۳/۶۲            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۶                                 | ۳/۲۶            | -/۱۰۰ | ۳/۲۵            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۷                                 | ۲/۹             | -/۱۰۳ | ۲/۹۸            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۸                                 | ۳/۳۴            | -/۱۰۶ | ۳/۵۳            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۲۹                                 | ۳/۲۳            | -/۱۰۹ | ۳/۵۲            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۳۰                                 | ۵/۶             | -/۱۱۲ | ۶/۲۷            |
|                                      |                 |     |                 | ۹۹/۵/۳۱                                 | ۵/۴۴            | -/۱۱۵ | ۶/۲۶            |

جدول ۷-۱۹- نیاز آبی دوره انتهای فصل (ذرت)

| تاریخ   | ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) |
|---------|-----------------|------|-----------------|
| ۹۹/۷/۱۶ | ۷/۴۵            | ۷/۰۹ | ۷/۵۸            |
| ۹۹/۷/۱۷ | ۲/۴۹            | ۷/۰۲ | ۲/۵۵            |
| ۹۹/۷/۱۸ | ۲/۷۷            | ۰/۹۶ | ۲/۶۶            |
| ۹۹/۷/۱۹ | ۲/۶۲            | ۰/۹۰ | ۲/۳۵            |
| ۹۹/۷/۲۰ | ۲/۰۴            | ۰/۸۳ | ۷/۷۰            |
| ۹۹/۷/۲۱ | ۲/۲۷            | ۰/۷۷ | ۷/۷۵            |
| ۹۹/۷/۲۲ | ۲/۵۵            | ۰/۷۱ | ۷/۸۰            |
| ۹۹/۷/۲۳ | ۲/۳۴            | ۰/۶۴ | ۷/۵۱            |
| ۹۹/۷/۲۴ | ۲/۰۷            | ۰/۵۸ | ۷/۲۰            |
| ۹۹/۷/۲۵ | ۲/۷۳            | ۰/۵۲ | ۷/۴۱            |
| ۹۹/۷/۲۶ | ۲/۷۸            | ۰/۴۵ | ۷/۲۶            |
| ۹۹/۷/۲۷ | ۷/۷             | ۰/۳۹ | ۰/۶۶            |
| ۹۹/۷/۲۸ | ۲/۴۶            | ۰/۳۳ | ۰/۸۰            |
| ۹۹/۷/۲۹ | ۲/۴۹            | ۰/۲۶ | ۰/۹۳            |
| ۹۹/۷/۳۰ | ۷/۵۶            | ۰/۲۰ | ۰/۳۱            |

جدول ۷-۱۸- نیاز آبی میان فصل (ذرت)

| تاریخ   | ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) |
|---------|-----------------|------|-----------------|
| ۹۹/۶/۱  | ۷/۱۲            | ۷/۱۵ | ۸/۱۹            |
| ۹۹/۶/۲  | ۷/۷۴            | ۷/۱۵ | ۲/۰۰            |
| ۹۹/۶/۳  | ۳/۲۶            | ۷/۱۵ | ۳/۷۵            |
| ۹۹/۶/۴  | ۴/۴۴            | ۷/۱۵ | ۵/۱۱            |
| ۹۹/۶/۵  | ۴/۶۶            | ۷/۱۵ | ۵/۳۶            |
| ۹۹/۶/۶  | ۴/۲۸            | ۷/۱۵ | ۴/۹۲            |
| ۹۹/۶/۷  | ۴/۸۳            | ۷/۱۵ | ۵/۵۵            |
| ۹۹/۶/۸  | ۵/۵۴            | ۷/۱۵ | ۶/۳۷            |
| ۹۹/۶/۹  | ۵/۳۹            | ۷/۱۵ | ۶/۲۰            |
| ۹۹/۶/۱۰ | ۴/۴۷            | ۷/۱۵ | ۵/۱۴            |
| ۹۹/۶/۱۱ | ۴/۳۹            | ۷/۱۵ | ۵/۰۵            |
| ۹۹/۶/۱۲ | ۴/۶۸            | ۷/۱۵ | ۵/۳۸            |
| ۹۹/۶/۱۳ | ۳/۴۲            | ۷/۱۵ | ۳/۹۳            |
| ۹۹/۶/۱۴ | ۴/۷۷            | ۷/۱۵ | ۵/۴۹            |
| ۹۹/۶/۱۵ | ۵/۰۷            | ۷/۱۵ | ۵/۸۳            |
| ۹۹/۶/۱۶ | ۴/۳۴            | ۷/۱۵ | ۴/۹۹            |
| ۹۹/۶/۱۷ | ۴/۲۶            | ۷/۱۵ | ۴/۹۰            |
| ۹۹/۶/۱۸ | ۵/۲۷            | ۷/۱۵ | ۶/۰۶            |
| ۹۹/۶/۱۹ | ۴/۸۹            | ۷/۱۵ | ۵/۶۲            |
| ۹۹/۶/۲۰ | ۵/۳۴            | ۷/۱۵ | ۶/۱۴            |
| ۹۹/۶/۲۱ | ۴/۵۲            | ۷/۱۵ | ۵/۲۰            |
| ۹۹/۶/۲۲ | ۳/۷             | ۷/۱۵ | ۴/۳۶            |
| ۹۹/۶/۲۳ | ۴/۱۵            | ۷/۱۵ | ۴/۷۷            |
| ۹۹/۶/۲۴ | ۴/۱۹            | ۷/۱۵ | ۴/۲۸            |
| ۹۹/۶/۲۵ | ۴/۹۸            | ۷/۱۵ | ۵/۷۳            |
| ۹۹/۶/۲۶ | ۴/۱۴            | ۷/۱۵ | ۴/۷۶            |
| ۹۹/۶/۲۷ | ۴/۳۱            | ۷/۱۵ | ۴/۹۶            |
| ۹۹/۶/۲۸ | ۳/۴۴            | ۷/۱۵ | ۳/۹۶            |
| ۹۹/۶/۲۹ | ۶/۱۷            | ۷/۱۵ | ۷/۱۰            |
| ۹۹/۶/۳۰ | ۲/۵۱            | ۷/۱۵ | ۲/۸۹            |
| ۹۹/۶/۳۱ | ۷/۱۷            | ۷/۱۵ | ۷/۳۵            |
| ۹۹/۷/۱  | ۷/۶             | ۷/۱۵ | ۷/۸۴            |
| ۹۹/۷/۲  | ۷/۳۶            | ۷/۱۵ | ۷/۵۶            |
| ۹۹/۷/۳  | ۲/۸             | ۷/۱۵ | ۳/۲۲            |
| ۹۹/۷/۴  | ۳/۶۳            | ۷/۱۵ | ۴/۱۷            |
| ۹۹/۷/۵  | ۳/۷۴            | ۷/۱۵ | ۴/۳۰            |
| ۹۹/۷/۶  | ۳/۸۴            | ۷/۱۵ | ۴/۴۲            |
| ۹۹/۷/۷  | ۳/۷             | ۷/۱۵ | ۴/۲۶            |
| ۹۹/۷/۸  | ۳/۴۵            | ۷/۱۵ | ۳/۹۷            |
| ۹۹/۷/۹  | ۳/۳             | ۷/۱۵ | ۳/۸۰            |
| ۹۹/۷/۱۰ | ۲/۸۶            | ۷/۱۵ | ۳/۲۹            |
| ۹۹/۷/۱۱ | ۲/۹۴            | ۷/۱۵ | ۳/۳۸            |
| ۹۹/۷/۱۲ | ۳/۵۲            | ۷/۱۵ | ۴/۰۵            |
| ۹۹/۷/۱۳ | ۷/۸۴            | ۷/۱۵ | ۲/۱۲            |
| ۹۹/۷/۱۴ | ۷/۰۹            | ۷/۱۵ | ۷/۲۵            |
| ۹۹/۷/۱۵ | ۷/۰۱            | ۷/۱۵ | ۷/۱۶            |

جدول ۷-۲۱- نیاز آبی در دوره توسعه (گندم پاییزه)

| ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) | تاریخ    |
|-----------------|------|-----------------|----------|
| ۰/۲۷            | ۰/۷۰ | ۰/۳۸            | ۹۸/۱۰/۲۱ |
| ۰/۴۷            | ۰/۷۱ | ۰/۶۷            | ۹۸/۱۰/۲۲ |
| ۰/۷۵            | ۰/۷۲ | ۱/۰۵            | ۹۸/۱۰/۲۳ |
| ۰/۵۲            | ۰/۷۲ | ۰/۷۲            | ۹۸/۱۰/۲۴ |
| ۱/۰۰            | ۰/۷۳ | ۱/۳۷            | ۹۸/۱۰/۲۵ |
| ۰/۳۱            | ۰/۷۴ | ۰/۴۲            | ۹۸/۱۰/۲۶ |
| ۰/۳۷            | ۰/۷۵ | ۰/۵             | ۹۸/۱۰/۲۷ |
| ۰/۳۳            | ۰/۷۵ | ۰/۴۴            | ۹۸/۱۰/۲۸ |
| ۰/۵۷            | ۰/۷۶ | ۰/۷۵            | ۹۸/۱۰/۲۹ |
| ۰/۴۸            | ۰/۷۷ | ۰/۶۲            | ۹۸/۱۰/۳۰ |
| ۰/۴۳            | ۰/۷۷ | ۰/۵۵            | ۹۸/۱۱/۱  |
| ۰/۷۱            | ۰/۷۸ | ۰/۹۱            | ۹۸/۱۱/۲  |
| ۱/۱۶            | ۰/۷۹ | ۱/۴۷            | ۹۸/۱۱/۳  |
| ۱/۶۴            | ۰/۸۰ | ۲/۰۶            | ۹۸/۱۱/۴  |
| ۱/۴۴            | ۰/۸۰ | ۱/۷۹            | ۹۸/۱۱/۵  |
| ۰/۹۴            | ۰/۸۱ | ۱/۱۶            | ۹۸/۱۱/۶  |
| ۱/۸۹            | ۰/۸۲ | ۲/۳             | ۹۸/۱۱/۷  |
| ۱/۱۰            | ۰/۸۳ | ۱/۳۳            | ۹۸/۱۱/۸  |
| ۱/۲۲            | ۰/۸۳ | ۱/۴۶            | ۹۸/۱۱/۹  |
| ۱/۲۰            | ۰/۸۴ | ۱/۴۲            | ۹۸/۱۱/۱۰ |
| ۲/۴۳            | ۰/۸۵ | ۲/۸۶            | ۹۸/۱۱/۱۱ |
| ۲/۱۹            | ۰/۸۶ | ۲/۵۵            | ۹۸/۱۱/۱۲ |
| ۰/۶۱            | ۰/۸۶ | ۰/۷۱            | ۹۸/۱۱/۱۳ |
| ۱/۰۴            | ۰/۸۷ | ۱/۱۹            | ۹۸/۱۱/۱۴ |
| ۲/۳۳            | ۰/۸۸ | ۲/۶۵            | ۹۸/۱۱/۱۵ |
| ۳/۵۳            | ۰/۸۹ | ۳/۹۸            | ۹۸/۱۱/۱۶ |
| ۱/۵۴            | ۰/۸۹ | ۱/۷۲            | ۹۸/۱۱/۱۷ |
| ۳/۶۷            | ۰/۹۰ | ۴/۰۷            | ۹۸/۱۱/۱۸ |
| ۵/۳۶            | ۰/۹۱ | ۵/۸۹            | ۹۸/۱۱/۱۹ |
| ۱/۵۹            | ۰/۹۲ | ۱/۷۳            | ۹۸/۱۱/۲۰ |
| ۰/۶۳            | ۰/۹۲ | ۰/۶۸            | ۹۸/۱۱/۲۱ |

جدول ۷-۲۰- نیاز آبی دوره اولیه (گندم پاییزه)

| ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) | تاریخ    |
|-----------------|------|-----------------|----------|
| ۰/۳۲            | ۰/۷۰ | ۰/۴۵            | ۹۸/۱۰/۱  |
| ۰/۲۱            | ۰/۷۰ | ۰/۳             | ۹۸/۱۰/۲  |
| ۰/۱۵            | ۰/۷۰ | ۰/۲۱            | ۹۸/۱۰/۳  |
| ۰/۵۸            | ۰/۷۰ | ۰/۸۳            | ۹۸/۱۰/۴  |
| ۰/۴۱            | ۰/۷۰ | ۰/۵۸            | ۹۸/۱۰/۵  |
| ۰/۵۰            | ۰/۷۰ | ۰/۷۱            | ۹۸/۱۰/۶  |
| ۰/۴۴            | ۰/۷۰ | ۰/۶۳            | ۹۸/۱۰/۷  |
| ۰/۳۶            | ۰/۷۰ | ۰/۵۱            | ۹۸/۱۰/۸  |
| ۰/۲۹            | ۰/۷۰ | ۰/۴۲            | ۹۸/۱۰/۹  |
| ۰/۲۵            | ۰/۷۰ | ۰/۳۶            | ۹۸/۱۰/۱۰ |
| ۰/۳۵            | ۰/۷۰ | ۰/۵             | ۹۸/۱۰/۱۱ |
| ۰/۷۶            | ۰/۷۰ | ۱/۰۸            | ۹۸/۱۰/۱۲ |
| ۰/۸۱            | ۰/۷۰ | ۱/۱۶            | ۹۸/۱۰/۱۳ |
| ۰/۴۷            | ۰/۷۰ | ۰/۶۷            | ۹۸/۱۰/۱۴ |
| ۰/۲۵            | ۰/۷۰ | ۰/۳۶            | ۹۸/۱۰/۱۵ |
| ۰/۵۰            | ۰/۷۰ | ۰/۷۱            | ۹۸/۱۰/۱۶ |
| ۰/۵۹            | ۰/۷۰ | ۰/۸۴            | ۹۸/۱۰/۱۷ |
| ۰/۵۸            | ۰/۷۰ | ۰/۸۳            | ۹۸/۱۰/۱۸ |
| ۰/۵۱            | ۰/۷۰ | ۰/۷۳            | ۹۸/۱۰/۱۹ |
| ۰/۲۹            | ۰/۷۰ | ۰/۴۱            | ۹۸/۱۰/۲۰ |

جدول ۷-۲۲- نیاز آبی دوره میان فصل (گندم پاییزه)

| ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) | تاریخ    |
|-----------------|------|-----------------|----------|
| ۷۹۳             | ۱/۱۵ | ۷۶۸             | ۹۸/۱۲/۲۴ |
| ۳/۰۴            | ۱/۱۵ | ۲/۶۴            | ۹۸/۱۲/۲۵ |
| ۷۵۵             | ۱/۱۵ | ۷۳۵             | ۹۸/۱۲/۲۶ |
| ۷۹۹             | ۱/۱۵ | ۷۷۳             | ۹۸/۱۲/۲۷ |
| ۷۱۴             | ۱/۱۵ | ۰/۹۹            | ۹۸/۱۲/۲۸ |
| ۷۴۷             | ۱/۱۵ | ۷۲۸             | ۹۸/۱۲/۲۹ |
| ۷۶۷             | ۱/۱۵ | ۷۴۵             | ۹۹/۱/۱   |
| ۷۰۴             | ۱/۱۵ | ۰/۹             | ۹۹/۱/۲   |
| ۷۲۴             | ۱/۱۵ | ۷۰۸             | ۹۹/۱/۳   |
| ۳/۱۵            | ۱/۱۵ | ۲/۷۴            | ۹۹/۱/۴   |
| ۲/۵۹            | ۱/۱۵ | ۲/۲۵            | ۹۹/۱/۵   |
| ۲/۴۳            | ۱/۱۵ | ۲/۱۱            | ۹۹/۱/۶   |
| ۳/۰۹            | ۱/۱۵ | ۲/۶۹            | ۹۹/۱/۷   |
| ۲/۹۶            | ۱/۱۵ | ۲/۵۷            | ۹۹/۱/۸   |
| ۷۷۰             | ۱/۱۵ | ۷۴۸             | ۹۹/۱/۹   |
| ۷۴۴             | ۱/۱۵ | ۷۲۵             | ۹۹/۱/۱۰  |
| ۳/۷۰            | ۱/۱۵ | ۳/۲۲            | ۹۹/۱/۱۱  |
| ۳/۶۳            | ۱/۱۵ | ۳/۱۶            | ۹۹/۱/۱۲  |
| ۲/۸۵            | ۱/۱۵ | ۲/۴۸            | ۹۹/۱/۱۳  |
| ۲/۷۹            | ۱/۱۵ | ۲/۴۳            | ۹۹/۱/۱۴  |
| ۲/۳۵            | ۱/۱۵ | ۲/۰۴            | ۹۹/۱/۱۵  |
| ۷۱۰             | ۱/۱۵ | ۰/۹۶            | ۹۹/۱/۱۶  |
| ۲/۸۶            | ۱/۱۵ | ۲/۴۹            | ۹۹/۱/۱۷  |
| ۷۴۳             | ۱/۱۵ | ۷۲۴             | ۹۹/۱/۱۸  |
| ۰/۸۶            | ۱/۱۵ | ۰/۷۵            | ۹۹/۱/۱۹  |
| ۷/۳۲            | ۱/۱۵ | ۷/۱۵            | ۹۹/۱/۲۰  |
| ۲/۰۸            | ۱/۱۵ | ۷/۸۱            | ۹۹/۱/۲۱  |
| ۲/۲۰            | ۱/۱۵ | ۷/۹۱            | ۹۹/۱/۲۲  |
| ۳/۰۲            | ۱/۱۵ | ۲/۶۳            | ۹۹/۱/۲۳  |
| ۳/۵۹            | ۱/۱۵ | ۳/۱۲            | ۹۹/۱/۲۴  |
| ۳/۵۰            | ۱/۱۵ | ۳/۰۴            | ۹۹/۱/۲۵  |
| ۳/۴۷            | ۱/۱۵ | ۳/۰۲            | ۹۹/۱/۲۶  |

ادامه جدول ۷-۲۱- نیاز آبی دوره توسعه (گندم پاییزه)

| ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) | تاریخ    |
|-----------------|------|-----------------|----------|
| ۰/۴۸            | ۰/۹۳ | ۰/۵۱            | ۹۸/۱۲/۲۲ |
| ۷۰۷             | ۰/۹۴ | ۷/۱۴            | ۹۸/۱۲/۲۳ |
| ۲/۴۰            | ۰/۹۵ | ۲/۵۳            | ۹۸/۱۲/۲۴ |
| ۷۵۹             | ۰/۹۵ | ۷/۶۷            | ۹۸/۱۲/۲۵ |
| ۷۷۳             | ۰/۹۶ | ۷/۸             | ۹۸/۱۲/۲۶ |
| ۷۴۷             | ۰/۹۷ | ۷/۵۲            | ۹۸/۱۲/۲۷ |
| ۷۴۱             | ۰/۹۸ | ۷/۴۴            | ۹۸/۱۲/۲۸ |
| ۰/۹۰            | ۰/۹۸ | ۰/۹۱            | ۹۸/۱۲/۲۹ |
| ۷/۶             | ۰/۹۹ | ۷/۶۱            | ۹۸/۱۲/۳۰ |
| ۷/۵۱            | ۷/۰۰ | ۷/۵۱            | ۹۸/۱۲/۱  |
| ۰/۷۳            | ۷/۰۱ | ۰/۷۲            | ۹۸/۱۲/۲  |
| ۷۴۷             | ۷/۰۲ | ۷/۴۵            | ۹۸/۱۲/۳  |
| ۰/۸۵            | ۷/۰۲ | ۰/۸۳            | ۹۸/۱۲/۴  |
| ۷/۸۸            | ۷/۰۳ | ۷/۸۳            | ۹۸/۱۲/۵  |
| ۷/۳۸            | ۷/۰۴ | ۷/۳۳            | ۹۸/۱۲/۶  |
| ۳/۹۳            | ۷/۰۵ | ۳/۷۶            | ۹۸/۱۲/۷  |
| ۷/۸۴            | ۷/۰۵ | ۷/۷۵            | ۹۸/۱۲/۸  |
| ۲/۵۹            | ۷/۰۶ | ۲/۴۴            | ۹۸/۱۲/۹  |
| ۳/۲۶            | ۷/۰۷ | ۳/۰۵            | ۹۸/۱۲/۱۰ |
| ۲/۸۰            | ۷/۰۸ | ۲/۶             | ۹۸/۱۲/۱۱ |
| ۰/۸۷            | ۷/۰۸ | ۰/۸             | ۹۸/۱۲/۱۲ |
| ۲/۱۴            | ۷/۰۹ | ۷/۹۶            | ۹۸/۱۲/۱۳ |
| ۷۹۴             | ۷/۱۰ | ۷/۷۷            | ۹۸/۱۲/۱۴ |
| ۲/۳۰            | ۷/۱۱ | ۲/۰۸            | ۹۸/۱۲/۱۵ |
| ۷۴۹             | ۷/۱۱ | ۷/۳۴            | ۹۸/۱۲/۱۶ |
| ۷/۱۳            | ۷/۱۲ | ۷/۰۱            | ۹۸/۱۲/۱۷ |
| ۲/۳۸            | ۷/۱۳ | ۲/۱۱            | ۹۸/۱۲/۱۸ |
| ۷/۶۳            | ۷/۱۴ | ۷/۴۴            | ۹۸/۱۲/۱۹ |
| ۷/۵۱            | ۷/۱۵ | ۷/۳۱            | ۹۸/۱۲/۲۰ |
| ۲/۳۹            | ۷/۱۵ | ۲/۰۸            | ۹۸/۱۲/۲۱ |
| ۳/۵۷            | ۷/۱۵ | ۳/۱             | ۹۸/۱۲/۲۲ |
| ۳/۱۹            | ۷/۱۵ | ۲/۷۷            | ۹۸/۱۲/۲۳ |



ادامه جدول ۷-۲۲- نیاز آبی دوره میان فصل (گندم پاییزه)

| تاریخ   | ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) |
|---------|-----------------|------|-----------------|
| ۹۹/۱/۲۷ | ۳/۵۷            | ۷/۱۵ | ۷/۳             |
| ۹۹/۱/۲۸ | ۴/۶۹            | ۷/۱۵ | ۴/۰۸            |
| ۹۹/۱/۲۹ | ۴/۰۳            | ۷/۱۵ | ۳/۵             |
| ۹۹/۱/۳۰ | ۴/۶۷            | ۷/۱۵ | ۴/۰۶            |
| ۹۹/۱/۳۱ | ۴/۰۵            | ۷/۱۵ | ۳/۵۲            |
| ۹۹/۲/۱  | ۵/۶۱            | ۷/۱۵ | ۴/۸۸            |
| ۹۹/۲/۲  | ۵/۳۹            | ۷/۱۵ | ۴/۶۹            |
| ۹۹/۲/۳  | ۴/۰۶            | ۷/۱۵ | ۳/۵۳            |
| ۹۹/۲/۴  | ۷/۳۲            | ۷/۱۵ | ۷/۱۵            |
| ۹۹/۲/۵  | ۷/۳۶            | ۷/۱۵ | ۷/۱۸            |
| ۹۹/۲/۶  | ۷/۵۵            | ۷/۱۵ | ۷/۳۵            |
| ۹۹/۲/۷  | ۴/۱۳            | ۷/۱۵ | ۳/۵۹            |
| ۹۹/۲/۸  | ۵/۲۰            | ۷/۱۵ | ۴/۵۲            |
| ۹۹/۲/۹  | ۳/۵۴            | ۷/۱۵ | ۳/۰۸            |
| ۹۹/۲/۱۰ | ۴/۵۰            | ۷/۱۵ | ۳/۹۱            |
| ۹۹/۲/۱۱ | ۴/۷۶            | ۷/۱۵ | ۴/۱۴            |
| ۹۹/۲/۱۲ | ۴/۴۳            | ۷/۱۵ | ۳/۸۵            |
| ۹۹/۲/۱۳ | ۲/۱۹            | ۷/۱۵ | ۷/۹             |
| ۹۹/۲/۱۴ | ۴/۹۰            | ۷/۱۵ | ۴/۲۶            |
| ۹۹/۲/۱۵ | ۵/۲۳            | ۷/۱۵ | ۴/۵۵            |
| ۹۹/۲/۱۶ | ۴/۲۳            | ۷/۱۵ | ۳/۶۸            |
| ۹۹/۲/۱۷ | ۲/۱۶            | ۷/۱۵ | ۷/۸۸            |
| ۹۹/۲/۱۸ | ۲/۷۳            | ۷/۱۵ | ۲/۳۷            |
| ۹۹/۲/۱۹ | ۵/۹۵            | ۷/۱۵ | ۵/۱۷            |
| ۹۹/۲/۲۰ | ۳/۱۹            | ۷/۱۵ | ۲/۷۷            |
| ۹۹/۲/۲۱ | ۷/۸۴            | ۷/۱۵ | ۷/۶             |
| ۹۹/۲/۲۲ | ۲/۷۵            | ۷/۱۵ | ۲/۳۹            |
| ۹۹/۲/۲۳ | ۵/۳۵            | ۷/۱۵ | ۴/۶۵            |
| ۹۹/۲/۲۴ | ۴/۸۵            | ۷/۱۵ | ۴/۲۲            |
| ۹۹/۲/۲۵ | ۶/۰۱            | ۷/۱۵ | ۵/۲۳            |
| ۹۹/۲/۲۶ | ۴/۷۳            | ۷/۱۵ | ۴/۱۱            |
| ۹۹/۲/۲۷ | ۷/۱۵            | ۷/۱۵ | ۶/۲۲            |

جدول ۷-۲۳- نیاز آبی دوره پایانی (گندم پاییزه)

| تاریخ   | ETc<br>(mm/day) | Kc   | ETo<br>(mm/day) |
|---------|-----------------|------|-----------------|
| ۹۹/۲/۲۸ | ۹/۰۰            | ۷/۱۵ | ۷/۸۳            |
| ۹۹/۲/۲۹ | ۵/۲۴            | ۷/۱۵ | ۴/۵۶            |
| ۹۹/۲/۳۰ | ۷/۷۳            | ۷/۱۵ | ۶/۷۲            |
| ۹۹/۲/۳۱ | ۵/۶۱            | ۷/۱۵ | ۴/۸۸            |
| ۹۹/۳/۱  | ۶/۹۵            | ۷/۱۲ | ۶/۱۹            |
| ۹۹/۳/۲  | ۵/۷۰            | ۷/۱۰ | ۵/۲             |
| ۹۹/۳/۳  | ۶/۷۵            | ۷/۰۷ | ۶/۳۱            |
| ۹۹/۳/۴  | ۵/۰۰            | ۷/۰۴ | ۴/۷۹            |
| ۹۹/۳/۵  | ۵/۰۹            | ۷/۰۲ | ۵/۰۱            |
| ۹۹/۳/۶  | ۷/۷۶            | -/۹۹ | ۷/۸۴            |
| ۹۹/۳/۷  | ۶/۰۳            | -/۹۶ | ۶/۲۶            |
| ۹۹/۳/۸  | ۵/۸۲            | -/۹۴ | ۶/۲۱            |
| ۹۹/۳/۹  | ۴/۹۰            | -/۹۱ | ۵/۳۸            |
| ۹۹/۳/۱۰ | ۷/۷۷            | -/۸۸ | ۸/۸             |
| ۹۹/۳/۱۱ | ۷/۴۰            | -/۸۶ | ۸/۶۴            |
| ۹۹/۳/۱۲ | ۵/۸۳            | -/۸۳ | ۷/۰۳            |
| ۹۹/۳/۱۳ | ۵/۶۰            | -/۸۰ | ۶/۹۷            |
| ۹۹/۳/۱۴ | ۶/۰۲            | -/۷۸ | ۷/۷۵            |
| ۹۹/۳/۱۵ | ۶/۳۲            | -/۷۵ | ۸/۴۳            |
| ۹۹/۳/۱۶ | ۵/۶۹            | -/۷۲ | ۷/۸۶            |
| ۹۹/۳/۱۷ | ۴/۰۳            | -/۷۰ | ۵/۷۸            |
| ۹۹/۳/۱۸ | ۴/۴۶            | -/۶۷ | ۶/۶۶            |
| ۹۹/۳/۱۹ | ۴/۵۷            | -/۶۴ | ۷/۱۱            |
| ۹۹/۳/۲۰ | ۴/۳۸            | -/۶۲ | ۷/۱             |
| ۹۹/۳/۲۱ | ۳/۹۰            | -/۵۹ | ۶/۶۱            |
| ۹۹/۳/۲۲ | ۳/۸۷            | -/۵۶ | ۶/۸۷            |
| ۹۹/۳/۲۳ | ۳/۴۹            | -/۵۴ | ۶/۵             |
| ۹۹/۳/۲۴ | ۴/۲۵            | -/۵۱ | ۸/۳۳            |
| ۹۹/۳/۲۵ | ۳/۹۱            | -/۴۸ | ۸/۰۹            |
| ۹۹/۳/۲۶ | ۳/۷۲            | -/۴۶ | ۸/۱۵            |
| ۹۹/۳/۲۷ | ۴/۱۷            | -/۴۳ | ۹/۶۹            |
| ۹۹/۳/۲۸ | ۲/۸۲            | -/۴۰ | ۷               |
| ۹۹/۳/۲۹ | ۲/۶۵            | -/۳۵ | ۷/۵۸            |

جدول ۷-۲۴- برنامه‌ریزی آبیاری ذرت

| ردیف                      | تاریخ   | دوره  | ساعت | عمق ناخالص آبیاری (mm) |
|---------------------------|---------|-------|------|------------------------|
| ۱                         | ۹۹/۴/۱۱ | اولیه | ۲۰   | ۶۶                     |
| ۲                         | ۹۹/۵/۱۵ | توسعه | ۲۰   | ۶۶                     |
| ۳                         | ۹۹/۵/۳۰ | توسعه | ۲۰   | ۶۶                     |
| ۴                         | ۹۹/۶/۳  | میانی | ۲۰   | ۶۶                     |
| ۵                         | ۹۹/۶/۱۵ | میانی | ۲۰   | ۶۶                     |
| ۶                         | ۹۹/۶/۲۸ | میانی | ۲۰   | ۶۶                     |
| جمع کل معادل ۲۹۶۰ مترمکعب |         |       |      | ۲۹۶                    |

## ۷-۱۱- مثال شماره ۴

– برنامه‌ریزی آبیاری بارانی گان مجهز به اسپریر برای گیاه گندم پاییزه (دشت مغان)  
 دستگاه آبیاری آبفشان قرقره‌ای شامل یک لوله پلی‌اتیلن طولی پیچیده شده به دور یک قرقره و یک بوم آبیاری سوار بر روی یک ارباب هست که بر اثر عبور آب از گیربکس تعبیه شده روی قرقره آبیاری، لوله جمع و بالطبع عمل آبیاری انجام می‌گردد. طول لوله‌های آبیاری از ۱۶۰ تا ۸۵۰ متر و ضخامت لوله از سایز ۵۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر بر اساس شکل زمین و نیاز آبی متغیر و قابل انتخاب هست. میزان آبدهی ۵ تا ۱۰ لیتر بر ثانیه متغیر است. ضخامت لوله بین ۸۲ تا ۱۰۰ میلی‌متر متغیر است.  
 مزارع گندم پاییزه را می‌توان با استفاده از سامانه گان مجهز به اسپریر آبیاری نمود. لذا برنامه‌ریزی آبیاری گندم پاییزه بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و کاربرد داده‌های هواشناسی روزانه آنلاین برای گندم پاییزه صورت گرفته است. محاسبات این مثال هرچند در اینجا بر مبنای داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه هواشناسی مغان برای سال ۱۳۹۹ انجام شده است و برنامه‌ریزی را ارائه می‌نماید ولی در عمل برنامه‌ریزی با استفاده از اطلاعات هواشناسی آنلاین نیز بر همین منوال صورت خواهد گرفت. مشخصات مزرعه گندم پاییزه و شبکه آبیاری گان مجهز به اسپریر:

- عمق ریشه گندم پاییزه (۷/۵-۷/۸) متر
  - نوع خاک (SiCl تا Cl)
  - آب موجود در خاک ۱۶۰ میلی‌متر در متر خاک
  - ضریب آب سهل‌الوصول (MAD) معادل ۵٪
  - راندمان آبیاری گان مجهز به اسپریر ۷۵ درصد
- محاسبه عمق خالص آب آبیاری

$$mm = \frac{1}{5} \times 160 \times 1 = 80 \text{ MAD} \times Sa \times D = In$$

$$T = In / ETc = 80 / 10 = 8$$

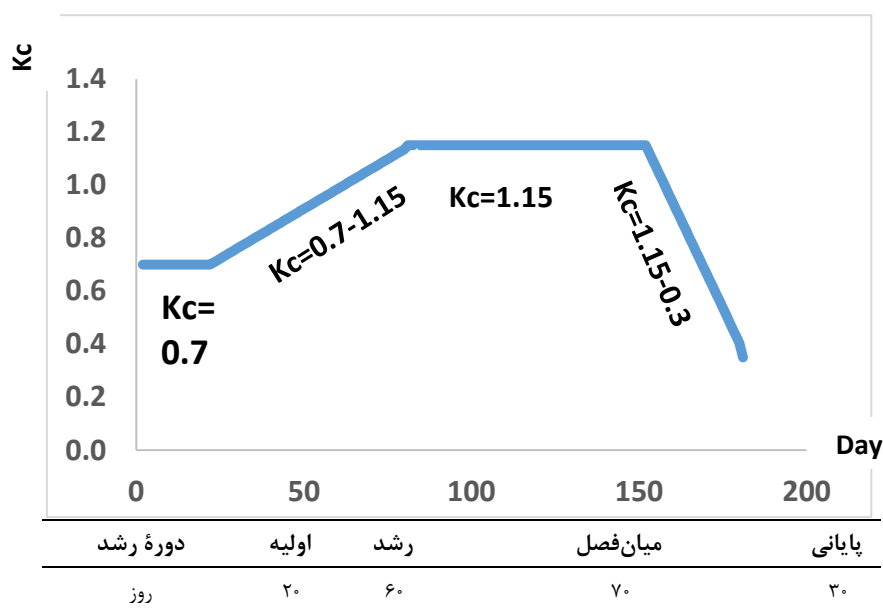
فاصله آبیاری‌ها، روز

$$Ig = In/Ea = ۸\%/۷۵ = ۱۰۷$$

عمق ناخالص آب آبیاری (۸روزه)- میلی متر

### ▪ برنامه ریزی آبیاری سنتریوت گیاه گندم پائیزه

۱- مقادیر ( $Kc$ ) ضریب گیاهی گندم پائیزه بر اساس اطلاعات محلی و منابع معتبر جهانی ( $FAO56$ )  
 دوره اولیه رشد به مدت ۲۰ روز معادل (۰/۷)، دوره رشد در مرحله دوم به مدت ۶۰ روز معادل (۰/۷-۷/۱۵)،  $Kc$  دوران میان فصل به مدت (۷۰) روز معادل (۷/۱۵) و ( $Kc$ ) آخر فصل به مدت ۳۰ روز معادل (۷/۱۵-۳/۰)



شکل ۷-۹- مقادیر ( $Kc$ ) ضریب گیاهی گندم پائیزه

۲- ( $ET_0$ ) و ( $ET_c$ ) با استفاده از اطلاعات و آمار هواشناسی آنلاین و با فرمول پنمن-مونتیت محاسبه شده است. در مرحله بعد با تأثیر ضریب گیاهی ( $Kc$ ) در تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ ) مقدار تبخیر و تعرق گیاه ( $ET_c$ ) محاسبه شده است. جداول (۱۰-۱۵) نتایج محاسبات را نشان می دهد.

- شروع فصل رشد گندم پائیزه نیمه اول دی ماه (۱/۹۸/۱۰)
- پایان فصل رشد و برداشت، اواسط مهرماه (۳۰/۹۹/۰۳)

جدول ۷-۲۵- باران مؤثر در دوره آبیاری گندم پاییزه

| ردیف | تاریخ بارندگی | میزان بارندگی (میلی‌متر) | مقدار بارندگی مؤثر (میلی‌متر) |
|------|---------------|--------------------------|-------------------------------|
| ۱    | ۹۸/۱۲/۱۲      | ۱۵/۹                     | ۱۲/۷                          |
| ۲    | ۹۹/۰۲/۰۴      | ۱۴/۴                     | ۱۷/۵                          |

باران مؤثر معادل ۸۰ درصد بارندگی، باران مؤثر ۱۰ میلی‌متر و پایین‌تر نیز حذف شده است. لازم به ذکر است که در زمان اجرای برنامه آنلاین آبیاری گندم پائیزه، کلیه اطلاعات هواشناسی شامل میانگین درجه حرارت، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میزان تشعشع خورشیدی یا ساعات آفتابی و بارندگی روزانه مربوط به روز قبل، هرروز صبح دریافت شده و بر اساس این اطلاعات ( $ET_0$ ) و ( $ET_c$ ) روزانه محاسبه می‌گردد و با جمع تبخیر و تعرق روزانه گیاه ( $ET_c$ ) و رسیدن به عمق آب موردنیاز آبیاری، آبیاری‌های بعدی صورت خواهد گرفت.

جدول ۷-۱۶ برنامه زمانی آبیاری‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد کل آب مصرفی معادل ۵۳۵ میلی‌متر و حجم آب آبیاری ۵۳۵ مترمکعب در هکتار محاسبه گردیده است.

جدول ۷-۲۶- زمان‌بندی برنامه آبیاری

| ردیف | تاریخ    | دوره     | عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر) |
|------|----------|----------|------------------------------|
| ۱    | ۹۸/۱۰/۱  | اولیه    | ۱۰۷                          |
| ۲    | ۹۸/۱۲/۲۹ | میان فصل | ۱۰۷                          |
| ۳    | ۹۹/۲/۱۰  | میان فصل | ۱۰۷                          |
| ۴    | ۹۹/۳/۱   | پایانی   | ۱۰۷                          |
| ۵    | ۹۹/۳/۲۰  | پایانی   | ۱۰۷                          |

جمع کل معادل ۵۳۵ مترمکعب



## فصل هشتم

مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های آبیاری تحت فشار

## ۸-۱- مقدمه

هدف اصلی از اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار، بهبود وضعیت آبیاری به مفهوم افزایش محصول به‌ازای واحد حجم آب کاربردی است؛ بنابراین توسعه و کاربرد این روش‌ها بایستی با مطالعه و بررسی دقیق و مستمر صورت گیرد. اطلاعات حاصل در مورد بسیاری از طرح‌های آبیاری در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که میزان عملکرد در آن‌ها بسیار پایین‌تر از حد انتظار است. بدیهی است که عوامل متعددی در این امر دخالت دارند ولی به‌طور یقین بی‌توجهی به امر بهره‌برداری از طرح‌های آبیاری مهم‌ترین دلیل آن محسوب می‌شود.

مثال‌های متعددی در کشورهای مشابه ایران وجود دارد که با مختصر بهبودی در امر بهره‌برداری طرح‌های آبیاری بازدهی آبیاری به مقدار زیادی افزایش یافته و در نتیجه افزایش فراوانی در تولید محصولات کشاورزی حاصل شده است.

## ۸-۲- تعریف خدمات بهره‌برداری و نگهداری

### ۸-۲-۱- خدمات بهره‌برداری

خدمات مستمری که به‌منظور استفاده بهینه از سامانه‌های آبیاری، انتقال و توزیع آب در سطح اراضی برای دستیابی به برنامه توزیع سالانه آب در اراضی زیر پوشش شبکه در طول عمر مفید شبکه انجام می‌شود، خدمات بهره‌برداری نامیده می‌شود.

هدف اصلی از خدمات بهره‌برداری، توزیع به‌موقع و مناسب آب آبیاری به‌منظور تأمین آب موردنیاز گیاهان زیر کشت در یک شبکه آبیاری است. دستیابی به این هدف مستلزم انجام عملیاتی به شرح زیر است:

- برنامه‌ریزی عملیات آبیاری (تهیه برنامه آبیاری)
- پیاده کردن برنامه (توزیع آب)
- کنترل برنامه‌ریزی عملیات

### ۸-۲-۲- خدمات نگهداری

خدمات نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی عبارت است از: انجام عملیات مستمری از قبیل بازرسی، تعمیرات، لای‌روبی، تدارک مصالح و ماشین‌آلات و تجهیزات ایمنی و حفاظتی که امکان بهره‌برداری مناسب از تأسیسات شبکه را در طول عمر مفید آن فراهم می‌آورد. اجرای عملیات نگهداری منافی همچون موارد ذیل را در پی دارد:

- حفظ اموال و تجهیزات
- افزایش کیفیت خدمات

- افزایش ایمنی
- کاهش ضایعات
- کاهش هزینه‌ها

به‌طور کلی در هر شبکه آبیاری سه دسته عملیات نگهداری تعریف می‌شود:

- الف. عملیات نگهداری مستمر یا منظم: شامل یک سلسله عملیات نگهداری و تعمیراتی به‌منظور بهره‌برداری رضایت‌بخش از شبکه است.
- ب. عملیات نگهداری خاص: شامل جبران خسارات ناشی از حوادث غیرمترقبه نظیر سیل، زلزله و... است.
- ج. عملیات نگهداری متفرقه: شامل هرگونه عملیات لازم برای جلوگیری از تلفات آب، حفظ تأسیسات، مخازن و سازه‌های فنی است.

### ۸-۳- دستگاه سنترپیوت

دستگاه آبیاری سنترپیوت، حول یک نقطه به نام برج مرکزی دوران می‌کند، برج‌های مرکزی غالباً در مرکز مزرعه مستقر می‌گردند. دستگاه‌های سنترپیوت شامل یکسری لوله با طول‌های متفاوت (بین ۳۰ تا ۸۰ متر) هستند که با سازه‌های فولادی خرابایی در هوا معلق می‌شوند. بخش‌های بین هر برج اسپن نامیده می‌شود و اکثر دستگاه‌ها بین ۵ تا ۷ اسپن و حتی بیشتر هستند. موتورهای هیدرولیکی و برقی بر روی هر یک از برج‌ها، نیروی حرکتی موردنیاز دو چرخ را فراهم می‌نمایند. آبپاش‌های نصب‌شده روی لوله اصلی، آب موردنیاز محصولات را تأمین می‌کند. آبپاش‌ها و نازل‌ها به لحاظ نوع، سایز و فاصله بین آن‌ها روی خط لوله اصلی متفاوت هستند.

تأمین آب موردنیاز دستگاه‌های آبیاری سنترپیوت به‌وسیله یک پمپ یا مجموعه‌ای از پمپ‌ها از منبع تأمین آب (چاه، استخر ذخیره و یا سایر منابع) به میزان دبی و هد موردنیاز، پمپاژ و در اختیار ماشین آبیاری سنترپیوت قرار می‌گیرد و آب موردنیاز گیاه از طریق لوله اصلی دستگاه به آبپاش‌ها منتقل می‌گردد و با خروج از آبپاش‌ها در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.

### ۸-۳-۱- بهره‌برداری و نگهداری از دستگاه آبیاری سنترپیوت

هدف اصلی از کاربرد ماشین آبیاری سنترپیوت، به حداقل رساندن نیروی کارگری و خودکار نمودن سامانه آبیاری است. در این روش یک اپراتور می‌تواند به‌تنهایی چندین دستگاه را کنترل کند. حساسیت مسائل بهره‌برداری و نگهداری از این سیستم به علت هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه و مساحت زیاد تحت پوشش هر دستگاه است. به‌طوری‌که خرابی دستگاه در یک مدت‌زمان کوتاه نیز



باعث خسارات به تمام یا بخش‌هایی از محصول و افزایش هزینه‌های مصرف انرژی و تلفات نیتروژن به دلیل آیشویی و یا روان آب سطحی می‌گردد. کشاورزان و بهره‌برداران بایستی قادر به تشخیص و شناسایی ایرادات عمده دستگاه باشند.

### ۸-۳-۲- عمق آبیاری

کنترل دقیق عمق آبیاری یکی از مزایای دستگاه‌های سنترپیوت است. استفاده از این قابلیت زمانی که اپراتور نمی‌داند که در هر آبیاری چه میزان آب استفاده شده، مشکل است. سازندگان دستگاه‌های سنترپیوت جداولی به همراه دستگاه ارائه می‌نمایند که بر اساس جداول مذکور، زمان چرخش یک دور کامل دستگاه برحسب ساعت (بر اساس سطح زیر پوشش دستگاه، طول دستگاه و سرعت حرکت دستگاه) و مقدار ریزش دستگاه (میلی متر در ساعت) به‌ازای سرعت‌های مختلف دستگاه ارائه می‌گردد. در صورت عدم دسترسی بهره‌بردار به جداول مذکور، بایستی بهره‌برداران با تماس با شرکت سازنده، نسبت به تهیه نسخه دیگری از جدول راهنما اقدام نمایند (شکل ۸-۱).

نصب و نگهداری نادرست از مجموعه آبپاش‌های دستگاه می‌تواند باعث مشکل برای دستگاه‌های سنترپیوت گردد. نصب آبپاش‌ها، رگلاتورها و یا نازل‌ها در موقعیت نادرست در طول لوله اصلی دستگاه منجر به کاهش یکنواختی پخش می‌گردد. زمانی که یکنواختی پاشش کاهش می‌یابد برخی از نقاط زمین بیشتر از نیاز و برخی از نقاط کمتر از مقدار موردنیاز آبیاری می‌گردد و محصول حالت سینوسی پیدا می‌کند.

به‌منظور بررسی علت پاشش غیریکنواخت دستگاه سنترپیوت، می‌توان از آزمایش یکنواختی پاشش با استفاده از ظروف مخصوص استفاده نمود، اندازه‌گیری عمق آب درون ظرف در فواصل کوتاه زیر لوله دستگاه سنترپیوت یک روش برای اندازه‌گیری غیریکنواختی پاشش است. ترسیم عمق آب درون ظرف‌ها در طول لوله لترال دستگاه نشان‌دهنده موقعیت مناطق خشک و خیس است (شکل ۸-۱).

| ZIMMATIC CENTER PIVOT APPLICATION CHART |           |                            |                            |
|-----------------------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| BY LINDSAY                              |           |                            |                            |
| Dealer Name :                           |           | GROSS APPLICATION (INCHES) | MAIN PANEL TIMER (PERCENT) |
| Serial No. or B No. :                   |           |                            | REVOLUTION TIME (HOURS)    |
| Last Tower Tire Size :                  | 14.9 x 24 | 0.15                       | 100.0                      |
| Last Tower Motor Speed :                | 59.0 RPM  | 0.15                       | 100.0                      |
| Feet per Minute @ 100% :                | 13.90 fpm | 0.20                       | 76.1                       |
| Flowrate :                              | 1050 gpm  | 0.30                       | 50.8                       |
| Pivot Pressure :                        | 37 psi    | 0.40                       | 38.1                       |
| % of Pivot Revolution :                 | 100%      | 0.50                       | 30.5                       |
| Length to Last Tower :                  | 1209 ft   | 0.60                       | 25.4                       |
| Total System Length :                   | 1276 ft   | 0.70                       | 21.8                       |
| Range of End Gun :                      | 112 ft    | 0.80                       | 19.0                       |
| Total Length w/Endgun :                 | 1387 ft   | 0.90                       | 16.9                       |
|                                         |           | 1.00                       | 15.2                       |
|                                         |           | 1.10                       | 13.8                       |
|                                         |           | 1.20                       | 12.7                       |
|                                         |           | 1.30                       | 11.7                       |
|                                         |           | 1.40                       | 10.9                       |
|                                         |           | 1.50                       | 10.2                       |
|                                         |           | 1.60                       | 9.5                        |
|                                         |           | 1.70                       | 9.0                        |
|                                         |           | 1.80                       | 8.5                        |
|                                         |           | 1.90                       | 8.0                        |
|                                         |           | 2.00                       | 7.6                        |

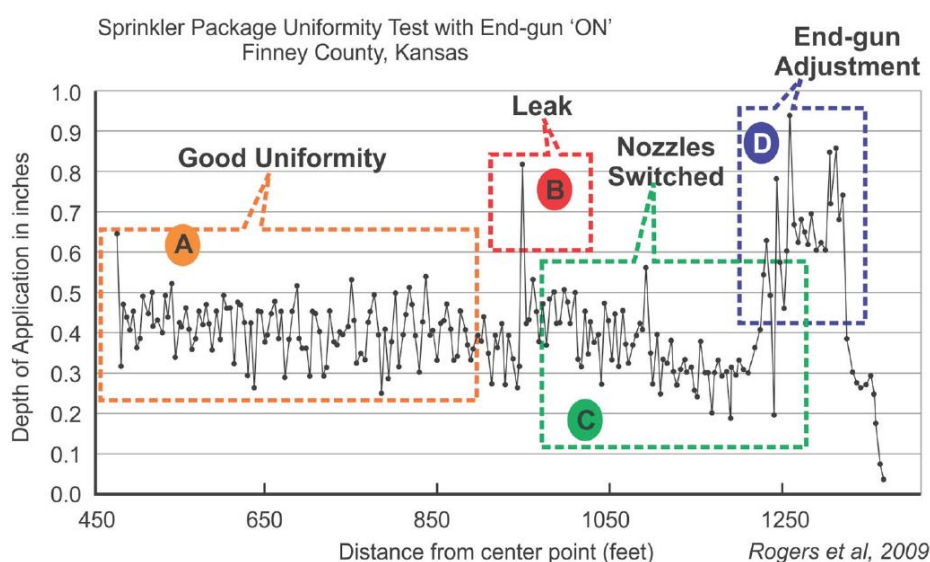
شکل ۸-۱- نمونه‌ای از جداول پاشش آب در یک دستگاه ماشین آبیاری سنتریوت



شکل ۸-۲- آزمایش یکنواختی پاشش زیر یک دستگاه ماشین آبیاری سنتریوت

شکل ۸-۳ نمونه‌ای از نتایج انجام آزمون یکنواختی زیر دستگاه سنتریپوت است. چنانچه در نمودار مذکور مشاهده می‌گردد عمق ریزش در محدوده زون A نوسان می‌نماید، اما الگوی نسبتاً یکنواختی دارد. نشستی در محدوده زون B که مشکلاتی در خصوص نازل وجود دارد. در زون C آبپاش‌هایی که باید نصب گردد روی بخش بیرونی زون C در قسمت داخلی زون C نصب گردیده‌اند (سایز نازل بایستی با افزایش فاصله از مرکز دستگاه افزایش یابد. درحالی‌که برعکس در حال کاهش است). عمق پاشش در محدوده زون D بیشتر از دو برابر عمق قسمت بیرونی محدوده زون C است، افزایش پاشش در محدوده زون D به نظر می‌رسد ناشی از تنظیمات غیرصحیح آبپاش انتهایی است که کمان بزرگ‌تری نسبت به کمان طراحی را آبیاری می‌نماید.

جداول نازلینگ آبپاش‌ها زمانی که یک آبپاش مفقود و یا آسیب می‌بیند بسیار مهم است. چنانچه یک آبپاش مفقود بشود یا آسیب ببیند (شکل ۸-۴) تعیین سایز نازل برای جایگزینی آبپاش ساده است. چنانچه جدول نازلینگ آبپاش‌ها در دسترس نباشد، سایز آبپاش گم‌شده قاعده‌تاً برابر با آبپاش بعدی و یا قبلی و یا سایز مابین دو نازل بعدی و قبلی است که با بررسی نازل‌های مذکور می‌توان سایز نازل گم‌شده را به دست آورد. بهره‌برداران بایستی جداول نازلینگ آبپاش‌ها را در اختیار داشته باشند. نمونه‌ای از جداول مذکور در شکل (۸-۵) ارائه گردیده است.



شکل ۸-۳- نتایج آزمایش یکنواختی پاشش برای یک دستگاه ماشین آبیاری سنتریپوت



شکل ۸-۴- یک دستگاه ماشین سنتریوت با یک آبپاش گم‌شده

| AS5054-1 24 Apr 2014 LINDSAY , 7 TOWER, 740 gpm, 22 psi |       |       |               |              |     |     |        |       |                         | PAGE 3                    |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|---------------|--------------|-----|-----|--------|-------|-------------------------|---------------------------|
| ---OUTLET---                                            | Loc   | Sep   | REG-<br>Model | PSI<br>RegIn | Reg | Del | Model  | Plate | SPRINKLER-----<br>SpNo. | ---NOZZLE---              |
| 111                                                     | 271.3 | 9.8   | LB10          | 27.8         | 2.1 | 2.1 | A3000  | Navy  | 26                      | #19 Gray w/trqu           |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 115                                                     | 281.0 | 9.8   | LB10          | 27.7         | 2.3 | 2.3 | A3000  | Navy  | 27                      | #20 Turquoise             |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 119                                                     | 290.8 | 9.8   | LB10          | 27.6         | 2.3 | 2.3 | A3000  | Navy  | 28                      | #20 Turquoise             |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 123                                                     | 300.7 | 9.8   | LB10          | 27.5         | 2.4 | 2.3 | A3000  | Navy  | 29                      | #20 Turquoise             |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 127                                                     | 310.3 | 9.6   | LB10          | 27.4         | 2.5 | 2.5 | A3000  | Navy  | 30                      | #21 Trqu w/yllw           |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 131                                                     | 320.2 | 9.8   | LB10          | 27.3         | 2.6 | 2.5 | A3000  | Navy  | 31                      | #21 Trqu w/yllw           |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 135                                                     | 329.9 | 9.8   | LB10          | 27.2         | 2.7 | 2.8 | A3000  | Navy  | 32                      | #22 Yellow                |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 139                                                     | 339.7 | 9.8   | LB10          | 27.1         | 3.1 | 3.0 | A3000  | Navy  | 33                      | #23 Yllw w/red            |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 349.6 TOWER NO. 2                                       |       |       |               |              |     |     |        |       |                         | INLINE PRESSURE: 27.0 psi |
| 143                                                     | 350.6 |       |               |              |     |     | PLUG   |       |                         |                           |
| 144                                                     | 352.5 | 12.8> | LB10          | 26.9         | 3.3 | 3.3 | A3000  | Navy  | 34                      | #24 Red                   |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 148                                                     | 362.3 | 9.8   | LB10          | 26.8         | 2.9 | 3.0 | A3000  | Navy  | 35                      | #23 Yllw w/red            |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 152                                                     | 372.0 | 9.8   | LB10          | 26.7         | 2.9 | 3.0 | A3000  | Navy  | 36                      | #23 Yllw w/red            |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 156                                                     | 381.8 | 9.8   | LB10          | 26.6         | 3.0 | 3.0 | A3000  | Navy  | 37                      | #23 Yllw w/red            |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 160                                                     | 391.7 | 9.8   | LB10          | 26.5         | 3.1 | 3.0 | A3000  | Navy  | 38                      | #23 Yllw w/red            |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |
| 164                                                     | 401.3 | 9.6   | LB10          | 26.5         | 3.2 | 3.3 | A3000  | Navy  | 39                      | #24 Red                   |
| -x-                                                     |       |       |               |              |     |     | PLUG 3 |       |                         |                           |

شکل ۸-۵- آبپاش‌های یک دستگاه ماشین آبیاری سنتریوت

### ۸-۳-۳- مشکلات فشار

فشار کارکرد سیستم آبیاری سنترپیوت بر میزان یکنواختی پاشش مؤثر است و فشار کارکرد و سایز و شکل نازل‌های آبپاش بر میزان دبی در طول خط لوله مؤثر است. به‌طور کلی، مجموعه آبپاش‌ها برای کارکرد در فشار و دبی طراحی انتخاب می‌گردند. عملکرد سیستم در فشار بالاتر و یا پایین‌تر از فشار طراحی شده، بر روی سایز قطرات و یکنواختی توزیع اثر دارد. فشار ناکافی باعث افزایش سایز قطرات و کاهش سرعت آب خروجی از نازل می‌شود. فشار اضافی باعث ایجاد قطرات ریزتر می‌شود که سبب تبخیر و تلفات بادبردگی می‌شود. کاهش و افزایش فشار باعث افزایش هزینه‌های انرژی در اثر افزایش استفاده از آب می‌شود.

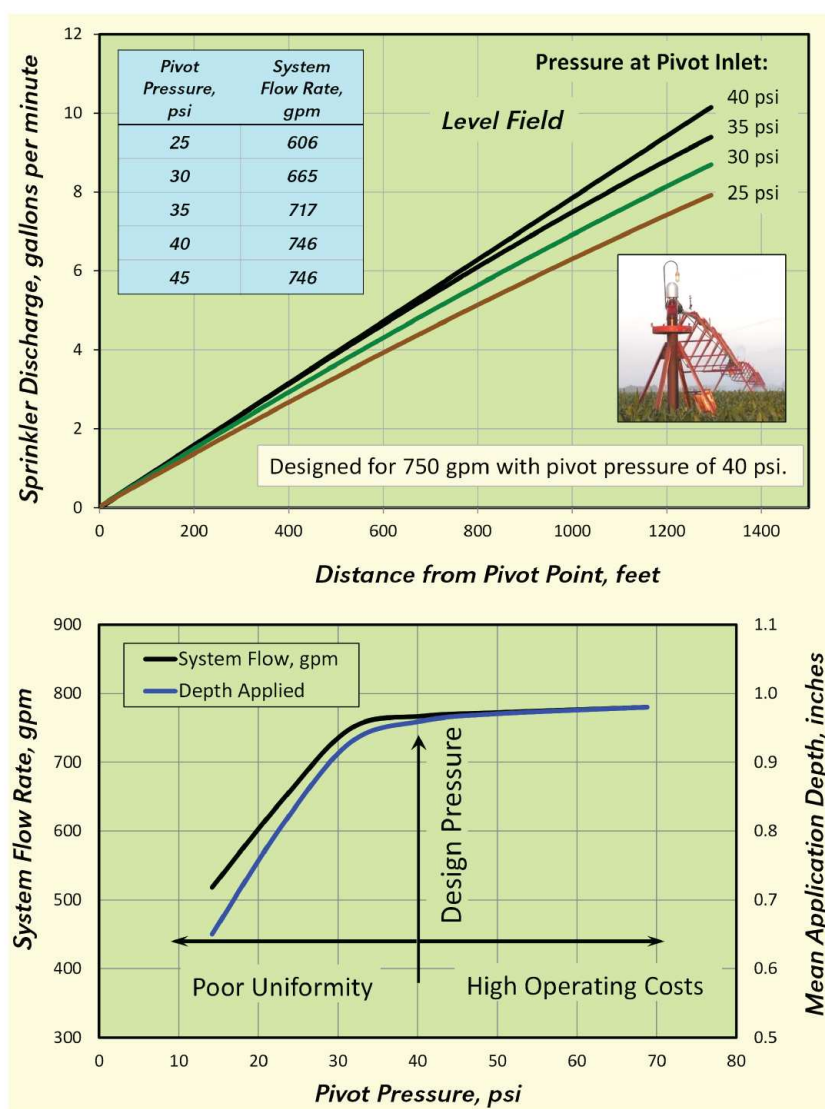
از طرفی چنانچه فشار مناسب کارکرد تأمین نگردد، آب موجود برای انتهای دستگاه سنترپیوت کافی نبوده و عمق پاشش در اسپن‌های انتهایی که سطح زیر پوشش بالاتری هم دارند کاهش می‌یابد (شکل ۸-۶). به‌عنوان مثال چنانچه فشار طراحی برای یک دستگاه سنترپیوت ۴۰ PSI با دبی ۷۵۰ گالن بر دقیقه باشد. هنگامی که فشار در مرکز دستگاه به ۳۰ PSI کاهش می‌یابد. متوسط تخلیه در یک نقطه با فاصله ۱۲۰۰ فوتی از مرکز دستگاه تنها ۸ گالن بر دقیقه است، درحالی‌که بر اساس فشار طراحی بایستی دبی در نقطه مذکور ۹/۴ گالن بر دقیقه باشد. کاهش دبی منجر به کاهش آبیاری در انتهای دستگاه می‌گردد.

کاهش جریان ورودی به دستگاه سنترپیوت مشکل بعدی است. هنگامی که فشار ورودی ۳۰ PSI است، دبی ورودی به داخل لوله دستگاه به ۶۶۵ گالن بر دقیقه کاهش می‌یابد، درحالی‌که دبی طراحی دستگاه مذکور ۷۵۰ گالن بر دقیقه هست (شکل ۸-۶).

درنتیجه مطابق نمودار شکل (۸-۶) در هر دو حالت عمق پاشش و جریان ورودی به دستگاه کاهش می‌یابد که درنهایت باعث کاهش یکنواختی می‌گردد.

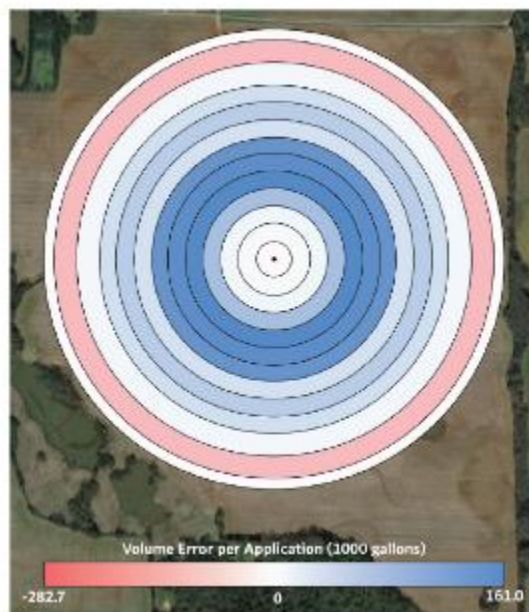
از طرفی چنانچه فشار ورودی دستگاه بیش از حد طراحی شده باشد، در این حالت هزینه پمپاژ به‌طور عمده‌ای افزایش می‌یابد. پیشنهاد می‌گردد یک فشارسنج در ورودی دستگاه سنترپیوت نصب گردد تا از فشار موردنیاز دستگاه اطمینان حاصل گردد. فشار موردنیاز دستگاه سنترپیوت در جداول ارائه‌شده توسط شرکت‌های سازنده مشاهده می‌شود. همچنین نصب یک فشارسنج در انتهای دستگاه جهت اطمینان از تأمین فشار کافی برای قسمت‌هایی از دستگاه که بر روی زمین‌های با رقوم ارتفاعی بالا در سطح مزرعه واقع می‌گردند، پیشنهاد می‌شود.

در شکل (۸-۷) تأثیر فشار نامناسب پمپ بر میزان ریزش دستگاه در اسپن‌های مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۸-۶- تأثیر فشار ورودی دستگاه روی میزان جریان ورودی به دستگاه و میانگین عمق پاشش





شکل ۸-۷- ریزش زیاد آب، به خصوص روی اسپن‌های ۴ تا ۷ و کاهش ریزش در انتهای دستگاه ناشی از فشار کاری نامناسب پمپ

#### ۸-۳-۴- رواناب

روان آب اغلب مشکل بزرگی برای نگهداری از دستگاه‌های سنترپیوت است که پیشنهادهای زیر می‌تواند راهگشا باشد:

##### ۸-۳-۴-۱- راه حل کوتاه مدت

افزایش سرعت حرکت دستگاه باعث کاهش عمق ریزش می‌گردد که بدین طریق از ایجاد روان آب جلوگیری می‌گردد. از طرفی جهت حداقل بودن ریزش دستگاه و هدررفت آب از طریق تبخیر از سطح خاک و گیاهان، ریزش دستگاه بایستی حداقل ۱۷/۸ میلی متر باشد.

##### ۸-۳-۴-۲- راه حل بلندمدت

افزایش قطر خیس شده آبپاش‌ها که برای آن معمولاً نیاز به یک مجموعه آبپاش جدید است. همچنین می‌توان از سامانه‌های بوم استفاده نمود تا قطر خیس شده افزایش یابد. در شکل (۸-۸) تصویری از یک دستگاه سنترپیوت مجهز به سیستم بوم جهت جلوگیری از ایجاد روان آب مشاهده می‌گردد.



شکل ۸-۸- تصویر یک دستگاه سنتریوت مجهز به سامانه بوم برای جلوگیری از روان آب

#### ۸-۳-۴-۳- افزایش ذخیره سطحی

با ایجاد چاله‌هایی در مسیر حرکت چرخ‌ها می‌توان میزان ذخیره سطحی را افزایش داد که در این حالت زمان بیشتری برای نفوذپذیری در اختیار می‌گذارد. این روش‌ها اغلب در زمین‌های با شیب کم قابل اجراست و مستلزم عملیات شخم‌زنی اضافی است که باعث افزایش هزینه‌های مصرف سوخت و افزایش زمان جهت ایجاد چاله‌ها است.

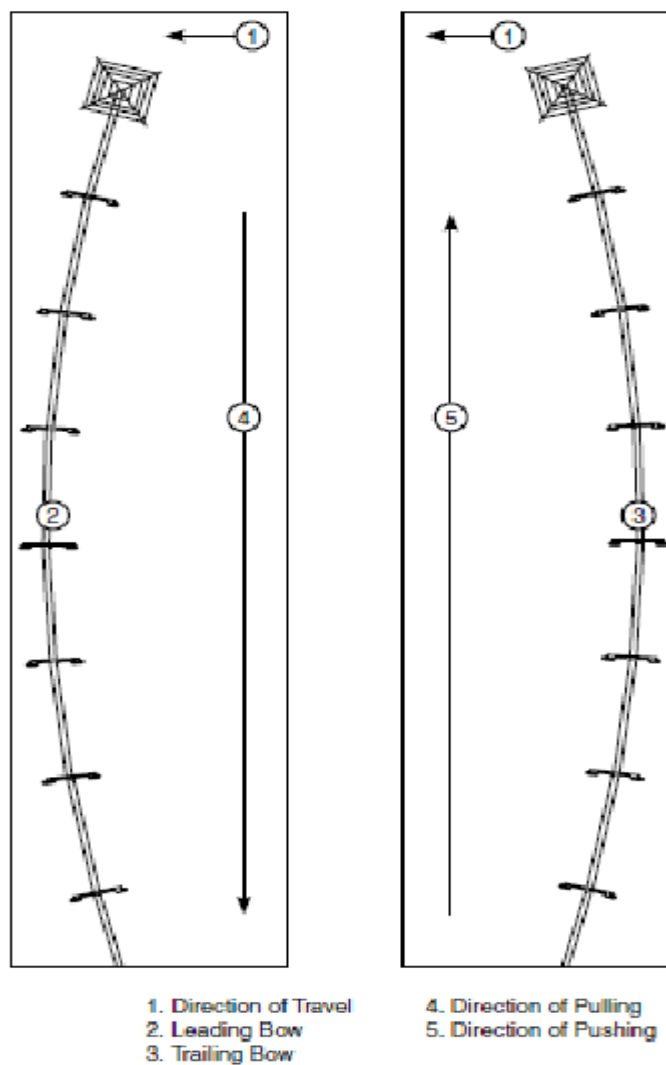
#### ۸-۳-۵- هم‌راستایی دستگاه سنتریوت

دستگاه سنتریوت در ابتدای نصب هم‌راستاست ولی به علل گوناگون ممکن است نیاز به هم‌راستایی مجدد دستگاه باشد. هم‌راستایی دستگاه بایستی به صورت سالانه چک گردد و قبل از ایجاد مسیر چرخ تنظیم شود. هم‌راستا کردن دستگاه بسیار بااهمیت است. دستگاه غیر هم‌راستا تنش بالایی ایجاد می‌کند که می‌تواند باعث آسیب به سازه دستگاه گردد و عمر الکتروموتور و گیربکس را کاهش دهد.

زمانی که چرخ‌های دستگاه گیر کرده است نباید نسبت به هم‌راستایی اقدام کرد و ابتدا بایستی چرخ‌ها خارج و سپس نسبت به هم‌راستایی اقدام نمود. این باعث عدم آسیب به سازه دستگاه می‌شود.



چنانچه در شکل (۸-۹) مشاهده می‌گردد، ایجاد یک کمان حرکتی به سمت جلو باعث تنشی بسیار بالا و یا نیروی کششی خطی بر روی ماشین می‌گردد و تشکیل یک کمان حرکتی به سمت عقب باعث ایجاد نیروی فشاری بالا یا نیروی فشاری خطی می‌گردد. زمانی که اسپن‌ها تحت فشار قرار می‌گیرند قدرت ذاتی خود را از دست می‌دهند.



شکل ۸-۹- انواع عدم هم‌راستایی دستگاه سنتریوت

**۸-۳-۵-۱-روش‌های هم‌راستا کردن دستگاه‌های سنتریوت**

روش هم‌راستایی با سه برج، جهت مشخص کردن برجی که هم‌راستا نیست استفاده می‌شود.

این روش با استفاده از دو نفر انجام می‌گیرد (شکل ۸-۱۰).

- شخص اول در برج شماره (۱) هم‌راستایی را رصد می‌کند.
  - شخص دوم در برج شماره (۲) هم‌راستایی را تنظیم می‌نماید.
- ترتیب کار به شرح زیر است:

۱- در کنترل پنل، حرکت دستگاه روی  $50^\circ$  درصد تنظیم می‌گردد و ماشین به سمت جلو یا به سمت عقب استارت می‌خورد.

۲- عملیات هم‌راستایی از برج انتهایی شروع و در ابتدا ۳ برج تعیین می‌شود. سپس از برج‌های ۱ و ۳ برای تنظیم هم‌راستایی برج شماره ۲ استفاده می‌شود.

۳- یک خط فرضی از آکس الکتروموتور برج شماره ۱ تا الکتروموتور برج شماره ۳ در نظر گرفته می‌شود.

۴- حرکت الکتروموتور برج شماره (۲) مشاهده می‌گردد که بایستی نسبت به خط فرضی در فواصل مساوی حرکت و توقف نماید. چنانچه این‌گونه نباشد نیاز به هم‌راستا نمودن از طریق تابلوی فرمان برج شماره (۲) است.

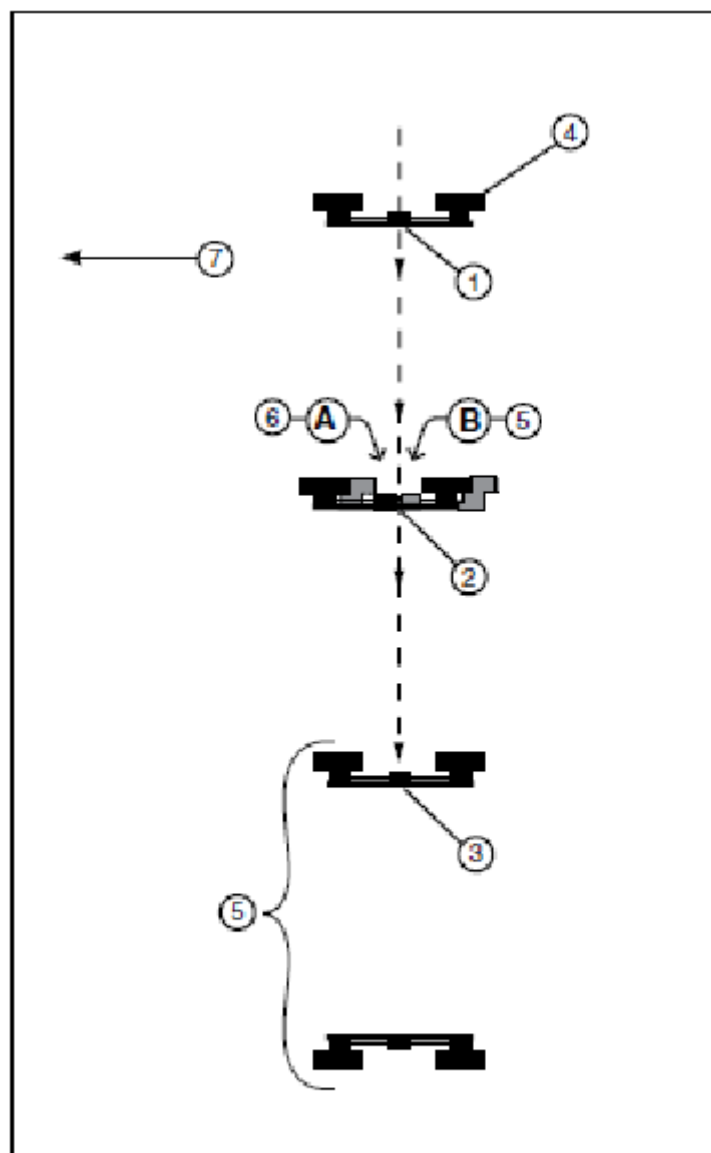
۵- چنانچه هم‌راستایی موردنیاز است، ماشین بایستی متوقف و نسبت به هم‌راستایی اقدام نمود. (بر اساس نوع دستگاه و دفترچه راهنمای شرکت سازنده دستگاه)  
پس از هم‌راستا شدن برج شماره (۲)، بایستی به سراغ برج بعدی رفت و مراحل ۳ تا ۵ بایستی مجدداً تکرار گردد.

**۸-۳-۶- تخلیه آب اسپن‌ها**

هدف از این عملیات، خروج شن و اجسام ریز از خط لوله ماشین است. انباشت بیش‌ازحد شن داخل ماشین باعث افزایش وزن دستگاه و آسیب به ماشین می‌شود.

تخلیه آب اسپن‌ها بایستی به شرح زیر انجام گیرد:

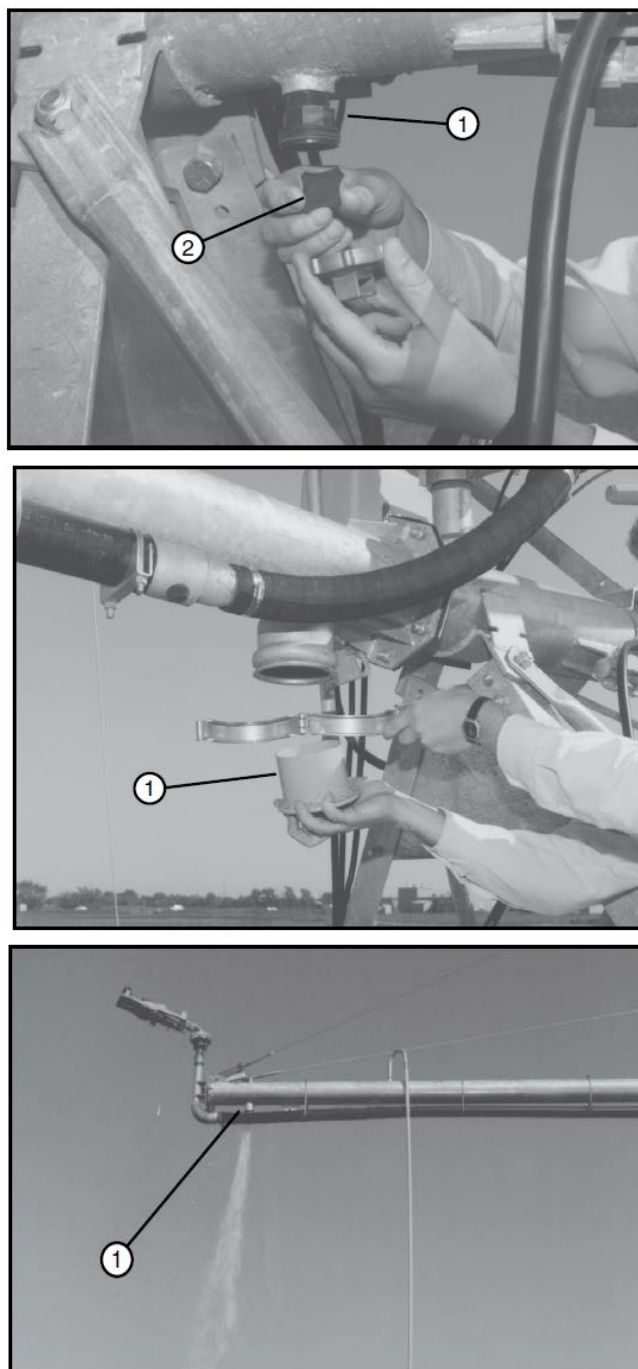
- پس از نصب ماشین
- پس از تعمیر پمپ
- پس از تعمیر سازه ماشین



- |              |                        |
|--------------|------------------------|
| 1. Tower 1   | 5. Start               |
| 2. Tower 2   | 6. Stop                |
| 3. Tower 3   | 7. Direction of Travel |
| 4. End Tower |                        |

شکل ۸-۱۰- طریقه هم‌راستا کردن دستگاه سنتریوت

- فصل آبیاری، ابتدای شروع فصل آبیاری و انتهای فصل آبیاری
  - افزایش مشکلات آبپاش‌ها (رسوب داشتن)، می‌تواند نشان‌دهنده وجود مقادیر بالای نخاله و شن باشد
- نکته مهم:** هنگامی که ماشین تحت فشار آب است، بازکردن خروجی اسپن ممکن است باعث بروز آسیب و جراحت به بهره‌بردار گردد.
- ترتیب مراحل تخلیه آب اسپن‌ها به شرح زیر است:
- ۱- خاموش کردن پمپ و تخلیه آب داخل ماشین.
  - ۲- خاموش کردن کامل دستگاه سنترپیوت (برای این کار تنها نیاز به آب است و نیازی به حرکت دستگاه نیست).
  - ۳- بازکردن درپوش تخلیه هر یک از اسپن‌ها و تمیز کردن آن‌ها از شن و سایر ذرات.
  - ۴- باز کردن و تمیز کردن دریچه تخلیه شن اسپن انتهایی.
  - ۵- باز کردن درپوش تخلیه لوله اورهنگ تمیزکاری از وجود شن و سایر ذرات.
  - ۶- استارت پمپ و تخلیه و شست‌وشوی کامل ماشین.
  - ۷- خاموش کردن دستگاه و بستن درپوش تخلیه لوله‌ها، دریچه تخلیه شن و درپوش اورهنگ.
- در شکل شماره (۸-۱۱) نحوه شست‌وشوی خط لوله دستگاه سنترپیوت مشاهده می‌گردد.



شکل ۸-۱۱- نحوه شست و شوی خط لوله دستگاه سنتر پیوت

به‌طور کلی دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری از دستگاه‌های سنتریپوت به شرح زیر است:

۱. احتیاط‌ها و موارد ایمنی دستگاه
۲. با توجه به این‌که برق دستگاه ۳۸۰ یا ۴۸۰ ولت است و از طرفی به علت وجود قسمت‌های متحرک و در حال گردش و توجه به این‌که توقف دستگاه چه میزان خسارت می‌تواند موجب گردد، رعایت یکسری مسائل ایمنی و احتیاط‌ها در هنگام کار با دستگاه و در زمان بهره‌برداری بایستی موردتوجه قرار گیرد.
۳. بهره‌بردار دستگاه بایستی صلاحیت لازم برای استفاده از دستگاه را داشته باشد.
۴. قبل از بهره‌برداری از دستگاه، شرکت سازنده دستگاه بایستی کتابچه راهنمایی تهیه و در اختیار بهره‌بردار قرار دهد.
۵. جهت تعمیر وسایل الکتریکی دستگاه حتماً از متخصص برق استفاده شود. (ولتاژ بالای دستگاه در صورت ناآشنایی می‌تواند کشنده باشد).
۶. در هر بار راه‌اندازی دستگاه دکمه استارت نبایستی بیشتر از چند ثانیه نگه‌داشته شود. اگر بعد از فشار دادن دکمه استارت دستگاه به‌طور خودکار راه‌اندازی نشد نبایستی تا عیب‌یابی و یافتن علت نسبت به استارت مجدد اقدام نمود.
۷. حداقل دما جهت بهره‌برداری از دستگاه ۴- درجه سلسیوس است.
۸. در هنگام شرایط آب‌وهوایی طوفانی و رعدوبرق از دستگاه بهره‌برداری نشود.
۹. هنگام سرویس دستگاه از قطع جریان برق اطمینان حاصل شود.
۱۰. به هنگام بهره‌برداری و سرویس دستگاه به علائم هشداردهنده روی قسمت‌های مختلف دستگاه دقت شود.

### ۸-۳-۷- کنترل‌های لازم قبل از راه‌اندازی دستگاه

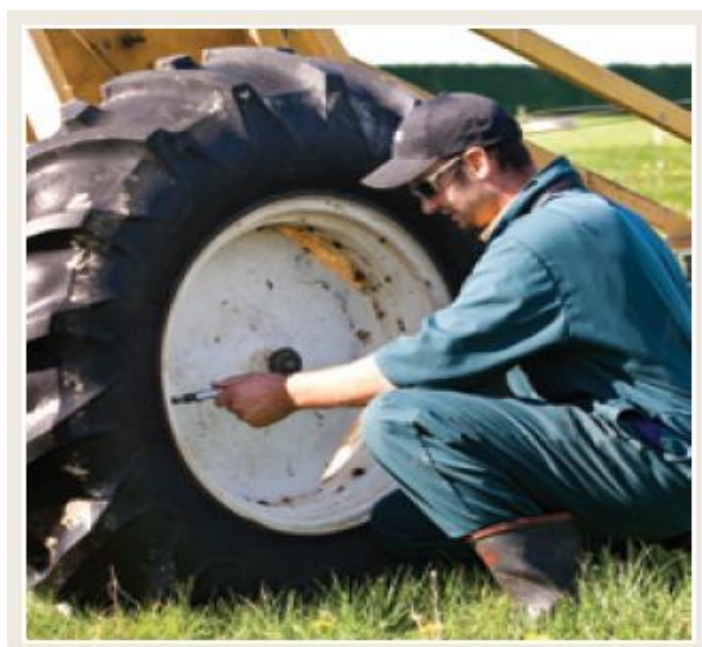
کنترل و بازرسی بخش‌های مختلف دستگاه و عملکرد صحیح آن‌ها توسط یک گروه باتجربه قبل از راه‌اندازی اولیه دستگاه و یا بعد از گذراندن یک فصل آبیاری توصیه می‌گردد. از جمله کنترل‌های قبل از راه‌اندازی دستگاه عبارت‌اند از:

- ۱- بازرسی کلیه اتصالات در محل برج مرکزی و نقاط اتصال سازه دکل مرکزی به فونداسیون.
- ۲- راستای عمودی لوله در محل مرکزی که آب را به بال دستگاه می‌رساند بایستی کنترل گردد.
- ۳- وسایل اندازه‌گیری (دبی‌سنج، ولت‌متر و فشارسنج) و سامانه‌های تخلیه آب بازرسی و عملکرد آن‌ها کنترل گردد.
- ۴- بازرسی کلیه اتصالات الکتریکی.

- ۵- بازرسی محل عبور چرخ‌ها و رفع موانع احتمالی.
- ۶- شست‌وشوی بال دستگاه به‌طوری‌که درپوش انتهایی بال باز و جریان آب برای مدتی عبور داده شود. هم‌زمان کلیه اتصالات جهت بررسی نشت آب بایستی کنترل گردد.
- ۷- کنترل تأمین فشار موردنیاز دستگاه بدون نوسانات قابل‌توجه. (شکل ۸-۱۲)
- ۸- کنترل کلیه الکتروموتورها و تعویض احتمالی الکتروموتورهای معیوب احتمالی.
- ۹- کنترل کلیه مدارهای الکتریکی و تعمیرات و تعویض قطعات معیوب توسط متخصص برق.
- ۱۰- بررسی و کنترل فیوزها در تابلوی کنترل.
- ۱۱- بازدید از چرخ‌ها و کنترل فشار باد لاستیک‌ها. (شکل ۸-۱۳)
- ۱۲- میزان روغن موجود در گیربکس‌ها کنترل شده و در صورت کاهش، نسبت به افزایش روغن به آن‌ها اقدام گردد.
- ۱۳- کنترل فشار باد لاستیک‌ها و در صورت لزوم کاهش یا افزایش آن.
- ۱۴- بازدید تابلوی اصلی (شکل ۸-۱۴) و تمامی تابلوهای دهانه‌ها از نظر وجود منافذ و یا نشتی احتمالی آب به درون آن‌ها و در صورت وجود حشرات در آن‌ها حتماً در ابتدا نسبت به پاک‌سازی تابلو اقدام کرده و راه ورود حشرات به داخل تابلو به هر دلیل که ایجاد شده، مسدود گردد.
- ۱۵- بازدید سیستم محرک و الکتروگیربکس‌ها و برطرف نمودن مشکلات احتمالی.
- ۱۶- بازدید کلکتورها و رینگ‌ها و زغال‌های داخل آن همانند تابلوهای کنترل.
- ۱۷- پیچ و مهره‌های تمام قسمت‌های دستگاه از نظر سفتی بایستی بازدید گردد.
- ۱۸- کابل‌های دستگاه خصوصاً کابل‌های رابط بین الکتروموتور هر تابلوی دهانه، بازدید و در صورت آسیب‌دیدگی نسبت به رفع آن‌ها اقدام گردد.
- ۱۹- اهرم کنترل و متعلقات مربوطه در هر دهانه را از نظر روان بودن حرکت آن‌ها بازدید کرده و در صورت گریپاژ نسبت به برطرف کردن مشکل اقدام گردد.
- ۲۰- آبپاش‌ها را بازدید کرده و در صورت شکستگی، نسبت به تعویض آن‌ها اقدام گردد (شکل‌های ۸-۱۵ و ۸-۱۶).



شکل ۸-۱۲- بررسی فشار کارکرد پمپ



شکل ۸-۱۳- کنترل فشار باد لاستیک‌ها





شکل ۸-۱۴- تنظیم سرعت حرکت دستگاه از طریق تابلوی مرکزی



شکل ۸-۱۵- بازرسی وضعیت آبپاش و نازل



شکل ۸-۱۶- بررسی وضعیت نازل آبیاش‌ها و در صورت نیاز تعویض آن‌ها

#### ۸-۳-۸- توزیع مواد شیمیایی از طریق دستگاه

ماشین‌های آبیاری سنتریپوت به علت یکنواختی بالا و امکان تطبیق دفعات کودپاشی با مراحل مختلف رشد گیاه بسیار مورد توجه هستند. باین حال رعایت نکات زیر ضروری است.

- ۱- انجام عملیات پخش مواد شیمیایی در روزهای آرام (بدون باد) به منظور یکنواختی بیشتر.
- ۲- شست‌وشوی بال پس از هر بار پخش مواد شیمیایی از طریق دستگاه.
- ۳- برای جلوگیری از تبخیر مواد شیمیایی (به خصوص علف‌کش‌ها) توصیه می‌شود که وقتی خاک خشک است پخش این مواد انجام شود.
- ۴- عدم پاشش کودهایی از طریق دستگاه که باعث سوختگی برای گیاه می‌شود مانند کودهای پتاسیم و فسفات.
- ۵- اضافه کردن عناصر نادر در جهت اصلاح خاک بایستی قبل از کاشت انجام شود.

#### کنترل‌هایی برای یکنواختی توزیع

- ۱- کنترل فشار اولین آبیاش از طریق فشارسنج.
- ۲- بررسی گرفتگی آبیاش.
- ۳- کنترل سالم بودن آبیاش‌ها.

### ۸-۳-۹- دستورالعمل‌هایی برای نگهداری از دستگاه

در طی فصل آبیاری و به هنگام استفاده از دستگاه بایستی به‌طور معمول پس از هر ۱۰ تا ۱۵ دور گردش دستگاه انجام یکسری بازدیدها ضروری است.

۱- کنترل عملکرد صحیح آبپاش‌ها و عدم گرفتگی جزئی و یا مسدود شدن نازل‌ها و در صورت لزوم تمیز کردن آن‌ها.

۲- شست‌وشوی دستگاه پس از هر بار استفاده از دستگاه جهت پخش کود یا سم.

۳- بازدید مرتب از قسمت‌های الکتریکی دستگاه و کابل‌های برق دستگاه از نظر آسیب‌های احتمالی.

۴- گریس‌کاری قسمت‌های مختلف دستگاه

۵- کاسه‌نمد، اورینگ و پلینگ پایه مرکزی از نظر وجود نشت آب کنترل شود.

۶- در یک راستا بودن دستگاه (به خط بودن).

۷- بازدید گیربکس‌ها از نظر نفوذ آب و رطوبت و نیز میزان روغن موجود در آن.

### ۸-۳-۱۰- نگهداری دستگاه خارج از فصل آبیاری

۱- بعد از آخرین آبیاری، درپوش رسوب‌گیر و تمامی درپوش‌های تخلیه هر دهانه را باز کرده و اجازه داده شود که جریان آب داخل آن را کاملاً شست‌وشو دهد. پس از تخلیه کامل آب موجود در داخل دستگاه و اطمینان از این‌که آب دستگاه کاملاً تخلیه شده، تمامی درپوش‌های دستگاه بایستی بسته شود.

۲- کلیه مجراهایی که امکان دارد جانوران و یا پرندگان داخل آن‌ها شود، با وسایل مناسب مسدود گردد.

۳- تمام سرپوش‌های وسایل برقی کنترل شود، قسمت‌هایی از موتورها که بدون حفاظ است بایستی پوشیده شود.

۴- کلیه قسمت‌های متحرک با گریس مناسبی که در برابر آب باران مقاوم باشد، گریس‌کاری شود. توصیه می‌شود که محل اتصال در نقطه مرکزی دستگاه قبل از آخرین چرخش روغن‌کاری شود تا گریس به‌خوبی پخش گردد.

۵- روغن داخل گیربکس‌ها تخلیه و روغن مناسب جایگزین گردد. در حین این کار بررسی شود که آب داخل گیربکس نشده باشد. در صورتی‌که آب داخل آن‌ها شده باشد بایستی علت نفوذ آب بررسی و برطرف شود.

۶- با قرار دادن تکه‌های چوب به شکل گوه در زیر چرخ‌ها از دو طرف چرخ، از حرکت دستگاه در اثر وزش باد جلوگیری شده و به‌این ترتیب چرخ‌ها با زمین تماس نخواهد داشت.

۷- حداقل هر ماه یک‌بار چرخ‌ها در جای خود حرکت داده شود تا از فرسودگی آن‌ها جلوگیری شود.

۸- به‌منظور پارک کردن دستگاه رعایت نکات زیر ضروری هست:

- پارک ماشین در منطقه‌ای که خط سیر چرخ‌ها از بین رفته باشد.

- کنترل باد لاستیک‌ها

- انتخاب محلی که نسبت به بقیه نقاط مزرعه بلندتر باشد تا در موقع بارندگی در اطراف چرخ‌ها آب جمع نشود.

#### ۸-۳-۱۱- سرویس و نگهداری دستگاه

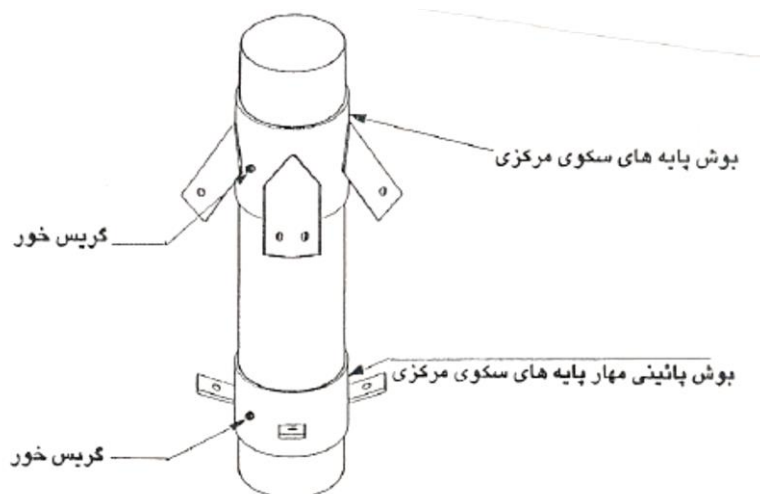
انجام سرویس‌های عمومی لازم و زمان انجام آن‌ها به‌منظور طولانی کردن عمر مفید دستگاه در جدول (۸-۱) زیر آمده است:

جدول ۸-۱- سرویس‌های عمومی موردنیاز دستگاه سنترپیوت

| بخش‌های مختلف              | شرح سرویس                                                                                                 | بعد از یک دور | بعد از چهار دور | قبل از شروع فصل آیاری |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| دکل مرکزی                  | بررسی پیچ و مهره‌ها و در صورت نیاز محکم کردن آن‌ها                                                        |               |                 | *                     |
|                            | بررسی و بازدید اتصال‌دهنده زمینی و در صورت نیاز محکم کردن آن                                              | *             | *               | *                     |
|                            | گرمس کاری زانوی بالا و بوش اتصال لوله عمودی به پایه‌ها                                                    |               |                 | *                     |
|                            | بررسی وضعیت برق و کابل‌ها                                                                                 |               |                 | *                     |
| دهانه‌ها                   | بازدید لوله و مجاری تخلیه                                                                                 |               |                 | *                     |
|                            | بازدید ژنراتور و الکتروموتور و پمپ سیستم                                                                  |               |                 | *                     |
|                            | بررسی و کنترل اتصال میله‌های نگهدارنده خریاها                                                             |               |                 | *                     |
|                            | بررسی و کنترل محل اتصال لوله‌ها (فلنج‌ها) از نظر آببندی و در صورت نیاز محکم کردن آن‌ها                    |               |                 | *                     |
| آپاش                       | بازدید سوپاپ‌های تخلیه و کنترل عملکرد آن‌ها (آببندی موقع کار و باز شدن موقع تخلیه)                        |               |                 | *                     |
|                            | کنترل قسمت‌های مختلف از نظر استحکام و سالم بودن                                                           |               |                 | *                     |
|                            | کنترل کابل‌های برق از نظر اتصال کامل                                                                      |               |                 | *                     |
|                            | کنترل فشار در محل مرکز دستگاه و مقایسه با فشار موردنیاز                                                   | *             | *               | *                     |
| دکل چرخ‌ها                 | استحکام اتصال آپاش‌ها و افتانک‌ها                                                                         |               |                 | *                     |
|                            | کنترل میزان ساییدگی و فرسایش آپاش‌ها (افزایش دور موتور و افت فشار خط لوله نشان‌دهنده فرسایش آپاش‌ها است). |               |                 | *                     |
|                            | کنترل عملکرد فشارسنج‌ها از نظر کار و کالیبراسیون                                                          |               |                 | *                     |
|                            | کنترل و بررسی گرفتگی افشانک آپاش‌ها                                                                       | *             | *               | *                     |
| تنظیم‌ها و کنترل‌های عمومی | شست‌وشوی کامل سیستم                                                                                       |               |                 | *                     |
|                            | بازدید اتصالات و در صورت نیاز محکم کردن آن‌ها                                                             |               |                 | *                     |
|                            | بازدید و کنترل کابل‌های برق از نظر اتصال صحیح                                                             |               |                 | *                     |
|                            | بازدید و تعویض روغن چمه‌دنده                                                                              | *             | *               | *                     |
|                            | بازدید کوپلینگ‌ها                                                                                         |               |                 | *                     |
|                            | بازدید و کنترل استحکام چرخ‌ها و در صورت نیاز محکم کردن پیچ‌های آن                                         |               |                 | *                     |
|                            | کنترل میزان فشار باد لاستیک‌ها و سالم بودن آن‌ها                                                          | *             | *               | *                     |
|                            | کنترل عملکرد الکتروموتورها و بررسی علت صداهای غیرعادی موقع کار                                            | *             | *               | *                     |
|                            | کنترل کلیدهای ایمنی و وضعیت میکروسوییچ‌های ایمنی                                                          | *             | *               | *                     |
|                            | بازدید کلیه پیچ و مهره‌ها و در صورت نیاز محکم کردن آن‌ها                                                  |               |                 | *                     |
|                            | کنترل لوله‌ها و اتصالات از نظر خوردگی و سوراخ شدن                                                         |               |                 | *                     |
|                            | کنترل و تنظیم راستای دستگاه                                                                               | *             | *               | *                     |

## ۸-۳-۱۱-۱- گریس کاری

در برج مرکزی محل اتصال قسمت ثابت لوله عمودی با قسمت متحرک (شکل ۸-۱۷) بایستی پس از هر دور گردش دستگاه گریس کاری شود. برای این منظور محل‌هایی در نظر گرفته شده است. گریس‌های مناسب برای این کار دارای شماره فنی ۲-۱۲۰۰، ۲-۶۳۰، AA۶۳۰ و A۱۳۰ هستند.



شکل ۸-۱۷- محل اتصال قسمت ثابت لوله عمودی با قسمت متحرک

## الف) سرویس جعبه‌دنده چرخ‌ها بعد از هر فصل آبیاری به شرح زیر انجام شود:

- دو طرف شافت وسط از لحاظ نشت روغن بازدید شود. در صورتی که کاسه‌نمدها نشت زیادی داشته باشد، بایستی تعویض شوند. برای تعویض کاسه‌نمد ابتدا تمام اطراف آن را به گریس از نوع #۲ باریوم و یا از انواع #۲ مقاوم در مقابل آب آغشته نموده و سپس کار گذاشته شود.
- گردگیر بیرونی (جهت جلوگیری از نفوذ آب و خاک) در صورت پاره شدن و یا خرابی تعویض شود.
- سوراخ‌های خروجی که در دو طرف درپوش قرار دارد باید همیشه تمیز باشد. به همین منظور سوراخ‌ها را با سیم نمره ۱۲ تمیز کنید و با چرخاندن سیم گردو خاک و گل را از آن جدا سازید.
- هر شافت ورودی نیروی محرک باید کاملاً گردان باشد؛ بنابراین باید بلبرینگ سالم بوده و خلاصی یا لقی نداشته باشد.

- تمام پیچ‌های روی درپوش باید با قدرت ۲۸ تا ۳۱ پوند آچارکشی گردد. همچنین تمام مهره‌ها با قدرت ۱۱۵ تا ۱۲۰ پوند آچارکشی شود.
- پیچ تخلیه زیر جعبه‌دنده را باز و تمام روغن آن را خارج سازید. اگر روغن آلوده به مواد خارجی باشد تمام جعبه‌دنده را با روغن مخصوص کاملاً شست‌وشو دهید.
- پیچ تخلیه را بسته و از محل پیچ بالایی، جعبه‌دنده را تا حد مجاز از روغن پر کنید.

#### ب) روغن مخصوص دنده چرخ‌ها

- از روغن شماره ۲۱۰۵-MIL/C یا ۱۴۰-SAE AG-۵ باید استفاده شود. ظرفیت هر جعبه‌دنده حدود یک گالن است. روغن‌های مشابه قابل استفاده عبارت‌اند از:
- هکتور ۱۵۰-S-فیلوب LB- شماره ۱۴۰
- شورون شماره ۱۴۰
- والالین ۸۵-۱۵۰
- موبیل ۸۵-۱۴۰
- بنزویل ۱۴۰-۱۸
- تکنزاکومالتی گیر ۱۴۰-EPSAE ۸۵W

#### ج) نگهداری در فصل بهره‌برداری

- سطح روغن در جعبه‌دنده با توجه به شکل (۸-۱۸) کنترل شود. در صورتی که روغن کم شده باید اضافه شود و علت برطرف گردد.
- روغن آلوده و یا تجزیه‌شده باید با روغن تمیز تعویض شود.
- سوراخ‌های ورودی و دریچه‌های تخلیه در هر طرف جعبه‌دنده باید همیشه تمیز باشد.
- درب لاستیکی ورودی و خروجی جعبه‌دنده همیشه بازدید شده و در صورت نشت روغن تعویض گردد.

#### ۸-۳-۱۱-۲- سرویس الکتروموتور و جعبه‌دنده مرکزی

##### الف) سرویس

- کاسه‌نمدها بازدید شوند و در صورتی که نشت روغن دارند تعویض شوند. برای تعویض بایستی ابتدا کاسه‌نمد به گریس به‌خوبی آغشته شود (نوع گریس باریوم/لیتیوم شماره ۲ یا مارک‌های مشابه).
- گردگیرهای بیرونی بازدید شود و در صورتی که خراب شده‌اند تعویض گردد.

- پیچ تخلیه زیر جعبه‌دنده را باز کرده و روغن را کاملاً خارج کنید. اگر روغن آلوده یا تجزیه شده باشد جعبه‌دنده را با روغن مخصوص شست‌وشو نمایید (شکل ۸-۱۹).
- پیچ تخلیه را نصب کرده و جعبه‌دنده را تا سطح تعیین شده از روغن پر کنید.
- تمام پیچ‌های جعبه‌دنده با قدرت ۱۳ تا ۱۵ پوند آچارکشی شود.

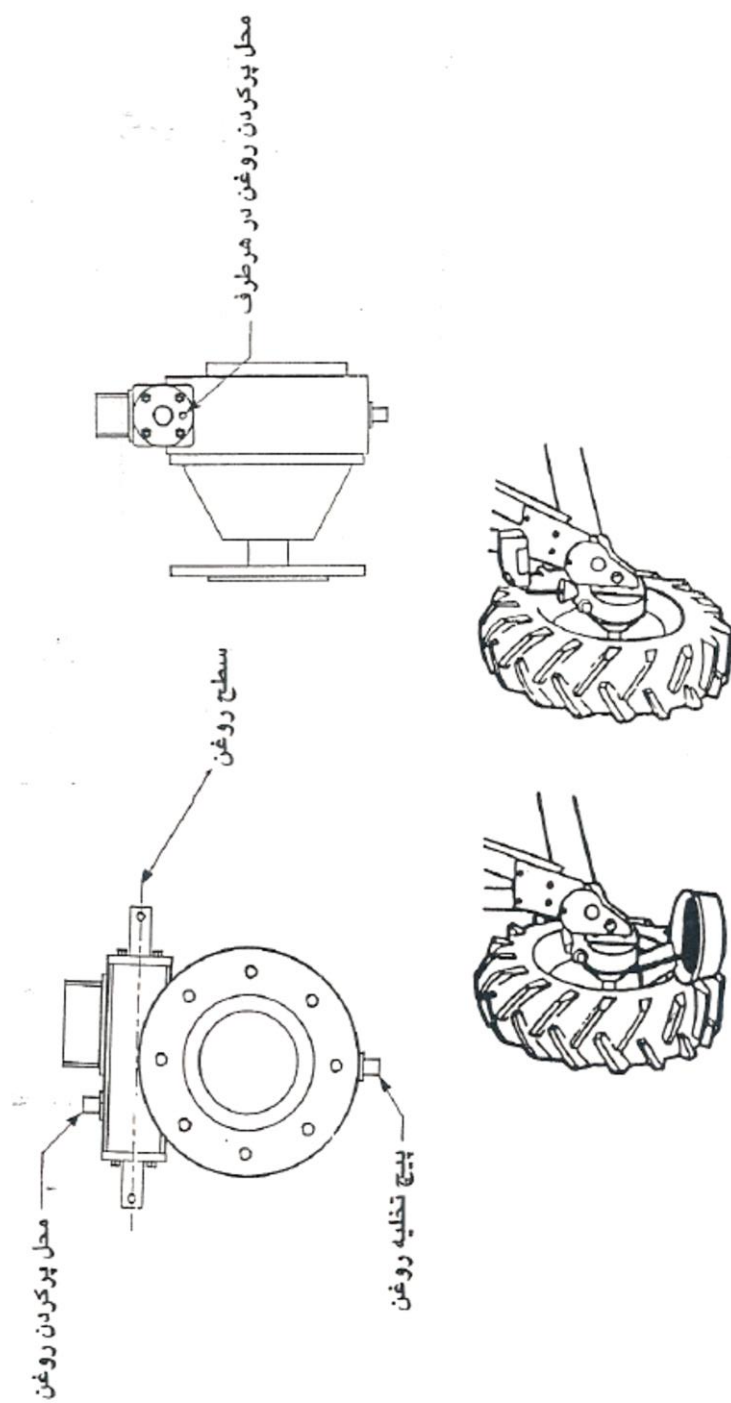
#### ب) روغن مناسب برای جعبه‌دنده مرکزی

- از روغن‌های SAE۵۰W، SAE۹۰W، SAE ۳۰W و یا روغن‌های ۵۰-W SAE۲۰ چهارفصل با غلظت و چسبندگی مضاعف استفاده کنید. ظرفیت جعبه‌دنده مرکزی حدود ۵ لیتر است.

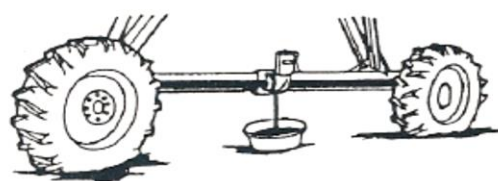
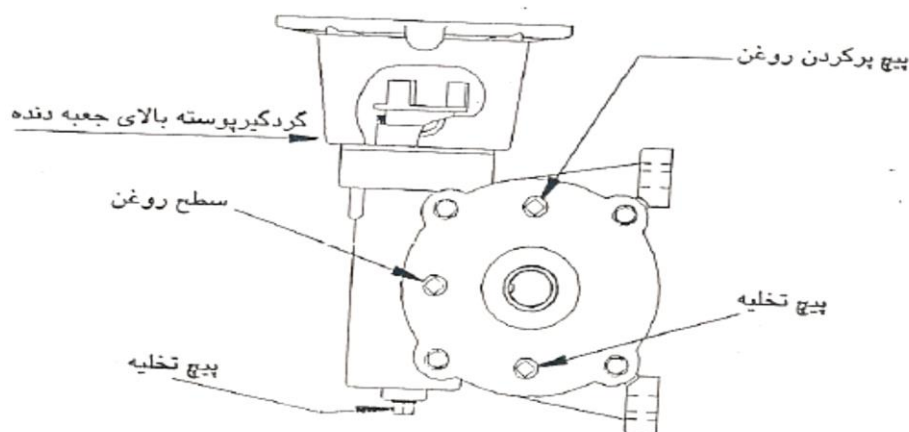
#### ج) نگهداری در فصل بهره‌برداری

- سطح روغن به‌طور مرتب بازدید شود. در صورتی که کم شده باشد باید علت برطرف و سپس روغن به میزان موردنیاز اضافه شود.
- روغن آلوده شده به مواد خارجی و یا تجزیه شده، تخلیه و روغن تمیز اضافه شود.
- کاسه‌نمدها به‌طور مرتب بازدید و از لحاظ نشت روغن کنترل شوند.
- اتصالات حرکتی (گاردان) به‌صورت دوره‌ای بازدید و پیچ‌های فرسوده تعویض شود.





شکل ۸-۱۸- محل اتصال قسمت ثابت لوله عمودی با قسمت متحرک



شکل ۸-۱۹- جعبه‌دنده مرکزی هر برج و تعویض روغن آن

#### ۸-۳-۱۲- رفع عیوب احتمالی

اشکالات معمول که ممکن است بر اثر استفاده از دستگاه به وجود آید و نحوه برطرف نمودن آن‌ها به صورت جداگانه خواهد آمد تا برای مرتفع نمودن موارد و اشکالات پیش آمده، کم‌ترین زمان ممکن صرف شود.

توجه به نکات زیر در هنگام رفع عیب دستگاه ضروری است:

- ۱- مدارهای الکتریکی دستگاه دارای ولتاژ بالا (۳۸۰ ولت) هستند، پیش از هرگونه اقدامی کلید اصلی دستگاه را قطع کرده و در تابلو را قفل کنید.
- ۲- داخل کلیه لوله‌های دستگاه، آب با فشار زیاد در جریان است، پمپ دستگاه را خاموش کرده و کاملاً صبر کنید تا دستگاه از آب تخلیه شود و سپس برای تعمیرات آن اقدام کنید.

جدول ۸-۲-عیوب پیش آمده و روش رفع آن

| اشکال پیش آمده                                                                                                                                      | علت                                                              | چگونگی رفع اشکال                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| نشست آب از:<br>- پکینگ لوله عبور کابل<br>- کاسه‌نمد اصلی پایه مرکزی<br>- اتصال مابین دهانه‌ها (لوله لاستیکی)<br>- سوپاپ تخلیه<br>- رسوب گیر انتهایی | - شل بودن درپوش پکینگ                                            | - محکم کردن پیچ‌های درپوش پکینگ                                              |
|                                                                                                                                                     | - از بین رفتن کاسه‌نمد و لبه‌های آن                              | - تعویض کاسه‌نمد                                                             |
|                                                                                                                                                     | - شل بودن بست‌های لوله لاستیکی، فرسودگی و یا پارگی لوله لاستیکی. | - محکم کردن بست‌های لوله لاستیکی، تعویض لوله لاستیکی در صورت لزوم.           |
|                                                                                                                                                     | - رسوب‌گرفتگی                                                    | - آن را باز کرده و تمیز نمایید.                                              |
|                                                                                                                                                     | - وجود رسوب یا عدم آب‌بندی                                       | - درپوش رسوب‌گیر را باز کرده، داخل آن را تمیز نموده و مجدداً در جای خود محکم |
| صدای غیرعادی از گیربکس یا الکتروگیربکس                                                                                                              | - رسوب‌گرفتگی                                                    | - افزودن روغن تا میزان کافی                                                  |
|                                                                                                                                                     | - کم بودن میزان روغن                                             | - تعویض کامل روغن                                                            |
|                                                                                                                                                     | - فاسدشدن روغن                                                   | - تعویض بلبرینگ‌های فرسوده                                                   |
|                                                                                                                                                     | - فرسوده‌شدن بلبرینگ‌ها                                          | - تعویض بلبرینگ‌های فرسوده                                                   |
|                                                                                                                                                     | - فرسودگی منجنبت گاردان                                          | - تعویض منجنبت گاردان                                                        |
| دستگاه در وضعیت اضطراری متوقف شده                                                                                                                   | - عمل نمودن سیستم حفاظت الکتروموتور (بی متال/ فیوز)              | - پر کردن مسیر حرکت چرخ‌ها                                                   |
|                                                                                                                                                     | - به علت:                                                        | - رفع پنچری                                                                  |
|                                                                                                                                                     | - در کل فرورفتن چرخ‌های دستگاه                                   | - افزودن روغن به گیربکس‌ها                                                   |
|                                                                                                                                                     | - پنچر شدن                                                       | - تعویض منجنبت گاردان                                                        |
|                                                                                                                                                     | - کم بودن روغن گیربکس‌ها                                         | - تعویض کابل و یا ترمیم آن                                                   |
|                                                                                                                                                     | - پاره شدن منجنبت گاردان                                         | - تعویض میکروسوییچ و تنظیم آن                                                |
|                                                                                                                                                     | - پارگی در کابل الکتروموتور                                      | - تعویض قطعه سوخته                                                           |
|                                                                                                                                                     | - خراب شدن میکروسوییچ                                            | - پس از رفع عیب، دستگاه را مطابق دستورالعمل ارائه‌شده در بند ۵-۵ مجدداً      |

## ادامه جدول ۸-۲-عیوب پیش آمده و روش رفع آن

| چگونگی رفع اشکال                                                                                                                                                                                                                                 | علت                                                                                                                                                                                       | اشکال پیش آمده                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| فشار آب داخل دستگاه را به حد لازم خود رسانده و سپس دستگاه را روشن کنید و با سوئیچ فشار را مجدداً برای مقداری کلید فوق را در وضعیت «بدون آب» قرار دهید، حتی به هنگام آبیاری کلیه پارامترهای وضعیت اضطراری را برای آخرین دهانه دستگاه کنترل کرده و | اگر دستگاه دارای سوئیچ فشار است و کلید حرکت دستگاه در حالت «با آب» قرار دارد فشار آب داخل دستگاه کم است.<br>اگر دستگاه فاقد سوئیچ فشار است و کلید وضعیت دستگاه در حالت «با آب» قرار دارد. | دستگاه روشن شده، ولی پس از مدتی کوتاه متوقف می‌گردد. (دستگاه در وضعیت اضطراری نیست) |

### ۸-۳-۱۳- دستورالعمل شست و شوی ماشین آبیاری سنتر پیوت

هدف از این کار جدا کردن ذرات گرد و خاک و آشغال از لوله‌هاست. تجمع بیش از حد ذرات شن در ماشین سبب افزایش وزن و آسیب ساختاری به دستگاه می‌شود.

شست و شو باید بعد از مراحل زیر اجرا شود:

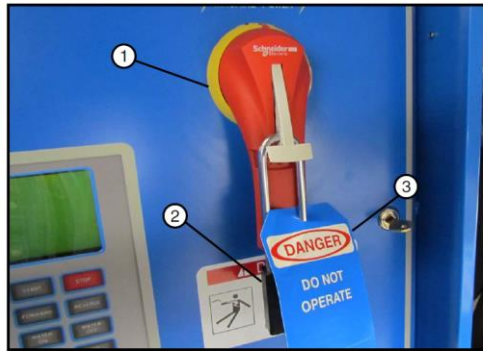
- ۱- بعد از نصب دستگاه
  - ۲- بعد از تعمیر پمپ‌ها
  - ۳- بعد از انجام تعمیرات اساسی
  - ۴- به‌طور فصلی، قبل از کار با دستگاه و بعد از پایان فصل کار
- توجه:** زمانی که آب در دستگاه جریان دارد. هرگز دستگاه را نشوید، هنگامی که پیوت تحت فشار آب است هرگز دریچه مخزن شن را باز نکنید.
۱. برای شستن دستگاه مراحل زیر را اجرا کنید:
  ۲. سوئیچ اصلی را قطع کنید. نیازی به روشن بودن پیوت نیست (فقط آب لازم است).
  ۳. شیر تخلیه آب لوله‌ها را در هر برج جدا کنید. ذرات خارجی و شن را از این شیرها خارج کنید.
  ۴. جدا کردن دریچه‌های خروجی شن از آخرین واحد فرمان (Drive Unit)
  ۵. جدا کردن دریچه اورهنگ
  ۶. موتور و پمپ را روشن کنید تا آب با فشار از دستگاه خارج شود.
  ۷. ورود آب را قطع کرده و شیر تخلیه آب، دریچه مخزن شن را مجدداً نصب کنید. بعد از شست و شو مطمئن شوید که آب به‌طور کامل از شیر تخلیه آب خارج شده است (برای جلوگیری از یخ زدن و ترک خوردن لوله‌های آب در اثر سرما)

### ۸-۳-۱۴- گریس کاری محور گردنده پیوت

این محور بعد از هر ۵ تا ۱۰ چرخش دستگاه باید گریس کاری شود.

### ۸-۳-۱۵- نکات مهم عمومی دستگاه

- ۱- قبل از سرویس دستگاه حتماً برق دستگاه را قطع کنید و برای اطمینان بیشتر درب تابلو را قفل و یا فیوزهای داخل تابلو را بیرون آورید (شکل ۸-۲۰)، همچنین می‌توانید با نصب کارت‌های هشداردهنده (شکل ۸-۲۱) بر روی تابلوی دستگاه، دیگران را مطلع کنید.



شکل ۸-۲۰- کلید خاموش ماشین آبیاری به همراه علائم هشداردهنده  
(۱- کلید خاموش دستگاه ۲- قفل ۳- برچسب حفاظتی)

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| <b>توجه</b>                           | <b>توجه</b> |
| <b>خطر</b>                            |             |
| <b>دستگاه در حالت سرویس قرار دارد</b> |             |
| <b>لطفاً روشن نکنید</b>               |             |
| نام سرویس کار : .....                 |             |
| روز سرویس : .....                     |             |
| تاریخ سرویس : .....                   |             |
| ساعت سرویس : .....                    |             |

شکل ۸-۲۱- نمونه‌ای از کارت سرویس دستگاه

۲- بهتر است با بایگانی کارت‌های سرویس سوابق دستگاه را نگاه دارید.

۳- در این دستگاه جهت انتقال نیرو از الکتروگیربکس به چرخ‌ها از گاردان (محور) استفاده می‌گردد، لذا با توجه به اینکه گاردان در حال کار نیروی چرخشی زیادی وارد می‌کند لازم است که از تکیه دادن، گرفتن و یا قرار دادن اشیاء بر روی آن جداً خودداری شود (شکل ۸-۲۲).



شکل ۸-۲۲- از دست زدن به محور در حال حرکت جداً بپرهیزید.

توجه داشته باشید که در صورت سوختن فیوزهای دستگاه از افزایش جریان فیوز خودداری نموده و حتماً از فیوزهای مشابه استفاده کنید و از نصب سیم به جای فیوز جداً خودداری کنید، لازم به ذکر است در صورت تکرار این عیب حتماً با گروه تعمیرات شرکت تماس برقرار کنید. ۴- هر زمان که احتمال می‌دهید بارندگی با رعدوبرق همراه باشد از دست زدن، تکیه دادن و حتی نزدیک شدن به دستگاه جداً خودداری کنید (شکل ۸-۲۳).



شکل ۸-۲۳- خطر صاعقه‌زدگی

۵- قبل از روشن کردن دستگاه حتماً مسیر حرکت دستگاه را از نظر وجود مانع بررسی و آنها را رفع نمایید (شکل ۸-۲۴).



شکل ۸-۲۴- برخورد دستگاه با موانع موجود در مسیر حرکت آن

- ۷- با توجه به این که این دستگاه‌ها قابلیت توزیع انواع سموم و کودهای حل شده در آب را با تزریق در آب ورودی دستگاه دارند و به دلیل این که بعضی از سموم شیمیایی خاصیت خوردگی دارند؛ لذا قبل از استفاده از هرگونه سم یا کود آن‌ها را از این لحاظ بررسی کنید.
- ۸- کودکان را از دستگاه دور نگه دارید و اجازه بازی کردن در اطراف دستگاه را به آن‌ها ندهید.
- ۹- لطفاً به لوله اورهنگ آویزان نشوید؛ زیرا باعث کج شدن و یا شکستن آن می‌شود.
- ۱۰- در زمان پایین آمدن درجه حرارت از  $4/5^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس، لطفاً از دستگاه برای آبیاری استفاده نکنید.
- ۱۱- در مورد دستگاه‌هایی که دارای اهرم قطع حرکت در انتها هستند، لازم است که قبل از حرکت دادن دستگاه از صحت عملکرد این اهرم مطمئن شوید.
- ۱۲- قبل از روشن کردن دستگاه مقدار ولتاژ ورودی را بررسی نمایید ( $380-400$  ولت).
- ۱۳- روی تابلوی کنترل اسپن واقع در بالای دکل‌های چرخ دستگاه یک کلید دوحالت ON/OFF قرار دارد، در صورتی که به هر دلیلی بخواهید دستگاه را متوقف کنید روی نزدیک‌ترین دکل چرخ رفته و کلید را در حالت OFF قرار دهید.
- ۱۴- پس از اتمام هر فصل زراعی با باز کردن درپوش‌های انتهایی دستگاه، آن را به مدت ۱۵ دقیقه روشن کرده تا لوله‌های دستگاه شسته و برای فصل آینده آماده شوند.
- ۱۵- در صورت مشاهده موارد زیر بلافاصله با اکیپ تعمیرات دستگاه تماس حاصل نمایید:  
الف- آسیب دیدگی فیزیکی دستگاه



ب- آسیب‌دیدگی کابل‌های دستگاه

ج- آسیب‌دیدگی به دلیل برخورد صاعقه

د- عملکرد ناصحیح دستگاه

۱۶- قبل از شروع هر فصل زراعی و شروع به کار دستگاه حتماً موارد مندرج در جدول نگهداری دستگاه را کنترل نمایید.

#### ۸-۴- ماشین آبیاری لینیئر

ماشین‌های آبیاری لینیئر سه نوع ارايه دارند. ارايه استاندارد، چرخان و چرخش به طرفین. سیستم تغذیه دستگاه‌های لینیئر ممکن است به صورت تغذیه با شلنگ (هیدرانت آگیری) و یا تغذیه از کانال روباز باشد. ورودی لوله در دستگاه‌های تغذیه با شلنگ از وسط یا یک سمت ارايه است. ضمناً محل قرارگیری کنترل باکس‌ها بستگی به نوع ماشین و سیستم هدایت ماشین دارد. ارايه‌های استاندارد نزدیک منبع تغذیه شامل خط لوله یا کانال، قرار گرفته و همواره انتهای ماشین هستند.

#### ۸-۴-۱- سیستم هدایت ماشین آبیاری لینیئر

سه نوع مختلف سیستم هدایت ماشین آبیاری لینیئر وجود دارد که عبارت‌اند از:

- کابل روزمینی
- فارو
- هدایت زیرزمینی
- سیستم هدایت ماشین آبیاری لینیئر روزمینی

##### ۸-۴-۱-۱- سیستم هدایت کابل روزمینی

این سیستم عبارت است از: یک کابل روزمینی که باعث حرکت دستگاه به موازات لوله تأمین آب یا کانال روباز می‌شود. دو کنترل باکس به ارايه ماشین متصل می‌گردد. بازوهای سیستم هدایت، باعث حرکت دستگاه در مسیر موردنظر می‌شوند.

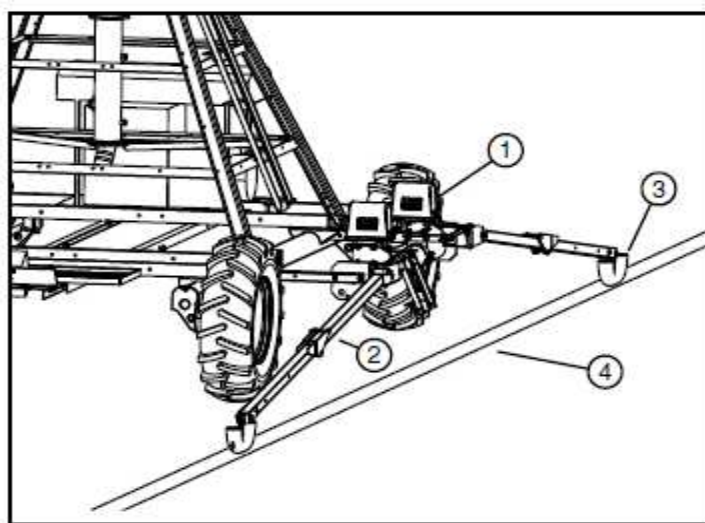
##### ۸-۴-۱-۲- سیستم هدایت فارو

سیستم هدایت فارو شامل دو باکس هدایت فارو، بازوها و سری‌های لغزنده داخل فارو است.

فاروها V شکل بوده و ۱۱۰/۶ میلی‌متر تا ۱۵۲/۴ میلی‌متر عمق دارند. هنگامی که ارابهٔ لینییر از فارو خارج می‌شود، بازوهای هدایت یک سوئیچ را فعال می‌کنند تا دستگاه به مسیر صحیح بازگردد. چنانچه سوئیچ مذکور عمل نکند، سیستم پشتیبان، ماشین را خاموش می‌نماید.



شکل ۸-۲۵- سیستم هدایت کابل روزمینی (۱- کابل ۲- باکس هدایت ۳- بازوی کنترل)

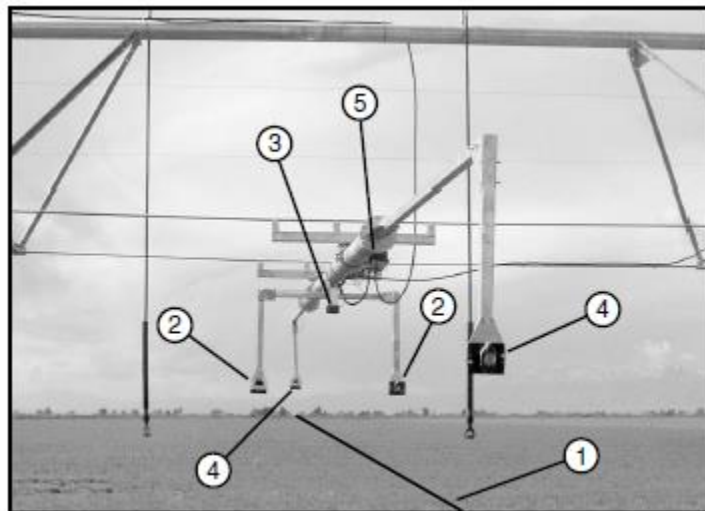


شکل ۸-۲۶- سیستم هدایت فارو (۱- باکس هدایت ۲- بازو ۳- سرهای لغزنده ۴- فارو)

#### ۸-۴-۳- سیستم هدایت زیرزمینی

سیستم هدایت زیرزمینی شامل یک کابل دفن شده در داخل زمین، یک باکس هدایت، ۵ آنتن واقع روی ماشین و یک نوسان گر جهت تأمین نیروی کابل دفن شده است. کابل دفن شده در زمانی که نوسان گر روشن است یک سیگنال منتشر می کند. قبل از حرکت ماشین بایستی از روشن بودن نوسان گر اطمینان یافت.

آنتن مرجع بالای کابل دفن شده، سیگنال را مانیتور می نماید. چنانچه آنتن هدایت حرکت به جلو و یا حرکت به عقب به سمت چپ و یا راست کابل دفن شده حرکت کند، در فاز یا خارج از فاز با آنتن مرجع می گردد و باعث می شود تا سیستم به مسیر صحیح خود باز گردد.



شکل ۸-۲۷- سیستم هدایت کابل زیرزمینی

(۱- کابل دفن شده ۲- آنتن از دست رفتن فاز ۳- آنتن مرجع ۴- آنتن هدایت ۵- باکس هدایت)

#### ۸-۵- توصیه های نگهداری

اصول نگهداری از ماشین های آبیاری لاینر شبیه به ماشین های آبیاری سنتریپوت است. باین حال برخی نکات در خصوص نگهداری از دستگاه های لاینر بایستی رعایت گردد که به شرح جدول (۸-۳) است.

جدول ۸-۳- سرویس‌های عمومی موردنیاز دستگاه لاینر

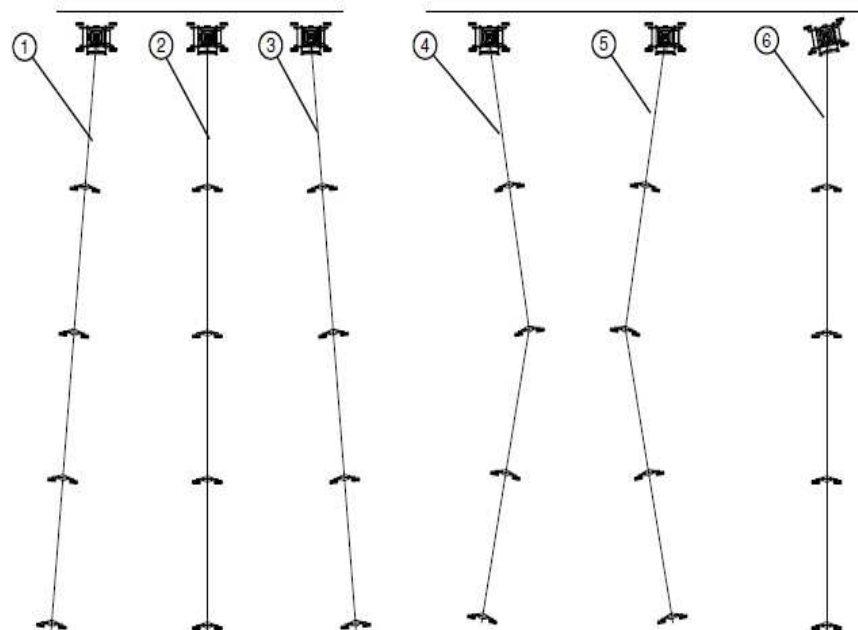
| بخش‌های مختلف | شرح سرویس                                                    | بعد از یک دور | بعد از چهار دور | قبل از شروع فصل آبیاری |
|---------------|--------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------|
| دکل مرکزی     | بررسی پیچ و مهره‌ها و در صورت نیاز محکم کردن آن‌ها           | *             |                 | *                      |
|               | بررسی و بازدید اتصال‌دهنده زمینی و در صورت نیاز محکم کردن آن | *             |                 | *                      |
|               | گریس‌کاری زانوی بالا و بوش اتصال لوله عمودی به پایه‌ها       | *             | *               | *                      |
|               | بررسی وضعیت برق و کابل‌ها                                    | *             |                 | *                      |
|               | بازدید لوله و مجاری تخلیه                                    | *             |                 | *                      |
|               | بازدید ژنراتور و الکتروموتور و پمپ سیستم                     | *             |                 | *                      |
|               | بازدید و تمیزکاری صافی‌ها                                    | *             |                 | *                      |
|               | گریس‌کاری یاتاقان‌های چرخ هدایت حرکت ارباب دستگاه لاینر      | *             |                 | *                      |
|               | بررسی وضعیت اتصال‌های الکتریکی                               | *             |                 | *                      |

سایر سرویس‌های عمومی موردنیاز دستگاه لاینر با دستگاه سنتریپوت یکسان است.

### ۸-۶- انواع خاموش شدن‌های دستگاه‌های لاینر

انواع خاموش شدن‌هایی که برای دستگاه لاینر ممکن است رخ دهد به شرح زیر است:

- ۱- انواع حالت‌های خاموش شدن دستگاه در داخل خط
  - دستگاه هم‌راستا است ولی برج انتهایی جلوتر از ارباب دستگاه است (۱).
  - ماشین هم‌راستا است ولی ارباب اصلی دستگاه جلوتر از برج انتهایی است (۳).
  - خاموشی ماشین در شرایطی که دستگاه هم‌راستا است (۲).
- ۲- خاموش شدن دستگاه به علت عقب ماندن برج میانی (۴).
- ۳- خاموش شدن دستگاه به علت جلو رفتن برج میانی (۵).
- ۴- چرخ ارباب اصلی دستگاه (۶).



شکل ۸-۲۸- انواع حالت‌های خاموشی دستگاه لینیر

### ۸-۷- رفع عیب دستگاه در حالت‌های مختلف خاموش شدن

۱- ماشین هم‌راستا است ولی برج انتهایی جلو تر است.

| محل خرابی   | نوع خرابی         | روش تعمیر                                                   |
|-------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|
|             | گیر کردن          | پر کردن مسیر چرخ‌ها با خاک خشک یا سنگ                       |
|             | لاستیک صاف        | تعمیر لاستیک                                                |
|             | خرابی اتصال U شکل | جایگزینی اتصال U شکل                                        |
| ارابه       | خرابی گیربکس      | تعمیر و یا جایگزینی گیربکس                                  |
|             | خرابی الکتروموتور | تعمیر و یا تعویض الکتروگیربکس در صورت نیاز تماس با تعمیرکار |
|             | خرابی کنتاکتورها  | تماس با تعمیرکار                                            |
|             | خرابی سیستم هدایت | تماس با تعمیرکار                                            |
| برج انتهایی | خرابی کنتاکتورها  | تماس با تعمیرکار                                            |

## ۲- ماشین هم‌راستا است ولی ارابه جلوتر از برج انتهایی است.

| محل خرابی   | نوع خرابی         | روش تعمیر                                                   |
|-------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|
|             | گیر کردن          | پر کردن مسیر چرخ‌ها با خاک خشک یا سنگ                       |
|             | لاستیک صاف        | تعمیر لاستیک                                                |
|             | خرابی اتصال U شکل | جایگزینی اتصال U شکل                                        |
| برج انتهایی | خرابی گیربکس      | تعمیر و یا جایگزینی گیربکس                                  |
|             | خرابی الکتروموتور | تعمیر و یا تعویض الکتروگیربکس در صورت نیاز تماس با تعمیرکار |
|             | خرابی کنتاکتورها  | تماس با تعمیرکار                                            |
|             | خرابی سیستم هدایت | تماس با تعمیرکار                                            |
| ارابه       | خرابی کنتاکتورها  | تماس با تعمیرکار                                            |

## ۳- ماشین هم‌راستا است و ماشین در یک خط قرار دارد.

| محل خرابی        | نوع خرابی                | روش تعمیر                                            |
|------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|
|                  | موتور/ ژنراتور           | بازرسی سوخت موتور، سطح روغن، سطح مایع خنک‌کننده و... |
| خرابی منبع تغذیه | قدرت                     | تماس با تعمیرکار                                     |
|                  | سیم برق از پریز خارج شده | تنظیم انتهای لوله                                    |
|                  | توقف به علت انتهای لوله  | جابه‌جایی استاپر                                     |
|                  | فشار کم                  | بازرسی منبع تأمین آب و سیستم تغذیه                   |
|                  | آبیاری بیش از زمان تنظیم | تماس با تعمیرکار                                     |
| خرابی ماشین      | فیوزهای ورم کرده         | تماس با تعمیرکار                                     |
|                  | تعمیر درصد               | تماس با تعمیرکار                                     |
|                  | نوسان سیگنال             | تماس با تعمیرکار                                     |
|                  | گیرنده/آنتن              | تماس با تعمیرکار                                     |

- ۴- خاموش شدن دستگاه به علت جلوتر بودن برج میانی  
در این حالت، جهت حرکت دستگاه را نبایستی برعکس نمود؛ چراکه باعث آسیب رساندن به سازه دستگاه می‌شود و اصلاح هم‌راستایی بایستی در جهت حرکت اولیه باشد.
- کنتاکتور گیر کردن برج بسته شده
  - تماس با تعمیرکار
  - کنتاکتور توقف برج خراب شده
  - تماس با تعمیرکار
  - خرابی هم‌راستایی برج
  - تماس با تعمیرکار
- ۵- خاموش شدن دستگاه به علت عقب ماندن برج میانی  
چنانچه گفته شد بایستی از حرکت دستگاه در خلاف جهت حرکت اولیه خودداری کرد.
- صاف شدن لاستیک‌ها
  - تعمیر و یا تعویض لاستیک‌ها
  - گیر کردن برج
  - پر کردن مسیر چرخ‌ها با خاک خشک
  - اتصال U شکل
  - تعمیر یا تعویض قطعه
  - گیربکس چرخ یا برج
  - تعمیر یا تعویض قطعه
  - الکتروموتور
  - تماس با تعمیرکار
  - کنتاکتور
  - تماس با تعمیرکار
  - میکرو سویچ
  - تماس با تعمیرکار
  - هم‌راستایی برج
  - تماس با تعمیرکار
- ۶- خاموش شدن دستگاه به علت چرخ ارابه
- سوئیچ مجاورت
  - تماس با تعمیرکار
  - خرابی کنتاکتور
  - تماس با تعمیرکار
  - خرابی ارابه
  - تماس با تعمیرکار
  - خرابی فرمان هدایت
  - تماس با تعمیرکار

## ۸-۸- دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک

روش‌های کلاسیک از ساده‌ترین روش‌های آبیاری بارانی هستند. اجزای مختلف این روش شامل: تأسیسات تأمین فشار، شبکه لوله‌های اصلی، فرعی، آب‌رسان، بال‌های آبیاری، آبپاش‌ها، اتصالات و تجهیزات است. در این روش نکات زیر حائز اهمیت است:

۱- ایستگاه پمپاژ، لوله‌های اصلی و فرعی و بال‌ها ثابت بوده و آبپاش‌ها توسط کارگر جابه‌جا می‌شود.

۲- برای امکان جابه‌جایی، آبپاش‌ها روی بال آبیاری شیرهای خودکار به فواصل معین نصب می‌شود.

۳- برای کاهش هزینه‌های اجرایی از آبپاش‌های بزرگ‌تر و با فواصل جابه‌جایی بیشتر استفاده می‌شود.

۴- بال‌های آبیاری می‌تواند روی زمین و یا به‌طور ثابت در زیرزمین نصب شود.

۵- محدودیتی از نظر شکل و ابعاد زمین و گیاه وجود ندارد.

۶- هزینه‌های سرمایه‌گذاری نسبت به روش‌های قبلی بیشتر است.

با توجه به این‌که در این روش جابه‌جایی‌ها زیاد بوده و اتصالات و تجهیزات متنوع است، بایستی بهره‌برداری و نگهداری از سیستم با رعایت نکات فنی و اصولی انجام پذیرد تا طول عمر وسایل زیادتر بوده و بازده سیستم بالا رود.

### ۸-۸-۱- اجزای مختلف روش‌های آبیاری کلاسیک

یک سیستم آبیاری کلاسیک به‌طور کلی از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

- تأسیسات تأمین فشار: شامل موتور، پمپ و تجهیزات مربوطه است.

- شبکه لوله‌ها: شامل لوله‌های اصلی، فرعی، آبرسان و بال‌های آبیاری است که آب را از ایستگاه پمپاژ و به آبپاش‌ها منتقل می‌کنند.

#### ۸-۸-۱-۱- آبپاش‌ها

از مهم‌ترین و حساس‌ترین اجزای سیستم هستند. در آبیاری کلاسیک معمولاً از آبپاش‌های ضربه‌ای استفاده می‌شود.

#### ۸-۸-۱-۲- اتصالات و تجهیزات

برای برقراری ارتباط بین قسمت‌های مختلف سیستم از انواع اتصالات و تجهیزات به شرح زیر استفاده می‌شود:

۱- اتصالات: برای متصل کردن لوله‌ها به یکدیگر استفاده می‌شوند و ممکن است جوشی، فلنج‌دار و کمربندی باشند.

۲- سه‌راهی: برای انشعاب خطوط لوله به کار می‌رود که می‌تواند شامل سه‌راهی ساده، سه‌راهی نر، ماده و تبدیلی باشد.

۳- زانوها: برای منحرف کردن مسیر خطوط لوله در انواع ۱۷/۲۵، ۲۲/۵، ۴۵ و ۹۰ درجه به کار می‌روند.



- ۴- **شیر آگیری:** برای باز کردن آگیر و برقرار کردن جریان آب داخل بال آبیاری به کار می رود.
- ۵- **شیر خودکار:** شیر یکطرفه است که باعث برقراری جریان آب از بال آبیاری به آبپاش می شود.
- ۶- **بست انتهایی:** برای مسدود کردن انتهای خطوط لوله آب رسان (رابط) و بال های آبیاری به کار می رود.
- ۷- علاوه بر موارد ذکر شده، اتصالات و ضمایم دیگر مانند کنتور حجمی، شیر فشارشکن در سیستم وجود دارند.
- شکل ۸-۲۹ اتصالات و تجهیزات سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک را نشان می دهد.



شکل ۸-۲۹- اتصالات و تجهیزات سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک

مسائل بهره برداری بستگی به وسعت طرح و نیز شرایط خاص منطقه دارد. در اینجا مسائل بهره برداری و نگهداری به طور کلی ارائه شده و در موارد لزوم شرایط و موارد خاص توضیح داده شده

است. آنچه مسلم است برای استفاده بهینه از سیستم مدیریت صحیح بهره‌برداری و نگهداری به همراه تجربه مفید لازم است تا در شرایط مختلف حداکثر استفاده از سیستم به عمل آید.

#### ۸-۸-۲- بررسی و کنترل قبل از راه‌اندازی سیستم

- الف- بال‌های آبیاری طبق آنچه در طرح ارائه شده در محل مناسب قرار گرفته باشند.
- ب- کلیه اتصالات بررسی و کنترل شوند تا انفصالی در خط نباشد.
- ج- وضعیت پایه‌های آبپاش و آبپاش‌ها کنترل شود. کلیه پایه‌ها بایستی به‌صورت عمودی قرار گرفته باشند.
- د- درپوش انتهایی بال‌ها و خطوط لوله باز باشد.
- ه - بال‌ها از طریق شیر آگیری به آگیرها متصل گردد و شیرفلکه در وضعیت نیمه‌باز قرار داده شود.

#### ۸-۸-۳- شروع به کار سیستم

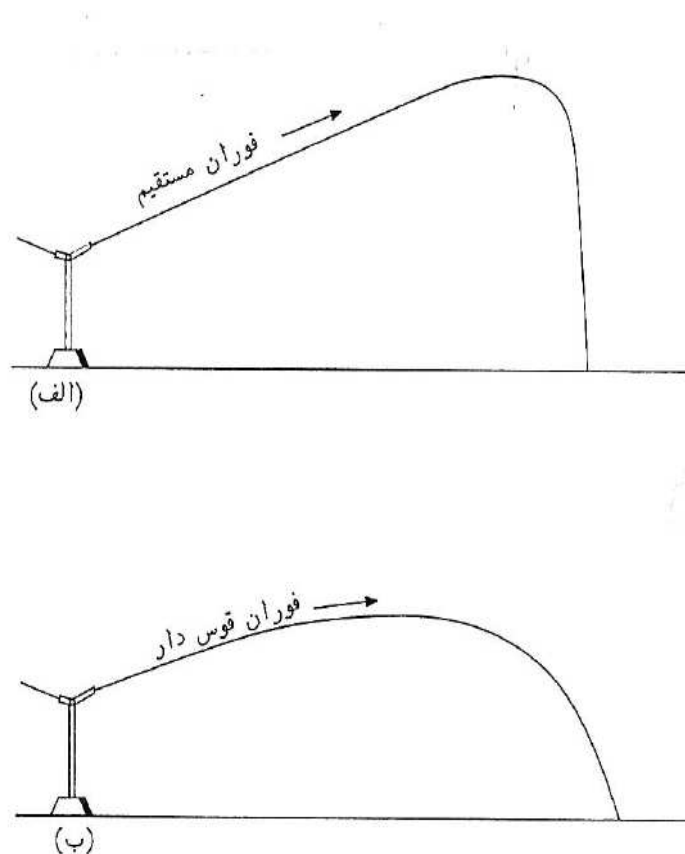
ابتدا بایستی آب با شدت جریان کم وارد لوله‌ها شود (تا برای خروج هوای موجود در داخل لوله‌ها فرصت کافی وجود داشته باشد). بعد از این که آب از قسمت انتهایی بال‌ها برای مدتی خارج شد (برای خروج مواد زائد جمع شده در لوله) بایستی به ترتیب درپوش انتهایی بال‌ها و خطوط لوله آب‌رسان، فرعی و اصلی نصب و شدت جریان آب به تدریج زیاد شود تا فشار و دبی مورد نیاز طراحی حاصل گردد. کنترل فشار در ایستگاه پمپاژ به‌صورت زیر انجام شود:

موتور گرداننده پمپ، الکتریکی است؛ بایستی از سیستم برگشت آب (By Pass) در ایستگاه پمپاژ استفاده شود. ابتدا شیرفلکه برگشت آب باز گذاشته شود تا قسمتی از دبی به حوضچه برگردد و آب با فشار کمتری وارد لوله شود. بعد از خروج آب از انتهای لوله‌های جانبی و اطمینان از خروج هوای موجود در لوله‌ها، شیرفلکه برگشتی آب به آرامی بسته می‌شود، در ضمن بستن شیرفلکه به فشارسنج توجه می‌شود تا فشار مورد نیاز طراحی تنظیم گردد.

#### ۸-۸-۴- کنترل فشار

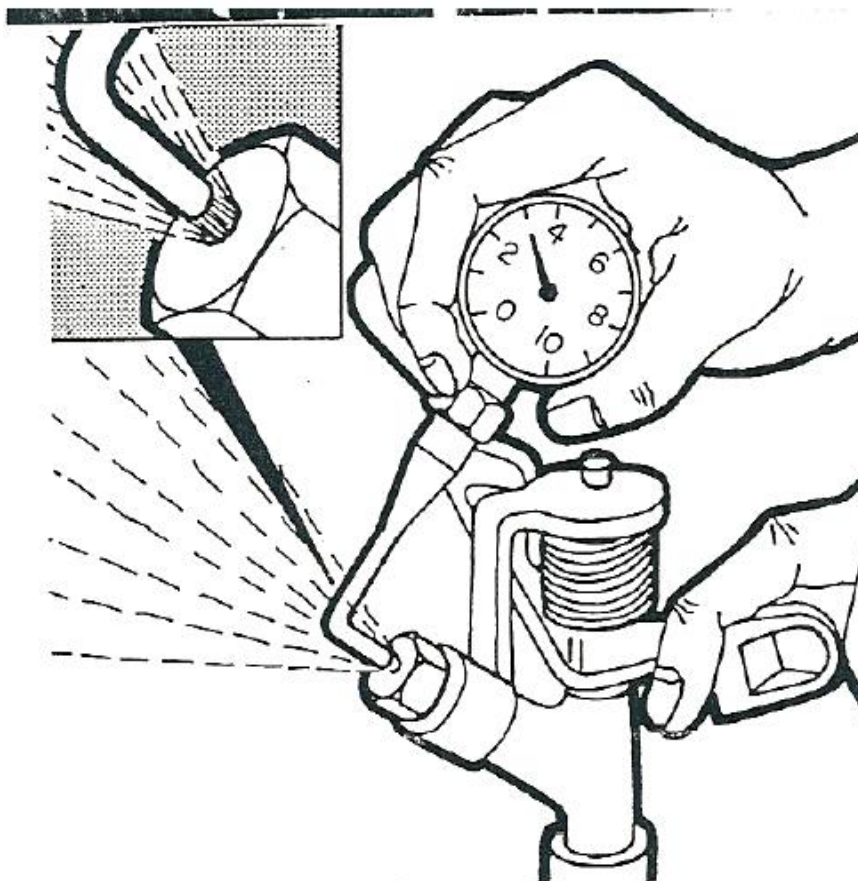
فشار مناسب طراحی بر اساس محاسبات افت اصطکاک و با توجه به فشار مورد نیاز در نقاط مختلف سیستم توسط طراح تعیین شده است؛ با وجود این، به دلایل مختلف کنترل فشار الزامی است. فشار کارکرد بال‌ها را تا حدودی می‌توان از طریق میزان بازشدگی آگیر نصب شده در ابتدای بال کنترل نمود. بهترین راه برای کنترل فشار بال‌ها استفاده از فشارسنج که بعد از شیرفلکه در ابتدای بال قرار می‌دهند، است.

در صورت نداشتن فشارسنج با مشاهده شکل فوران آب از آبپاش‌ها می‌توان به‌طور تقریبی فشار کار را کنترل کرد. اگر خط فوران آب مستقیم باشد آبپاش با فشار مناسب کار می‌کند. اگر خط فوران قوس داشته باشد فشار کم است و بایستی افزایش یابد. شکل ۸-۳۰ تعیین تقریبی فشار عمل‌کننده را نشان می‌دهد.



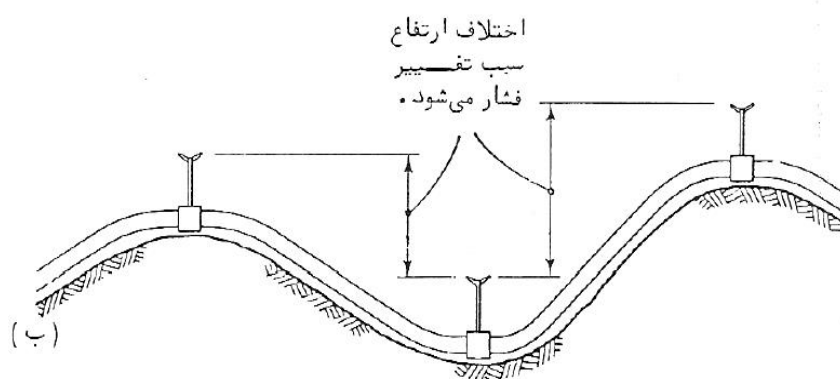
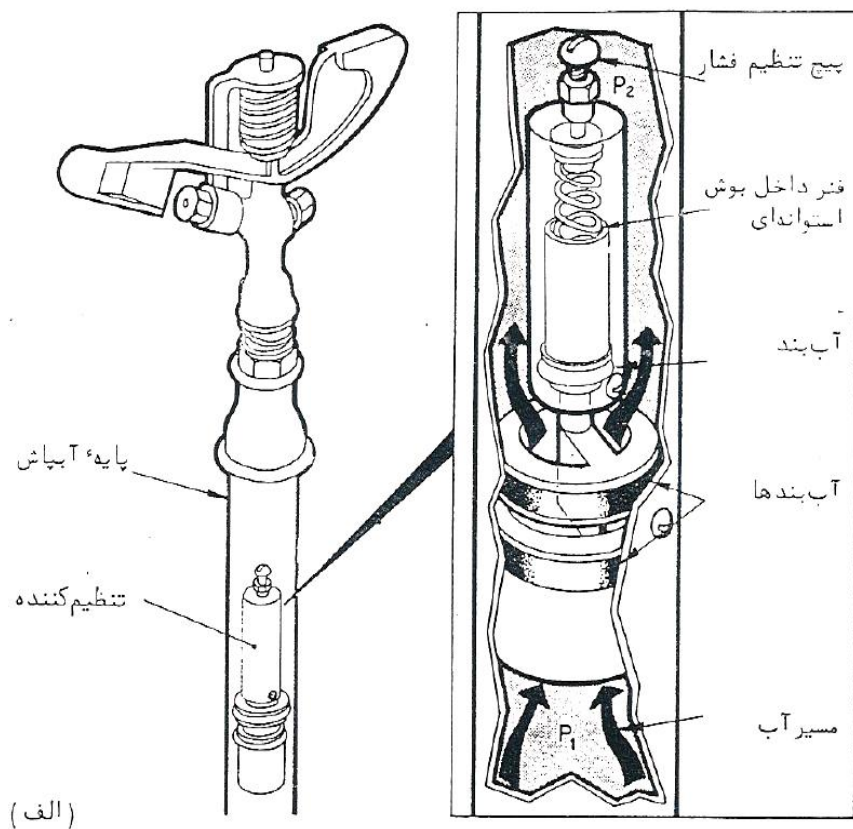
شکل ۸-۳۰- تعیین تقریبی فشار عمل‌کننده

به‌وسیله فشارسنج‌های بوردن نیز می‌توان فشار عمل‌کننده در یک آبپاش را کنترل نمود. این فشارسنج‌ها به یک لوله پیتو متصل می‌شوند. با قراردادن لوله پیتو در دهانه آبپاش فشار عمل‌کننده مشخص می‌شود (شکل ۸-۳۱) به این ترتیب، با قرائت فشار عمل‌کننده و تنظیم میزان بازشدگی آبگیر می‌توان فشار مناسب را برقرار نمود.



شکل ۸-۳۱- کنترل فشار آبپاش به وسیله فشارسنج بوردن و لوله پیتو

در مناطقی که سطح زمین ناهمواری زیادی دارد، کنترل فشار آبپاش‌هایی که روی یک بال کار می‌کنند از نقطه ابتدای بال امکان‌پذیر نیست. پستی و بلندی مسیر روی کارکرد آبپاش‌ها تأثیر می‌گذارد. در این موارد برای کنترل فشار آبپاش‌ها می‌توان از تنظیم‌کننده فشار استفاده کرد. این تنظیم‌کننده‌ها مجهز به فنری است که از طریق یک پیچ کوچک قابل تنظیم هستند. با تنظیم فنر می‌توان فشار موجود در لوله جانبی را برای هر آبپاش تا حد فشار مناسب عمل‌کننده کاهش داد. معمولاً کارخانه‌های سازنده، تنظیم‌کننده‌ها را برای فشار کار مناسب آبپاش تنظیم می‌کنند و در مزرعه نیازی به تنظیم آن‌ها نیست. شکل ۸-۳۲ کنترل فشار آبپاش را نشان می‌دهد.



الف- تنظیم کننده فشار ب- تغییرات فشار در اثر پستی و بلندی زمین  
شکل ۸-۳۲- کنترل فشار کار آبپاش

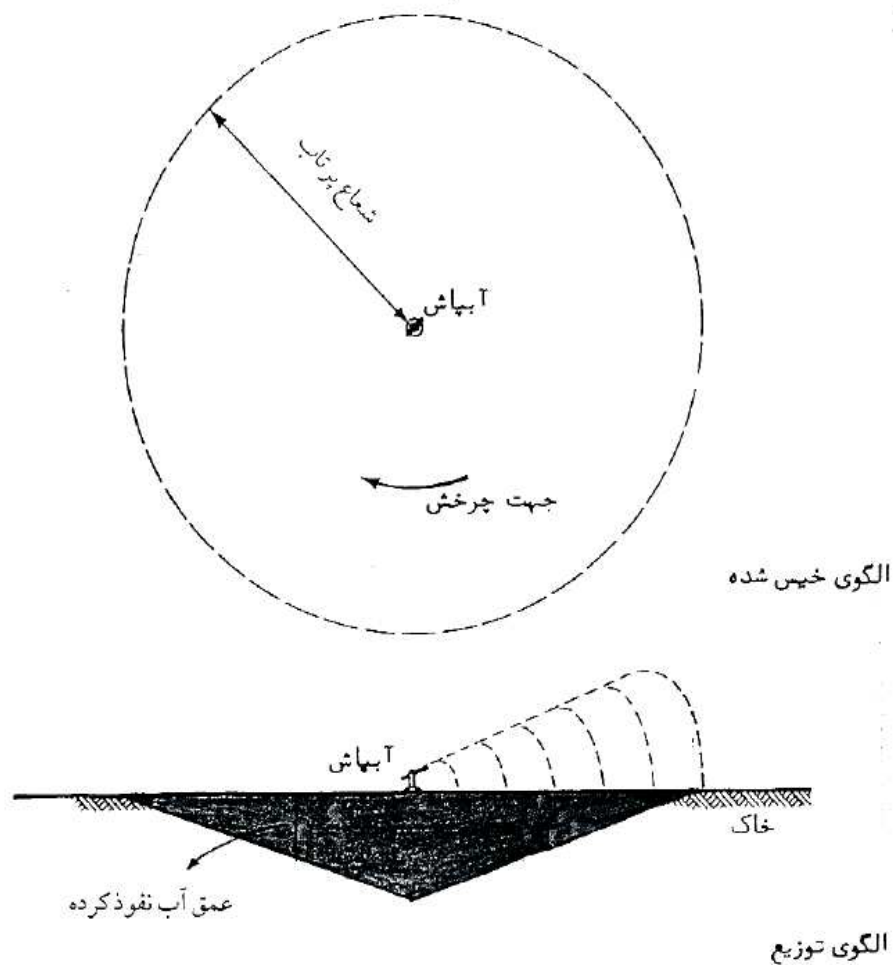
**۸-۸-۵- جابه‌جایی آبپاش‌ها**

در مسئله جابه‌جایی آبپاش‌ها موارد ذیل مدنظر قرار گرفته شود:

- ۱- سه پایه آبپاش از رایزر آبپاش جدا شود.
  - ۲- شیرفلکه بال آبیاری بسته شود.
  - ۳- آبپاش و رایزر آلومینیومی از شیر خودکار جدا شود.
  - ۴- پایه آبپاش در هنگام اتصال عمود بر بال آبیاری و زمین قرار داده شود.
  - ۵- انسداد آبپاش‌ها و چرخش کامل آن‌ها بررسی شود.
  - ۶- شیرفلکه ورودی به بال برای شیر خودکار بعد باز شود.
- توجه به این‌که اگر همه بال‌های آبیاری جهت کاهش افت فشار به همدیگر لوپ باشند باید هر دو شیرفلکه هر دو بال لوپ‌شده باز و بسته شوند.

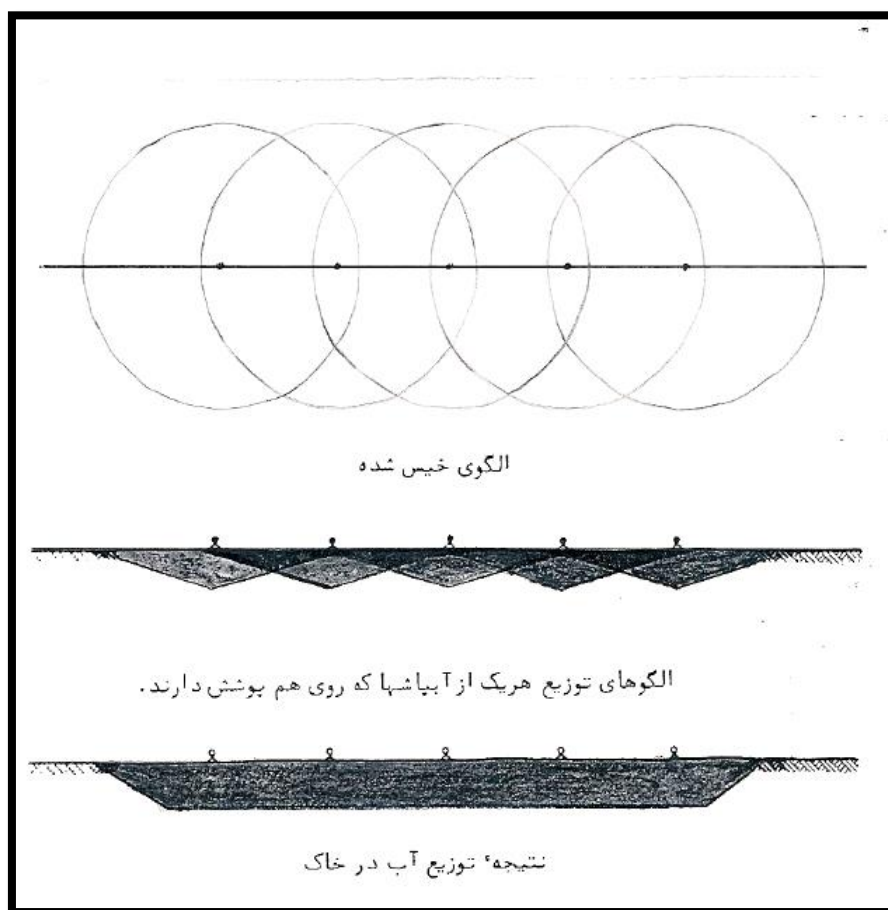
**۸-۸-۶- بحث فنی در مورد آبپاش‌ها**

در روش‌های آبیاری بارانی از انواع پخش‌کننده آب استفاده می‌شود. این پخش‌کننده‌ها عبارت‌اند از: آبپاش‌های چرخشی، آبپاش‌های تفنگی، لوله‌های سوراخ‌دار، افشانه‌ها و... در روش آبیاری کلاسیک معمولاً از آبپاش‌های ضربه‌ای استفاده می‌شود. برای هماهنگی با شرایط مختلف، آبپاش‌های مورد استفاده متنوع بوده و هر آبپاش با نصب افشانک‌های مختلف و فشار کارکرد متناظر، در محدوده‌ای وسیع کاربرد دارد. آبپاش‌های ضربه‌ای از طریق نیروی فشار آب کار می‌کنند. خروج آب از یک، دو یا سه افشانک انجام می‌شود. آب خروجی از افشانک به بازوی متحرک که به وسیله فنری نگهداشته شده، ضربه می‌زند؛ حرکت برگشتی این بازو آبپاش را که به‌طور آزادانه حول محورش حرکت می‌کند، کمی حرکت می‌دهد. ضربات پی‌درپی باعث چرخش مداوم آبپاش می‌شود. با چرخش آبپاش الگوی خیس‌شده مدوری به وجود می‌آید. شکل (۸-۳۳) الگوی خیس‌شده و الگوی توزیع آب به وسیله یک آبپاش را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳۳- الگوی خیس شده و الگوی توزیع آب به وسیله یک آبپاش

فاصله محل آبپاش تا لبه دایره خیس شده، فاصله (شعاع) پرتاب نامیده می شود. شعاع پرتاب به نوع آبپاش، اندازه، افشانک، زاویه پرتاب و فشار عمل کننده بستگی دارد. معمولاً در نزدیک آبپاش آب زیادتری ریخته می شود و به طرف لبه دایره از مقدار آن کاسته می شود. درواقع شکل مقطع توزیع آب شبیه مثلث است که برای توزیع یکنواختی آب در این سیستم بعد از یک دور آبیاری با یک آبپاش به وجود می آید. شکل (۸-۳۴) الگوی خیس شده و الگوی توزیع آب یک آبپاش بعد از یک دور آبیاری را نشان می دهد.



شکل ۸-۳۴- الگوی خیس‌شده و الگوی توزیع آب یک آبپاش بعد از یک دور آبیاری

معمولاً یک آبپاش قطراتی به قطر ۵/۰ تا ۴ میلی‌متر به وجود می‌آورد، قطرات ریزتر نزدیک آبپاش و قطرات درشت‌تر در فاصله دورتری روی زمین می‌ریزند. قطرات درشت‌تر به محصولات ضعیف صدمه می‌زنند و ساختمان سطحی بعضی خاک‌ها را تخریب می‌کنند. در این موارد می‌توان یکی از راه‌های زیر را به کار برد:

- استفاده از آبپاش‌هایی که قطرات ریزتر تولید می‌کنند.
- استفاده از افشانک با قطر کمتر
- افزایش فشار عمل‌کننده



در فشار کم، آب به قطرات درشت و در فشار زیاد به قطرات ریز تبدیل می‌شود. در فشار خیلی زیاد ممکن است آب به شکل پودر درآید. برای پخش مناسب فوران آب کارخانه‌های سازنده آبپاش، اندازه‌های مختلف افشانک همراه با فشار مناسب مربوطه را به‌صورت جداولی ارائه می‌دهند. اگر سیستم به شکل صحیحی طراحی و اجرا شده باشد، فشار توصیه‌شده با کم‌ترین تغییرات قابل حصول خواهد بود.

برای کنترل فشار عمل‌کننده، می‌توان از فشارسنج‌های نصب‌شده روی خطوط لوله و ابتدای بال آبیاری (روی شیرفلکه) استفاده نمود. به‌وسیله فشارسنج‌های بردن مجهز به لوله پیتو کنترل نهایی فشار روی آبپاش‌ها انجام می‌شود.

مدت‌زمان کارکرد آبپاش‌ها در هر استقرار به میزان آب موردنیاز گیاه و میزان پخش آبپاش بستگی دارد. میزان آب موردنیاز در طول فصل رشد تغییر می‌کند، بهترین راه برای تأمین نیاز آبی در هر مقطع زمانی، تغییر مدت‌زمان کارکرد آبپاش است. هرگونه تغییر فشار برای تأمین نیاز آبی باعث به هم‌خوردن یکنواختی توزیع خواهد شد.

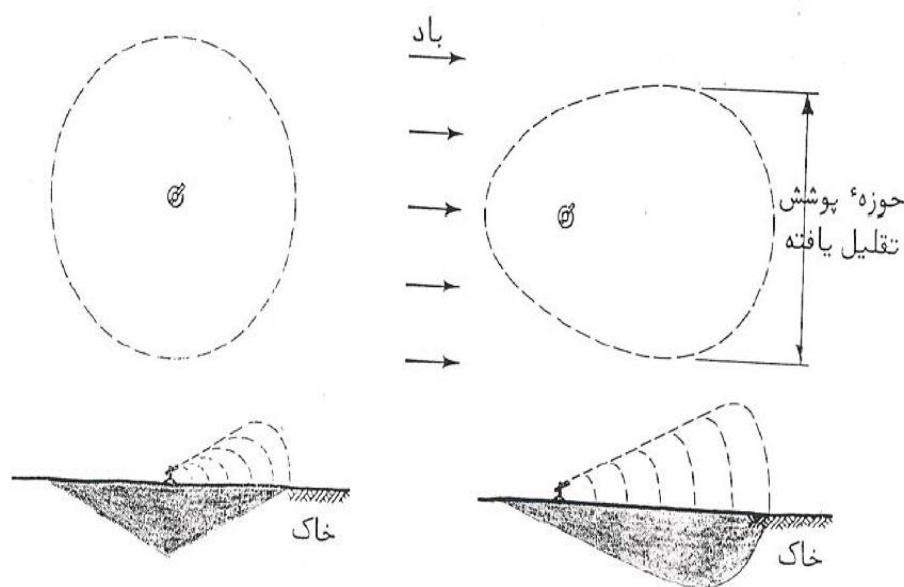
آبپاش‌های ضربه‌ای یک یا دو سه افشانک دارند. آبپاش‌های ضربه‌ای با یک افشانک دبی کم‌تری دارند. در آبپاش‌های با دو افشانک، برد پرتاب آب یکی از افشانک‌ها بیشتر از دیگری است. به این ترتیب یکنواختی توزیع آب بیشتر است.

در بعضی آبپاش‌های با دو افشانک، پشت فواره با برد زیاد بوش‌های کوچک قابل تعویض را نصب می‌کنند؛ این بوش‌ها پره‌هایی دارند که جریان آب را تنظیم می‌کنند.

#### ۸-۷-۸- اثر باد و مقابله با آن

یکی از مسائل مهم بهره‌برداری از سامانه‌های بارانی مسئله باد و مقابله با اثرات منفی آن است. آبی که از آبپاش‌ها خارج شده است به‌سادگی تحت تأثیر باد قرار گرفته و الگوی خیس‌شده هر آبپاش را از شکل طبیعی آن خارج می‌کند و در نتیجه یکنواختی توزیع آب را به هم می‌زند و در نهایت روی کیفیت و کمیت محصول مؤثر است (شکل ۸-۳۵) تأثیر باد روی الگوی خیس‌شده آبپاش را نشان می‌دهد.

در طراحی سیستم آبیاری برای مناطق بادخیز، بایستی مقدار سرعت و جهت باد در نظر گرفته شود. در این ارتباط در مناطق بادخیز فواصل آبپاش روی بال آبیاری و فواصل بال‌های آبیاری از همدیگر بایستی کمتر در نظر گرفته شود و نیز بال‌های آبیاری با جهت باد بایستی زاویه‌ای بین ۴۵ تا ۹۰ درجه بسازد. آرایش آبپاش‌ها در باد شدیدتر به‌صورت مثلث، مؤثرتر از آرایش مربع یا مستطیل است.



شکل ۸-۳۵- تأثیر باد روی الگوی خیس‌شده آبپاش

#### ۸-۸-۸- آبیاری کنار مزرعه

با توجه به این‌که مقطع الگوی توزیع آبپاش به شکل مثلث است، همیشه آبیاری کنار مزرعه با مشکل مواجه است. اگر بال آبیاری دور از کنار مزرعه نصب شود، کناره‌ها به‌خوبی آبیاری نمی‌شود و اگر نزدیک کنار مزرعه نصب شود مقدار آب روی جاده یا مزرعه مجاور می‌ریزد. برای رفع چنین مشکلی:

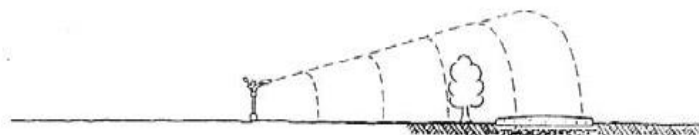
- ۱- فاصله قرارگیری بال آبیاری از کناره مزرعه، نصف فاصله جابه‌جایی آبپاش‌ها انتخاب شود.
- ۲- از آبپاش‌های تنظیم‌شونده (زاویه چرخش آن‌ها قابل تنظیم است) در گوشه کناره‌ها استفاده گردد.

۳- در صورت امکان آبپاش‌ها به‌طرف جاده خم شوند (شکل ۸-۳۶)

۴- نهایتاً افشانک آخرین آبپاش و نزدیک مرز قطعه زراعی، کوچک‌تر انتخاب شود که بهترین مورد آن شماره (۱) بوده که از ابتدای طراحی باید مدنظر قرار گرفته و هنگام اجرا رعایت گردد.



(الف) در نزدیکی کناره، مزرعه آب بقدر کافی توزیع نمی‌شود.



(ب) نزدیک کناره، مزرعه آب بقدر کافی توزیع می‌شود، ولی مقداری نیز روی جاده می‌ریزد.

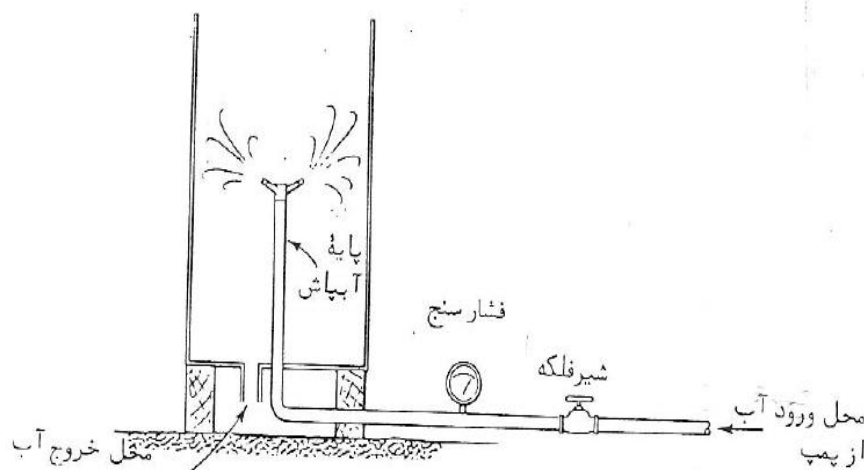


(ج) آب بقدر کافی توزیع می‌شود و اصلاً به بیرون مزرعه نمی‌ریزد.

شکل ۸-۳۶- آبیاری کنار مزرعه

#### ۸-۸-۹- مراقبت و نگهداری از آبپاش‌ها

الف- برای اطمینان از ادامه کار رضایت‌بخش آبپاش‌ها، بایستی هرچند وقت یک‌بار نحوه عملکرد آن‌ها کنترل شود. این کنترل بایستی در فشار کار توصیه‌شده انجام گیرد. برای این منظور یک یا چند آبپاش روی چند بال (بسته به شرایط) انتخاب شده و نحوه چرخش آبپاش و شعاع پرتاب آن بررسی و کنترل می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری دبی و مشاهده چرخش آبپاش از وسیله نشان داده‌شده در شکل (۸-۳۷) می‌توان استفاده کرد.



شکل ۸-۳۷- کنترل عملکرد آبپاش

ب- افشاندن آبپاش بررسی شود و از باز بودن کامل آن‌ها اطمینان حاصل شود. برای بازکردن و تمیز کردن افشانک به هیچ وجه نباید از اجسام فلزی استفاده نمود؛ زیرا به افشانک صدمه زده و اندازه استاندارد آن به هم می‌خورد.

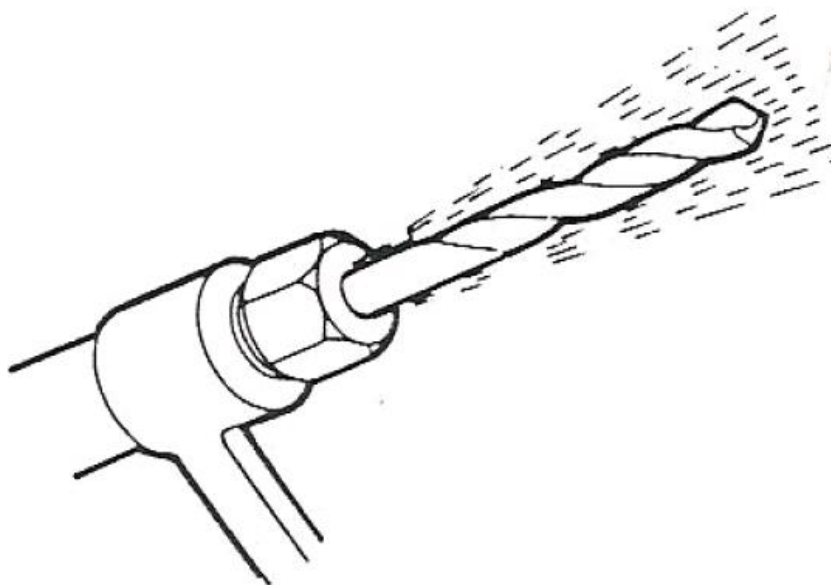
ج- از روان بودن چرخش بازوی متحرک و نیز روان بودن بدنه آبپاش برای چرخش روی یاتاقان اطمینان حاصل گردد.

د- یاتاقان‌های اصلی آبپاش خودبه‌خود با آب روان می‌شوند. به هیچ وجه نبایستی از روغن برای روان کردن استفاده نمود. روغن‌های روان‌کننده به آب‌بندهای لاستیکی صدمه می‌زنند. با گیرکردن شن، ماسه و یا هر آشغالی بین سطوح یاتاقان چرخش آبپاش با مشکل مواجه می‌شود. در این موارد درحالی‌که سیستم در حال کار است بایستی آبپاش به طرف بالا و پایین آن قدر تکان داده شود تا شن و ماسه و... رد شده و چرخش آبپاش طبیعی شود.

ه- در پایان هر فصل آبیاری قبل از انبار کردن آبپاش‌ها بایستی کنترل‌های زیر صورت گیرد:

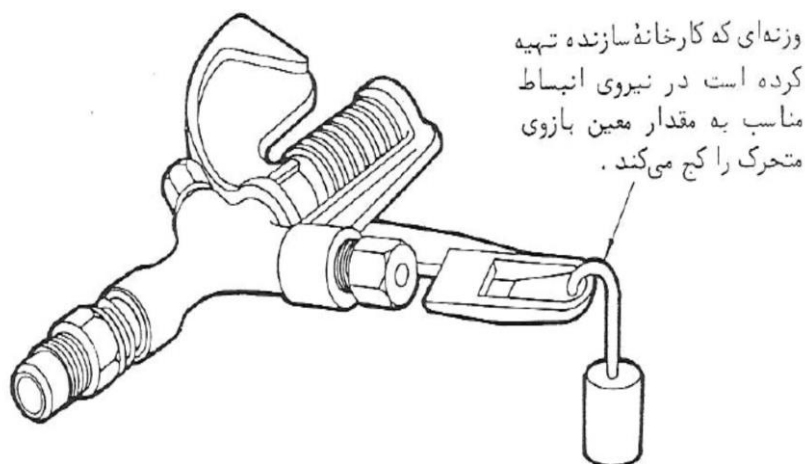
۱- بازوی متحرک و یاتاقان‌های آن از نظر میزان ساییدگی بررسی شوند، سپس به وسیله برس با آب تمیز شسته شوند.

۲- میزان ساییدگی قطر داخلی افشانک بررسی گردد. این کار به وسیله مته‌های هم‌اندازه با قطر داخلی افشانک امکان‌پذیر است. ساییدگی بیش‌ازاندازه باعث می‌شود که پمپ برای حفظ فشار عمل‌کننده توصیه‌شده، انرژی بیشتری مصرف نماید. این امر باعث صرف هزینه زیادتر و آبیاری بیشتر خواهد شد. شکل (۸-۳۸) تعیین میزان ساییدگی افشانک آبپاش به وسیله میله مته‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳۸- تعیین میزان ساییدگی افشانک آبپاش به وسیله میله مته‌ای

۳- عملکرد فنر انبساطی بررسی گردد. اگر لازم باشد فنر عوض شود. در صورتی که فنر عوض شود بایستی به وسیله وزنه مخصوص، نیروی انبساطی مناسب (طبق توصیه کارخانه سازنده) روی فنر جدید تنظیم گردد. این وزنه که در کارخانه سازنده آبپاش‌ها ساخته می‌شود، در نیروی انبساطی مناسب به مقدار معین بازوی متحرک را منحرف می‌کند. شکل (۸-۳۹) وزنه مخصوص برای کنترل نیروی انبساطی فنر را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳۹- وزن مخصوص برای کنترل نیروی انبساطی فنر

#### ۸-۸-۱۰- مراقبت‌های لازم برای پیشگیری از انسداد لوله‌ها و آبپاش‌ها

- در بعضی موارد پمپاژ آب از منابع روباز (استخر ذخیره، رودخانه و پروژه مذکور) صورت می‌گیرد. ممکن است آب کاملاً تمیز نبوده و مسئله گرفتگی در آبپاش‌ها به وجود آید. همچنین ممکن است خاک، آشغال و... وارد لوله شود.

بنابراین برای جلوگیری از انسداد افشانک اقدامات زیر لازم است:

۱- در محل مکش پمپ و نقاط مناسب در شبکه لوله‌ها بایستی صافی‌هایی تعبیه شود. ابتدای بال آبیاری (در قسمت خروجی شیر آبیاری) امکان مناسبی برای نصب صافی است. جنس صافی از ورق نازک برنجی با سوراخ‌های ریز است.

۲- در ابتدای شروع به کار سیستم انتهای بال آبیاری را باز گذاشته تا مدتی آب از آن خارج شود به این ترتیب خاک و آشغال‌هایی که ضمن نصب سیستم وارد لوله‌ها شده از انتهای لوله خارج می‌شود.

۳- در صورتی که از صافی‌ها در نقاط مختلف سیستم استفاده شود بایستی آن‌ها را تمیز نمود. در روش‌های قابل حمل، در هر جابه‌جایی و در روش‌های ثابت هر هفته صافی‌ها بایستی تمیز شود.

۴- با کنترل‌های مرتب فشار خطوط لوله، می‌توان از گرفتگی سیستم اطلاع حاصل نمود. افت بیشتر از حد مجاز بین دو مقطع نشان‌دهنده انسداد لوله است.

۵- در صورتی که سامانه به تجهیزات کوددهی مجهز باشد، بایستی بعد از کوددهی، لوله‌ها و آبپاش‌ها شست‌وشو شوند.

## ۸-۹- بهره‌برداری و نگهداری از دستگاه اسپری بوم

### ۸-۹-۱- سیستم آبیاری اسپری بوم

سیستم آبیاری اسپری بوم یک سیستم آبیاری کاملاً خودکار و مکانیزه است؛ دستگاه مذکور قابلیت جابه‌جایی از یک مزرعه به مزرعه دیگر را داراست. (شکل ۸-۴۰) لوله لترال دستگاه اسپری بوم در ارتفاع ۱/۳ تا ۲/۵ متری از سطح زمین قرار می‌گیرد. اسپری بوم در انتهای مزرعه (حدود ۴۰۰ متر) از بدنه اصلی دستگاه (نزدیک هیدرانت) مستقر می‌گردد. که با یک لوله بلند از جنس پلی‌اتیلن روزمینی به یکدیگر متصل می‌گردند.

در هنگام کارکردن سیستم، لوله پلی‌اتیلنی به دور یک حلقه روی بدنه اصلی دستگاه پیچیده می‌شود و اسپری بوم به این طریق به سمت بدنه دستگاه کشیده می‌شود. در این حالت یک نوار به‌اندازه طول مزرعه به سمت عقب آبیاری می‌گردد.

دستگاه اسپری بوم یک سیستم آبیاری جمع‌وجور با فشار کار کم تا متوسط (۴/۵ تا ۳/۰ بار) است. محدوده‌های آبیاری شده در هر نوبت بسته به طول واحد از ۴/۰ تا ۲/۰ هکتار است.

دستگاه‌های اسپری بوم بیشتر برای آبیاری محصولات نظیر علوفه، غلات، سیب‌زمینی و بادام‌زمینی استفاده می‌شوند. دستگاه‌های اسپری بوم کاربرد زیادی در آبیاری تکمیلی غلات (گندم و جو) در طول ماه‌های زمستان دارند.



شکل ۸-۴۰- ماشین آبیاری اسپری بوم

**۸-۹-۲- نکات بهره‌برداری از سیستم آبیاری اسپری بوم**

- ✓ همواره جابه‌جایی بوم در هر دو حالت روی جاده و یا داخل مزرعه بایستی با احتیاط کامل صورت بگیرد.
- ✓ همیشه بوم‌ها را با طناب و بند ایمن کنید. به همراه پین کردن صفحه چرخنده هنگام حرکت در جاده‌های عمومی.
- ✓ به هنگام باز کردن بازوهای بوم احتیاط کنید و ماشین‌آلات و سایر تجهیزات را از دستگاه بوم دور کنید.
- ✓ چنانچه موانعی (مانند ستون و...) در مسیر حرکت بوم داخل مزرعه وجود داشته باشد، بایستی اپراتور جهت چرخاندن بوم، دور مانع حضور داشته باشد.
- ✓ در صورتی که دستگاه بایستی در یک نقطه متوقف گردد. (به عنوان مثال نزدیک جاده، پرتگاه و سایر عوارض) باید تمهیدات لازم جهت توقف دستگاه در موقعیت مورد نظر اندیشیده شود.

**۸-۹-۳- نکات نگهداری از سیستم آبیاری اسپری بوم**

- ۱- گریس کاری صفحات چرخنده به صورت هفتگی.
- ۲- گریس کاری یاتاقان چرخ‌ها به صورت هفتگی و باز کردن و دوباره بستن و تنظیم به صورت سالانه.
- ۳- گریس کاری قسمت‌های استیل چرخ‌های جلویی به صورت هفتگی و چرخاندن چرخ‌ها در هنگام انجام گریس کاری.
- ۴- گریس کاری پین فرمان چرخ جلویی به صورت هفتگی.
- ۵- اطمینان از اینکه براکت‌های نگه‌دارنده بوم، بوم را به صورت مرکزی نگه می‌دارند و در صورت نیاز تنظیم آن‌ها.
- ۶- اطمینان از این که پین‌های قفل‌کننده به صورت کامل بسته هستند؛ روی براکت‌های نگه‌دارنده بوم زمانی که بوم جابه‌جا (منتقل) و یا باز می‌شود.

**۸-۹-۴- سرویس و نگهداری‌های دوره‌ای**

سرویس‌های دوره‌ای، اهمیت زیادی دارد. سرویس و نگهداری مناسب باعث افزایش طول عمر دستگاه می‌شود. در انتهای فصل آبیاری، دستگاه اسپری بوم نیاز به یکسری بازدیدها، تمیزکاری‌ها و روغن کاری‌های دقیق دارد که در جداول (۸-۴) و (۸-۵) ارائه شده است.



جدول ۸-۴- راهنمای سرویس و نگهداری دوره‌ای

| اجزای دستگاه                          | فاصله زمانی سرویس                              | روان کاری، روغن کاری، گریس کاری |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| بلبرینگ چرخ‌ها روی ارابه بوم          | هر ۲۵۰ ساعت حرکت                               | گریس آلوانیا ۳                  |
| پین‌های فرمان روی فرمان چرخ‌های جلویی | هر ۲۵۰ ساعت حرکت یا زمان موردنیاز              | گریس آلوانیا ۳                  |
| سپورتهای مرکزی با تنظیم ارتفاع        | در صورت نیاز                                   | گریس آلوانیا                    |
| اتصالات پیچی و مهره‌های چرخ‌ها        | قبل از شروع کارکرد سیستم و بعد از ۵۰ ساعت حرکت | سفت کردن                        |

## - رفع اشکالات

جدول ۸-۵- راهنمای رفع اشکالات

| ایراد                                     | علت                                                       | راه حل                                  |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| بوم موازی سطح زمین قرار نمی‌گیرد.         | قفل براکت باز نیست، بوم نمی‌تواند آزادانه چرخش کند.       | قفل براکت را باز کنید.                  |
| ارابه بر روی مسیر خود حرکت نمی‌کند.       | بالانس وزن انجام نشده یا فاصله اتصال به مرکز، مساوی نیست. | وزنه‌های تعادل را به‌طور صحیح وصل کنید. |
| چرخ‌ها به درستی روی زمین قرار نگرفته‌اند. | افزایش فشار به ارابه جهت افزایش تماس با سطح زمین.         |                                         |

## ۸-۹-۵- حداقل بازدیدهای لازم قبل از شروع فصل آبیاری

- اطمینان از خاموشی دستگاه.
- بازدید دستگاه به لحاظ آسیب دیدگی، ساییدگی و پارگی.
- سفت کردن، تنظیم، نگهداری یا تعویض تجهیزات خراب در صورت نیاز.

## ۸-۹-۶- بررسی‌های لازم در زمان حرکت دستگاه

- در نظر بگیرید که کدام بخش دستگاه نیاز به متخصص دارد (مانند تجهیزات برقی).
- اطمینان حاصل کردن از عدم وجود موانع بر سر راه ماشین.
- بررسی عملکرد ماشین، سیستم حرکتی و نازل‌ها.

## ۸-۹-۷- بررسی کالیبره بودن سیستم

اطمینان از عمق و یکنواختی پاشش؛ مطابق انتظار بسیاری از مشکلات سیستم آبیاری در داخل مزرعه قابل تعمیر هستند و مابقی موارد نیازمند تخصص و تجهیزات (لوازم).

## ۸-۹-۸- چک‌لیست پیش از فصل آبیاری

جدول ۸-۶- بررسی سیستم متوقف

| شرح بازدید                                               | اجزا سیستم              |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| کلید دستگاه خاموش و قفل است.                             | حفاظت                   |
| وضعیت سازه، خوردگی یا آسیب‌دیدگی                         |                         |
| پیچ و مهره‌های چرخ‌ها، وضعیت و فشار تایرها               |                         |
| گیربکس، شفت (گیربکس کاری در صورت نیاز)                   |                         |
| سفت کردن تمام پیچ‌ها و بررسی پین‌ها                      | قرقره شلنگ و قرقره کابل |
| روغن کاری و گریس کاری                                    |                         |
| آب‌بندها و فلنج‌ها                                       |                         |
| صفحه‌گردان بوم ساییده و فرسوده نباشد (امکان چرخش آزاد)   |                         |
| شرایط لوله به لحاظ فرسودگی، تاب‌خوردگی و سایر آسیب‌ها    | شلنگ (لوله دستگاه)      |
| وضعیت خروجی نازل؛ تعویض در صورت گرفتگی                   |                         |
| اطمینان از چرخش آزاد نازل‌ها و عدم آسیب‌دیدگی قفسه آبپاش |                         |
| پلیت آبپاش، زاویه و هم‌راستایی                           | آبپاش‌ها                |
| تجهیزات برای شل بودن؛ آزادی حرکت                         |                         |
| کنترل‌های الکتریکی و شارژ باتری                          |                         |

جدول ۸-۷- بررسی سیستم در حال کار

| شرح بازدید                                                                                                                   | اجزا سیستم              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| چرخش نرم قرقره                                                                                                               |                         |
| کابل یا شلنگ به‌طور صحیحی پیچیده شده،<br>گیج فشار ورودی، تعویض در صورت لزوم به جهت<br>فشار ورودی- ترجیحاً در دورترین هیدرانت | قرقره شلنگ و قرقره کابل |
| عملکرد توربین                                                                                                                | کشنده شلنگ              |
| ارابه به‌درستی حرکت می‌کند.                                                                                                  |                         |
| فشار ورودی؛ تعویض گیج در صورت نیاز                                                                                           | ارابه اسپری بوم         |
| بدون نشتی                                                                                                                    |                         |
| بدون نشتی                                                                                                                    |                         |
| بدشکل نشدن                                                                                                                   | کشنده شلنگ              |
| هر آبپاش به‌درستی چرخش داشته و قفسه آبپاش آسیب ندیده باشد.                                                                   |                         |
| فاقد نشتی، تعمیر و یا تعویض در صورت لزوم                                                                                     | آبپاش‌ها                |
| فشار بالای آخرین آبپاش، (بالای رگلاتور تنظیم فشار در صورت نصب)                                                               |                         |
| عملکرد صحیح                                                                                                                  | مرکز کنترل              |

## فصل نهم

### ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بارانی

## ۹-۱- مقدمه

با اوج گرفتن مسئله کاهش منابع آبی، رشد روزافزون جمعیت و نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی و همچنین شدت یافتن رقابت در مصرف آب بین بخش‌های مختلف، پژوهشگران در پی یافتن راه‌حل‌های مناسبی برای بهره‌وری بیشتر از منابع آبی برآمده‌اند. از دیرباز عملکرد پایین و ناکارآمدی شبکه‌های آبیاری و زهکشی نسبت به حدود مورد انتظار و پیش‌بینی‌شده در طراحی، به‌عنوان چالشی جدی پیش روی متولیان و صاحب‌نظران صنعت آب بوده است. در سال‌های اخیر سامانه‌های آبیاری تحت فشار توانسته‌اند جایگزین روش‌های آبیاری سطحی شده و تا حدودی باعث افزایش راندمان مصرف آب گردند، اما به دلیل رعایت نکردن اصول صحیح طراحی و اجرا و ضعف در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، کارایی مورد انتظار را نداشته‌اند. اولین گام برای بهبود عملکرد سامانه‌ها، ارزیابی آن‌هاست تا بتوان به این وسیله نقاط ضعف و قوت سامانه را شناسایی و سپس در جهت بهبود نقاط ضعف و تقویت نقاط قوت اقدام نمود. هدف از ارزیابی عملکرد، دستیابی به سامانه‌ای کارآمد است و می‌تواند نقشی کلیدی در تعیین مشکلات سامانه‌های آبیاری و به دنبال آن استفاده بهینه از منابع اصلی (منابع طبیعی، نیروی انسانی و منابع مالی و زمان) ایفا نماید.

در این فصل اصول ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی ارائه می‌گردد.

## ۹-۳- ارزیابی عملکرد، اهداف و چارچوب

پس از احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌خصوص در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ که با سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام شد، ارزیابی نقش توسعه شبکه‌های آبیاری نشان داد که تعداد بسیاری از شبکه‌ها با کمتر از ظرفیت واقعی خود کار می‌کنند، خدمات کافی به بهره‌برداران ارائه نمی‌شود و توزیع آب به‌صورت ناعادلانه و غیرمطمئن صورت می‌گیرد، بهره‌وری آب پایین‌تر از سطح قابل قبول است و به‌ویژه فعالیت‌های آبیاری در افزایش آلودگی محیط‌زیست سهیم است. عدم موفقیت اغلب طرح‌ها در رسیدن به اهداف اولیه و محدودیت منابع مالی، آب و خاک موجب تغییر رویکرد ساخت‌افزایی (ساخت شبکه) در برنامه توسعه به رویکرد نرم‌افزاری (مدیریت) گردید.

در حال حاضر، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها، رفع مشکلات و ارتقای عملکرد آن‌ها مورد توجه سیاست‌گذاران، مدیران، مؤسسات بین‌المللی اعتباری مانند بانک جهانی (WB) و سازمان خواربار و

<sup>1</sup>. World Bank

کشاورزی (FAO)، مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)<sup>۲</sup> و سایر مراکز بین‌المللی تحقیقات آبیاری قرار گرفته است.

ارزیابی عملکرد به فعالیتی اطلاق می‌شود که برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری را در یک شبکه آبیاری و زهکشی پشتیبانی کرده و به مدیریت کمک می‌کند تا دریابد که آیا عملکرد رضایت‌بخش است و در غیر این صورت چه اقدامات اصلاحی‌ای در کجا باید انجام شود تا فعالیت‌های مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها بهبود یابد. ارزیابی عملکرد در فرایند عملیات آبیاری و زهکشی دیدگاه‌هایی را مطرح می‌نماید تا مدیران، برنامه‌ریزان، بهره‌برداران و آب‌بران بتوانند کار خود را با بهره‌وری بیشتری انجام دهند.

هدف از انجام مطالعات ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، شناخت مسائل و مشکلات موجود، بررسی میزان انطباق عملکرد سامانه آبیاری با اهداف طرح، تعیین زمینه‌های ضعف عملکرد با استفاده از شاخص‌ها و نهایتاً ارائه پیشنهادها برای بهبود به منظور ارتقای مدیریت بهره‌برداری با نگاه جامع به مسائل و مدیریت یکپارچه آب و خاک شبکه است.

تعیین مراحل کار و پیشبرد برنامه‌های ارزیابی عملکرد، به یک چارچوب نیازمند است. چارچوب‌های متعددی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی پیشنهاد شده‌اند. چارچوب ارزیابی عملکرد مشخص می‌کند که در یک شبکه آبیاری و زهکشی چرا ارزیابی عملکرد لازم است، برای انجام آن، چه اطلاعاتی مورد نیاز بوده و چه روش‌شناسی‌ای برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌ها به کار خواهد رفت. همچنین تعیین می‌کند که این ارزیابی را چه کسی مورد استفاده قرار خواهد داد. چارچوب انتخاب‌شده باید مراحل اصلی ارزیابی و بهبود عملکرد زیر را پوشش دهد:

- شناسایی، تعیین معیارها، شاخص‌ها و ارزیابی وضع موجود
- تعیین استانداردها
- مقایسه وضع موجود با استانداردها و تعیین نقاط قوت و ضعف موجود
- ارائه راهکارهای بهبود عملکرد

### ۹-۳- تجارب ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی

به منظور شناسایی مشکلات عمومی و اختصاصی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور که مانع موفقیت در نیل به اهداف طرح‌های آبیاری و زهکشی هستند، در تعدادی از شبکه‌ها با سوابق طولانی‌تر

<sup>۱</sup>. Food and Agriculture Organization of the United Nations

<sup>۲</sup>. International Water Management Institute

بهره‌برداری، مطالعات ارزیابی عملکرد در قالب طرح‌های مطالعاتی و یا تحقیقاتی صورت گرفته است که خلاصه‌ای از نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر است:

- گروه کار ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران در روند فعالیت‌های خود با پشتیبانی معاونت پژوهشی وزارت نیرو (در شرکت مدیریت منابع آب) مدل PAIS<sup>۱</sup> را برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی معرفی کرده‌اند. این مدل در پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد مورد استفاده دانشجویان برای ارزیابی عملکرد برخی شبکه‌های آبیاری کشور قرار گرفت. نتایج کاربرد این مدل در ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی قزوین نشان داد که بهترین عملکرد شبکه از لحاظ فنی و ضعیف‌ترین آن از لحاظ مدیریتی است (منعم و همکاران، ۱۳۷۹).
- در تحقیقی با هدف بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری، مطالعات ارزیابی و تعیین استانداردهای عملکرد هشت شبکه شامل شبکه‌های بهبهان، قزوین، مغان، گرمسار، ورامین، میناب، گلستان و زاینده‌رود با روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شد. در این مطالعات از هفت شاخص ترکیبی برای ارزیابی عملکرد استفاده شد. نتیجه کلی حاکی از آن است که برای ارتقای عملکرد در اغلب شبکه‌ها اولویت، سرمایه‌گذاری روی کل سامانه است (منعم و قدوسی، ۱۳۸۳).
- در ادامه بسط مدل‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مدل NPAIS<sup>۲</sup> حاصل یک طرح تحقیقاتی با پشتیبانی معاونت پژوهشی وزارت نیرو است که یک نرم‌افزار علمی-تحقیقاتی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌ها محسوب می‌شود و در ارزیابی برخی شبکه‌ها مانند شبکه مارون، مورد استفاده قرار گرفته است (فیلی و سقاوی، ۱۳۸۷).
- مدل کامپیوتری PAPIS<sup>۳</sup> نرم‌افزاری است که برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع تحت فشار به صورت اجمالی و تفصیلی، بر اساس پنج دیدگاه مدیریتی، فنی، اقتصادی-مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی، تهیه شده است. در این نرم‌افزار کاربر می‌تواند در هر سطح و دقتی که مورد نظر باشد در هر یک از دیدگاه‌ها، سامانه را ارزیابی نماید. در تحقیقی قابلیت مدل برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های تحت فشار در واحد اکرم‌آباد شبکه آیدوغموش مورد ارزیابی قرار گرفت. شبکه به جز دیدگاه اقتصادی، در سایر دیدگاه‌ها دارای عملکرد خوب و یا بسیار خوب ارزیابی شد (مهدوی و منعم، ۱۳۸۹).

<sup>۱</sup>. Performance Assessment of Irrigation and Drainage system

<sup>۲</sup>. New Performance Assessment of Irrigation and Drainage system

<sup>۳</sup>. Performance Assessment of Pressurized Irrigation Systems

- ارزیابی دقیق عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی با توجه به غیرقطعی بودن مقادیر تعدادی از پارامترهای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، همواره مورد تردید صاحب‌نظران و متولیان این سامانه‌ها بوده است؛ فازی کردن وزن و مقادیر این شاخص‌ها می‌تواند تا حد قابل توجهی مشکل ناشی از عدم قطعیت‌ها را کاهش داده و دقت ارزیابی را بهبود بخشد. تحقیقی باهدف توسعه یک مدل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و کاربرد آن در ارزیابی عملکرد سه بخش فومنت، مرکزی و شرق شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود انجام شد. بدین منظور ۲۱ شاخص ارزیابی عملکرد در قالب پنج گروه فنی، مدیریتی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی تقسیم‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های ارزیابی مدیریتی بیشترین و شاخص‌های زیست‌محیطی کمترین تأثیر را در عملکرد شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه ایفا می‌کنند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که مدل FAHP قابلیت ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و امکان شناخت عوامل مؤثر و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد را دارا بوده و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی کارا با کاربری ساده در ارزیابی عملکرد سامانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد (نصیری قیداری و همکاران، ۱۳۸۹).
- در مطالعات ارزیابی عملکرد مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، شاخص‌های ارزیابی عملکرد در قالب پنج دیدگاه مدیریتی، فنی، اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی-مالی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی شاخص‌ها به روش کلاسیک انجام شد. درجه اعتبار ارزیابی عملکرد مدیریت و شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در این مطالعات متوسط اعلام گردید (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۱).
- در خصوص ارزیابی شبکه‌های آبیاری بارانی نیز تحقیقات زیادی در کشور انجام شده است. لازم به ذکر است بیشتر مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده تاکنون در زمینه ارزیابی عملکرد سامانه از دیدگاه‌های مدیریتی و فنی است و لازم است در مطالعات بعدی بررسی‌هایی در خصوص سایر زمینه‌های ارزیابی نیز صورت گیرد:
- نتایج ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک در شهرستان اقلید استان فارس نشان داد، مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد آب و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه‌های مورد بررسی، کمتر از حد انتظار است که دلیل این امر مشکلات مربوط به طراحی و بهره‌برداری عنوان شد. همچنین بیان شد که می‌توان با کاهش فواصل آبپاش‌ها، تنظیم فشار و عدم استفاده از تعداد زیاد آبپاش به‌طور هم‌زمان، یکنواختی توزیع را افزایش داد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸).

---

<sup>1</sup>. Fuzzy AHP



- نتایج ارزیابی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در استان سمنان نشان داد، سامانه‌های سنتریوت نسبت به سامانه‌های کلاسیک به دلیل طراحی خوب، داشتن آبپاش‌های مناسب و پایین بودن ارتفاع آبپاش‌ها دارای عملکرد بهتری است (نادری و همکاران، ۱۳۹۷).
- بررسی تأثیر سرعت باد بر عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان زنجان نشان داد، سرعت باد اثر قابل توجهی بر کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب دارد. همچنین به کار بردن عمق زیاد آب آبیاری و تغییرات فشار در سامانه‌های آبیاری بارانی، به‌عنوان عوامل مؤثر دیگر، بر کاهش عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک، ثابت گزارش شد (اوجاقلو و همکاران، ۱۳۹۶).
- ارزیابی تعدادی سامانه آبیاری بارانی ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان اسدآباد همدان نشان داد طراحی نامناسب، استفاده هم‌زمان بیش از یک آبپاش، ضعف مدیریت بهره‌برداران و استفاده از لوازم فرسوده و غیراستاندارد، از مهم‌ترین دلایل پایین بودن یکنواختی توزیع آب و راندمان پتانسیل کاربرد است (زارع ابیانه و زیوری عارف، ۱۳۹۶).
- با بررسی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و آبفشان غلطان اجراشده در پنج مزرعه در شهرستان‌های مختلف استان فارس، فرونشست عمقی، قدیمی بودن سامانه‌ها، کمبود فشار و تغییرات فشار و دبی آبپاش‌ها از علل کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌ها عنوان شد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶).
- طراحی و اجرای نامناسب سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت دهگلان کردستان مهم‌ترین دلیل پایین بودن راندمان پتانسیل کاربرد و استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبپاش و کاربرد آبپاش‌هایی با مشخصات و مدل‌های متفاوت نیز در کنار طراحی و اجرای نامناسب، از دلایل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت تشخیص داده شد (معروف‌پور و ابراهیم‌پور، ۱۳۹۳).
- نتایج ارزیابی هیدرولیکی سامانه‌های آبیاری بارانی دورانی و کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک نشان داد آبیاری بارانی کلاسیک، بیشترین حساسیت را به وزش باد دارد که می‌تواند مهم‌ترین علت پایین بودن ضریب یکنواختی آن باشد (اشرف و همکاران، ۱۳۹۴).
- ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک در دشت قزوین و پایین بودن ضرایب یکنواختی و راندمان در آن‌ها نشان‌دهنده مدیریت و بهره‌برداری نامناسب سامانه‌های آبیاری عنوان شد (ملک‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).
- ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان مهران استان ایلام نشان داد مقادیر به‌دست‌آمده در کلیه پارامترهای این ارزیابی، کمتر از حد

مجاز و مطلوب است و مهم‌ترین دلایل آن را می‌توان در وزش باد و عدم دقت در طراحی و اجرا و عدم بهره‌برداری مناسب عنوان کرد (شکری و همکاران، ۱۳۸۹).

- ارزیابی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در استان آذربایجان شرقی نشان داد در شرایط سرعت باد کم و بافت خاک لوم‌رسی عملکرد سامانه ویل‌موو بهتر از سامانه‌های کلاسیک و قرقره‌ای و عملکرد سامانه کلاسیک بهتر از قرقره‌ای است (مصطفی‌زاده و تقوی، ۱۳۸۵).

#### ۹-۴- روش‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی

به دنبال توجه به ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، یافتن روش مناسب برای ارزیابی عملکرد شبکه‌ها، موضوع بررسی‌های گسترده‌ای بوده است. در این بررسی‌ها، علاوه بر بحث در خصوص ابعاد مسئله و دیدگاه‌های متفاوت در مورد ارزیابی عملکرد، با بهره‌گیری از روش‌های ارزیابی در سایر علوم، این روش‌ها را برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری تطبیق داده‌اند. در انطباق این روش‌ها با ارزیابی عملکرد شبکه‌ها، متناسب با هر کدام از روش‌های موردنظر، مبانی نظری، محدوده موردبررسی، دیدگاه ارزیابی، ابعاد مسئله، اجزای موردنظر، مراحل ارزیابی و فرایند انجام ارزیابی موردبحث و بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی روش‌های ارزیابی را می‌توان به دو دسته نظری و کمی طبقه‌بندی کرد.

#### ۹-۴-۱- روش‌های نظری

ارزیابی کیفی عملکرد، می‌تواند نقشی کلیدی در تعیین مشکلات سامانه‌های آبیاری و به دنبال آن استفاده بهینه از منابع اصلی ایفا نماید. در این مرحله، با بهره‌گیری از تجربیات موجود در حافظه دستگاه بهره‌بردار، مسئولان مرتبط با پروژه و زارعان، اقدام به ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری می‌شود و با شناسایی نیروهای باسابقه و آگاه شامل مدیران، کارشناسان، تکنسین‌ها، بهره‌برداران و نمایندگان زارعان و انجام مصاحبه با ایشان اطلاعات موردنیاز به‌دست خواهد آمد. مهم‌ترین مشکل روش‌های نظری این است که این روش‌ها استانداردهایی برای مقایسه عملکرد ارائه نمی‌کنند و ارزیابی آن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی و متکی بر دیدگاه افراد بوده است. روش‌های نظری مورد استفاده در ارزیابی عملکرد طرح‌های آبیاری و زهکشی عبارت‌اند از: روش تحلیل تشخیصی (DA<sup>۱</sup>)، روش ارزیابی سریع (RA<sup>۲</sup>)، روش چارچوبی (FA<sup>۳</sup>) و روش مرجع (RM<sup>۴</sup>).

<sup>۱</sup>. Diagnostic Analysis

<sup>۲</sup>. Rapid Appraisal

<sup>۳</sup>. Framework Appraisal

<sup>۴</sup>. Reference Method

### ۹-۴-۲- روش‌های کمی

روش‌های نظری درعین‌حالی که تأثیر تعیین‌کننده‌ای در گشودن افق‌های جدید در امر ارزیابی طرح‌های آبیاری و زهکشی داشتند، پاسخگوی ارزیابی کمی عملکرد طرح‌ها نبودند. لذا تلاش‌هایی در زمینه ارزیابی کمی صورت گرفت و شاخص‌های ارزیابی که قابلیت اندازه‌گیری داشته و ابعاد مختلف عملکرد را منعکس می‌نماید تعریف شد و روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آن‌ها ارائه گردید. در فاصله بین سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۸ تعداد زیادی شاخص برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری ارائه گردید که تمامی این شاخص‌ها در رشد و توسعه نحوه ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری مؤثر و مفید بوده است. ارزیابی‌های کمی عموماً برای مطالعات موردی شبکه‌های مختلف در نقاط مختلف دنیا صورت گرفت و شاخص‌های مورد استفاده با توجه به نیازها و ضرورت‌های خاص هر پروژه تعریف گردید. مطالعات موردی انجام‌شده، اگرچه گاهی به جلو برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌ها محسوب می‌گردد اما یک روش جامع که برای عموم شبکه‌ها کاربرد داشته باشد، ارائه نمی‌کند. این ضعف روش‌شناسی در ارزیابی، پژوهش‌گران را بر آن داشت تا نسبت به تدوین روش‌های جامع برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌ها اقدام نمایند. با پیشرفت کاربرد روش‌های ریاضی در ارزیابی واحدهای صنعتی، این روش‌ها به تدریج در واحدهای خدماتی نیز به کار گرفته شد و با توجه به قابلیت آن‌ها، زمینه استفاده از آن‌ها در ارزیابی طرح‌های آبیاری و زهکشی نیز فراهم گردید. روش‌های جامع کمی ارزیابی عملکرد عبارت‌اند از: ارزیابی کلاسیک (CE)<sup>۱</sup>، روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)<sup>۲</sup>، ارزیابی مقایسه‌ای (BM<sup>۳</sup>) و ارزیابی به روش فازی (FME<sup>۴</sup>).

### ۹-۵- مراحل ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دو مرحله ارزیابی اجمالی (سریع) و تفصیلی (جامع) انجام می‌شود. بدین ترتیب، ابتدا با تعیین تعداد محدودی از شاخص‌های کلیدی، ارزیابی اجمالی صورت گرفته و در صورت نیاز پس از تعیین دیدگاه‌هایی که در اولویت قرار دارند نسبت به ارزیابی تفصیلی اقدام می‌گردد. در ارزیابی جامع که جزئیات طرح‌ها بررسی می‌شود، اگر زمینه‌های اصلی ضعف سامانه شناسایی نشده باشد، وقت و هزینه زیادی صرف خواهد شد.

هدف از ارزیابی اجمالی، شناخت عمومی مسائل و مشکلات و تعیین زمینه‌های اصلی ضعف عملکرد و شاخص‌های عمده آن و تعیین ضرورت انجام ارزیابی تفصیلی است. چنانچه در این مرحله

<sup>۱</sup>. Classic Evaluation

<sup>۲</sup>. Data Envelopment Analysis

<sup>۳</sup>. Benchmarking

<sup>۴</sup>. Fuzzy Set Models for Evaluation

مشکل جدی در مورد عملکرد شبکه دیده نشود، با ارائه پیشنهاد‌های اصلاحی می‌توان مطالعات را در همین مرحله به پایان رساند. برای ارزیابی اجمالی عملکرد سامانه‌های آبیاری، آن دسته از شاخص‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که بیان‌گر وضعیت عمومی و کلی سامانه آبیاری در هر زمینه ارزیابی باشند. مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی اجمالی از اندازه‌گیری‌های انجام شده در مطالعات قبلی، منابع کتابخانه‌ای قابل دسترس، مصاحبه با کارفرمایان محلی، بهره‌برداران و ذی‌نفعان سامانه آبیاری و نیز بر اساس قضاوت مهندسی کارشناس خبره به دست می‌آید. در این مرحله از ارزیابی عملکرد، اندازه‌گیری میدانی برای محاسبه شاخص‌ها صورت نگرفته و هرگونه اندازه‌گیری صحرائی و تکمیل پرسش‌نامه‌های تکمیلی تنها در مرحله تفصیلی صورت می‌گیرد.

پس از محاسبه و نمره‌دهی شاخص‌های انتخاب شده برای ارزیابی اجمالی، میزان مطلوبیت کارکرد شبکه مشخص می‌شود. به دنبال تجزیه و تحلیل بررسی‌های اجمالی صورت گرفته، مشکلات موجود که موجب ضعف عملکرد سامانه در هر زمینه شده مشخص می‌گردند. در این مرحله اقدام به جمع‌بندی کلی وضعیت شبکه آبیاری شده و عملکرد آن در مقایسه با شرایط مطلوب پیش‌بینی شده در طراحی در زمینه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. امتیاز کمی نهایی حاصل از ارزیابی عملکرد می‌تواند در یکی از دسته‌های دور از انتظار، متوسط، خوب و مطلوب قرار گیرد. چنانچه امتیاز کمی ارزیابی اجمالی برای هر زمینه، متوسط یا دور از انتظار به دست آید، لازم است ارزیابی تفصیلی با گردآوری اطلاعات تکمیلی میدانی در آن زمینه انجام شود. لذا ممکن است ارزیابی تفصیلی در مواردی تنها منوط به یک یا چند زمینه خاص گردد. باید دقت شود که شاخص‌های ارزیابی عملکرد نیز خود به تنهایی اطلاعات مفیدی را برای گروه ارزیابی فراهم می‌کند. به خصوص در مواردی که نتایج ارزیابی عملکرد اجمالی در محدوده‌های مطلوب یا خوب قرار گرفته است. پس از تعیین وضعیت عملکرد فعلی شبکه آبیاری و تعیین دلایل ضعف عملکرد، راه کارهای بهبود و اصلاح عملکرد ارائه شده و اولویت‌های اجرای پیشنهاد‌های بهبود عملکرد تعیین و برنامه اجرایی پیشنهادها، اعتبارات و زمان مورد نیاز اجرای پیشنهادها مشخص می‌گردد. نحوه و طول مدت انجام مراحل ارزیابی عملکرد به اهداف ارزیابی، دسترسی به اطلاعات و جمع‌آوری داده‌ها بستگی دارد.

در فرایند ارزیابی عملکرد لازم است تمامی اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این فرایند به‌طور منسجم و به‌صورت بانک اطلاعاتی جمع‌آوری، مدیریت و ذخیره‌سازی شود تا بتوان علاوه بر استفاده بهینه از تمامی اطلاعات موجود در ارزیابی شبکه، برای مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد.

ذکر این نکته ضروری است که ارزیابی عملکرد یک امر مستمر است که باید به‌صورت ادواری در فواصل زمانی مناسب انجام شود تا بتوان از اجرای پیشنهادها و اثربخشی آن‌ها یا بروز مسائل و مشکلات جدید اطلاع حاصل نمود. ارزیابی نوبتی و چندباره عملکرد طرح، پایش عملکرد نام دارد و در هر مرحله نشان می‌دهد که تا چه حد به پیشنهاد‌های مراحل قبل توجه شده است.

## ۹-۶- شاخص‌های ارزیابی عملکرد و ویژگی‌های آن‌ها

شاخص به پارامتری اطلاق می‌شود که نماینده و نشان‌دهنده ارزش، تلاش یا عمل خاصی باشد. از طرفی شاخص وسیله‌ای برای اندازه‌گیری میزان موفقیت در دستیابی به اهداف خاص یک فعالیت است. عملکرد به وسیله شاخص‌ها اندازه‌گیری می‌شود. شاخص‌های ارزیابی عملکرد دربرگیرنده مقدار عددی یک پارامتر است که می‌تواند با استانداردهای مناسبی مقایسه شود؛ بنابراین، ارزیابی عملکرد یک سامانه نیاز به استانداردهایی برای مقایسه دارد. در مراجع، محدوده و معیار مشخصی برای شاخص‌ها معرفی نشده است؛ زیرا مقادیر بهینه این پارامترها نه تنها به خصوصیات فنی سامانه، بلکه به عواملی مانند شرایط اقلیماتولوژی-کشاورزی، اهداف اجتماعی-اقتصادی و شرایط محلی بستگی دارد. چنانچه مقدار یک شاخص خارج از محدوده ویژه استاندارد پارامتر قرار گیرد، عملکرد سامانه نامناسب ارزیابی می‌شود. شاخص‌ها باید شرایط و مشخصات زیر را داشته باشد:

- با اهداف طرح و معیارهای ارزیابی عملکرد هم‌خوانی و همبستگی داشته باشد.
- متغیرهای به‌کاررفته در شاخص به آسانی قابل اندازه‌گیری و قابل کمی شدن باشد.
- شاخص طوری تدوین شود که تابع اعمال نظر ارزیابی‌کننده نباشد؛ هنگامی که متغیرهای به‌کاررفته در شاخص‌ها کمی و قابل اندازه‌گیری مشهود باشد، تابع نظرات افراد نخواهد بود.
- شاخص باید نسبی و یا بدون بعد باشد؛ برای بدون بعد کردن شاخص نسبت بین مقدار واقعی و مقدار مطلوب (یا بحرانی) پارامترهای کلیدی تعیین می‌شود.
- نوع و تعداد شاخص‌ها باید با عوامل کلیدی عملکرد از دیدگاه‌های مختلف متناسب باشد.

به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، شاخص‌هایی که قابلیت اندازه‌گیری داشته و ابعاد عملکرد را منعکس می‌کند، با کمک بررسی‌های مختلف تعریف شده‌اند. ازجمله می‌توان به شاخص‌های ارائه‌شده توسط مولدن و گیتس در سال ۱۹۹۰ اشاره کرد؛ در سال ۱۹۹۵ ICID<sup>۱</sup> و در سال ۱۹۹۸ IWMI شاخص‌هایی را برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری ارائه کرده‌اند. مؤسسه IPTRID<sup>۲</sup> نیز بیش از ۶۰۰ شاخص را معرفی کرده است. بوس و ولتر ۱۹۹۷، نیز ۴۰ شاخص در زمینه‌های مختلف توزیع و راندمان‌های آب، بهره‌برداری و نگهداری، اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی معرفی کرده‌اند و برخی محققین در طول سال‌ها با توجه به اهداف شبکه‌ها، شاخص‌های مختلفی ارائه نموده‌اند. با این‌وجود هنوز زمینه بسیاری برای تعریف شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری فراهم است.

<sup>۱</sup>. International Commission on Irrigation & Drainage

<sup>۲</sup>. Institutional Reform in Irrigation and Drainage Performance

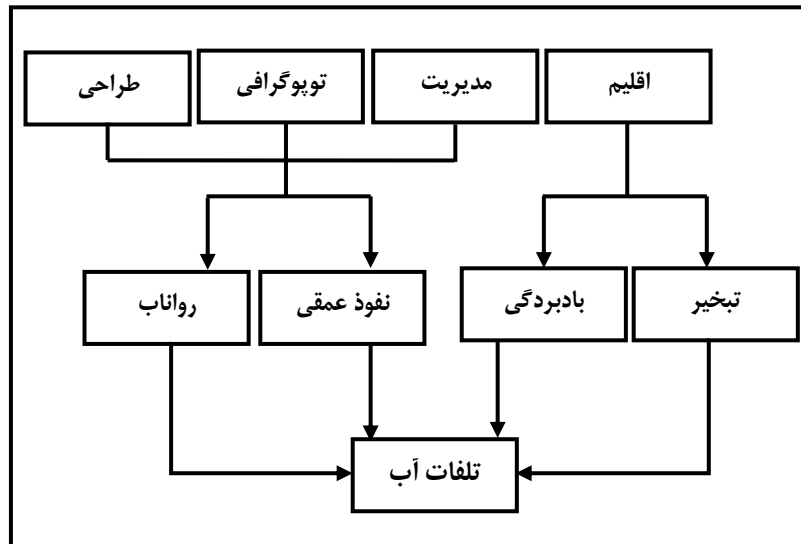
### ۷-۹- طبقه‌بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد در شبکه‌های آبیاری بارانی

شاخص‌های ارزیابی، عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی از دیدگاه‌های مختلف، در پنج گروه مدیریتی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل طبقه‌بندی است. به دلیل تعداد بسیار زیاد شاخص‌های ارزیابی عملکرد، در این بخش به تعدادی از شاخص‌های کلیدی و کاربردی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بارانی اشاره می‌گردد. لازم به ذکر است انتخاب شاخص‌های ارزیابی عملکرد به اهداف موردنظر از ارزیابی وابسته است و ارزیابی کلی سامانه از تلفیق نتایج ارزیابی از دیدگاه‌های مختلف به دست می‌آید.

#### ۷-۹-۱- دیدگاه مدیریتی

شاید مهم‌ترین مؤلفه تأثیرگذار در توفیق یا شکست یک شبکه، نحوه مدیریت بهره‌برداری و نگهداری آن باشد. در این دیدگاه، عملکرد شبکه از لحاظ عوامل مدیریتی ارزیابی شده و تأثیر نحوه مدیریت شبکه بر عملکرد آن بررسی می‌شود. شاخص‌های دسته‌بندی شده در این دیدگاه عواملی است که مقدار آن‌ها به‌طور مستقیم به مدیریت دستگاه بهره‌بردار بستگی دارد و قابلیت دستگاه اداره‌کننده بر آن‌ها تأثیرگذار است.

به‌طور کلی، راندمان نسبت میزان آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه، به میزان آب واردشده به سیستم در یک منطقه مشخص (مزرعه، بخش آبیاری و...) و در طول زمان مشخص (ساعت، روز، زمان آبیاری، فصل آبیاری و دوره رشد گیاه) است. با توجه به شکل (۹-۱) فاکتورهای زیادی می‌تواند بر میزان تلفات آب مؤثر باشد.



شکل ۹-۱- فاکتورها و اجزای مؤثر در تلفات آب در یک سامانه آبیاری

#### راندمان انتقال ( $E_c$ )

$$E_c = \frac{V_d + V_2}{V_c + V_1} \quad (۹-۱)$$

$V_d$  حجم آب تحویل داده شده به شبکه توزیع

$V_c$  حجم آب منحرف یا پمپاژ شده از رودخانه یا مخازن

$V_1$  حجم آب ورودی از منابع دیگر به شبکه انتقال

$V_2$  حجم آب تحویل داده شده از سیستم انتقال به منظور استفاده غیر آبیاری

#### راندمان توزیع ( $E_d$ )

$$E_c = \frac{V_f + V_3}{V_d + V_4} \quad (۹-۲)$$

$V_f$  حجم آب تحویل داده شده به قطعات زراعی یا مزارع

$V_3$  حجم آب تحویلی برای مصارف غیر آبیاری از طریق شبکه توزیع

$V_4$  حجم جریان ورودی از منابع دیگر به شبکه توزیع

راندمان کاربرد آبیاری ( $E_a$ )

$$E_a = \frac{V_m}{V_f} \quad (۳-۹)$$

$V_m$  حجم آب آبیاری موردنیاز برای تأمین رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه

راندمان کل آبیاری ( $E_p$ )

$$E_p = E_c \times E_d \times E_a \quad (۴-۹)$$

راندمان کاربرد واقعی در ربع پایین ( $AE_{LQ}$ )

این شاخص که مبین یکنواختی آبیاری است، نشان‌دهنده این است که سامانه آبیاری در مزرعه تا چه اندازه خوب کار کرده است.

$$AE_{LQ} = \frac{\bar{X}_{LQ}}{\bar{X}_g} \quad (۵-۹)$$

$\bar{X}_{LQ}$  میانگین چارک پایین عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه، نمونه‌ها با کمترین عمق آب  
 $\bar{X}_g$  متوسط عمق آب اندازه‌گیری‌شده از سر نازل

این معادله برای حالتی به کار می‌رود که  $SMD > \bar{X}_{LQ}$  باشد در غیر این صورت باید به جای  $\bar{X}_{LQ}$ ، کمبود رطوبت خاک در معادله بالا قرار گیرد که از رابطه زیر برآورد می‌شود.

$$SMD = \frac{(FC - \theta_i) \times D_{rz} \times \rho_b}{100} \quad (۶-۹)$$

$SMD$  کمبود رطوبت خاک

$FC$  درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی

$\theta_i$  درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری

$D_{rz}$  عمق توسعه ریشه

$\rho_b$  وزن مخصوص ظاهری



**راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ( $PE_{LQ}$ )**

چنانچه میانگین چارک پایین عمق آب ذخیره شده در ناحیه ریشه نمونه ها، درست به اندازه کمبود رطوبت خاک در ریشه ها باشد، راندمان به دست آمده را راندمان پتانسیل چارک پایین می نامند.

$$PE_{LQ} = \frac{\overline{X_{regd}}}{\overline{X_g}} \quad (۷-۹)$$

$\overline{X_{regd}}$  میانگین عمق آب نفوذ کرده در چارک پایین

**راندمان تحویل آب ( $p_f$ )**

$$p_f = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left[ \frac{1}{R} \sum_{j=1}^R (Q_R / Q_D) \right] \quad (۸-۹)$$

$T$  تعداد فواصل زمانی اندازه گیری شده ( $i$  شماره زمان اندازه گیری)

$R$  تعداد کل آبگیرهای اندازه گیری شده ( $j$  شماره آبگیر)

$Q_R$  دبی مورد نیاز

$Q_D$  دبی تحویل شده

**شاخص عملکرد بهره برداری ( $OI$ )**

$$OI = \frac{V_A}{V_I} \quad (۹-۹)$$

$V_A$  حجم واقعی آب تحویلی

$V_I$  حجم آب تعیین شده در طراحی برای تحویل

**شاخص کفایت تحویل ( $P_A$ )**

$$P_A = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \left[ \frac{1}{R} \sum_{j=1}^R (Q_D / Q_R) \right] \quad (۱۰-۹)$$

**شاخص پایداری زمانی تحویل ( $P_D$ )**

$$P_D = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T C_{VT}(P_A) \quad (۱۱-۹)$$

$C_{VT}$  ضریب تغییرات زمانی

شاخص پایداری مکانی تحویل یا عدالت ( $P_E$ )

$$P_E = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T C_{VR}(P_A) \quad (۱۲-۹)$$

$C_{VR}$  ضریب تغییرات مکانی

نسبت تعداد کارکنان ( $MNR$ )

$$MNR = \frac{AMD}{DMD} \quad (۱۳-۹)$$

$AMD$  تراکم تعداد واقعی کارشناس در واحد سطح  
 $DMD$  تراکم تعداد کارکنان در واحد سطح پیش‌بینی‌شده در طراحی

نسبت کیفیت کارکنان ( $MQR$ )

$$MQR = \frac{MP}{MK} \quad (۱۴-۹)$$

$MP$  تعداد کارکنان تحصیل کرده  
 $MK$  تعداد کل کارکنان

کفایت ماشین‌آلات ( $MAR$ )

$$MAR = \frac{MA}{MR} \quad (۱۵-۹)$$

$MA$  تعداد ماشین‌آلات موجود  
 $MR$  تعداد ماشین‌آلات پیش‌بینی‌شده در طرح

کیفیت ماشین‌آلات ( $MAOR$ )

$$MAOR = \frac{MAO}{MA} \quad (۱۶-۹)$$

$MAO$  تعداد ماشین‌آلات فعال

وضعیت سازه‌ها در شبکه ( $SCI$ )

$$SCI = \frac{SGE}{S} \quad (۱۷-۹)$$

$SGC$  تعداد سازه‌های شبکه با وضعیت مطلوب  
 $S$  تعداد کل سازه‌های شبکه

**فعال بودن سیستم (AS)**

$$AS = \frac{ACA}{DCA} \quad (۱۸-۹)$$

ACA سطح اراضی تحت کشت

DCA سطح اراضی قابل کشت

**نسبت نیاز آبتوی (LRR)**

$$LRR = 1 - \frac{ALR - DLR}{DLR} \quad (۱۹-۹)$$

ALR نیاز آبتوی در حال حاضر

DLR نیاز آبتوی در طراحی

**نسبت املاح (CMR)**

$$CNR = 1 - \frac{CCM - ACM}{AACM} \quad (۲۰-۹)$$

CCM غلظت املاح موجود

ACM غلظت املاح مجاز

**گرفتگی آبپاش ها (BPR)**

$$BPR = 1 - \frac{PH - 7.95}{7.95} \quad (۲۱-۹)$$

**۹-۷-۲- دیدگاه فنی**

در این دیدگاه عملکرد شبکه از لحاظ وضعیت فیزیکی و فنی ارزیابی می شود. پس از مدیریت، ارزیابی از منظر فنی نقش مهمی در ارزیابی عملکرد شبکه ایفا می کند. برخی شاخص های مدیریتی و فنی ارتباط تنگاتنگی باهم دارد، به طوری که در ارزیابی عملکرد سامانه باید به طور هم زمان در نظر گرفته شود.

**عملکرد تأمین فشار در ابتدای لوله (PSO)**

$$PSO = \frac{APB}{DPB} \quad (۲۲-۹)$$

$APB$  مقدار فشار موجود در ابتدای لوله

$DPB$  فشار طراحی در نقطه موردنظر

**عملکرد سیستم کنترل دبی در ابتدای لوله (QCP)**

$$QCP = \frac{QA}{TQD} \quad (۲۳-۹)$$

$QA$  مقدار دبی در ابتدای لوله

$TQD$  دبی طراحی در ابتدای لوله

**فشار کارکرد پمپ (PPR)**

$$PPR = \frac{PPP}{PPD} \quad (۲۴-۹)$$

$PPP$  فشار موجود در پمپ یا هیدرانت

$PPD$  فشار طراحی در محل موردنظر

**دبی آبپاش‌ها (LQR)**

$$LQR = \frac{DQ}{QD} \quad (۲۵-۹)$$

$DQ$  اختلاف دبی ابتدا و انتهای لترال

$QD$  دبی طراحی آبپاش‌ها

**کیفیت اجرای آبپاش‌ها (REQ)**

$$REQ = \frac{RS}{NPD} \quad (۲۶-۹)$$

$RS$  میزان تطابق مشخصات آبپاش‌های استفاده‌شده با طراحی

$NPD$  تعداد آبپاش‌ها در طراحی

ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)

$$CU = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{C}} \right] \quad (27-9)$$

$X_i$  عمق آب اندازه‌گیری شده در هر یک از نقاط مشاهده‌ای

$n$  تعداد نقاط مشاهده‌ای

$\bar{X}$  متوسط عمق آب اندازه‌گیری شده

یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (DU)

$$DU = \frac{\bar{X}_{LO}}{\bar{X}} \quad (28-9)$$

شاخص سرعت باد (WVR)

$$WVR = \frac{WA}{WVD} \quad (29-9)$$

$WA$  سرعت باد غالب در دوره رشد حداکثر گیاه

$WVD$  سرعت باد غالب در دوره رشد حداکثر گیاه در طراحی

تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)

$$WDEL = \frac{\bar{X}_g - \bar{X}}{\bar{X}_g} \quad (30-9)$$

نسبت راندمان طراحی (DER)

$$DER = \frac{A_e}{D_e} \quad (31-9)$$

$A_e$  راندمان واقعی

$D_e$  راندمان پیش‌بینی شده در طراحی

**نسبت تعداد سازه‌ها در سامانه انتقال یا توزیع (NSR)**

$$NSR = \frac{NDS}{NAS} \quad (۳۲-۹)$$

$NDS$  تعداد واقعی سازه‌ها در شبکه

$NAS$  تعداد سازه‌های پیش‌بینی شده

**۳-۷-۹ دیدگاه اقتصادی-مالی**

هر یک از متصدیان کلیدی و تعیین‌کننده در بخش آبیاری، یعنی طراحان، سیاست‌گذاران، کشاورزان و کارکنان، دیدگاه متفاوتی در رابطه با عملکرد اقتصادی سامانه دارند؛ بنابراین هرکدام نیاز به مجموعه متفاوتی از شاخص‌ها برای بیان این اهداف دارند. هر شبکه آبیاری و زهکشی ساخته شده باید دارای توجیه اقتصادی باشد. شاخص‌های اقتصادی-مالی تعیین‌کننده نرخ بازدهی سرمایه‌گذاری در شبکه است.

**کفایت اعتبارات نگهداری و بهره‌برداری (TFV)**

$$TFV = \frac{AOMB}{ROMB} \quad (۳۳-۹)$$

$AOMB$  اعتبارات نگهداری و بهره‌برداری تخصیص داده شده سالانه

$ROMB$  اعتبارات نگهداری و بهره‌برداری پیش‌بینی شده در طراحی

**خودکفایی مالی (FSS)**

این شاخص بیان می‌کند که چه درصدی از میزان هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری توسط کشاورز قابل تأمین است. هر چه درصد مربوطه بالاتر باشد، نشان‌دهنده انتقال مدیریت بهتر از رویکرد دولتی به محلی است.

$$FSS = \frac{PI}{ROMB} \quad (۳۴-۹)$$

$PI$  درآمد واقعی پروژه از فروش آب در سال

**صرفه‌جویی (SR)**

$$SR = 1 - \frac{C}{FC} \quad (۳۵-۹)$$

$FC$  هزینه پیش‌بینی شده

$C$  هزینه پروژه

مازاد هزینه (SCR)

$$SCR = 1 - \frac{FC}{C} \quad (۳۶-۹)$$

نسبت سود به هزینه (BCR)

$$BCR = 1 - \frac{B}{C} \quad (۳۷-۹)$$

$B$  سود پروژه

عملکرد محصول شبکه (YP)

$$YP = \frac{YA}{YD} \quad (۳۸-۹)$$

$YA$  مقدار واقعی تولید محصول در سطح شبکه

$YD$  مقدار پیش‌بینی‌شده تولید محصول در سطح شبکه

نسبت ارزش محصول به ازای هزینه آب آبیاری (RYC)

$$RYC = \frac{ARYC}{DRYC} \quad (۳۹-۹)$$

$ARYC$  نسبت ارزش محصول به هزینه آب آبیاری واقعی در سال

$DRYC$  نسبت ارزش محصول به هزینه آب آبیاری طراحی در سال

نرخ بازده داخلی (IRR)

$$IRR = \frac{IRRA}{IRRD} \quad (۴۰-۹)$$

$IRRA$  نرخ بازده داخلی واقعی

$IRRD$  نرخ بازده داخلی در طراحی

هزینه بهره‌برداری و نگهداری (OMR)

$$OMR = \frac{PMC}{C} \quad (۴۱-۹)$$

$PMC$  هزینه سالانه بهره‌برداری و نگهداری

نرخ تورم (IRER)

$$IRER = \frac{FIR}{AIR} \quad (۴۲-۹)$$

$FIR$  نرخ تورم موجود

$AIR$  نرخ تورم پیش‌بینی شده

عملکرد محصول در واحد سطح (AP)

$$AP = \frac{IV}{IP} \quad (۴۳-۹)$$

$IV$  مقدار تولید محصول در واحد سطح

$IP$  تولید محصول در واحد سطح پیش‌بینی شده

نسبت ارزش محصول در واحد حجم آب تحویلی به پروژه (WCV)

$$WCV = \frac{WACV}{WMCV} \quad (۴۴-۹)$$

$WACV$  متوسط ارزش محصول به‌دست‌آمده در واحد آب تحویلی به پروژه در مزارع نمونه

$WMCV$  متوسط ارزش محصول پیش‌بینی شده در واحد آب تحویلی به پروژه

نسبت ارزش محصول در واحد سطح تحت کشت (TCV)

$$TCV = \frac{ACV}{MCV} \quad (۴۵-۹)$$

$ACV$  متوسط ارزش محصول به‌دست‌آمده در واحد سطح تحت کشت در مزارع نمونه

$MCV$  متوسط ارزش محصول پیش‌بینی شده در واحد سطح تحت کشت

نسبت هزینه آب (RCW)

$$RCW = \frac{CI}{CP} \quad (۴۶-۹)$$

$CI$  هزینه آبیاری

$CP$  هزینه تولید محصول



#### ۹-۷-۴- دیدگاه محیط‌زیستی

آبیاری را می‌توان نوعی مداخله در محیط‌زیست دانست. این عملیات می‌تواند دارای اثرات مطلوب و نامطلوبی باشد که اثرات مطلوب آن منحصر به مناطق آبیاری است، درحالی‌که اثرات نامطلوب ممکن است گسترده‌تر از منطقه آبیاری شده و مثلاً در حوضه رودخانه در جریان پایین‌دست محل انحراف آب پدیدار شود. در این دیدگاه اهداف زیست‌محیطی شبکه، پهنه‌های آبی، تالاب‌ها و زیستگاه‌های پرندگان و حیات‌وحش و تغییرات آن‌ها، نوسانات سطح آب زیرزمینی و زه‌دار شدن اراضی، تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه پس از ساخت شبکه، وضعیت ظاهری شوری اراضی و تغییرات آن، وضعیت ظاهری کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب ورودی و خروجی، تأثیر ساخت شبکه بر وضعیت محیط‌زیست انسانی، جانوری، گیاهی منطقه و... موردتوجه قرار می‌گیرد. اثرات مثبت و منفی بهره‌برداری و نگهداری از یک شبکه آبیاری و زهکشی با شاخص‌هایی که موارد مهم آن به شرح زیر است، ارزیابی می‌شود.

#### پایداری مساحت آبیاری (ESI)

$$ESI = \frac{PIA}{IIA} \quad (۴۷-۹)$$

$PIA$  سطح تحت آبیاری فعلی

$IIA$  سطح تحت آبیاری اولیه

#### تغییرات نسبی عمق آب زیرزمینی (RCGD)

$$RCGD = \frac{PGWD}{IGWD} \quad (۴۸-۹)$$

$PGWD$  عمق فعلی آب زیرزمینی

$IGWD$  عمق اولیه آب زیرزمینی

#### تغییرات نسبی شوری خاک (ECSR)

$$ECSR = \frac{IECS}{PECS} \quad (۴۹-۹)$$

$IECS$  شوری اولیه خاک

$PECS$  شوری کنونی خاک

نسبت افزایش شوری آب زیرزمینی (GWECR)

$$GWECR = \frac{IGWEC}{PGWEC} \quad (۵۰-۹)$$

$IGWEC$  میزان شوری اولیه آب زیرزمینی

$PGWEC$  میزان شوری فعلی آب زیرزمینی

تغییرات نسبی پهنه‌های آب از نظر شرایط ماندابی شدن (WAR)

$$WAR = \frac{IWA}{PWA} \quad (۵۱-۹)$$

$IWA$  مساحت اولیه پهنه‌های آب

$PWA$  مساحت فعلی پهنه‌های آب

نسبت تخصیص آب محیط‌زیست (AEW)

$$IWA = \frac{IWA_a}{IWA_p} \quad (۵۲-۹)$$

$IWA_a$  آب اختصاص یافته به محیط‌زیست

$IWA_p$  آب پیش‌بینی شده مورد نیاز محیط‌زیست

**۹-۷-۵- دیدگاه اجتماعی**

ارزیابی اجتماعی نگاه گسترده به ساختارهای مدیریتی، منابع انسانی و میزان ارتقای آن، ظرفیت‌های اجتماعی و میزان توسعه آن، ساختارها و نظام بهره‌برداری محلی دارد. در این دیدگاه عوامل مختلف از جمله درجه برخورداری از رفاه اجتماعی، میزان تأثیرگذاری اجرای شبکه بر سطح زندگی مردم منطقه و میزان مشارکت مردم در فعالیت‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه ارزیابی می‌شود.

شاخص رضایت‌مندی (AGMI)

$$AGMI = \frac{AGM}{NC} \quad (۵۳-۹)$$

$AGM$  درصد رضایت هر یک از مشترکین به نسبت سطح اراضی هر مشترک

$NC$  تعداد کل مشترکین شبکه

نسبت تولید اشتغال (JCR)

$$JCR = \frac{PJ}{IJ} \quad (۵۴-۹)$$

$PJ$  میزان اشتغال نیروی کار پس از احداث سامانه در سطح تحت پوشش پروژه  
 $IJ$  میزان اشتغال نیروی کار اولیه در سطح تحت پوشش پروژه

عملکرد ایجاد درآمد (IP)

$$IP = 1 - \frac{IPI}{PPI} \quad (۵۵-۹)$$

$IPI$  متوسط درآمد سالیانه افراد تحت پوشش پروژه قبل از احداث طرح  
 $PPI$  متوسط درآمد سالیانه افراد تحت پوشش پروژه پس از احداث طرح

میزان تشکل یافتگی سامانه (GR)

$$GR = \frac{MFG}{NC} \quad (۵۶-۹)$$

$MFG$  تعداد متوسط مشترکین عضو تشکل‌ها  
 $NC$  تعداد کل مشترکین

نسبت مشترکین شاکی (CCR)

$$CCR = 1 - \left( \frac{NCC}{NC} \right) \quad (۵۷-۹)$$

$NCC$  تعداد مشترکین شاکی

رفاه نسبی (PR)

$$PR = \frac{UPLP}{TP} \quad (۵۸-۹)$$

$UPLP$  جمعیت بالای خط فقر در سیستم  
 $TP$  جمعیت کل سطح تحت پوشش شبکه

**شاخص کشاورزان تحصیل کرده (EFR)**

$$EFR = \frac{EF}{NC} \quad (۵۹-۹)$$

$EF$  تعداد کشاورزان دارای مدرک دیپلم به بالا

**نسبت هشداردهی در شبکه (SAR)**

$$SAR = \frac{NPAS}{NDAS} \quad (۶۰-۹)$$

$NPAS$  تعداد علائم هشداردهنده

$NDAS$  تعداد نقاط پیش‌بینی شده جهت نصب علائم هشداردهنده

**نسبت ایمنی سازه‌ها (SSR)**

$$SSR = \frac{NPSS}{NDSS} \quad (۶۱-۹)$$

$NPSS$  تعداد سازه‌های حفاظت شده

$NDSS$  تعداد سازه‌هایی که حفاظت آن‌ها در طراحی پیش‌بینی شده

**نسبت افزایش مهارت مشترکین (SKI)**

$$SKR = 1 - \frac{NSKFB}{NSKFA} \quad (۶۲-۹)$$

$NSKFB$  تعداد مشترکین دارای مهارت قبل از اجرای طرح

$NSKFA$  تعداد مشترکین دارای مهارت بعد از اجرای طرح

**نسبت مهاجرت (IR)**

$$IR = 1 - \frac{NRFB}{NRFA} \quad (۶۳-۹)$$

$NRFB$  تعداد خانوارهای ساکن منطقه قبل از اجرای طرح

$NRFA$  تعداد خانوارهای ساکن منطقه بعد از اجرای طرح و در زمان ارزیابی

همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر گردید با توجه به تعدد شاخص‌های موجود برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری لازم است با توجه به هدف از ارزیابی و منابع مالی و زمانی موجود، شاخص‌های منتخب موردبررسی قرار گیرد. بررسی گسترده منابع موجود نشان‌دهنده آن است که اغلب مطالعات

صورت گرفته در خصوص ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بارانی از منظر دیدگاه‌های مدیریتی و فنی و با برآورد شاخص‌های راندمان کاربرد ( $E_a$ )، راندمان کاربرد واقعی در ربع پایین ( $AE_{LQ}$ )، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ( $PE_{LQ}$ )، ضریب یکنواختی کریستیانسن ( $CU$ )، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین ( $DU$ )، شاخص سرعت باد ( $WVR$ )، تلفات تبخیر و بادبردگی ( $WDEL$ ) و گاهی چند شاخص دیگر انجام شده و تعداد مطالعات ارزیابی همه‌جانبه عملکرد شبکه‌ها بسیار محدود است، درحالی‌که ارزیابی همه‌جانبه عملکرد، اطلاعات بسیار جامع‌تری در خصوص عملکرد سامانه آبیاری بارانی در اختیار متولیان امر قرار خواهد داد. ضروری است در مطالعات آتی به این نکته توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

#### ۹-۸- ارزش‌گذاری شاخص‌های ارزیابی عملکرد

ارزیابی عملکرد، مجموعه و ترکیبی از شاخص‌های انتخابی است که با توجه به هدف از ارزیابی سامانه، میزان موفقیت عملکرد شبکه به‌وسیله آن‌ها سنجیده می‌شود. از آنجاکه میزان اهمیت و تأثیر شاخص‌ها در ارزیابی متفاوت است لازم است این تفاوت‌ها با امتیازدهی یا وزن‌دهی به هر یک از معیارها (دیدگاه‌ها) و شاخص‌ها مشخص گردد تا بتوان به ترکیبی مطلوب از عوامل دست‌یافت. برای تعیین ضرایب اهمیت هر عامل دو روش وجود دارد.

#### ۹-۸-۱- قضاوت کارشناسی

در این روش، بر اساس قضاوت و تجربه کارشناس یا روال‌های پذیرفته‌شده برای هر معیار و هر شاخص امتیاز یا ضریب وزنی مشخصی در نظر گرفته می‌شود. ضرایب اهمیت و امتیاز هر دیدگاه یا شاخص با استفاده از قضاوت کارشناسی، به تجربیات کارشناسان و شرایط محلی، مسائل اجتماعی و سایر ویژگی‌های سامانه آبیاری بارانی متکی است. این روش اگر به‌تنهایی به کار رود ممکن است نقش سلیقه در آن زیاد باشد. در برخی مطالعات ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری بارانی در کشور، ضرایب اهمیت دیدگاه‌ها و گروه‌بندی شاخص‌ها به‌صورت جدول (۹-۱) استفاده شده است. در صورتی‌که ارزیابی‌کننده برای دیدگاه‌ها و شاخص‌های مربوط به آن با توجه به شرایط هر پروژه، ضرایب خاصی در نظر داشته باشد، بهتر است از ضرایب مربوط به خود استفاده نماید.

جدول ۹-۱- ضرایب اهمیت دیدگاه‌های مختلف

| دیدگاه       | ضریب |
|--------------|------|
| مدیریتی      | ۱    |
| اقتصادی-مالی | ۰/۷۵ |
| فنی          | ۰/۵  |
| زیست‌محیطی   | ۰/۵  |
| اجتماعی      | ۰/۵  |

### ۹-۸-۲- روش‌های تحلیلی

در روش‌های تحلیلی علاوه بر بهره‌گیری از قضاوت کارشناسان مجرب، با به‌کارگیری روش‌های ریاضی تأثیر سلیقه‌ها کاهش می‌یابد. رهیافت پایه برای ارزیابی عملکرد شبکه‌ها، مستلزم در نظر گرفتن مجموعه‌ای از معیارها و عوامل مؤثر است. از این‌رو در مرحله اول اقدام به تعیین شاخص‌های ارزیابی در پنج گروه اصلی مدیریتی، فنی، اقتصادی-مالی، محیط‌زیستی و اجتماعی با توجه به اهداف موردنظر می‌شود که با بررسی و مرور سوابق مطالعات مشابه و هم‌فکری و هم‌اندیشی با کارشناسان گروه‌های تخصصی مرتبط حاصل می‌شود. انتخاب شاخص‌های ارزیابی در هر یک از دیدگاه‌های ارزیابی عملکرد با پذیرش شاخص‌های پیشنهادی، یا انتخاب برخی از آن‌ها متناسب با اطلاعات جمع‌آوری شده و نیازهای شبکه توسط کارشناسان خبره انجام خواهد شد.

با توجه به این‌که شاخص‌های موردنظر برای ارزیابی عملکرد هر شبکه از ارزش و اعتبار متفاوتی برخوردار است، مناسب‌ترین روش برای ارزیابی عملکرد با استفاده از معیارها و شاخص‌های مذکور، به‌کارگیری فن تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۱</sup> (MCDM) است. در این ارتباط به‌منظور تعیین وزن هر یک از معیارها و شاخص‌ها، از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۲</sup> (AHP) که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، استفاده می‌شود. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی روشی منعطف، قوی و ساده است که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، استفاده می‌شود. معیارهای مطرح‌شده در این روش می‌تواند کمی و یا کیفی باشد. اساس این روش تصمیم‌گیری، مقایسات زوجی است. به‌کارگیری این روش مستلزم چهار قدم زیر است:

#### ۱- ایجاد درخت سلسله‌مراتبی

#### ۲- انجام مقایسه‌های زوجی

<sup>۱</sup>. Multiple Criteria Decision Making

<sup>۲</sup>. Analytical Hierarchy Process

در جدول (۹-۲) نحوه ارزش گذاری معیارها نسبت به هم نشان داده شده است. بر این اساس با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای (شاخص‌های) مؤثر در ارزیابی عملکرد شبکه‌ها، هر یک از آن‌ها به صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

جدول ۹-۲- راهنمای ارزش گذاری معیارها نسبت به هم

| مقدار عددی | ترجیحات (قضاوت شفاهی)              |
|------------|------------------------------------|
| ۹          | کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر   |
| ۷          | ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی |
| ۵          | ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی      |
| ۳          | کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر         |
| ۱          | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان    |
| ۸,۶,۴,۲    | ترجیحات بین فواصل                  |

### ۳- تعیین امتیاز نهایی معیارها

قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. روش مشخص کردن وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها به این صورت است که اهمیت هر یک از معیارها در هدف کلی مشخص می‌شود و نسبت این اهمیت‌ها، وزن یک جفت از معیارها را تعیین می‌کند. وقتی همه جفت‌های ممکن مقایسه و وزن آن‌ها مشخص گردید، برای محاسبه وزن عوامل، ابتدا اعداد متعلق به هر ستون ماتریس با یکدیگر جمع می‌شود و سپس، هر عضو ماتریس به جمع عوامل تقسیم می‌گردد که حاصل آن به وجود آمدن اعداد به صورت نرمال است. در نهایت، میانگین هر ردیف محاسبه می‌شود که عدد به دست آمده معرف وزن هر معیار است. این مقایسه زوجی برای زیرمعیارها نیز باید انجام شود. در نرم افزار Expert Choice، این مراحل به سادگی و با دقت بیشتر قابل انجام است به صورتی که با وارد کردن داده‌ها و مقایسه زوجی حاصل از نظر کارشناسان در این نرم افزار، وزن نهایی هر یک از معیارها مشخص می‌شود.

### ۴- بررسی سازگاری قضاوت‌ها

نرخ ناسازگاری شاخصی است که مقدار آن نشان دهنده تناقضات و ناسازگاری‌های احتمالی در ماتریس مقایسات زوجی است. تجربه نشان داده است که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۱٪ باشد، سازگاری مقایسات قابل قبول بوده و در غیر این صورت در مقایسه‌ها باید تجدیدنظر شود. محاسبه میزان

ناسازگاری نیز در نرم‌افزار Expert Choice قابل محاسبه است و نیازی به محاسبه دستی نیست. همچنین در این مرحله می‌توان با تعیین گستره ضریب وزنی هر یک از دیدگاه‌ها و شاخص‌ها، اقدام به تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی نسبت به تغییرات وزن آن‌ها کرد. هدف از انجام این تحلیل، نزدیک کردن نظرات افراد مرتبط با پروژه در مورد وزن دیدگاه‌ها و شاخص‌ها و نیز امکان حذف شاخص‌های غیرضروری، با توجه به هدف، در ارزیابی عملکرد است. لازم به ذکر است عملکرد واقعی کل شبکه ( $Y_1$ ) با توجه به محاسبه مقدار شاخص‌ها و تعیین ضرایب وزنی آن‌ها با استفاده از رابطه (۶۴-۹) تعیین می‌شود:

$$Y_1 = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^M C_{ij} I_{ij} \quad (۶۴-۹)$$

چنانچه برای شاخص‌ها حداکثر مقادیر که یک است در نظر گرفته شود، عملکرد مطلوب ( $Y_2$ ) به دست می‌آید که به صورت رابطه (۶۵-۹) محاسبه می‌شود. برای آن شاخص‌هایی که جواب بلی یا خیر دارند، به ترتیب اعداد یک و صفر منظور می‌گردد.

$$Y_2 = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^M C_{ij} \quad (۶۵-۹)$$

$C_i$  ضرایب وزنی دیدگاه‌های ارزیابی

$i$  شماره دیدگاه ارزیابی

$C_{ij}$  ضرایب وزنی شاخص  $j$ ام در دیدگاه ارزیابی  $i$ ام

$I_{ij}$  شاخص  $j$ ام در دیدگاه ارزیابی  $i$ ام

$N$  تعداد کل دیدگاه‌های ارزیابی

$M_i$  تعداد کل شاخص‌ها در هر دیدگاه ارزیابی

نمره عملکرد شبکه ( $PA$ )، عملکرد کلی را به صورت نسبی گزارش می‌دهد که در مقایسه باحالت مطلوب قابل تفسیر است.

$$PA = \frac{Y_1}{Y_2} * 100 \quad (۶۶-۹)$$

به دنبال مشخص شدن نمره ارزیابی عملکرد دیدگاه‌ها و شاخص‌ها و نهایتاً نمره ارزیابی عملکرد کل شبکه، تجزیه و تحلیل کلیه نمرات در هر سطح انجام خواهد شد و میزان مطلوبیت کارکرد سامانه مشخص می‌شود. تجزیه و تحلیل بررسی‌های صورت گرفته در دیدگاه‌های مختلف، مشکلات موجود که موجب ضعف عملکرد سامانه در هر زمینه شده را مشخص می‌کند. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد در این مرحله اقدام به جمع‌بندی کلی وضعیت سامانه آبیاری شده و عملکرد آن در مقایسه با شرایط



مطلوب پیش‌بینی‌شده در طراحی در زمینه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پس از ترسیم وضعیت عملکرد فعلی شبکه آبیاری و تعیین دلایل ضعف عملکرد موجود، نوبت به ارائه راهکارهای بهبود و اصلاح عملکرد خواهد رسید. پس از ارائه پیشنهادها، بهبود عملکرد دیدگاه‌ها و شاخص‌های موردنظر، باید اولویت‌های اجرای پیشنهادها، بهبود عملکرد تعیین گردد. همچنین برنامه اجرایی پیشنهادها، اعتبارات و زمان موردنیاز اجرای پیشنهادها نیز به‌عنوان برنامه اقدام بایستی مشخص شود.

#### ۹-۹- اعتبار ارزیابی عملکرد

شاخص‌های ارزیابی عملکرد که میزان موفقیت در انجام مجموعه فعالیت‌های مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های آبیاری به‌وسیله آن‌ها سنجیده می‌شود، به لحاظ تعداد و تنوع، تابع زیرمجموعه موردبررسی است. عوامل مربوط به محاسبه شاخص‌ها به‌عنوان متغیرهای زمانی و مکانی از درجه اهمیت یکسان برخوردار نیستند و تأثیرگذاری متفاوتی در میزان صحت عملکرد به‌دست‌آمده دارند. با درجه‌بندی اعتبار ارزیابی عملکرد اهمیت تعداد شاخص‌های قابل‌محاسبه در مقایسه با تعداد پیش‌بینی‌شده را می‌توان در نتایج ارزیابی وارد کرد. در محاسبه این نسبت، علاوه بر تعداد شاخص‌ها (محاسبه‌شده و پیش‌بینی‌شده) ضرایب وزنی هر شاخص که بیانگر اهمیت آن است نیز در نظر گرفته می‌شود. ضرایب وزنی همچنان که پیش‌تر تأکید شد، بر اساس تشخیص کارشناس و با استفاده از نتایج مطالعات ارزیابی عملکرد سایر شبکه‌ها و شناخت میزان تأثیرگذاری عوامل مرتبط با عملکرد تعیین می‌شود. پس از تعیین نسبت تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده، به تعداد کل شاخص‌های پیش‌بینی‌شده برای ارزیابی عملکرد و با اعمال ضرایب (اهمیت) هر شاخص، درجه‌بندی اعتبار ارزیابی از جدول (۹-۳) تعیین می‌شود. این درجه‌بندی برای ارزیابی هر شاخص نیز قابل بهره‌گیری است. به‌عنوان مثال چنانچه تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده به‌کل ۶۸٪ باشد، درجه ارزیابی آن «خوب» است.

جدول ۹-۳- درجه‌بندی اعتبار ارزیابی عملکرد

| نسبت تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده به کل با اعمال ضرایب اهمیت | درجه اعتبار ارزیابی |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|
| ۲۵-۰                                                      | خیلی ضعیف           |
| ۴۵-۲۵                                                     | ضعیف                |
| ۶۵-۴۵                                                     | متوسط               |
| ۸۵-۶۵                                                     | خوب                 |
| ۱۰۰-۸۵                                                    | بسیار خوب           |

### ۹-۱۲- عوامل مؤثر در عملکرد سامانه‌های آبیاری

عملکرد سامانه آبیاری می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی در ارتباط با طراحی و مدیریت، عوامل خارجی و همچنین دانش کشاورزان قرار گیرد. تفسیر نتایج بررسی عملکرد سامانه، باید با توجه به همه فاکتورهای مؤثر بر عملکرد سامانه انجام شود. لازم به ذکر است ارزیابی تأثیر هر فاکتور بر عملکرد سامانه نباید تنها در یک‌بار آبیاری موردبررسی قرار گیرد بلکه باید در زمان طولانی‌تری مانند یک فصل آبیاری بررسی شود.

#### ۹-۱۲-۱- طراحی و مدیریت

طراحی و مدیریت، دو عامل مهم در ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری هستند. این دو عامل نباید به صورت جدا از هم موردبررسی قرار گیرد. تصمیمات اتخاذشده در مرحله طراحی، چگونگی عملکرد سامانه در شرایط خاص کشاورزی و اقلیمی منطقه را تعیین می‌کند. به‌طور کلی باید هماهنگی بین طراحی و مدیریت سامانه برقرار باشد. طراحان و تکنسین‌ها باید این نکته را در نظر داشته باشند که در نواحی مختلف که دارای شرایط متفاوت اقلیمی، کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی است و مهارت‌های مدیریتی مناسب با شرایط وجود ندارد، نباید فناوری یکسانی را به کار گیرند.

#### - فرایند طراحی

در مرحله طراحی، تصمیمات درزمینه انتخاب یک روش آبیاری، انتخاب تجهیزات موردنیاز و چگونگی نصب تجهیزات باید با دقت انجام شود. از آنجایی که طراحی بر توانایی سامانه در توزیع یکنواخت آب در کل مزرعه تأثیر دارد؛ بنابراین باید یکنواختی مناسبی با توجه به روش آبیاری، شرایط اقلیمی، کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی، شرایط کشاورزان منطقه و نسبت سود به هزینه طرح، انتخاب شود. فرایند طراحی سامانه، به صورت تکرارشونده است. به این معنی که تصمیمات اتخاذشده در هر مرحله از طراحی بر مراحل دیگر تأثیر دارد.

### - کیفیت تجهیزات

انتخاب دقیق و درست تجهیزات از مهم‌ترین عوامل در طراحی سامانه‌های آبیاری است. در اثر کاربرد وسایل با کیفیت‌های مختلف، می‌توان عملکردهای متفاوتی از سامانه آبیاری انتظار داشت. اطلاعات موردنیاز در رابطه با تجهیزات آبیاری در کارخانه سازنده موجود است؛ علاوه بر این می‌توان اطلاعاتی را از آزمایش‌های انجام‌شده از برخی مؤسسات به دست آورد.

### - برنامه‌ریزی آبیاری

در برنامه‌ریزی آبیاری، زمان آبیاری و حجم آب آبیاری موردتوجه قرار می‌گیرد. برنامه‌ریزی آبیاری و عملکرد آبیاری ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند. در برنامه‌ریزی مناسب آبیاری باید فاکتورهای زیر موردتوجه قرار گیرد:

- میزان آب متناسب با گیاه و خاک
- زمان آبیاری متناسب با شرایط آب‌وهوایی
- کاربرد یکنواخت و مؤثر آب آبیاری
- کاربرد آب با حداقل تلفات

به‌منظور عملکرد مناسب آبیاری باید به میزان آب تحویلی به زمین در طول فصل رشد از طریق بارندگی توجه ویژه داشت. تصمیم‌گیری‌های درست زمان آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار است، اگرچه برخی عوامل خارجی می‌توانند بر تصمیم‌گیری‌های مربوط به زمان و میزان آبیاری تأثیر داشته باشد.

### ۹-۱۲-۲- عوامل خارجی مؤثر بر عملکرد سامانه آبیاری

برخی عوامل مانند دما، فشار و تغییرات موجود در شبکه تأمین و انتقال آب، می‌تواند بر عملکرد سامانه تأثیر داشته باشد. از آنجایی که این عوامل از کنترل کشاورز خارج است، به‌عنوان عوامل خارجی در نظر گرفته می‌شود. میزان تأثیر عوامل خارجی بر عملکرد سامانه بستگی به خصوصیات و میزان بزرگی آن‌ها، فن آبیاری مورد استفاده و شرایط اقلیمی و کشاورزی در منطقه تحت بررسی دارد.

### ۹-۱۲-۳- مهارت کشاورزان

علاوه بر انتخاب فن آبیاری و طراحی مناسب سامانه آبیاری، چگونگی بهره‌برداری از سامانه آبیاری توسط کشاورز از عوامل مهم در عملکرد سامانه آبیاری است. بر اساس تحقیقات انجام‌شده در بسیاری

از نقاط دنیا (آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی)، مؤسسه بین‌المللی اصلاح و احیای زمین<sup>۱</sup> گزارش کرد که در میان کشاورزان نوعی بی‌تفاوتی نسبت به عملکرد سامانه آبیاری وجود دارد و آن‌ها به‌ندرت ارزیابی عملکرد سامانه را به کار می‌برند و ارزیابی عملکرد اصولاً توسط محققان انجام می‌شود. لازم است دوره‌های آزمایشی جامعی برای افزایش مهارت کشاورزان و بهره‌برداران در ارزیابی و مدیریت سامانه آبیاری در نظر گرفته شود تا تأثیر منفی عوامل محلی بر عملکرد سامانه کاهش یابد.

### ۹-۱۳- مشکلات اصلی سامانه‌های آبیاری بارانی در کشور

با بررسی ارزیابی‌های انجام‌شده (غالباً مدیریتی و فنی) در سامانه‌های آبیاری بارانی کشور مشکلات عمده این سامانه‌ها به شرح زیر قابل‌ارائه است:

- ضعف در طراحی، اجرا و عدم نظارت کافی بر مراحل آن
- اطلاعات ناکافی از بهره‌برداری و نگهداری سامانه
- ضعف مدیریت بهره‌برداران، فقدان دانش و مهارت کاربران و عدم آموزش آن‌ها
- عدم بازبینی‌های دوره‌ای به دلیل سطح پایین آگاهی
- عدم رعایت فاصله و اندازه نازل نصب‌شده
- کم‌توجهی به ارتفاع آبپاش‌ها
- عدم تنظیم صحیح فشار کارکرد سامانه‌ها
- عدم تطابق میزان آب مصرفی با نیاز آبی گیاه
- آبیاری در زمان‌های نامناسب
- استفاده از تعداد زیاد آبپاش به‌طور هم‌زمان و کاربرد آبپاش‌هایی با مشخصات و مدل‌های متفاوت
- استفاده از لوازم فرسوده و غیراستاندارد
- فرونشست عمقی به‌ویژه در اراضی با بافت سبک
- تأثیرگذاری عوامل اقلیمی نظیر سرعت باد

<sup>۱</sup>. International Institute for Land Reclamation

## مثال (۱-۹) ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار در واحد اکرم‌آباد شبکه

### آیدوغموش

مهدوی و منعم (۱۳۸۹) با استفاده از روش کلاسیک و توسعه مدلی به نام PAPIS عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار را در بخشی از شبکه آیدوغموش شهرستان میانه در استان آذربایجان شرقی مورد ارزیابی قرار دادند. این ارزیابی از دیدگاه‌های مدیریتی، فنی، اقتصادی-مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی و به دو روش اجمالی و تفصیلی انجام شد. به دلیل تشابه فرایند این پژوهش در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بارانی با روند ارائه شده در این فصل، مراحل و چکیده‌ای از پژوهش مذکور در این مثال ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است این مقاله نتیجه پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «توسعه مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار با استفاده از روش کلاسیک (PAPIS)» است که در دانشگاه تربیت مدرس انجام شده. مساحت بخش مورد ارزیابی این پروژه که تماماً تحت آبیاری بارانی است، ۷۰ هکتار است.

### - هدف از پژوهش

هدف اصلی از این پژوهش، ارائه روش جامع ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار از دیدگاه‌های مختلف است که بتواند نقاط ضعف و قوت سامانه را نشان داده و برای بهبود و ارتقای عملکرد سامانه مورداستفاده قرار گیرد. در این روش با تدوین شاخص‌هایی در دیدگاه‌های مختلف و با تعیین ضرایب اهمیت وزنی شاخص‌ها و دیدگاه‌ها، ارزیابی به صورت اجمالی و تفصیلی انجام شده است و برای سهولت انجام ارزیابی، یک مدل کامپیوتری که قابل تعمیم برای عموم شبکه‌های آبیاری تحت فشار باشد، توسعه یافته است. تعداد شاخص‌های تدوین شده در هر یک از دیدگاه‌ها در این پژوهش که با توجه به ضرورت‌های موجود، بررسی‌های کارشناسی و مذاکره با خبرگان ذی‌ربط تعریف گردیده، در جدول ۴-۹ و نمونه‌ای از شاخص‌های هر دیدگاه در جدول (۵-۹) آمده است.

### - ضرایب اهمیت شاخص‌ها و دیدگاه‌ها

تعیین اوزان شاخص‌ها بر اساس بررسی‌های تحلیلی و تجربی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شده است. در این فرایند اهمیت هر کدام از شاخص‌ها نسبت به هم به صورت دوجه‌دو با قضاوت کارشناسی در ماتریس ضرایب تعیین می‌شود و با محاسبه مقادیر ویژه ماتریس مقایسات زوجی، ضرایب اهمیت وزنی تمامی شاخص‌ها محاسبه می‌گردد. این کار با نرم‌افزار Expert Choice انجام شده و سازگاری تصمیم کنترل می‌شود.

### – تعیین عملکرد شبکه و اعتبار ارزیابی

عملکرد شبکه؛ در هر دیدگاه، عملکرد کل شبکه و اعتبار ارزیابی بر اساس روابط و مراحل ارائه‌شده در این فصل برآورد گردیده است و نتایج آن در جدول (۹-۶) ارائه شده است.

جدول ۹-۴- تعداد شاخص‌ها در دیدگاه‌های مورد ارزیابی در تحقیق

| دیدگاه‌ها | مدیریتی | فنی | اقتصادی-مالی | اجتماعی | زیست‌محیطی | مجموع |
|-----------|---------|-----|--------------|---------|------------|-------|
| اجمالی    | ۱۵      | ۱۵  | ۶            | ۵       | ۴          | ۴۵    |
| تفصیلی    | ۵۵      | ۵۸  | ۲۱           | ۱۴      | ۹          | ۱۵۷   |

جدول ۹-۵- نمونه‌ای از شاخص‌های هر دیدگاه ارزیابی عملکرد

| زیست محیطی                      | اجتماعی                    | اقتصادی-مالی                                                  | فنی                       | مدیریتی                                |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| ۱- پایداری مساحت                | ۱- میزان شکل‌یافتگی سامانه | ۱- کفایت اعتبارات نگهداری و بهره‌برداری                       | ۱- عملکرد تأمین فشار      | ۱- کفایت کارکنان بهره‌برداری و نگهداری |
| ۲- تغییرات نسبی عمق آب زیرزمینی | ۲- نسبت مشترکین غیرشاکی    | ۲- خودکفایی مالی هزینه نگهداری شیرها و سازه‌های مربوط به آنها | ۲- نسبت شیرهای کنترل فشار | ۲- عملکرد آبیاری                       |
|                                 |                            |                                                               |                           | ۳- وضعیت شیرهای کنترل فشار             |
|                                 |                            |                                                               |                           | ۴- نسبت کیفیت کارکنان                  |
|                                 |                            |                                                               |                           | ۵- وضعیت جاده سرویس‌ها                 |
| اجمالی و تفصیلی                 | اجمالی و تفصیلی            | ۱ و ۲ اجمالی و تفصیلی                                         | اجمالی و تفصیلی           | ۱ اجمالی و تفصیلی                      |
|                                 |                            | ۳ تفصیلی                                                      |                           | ۲ تا ۵ تفصیلی                          |

جدول ۹-۶- نتایج ارزیابی عملکرد واحد اکرم‌آباد شبکه آیدوغموش

| دیدهگاه‌ها | تعداد شاخص -<br>های محاسبه شده | نمره ارزیابی<br>عملکرد (%) | اعتبار<br>ارزیابی (%) | تعداد شاخص -<br>های محاسبه شده | نمره ارزیابی<br>عملکرد (%) | اعتبار<br>ارزیابی (%) |
|------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| مدیریتی    | ۱۴                             | ۸۸/۸                       | ۹۳/۲                  | ۵۰                             | ۸۱                         | ۹۱/۸                  |
| فنی        | ۱۷                             | ۹۶/۷                       | ۸۱/۹                  | ۴۵                             | ۸۷/۲                       | ۸۱/۷                  |
| اقتصادی-   | ۲                              | ۵۷/۲                       | ۶۰/۶                  | ۶                              | ۴۶/۶                       | ۴۰/۸                  |
| زیست‌محیطی | ۲                              | ۷۷/۷                       | ۶۰/۷                  | ۲                              | ۸۸/۸                       | ۳۴/۱                  |
| اجتماعی    | ۵                              | ۸۷/۹                       | ۱۰۰                   | ۱۳                             | ۷۷/۸                       | ۹۷                    |

### معرفی مدل PAPIS

مدل کامپیوتری PAPIS نرم‌افزاری است که برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار به صورت تفصیلی و اجمالی، بر اساس پنج دیدهگاه مدیریتی، فنی، اقتصادی-مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی، به زبان C تهیه شده است. این نرم‌افزار قادر است فرایندهای زیر را انجام دهد:

- محاسبه کلیه شاخص‌های ارزیابی عملکرد در هر دیدهگاه
- پیشنهاد ضرایب اهمیت شاخص‌ها در هر دیدهگاه
- پیشنهاد ضرایب وزنی دیدهگاه‌ها
- محاسبه عملکرد واقعی و استاندارد و نمره عملکرد هر دیدهگاه
- محاسبه عملکرد واقعی و استاندارد کل شبکه
- تعیین اعتبار ارزیابی
- گزارش نهایی و خروجی برنامه

در مدل PAPIS پس از مشخص شدن نوع ارزیابی، کاربر می‌تواند دیدهگاه یا دیدهگاه‌های موردنظر خود را انتخاب کرده و سامانه موردنظر خود را مورد ارزیابی قرار دهد.



## نتایج

نتایج ارزیابی عملکرد واحد اکرم آباد شبکه آیدوغموش که به صورت خلاصه در جدول ۹-۶ آمده است، نشان داد:

- دیدگاه مدیریتی دارای عملکرد بسیار خوب و اعتبار ارزیابی بالا است. در این دیدگاه بیشتر شاخص‌ها دارای عملکرد بسیار خوب هستند که نشان‌دهنده فعالیت مناسب، مفید و با برنامه سازمان بهره‌بردار در منطقه است.
- در دیدگاه فنی عملکرد بسیار خوب و اعتبار ارزیابی بالا است و تمام شاخص‌ها دارای عملکرد بسیار خوب و بالا هستند. این امر نشان‌دهنده طراحی مناسب، دقت در اجرا و مطابقت مناسب اجرا و طراحی است.
- در ارزیابی اجمالی دیدگاه اقتصادی-مالی عملکرد و اعتبار ارزیابی، متوسط و در ارزیابی تفصیلی این دیدگاه، عملکرد متوسط و ضعیف و اعتبار ارزیابی نسبتاً ضعیف است. اعتبار ارزیابی پایین نشان‌دهنده نقص قابل توجه اطلاعات بوده و بالاتر بودن نمره ارزیابی عملکرد و اعتبار ارزیابی اجمالی نسبت به ارزیابی تفصیلی به دلیل کمتر بودن تعداد شاخص‌ها در این ارزیابی است.
- در دیدگاه اجتماعی عملکرد بسیار خوب و اعتبار ارزیابی عالی است.
- در ارزیابی اجمالی دیدگاه زیست‌محیطی عملکرد نسبتاً خوب و اعتبار ارزیابی متوسط و در ارزیابی تفصیلی، عملکرد خوب بوده ولی اعتبار این ارزیابی پایین است که گویای کمبود قابل توجه اطلاعات مورد نیاز شاخص‌های این دیدگاه است. بالاتر بودن اعتبار ارزیابی اجمالی نسبت به ارزیابی تفصیلی، به دلیل کمتر بودن تعداد شاخص‌ها در ارزیابی اجمالی است.
- با توجه به محاسبه عملکرد واقعی و استاندارد در هر دیدگاه و اعمال ضرایب هر یک از دیدگاه‌ها برای محاسبه عملکرد کل سامانه آبیاری تحت فشار اکرم آباد، نمره عملکرد کل شبکه در ارزیابی اجمالی ۸۸/۵ درصد و اعتبار ارزیابی ۸۴/۴ درصد و در ارزیابی تفصیلی به ترتیب ۸۰/۸ و ۷۸/۷ به دست آمده است که نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب شبکه با اعتبار ارزیابی بالا است.
- در واحد اکرم آباد شبکه آیدوغموش، طی محاسبات انجام شده مشخص گردید از نظر عملکرد، دیدگاه فنی دارای بهترین عملکرد و دیدگاه اقتصادی دارای ضعیف‌ترین عملکرد بوده و از نظر اعتبار ارزیابی، دیدگاه اجتماعی دارای بالاترین اعتبار و دیدگاه‌های اقتصادی-مالی و زیست‌محیطی دارای پایین‌ترین اعتبار است.

- با توجه به نمرات عملکرد به دست آمده، بیشترین ظرفیت بهبود، در دیدگاه اقتصادی-مالی وجود دارد و به دنبال آن به ترتیب، دیدگاه‌های اجتماعی، زیست‌محیطی، مدیریتی و فنی قرار دارند.



## فهرست منابع

آبسالان، ش، دهقانی سانچ، ح. ۱۳۹۴. تغییرات شوری خاک تحت سیستم آبیاری بارانی در منطقه دشت آزادگان خوزستان، اولین همایش ملی بررسی ابعاد اجرای طرح توسعه کشاورزی ۵۵۰ هزار هکتاری، اهواز.

آمارنامه کشاورزی. ۱۴۰۲، آمارنامه کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.

اشرف، ن، میرزایی، ف، محمدبیگی، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی دورانی و کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (مطالعه موردی: مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه گیلان). تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶(۲): صص ۳۵۳-۳۶۱.

اکبری، م، رحیمزادگان، ر. ۱۳۷۵. اثرات باد و خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی بر یکنواختی توزیع آب، دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور: تهران. صص ۵۴ تا ۶۴.

اکبری، م، ریاحی، ح، ملایی، ع، کیانی، ع، علی محمدی، م، دهقانی سانچ، ح. ۱۳۹۴. حد مجاز شوری (سدیم و کلر) در روش آبیاری بارانی (مطالعه موردی روی دو کشت غالب در استان کرمان)، طرح پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی: کرج.

اکبری، م، صدقائین، ح، زارعی، ق، نخجوانی مقدم، م. ۱۳۹۱. تأثیر سرعت باد و خصوصیات هیدرولیکی بر یکنواختی توزیع آب در آبپاش‌های متداول در آبیاری بارانی، آبیاری و زهکشی ایران. صص ۳۰-۲۱. اوجاقلو، ح، بیگدلی، ز. و شیردلی، ع. ۱۳۹۶. بررسی اثر سرعت باد بر عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در استان زنجان، مهندسی آبیاری و آب. ۷(۲۸): صص ۹۷-۱۰۷. باوی، م، کشکولی، ح، برومندنسب، س. ۱۳۸۷. تأثیر عوامل جوی و هیدرولیکی بر ضرایب یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی در منطقه امیدیه. پژوهش آب ایران. ۲(۲): صص ۵۹-۵۳.

برومندنسب، س. و آینه‌چی، ج. ۱۳۹۰. اصول و روش‌های آبیاری تحت فشار، انتشارات دانشگاه شهید چمران. بهرامی، م، خواجه‌ای، ف، دیندارلو، ع، دستورانی، م. ۱۳۹۶. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده در برخی از دشت‌های استان فارس. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۱): صص ۳۱۷-۳۱۱.

بهمنی، ا. و ارشادفتح، ف. ۱۳۹۵. آبیاری مزرعه (برنامه‌ریزی و مدیریت). انتشارات علم کشاورزی ایران. پذیرا، ا. ۱۳۹۱. حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی، خاک و آب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران. جوادزاده شاخالی، ف، خالدیان، م، نواییان، م، شاهین رخسار، پ. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی شوری خاک تحت منبع خطی در یک خاک ناهمگن و در شرایط غیر ماندگار، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و دوم، شماره چهارم، صص ۲۱۶-۲۰۳.

حسینی، ی، رئوف، م، نظری گیگلو، ف. ۱۳۹۹. ارزیابی و مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه آبیاری عقریه‌ای در منطقه مغان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۵): صص ۱۲۷-۱۰۹.

حسینیان، ص، خالدیان، م، معتمد، م. ۱۳۹۵. ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی از لحاظ شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری آب در جنوب فرانسه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰، شماره ۲، صص ۲۲۶-۲۱۵.

- حمدی احمدآباد، ی. لیاقت، ع. سهرابی، ت. رسولزاده، ع. نظری، ب. لیاقت، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد سامانه-های آبیاری عقربه‌ای (سنتریوت) در مزارع کشت و صنعت و دامپروری مغان، ۴۷(۴): صص ۷۲۹-۷۲۳.
- حیدری، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. فصلنامه علمی پژوهشی، د ۲۱، ش ۷۸، صص ۱۷۷-۲۰۰.
- خبرگزاری ایرنا. ۱۳۹۹. سایت رسمی خبرگزاری [www.irna.ir](http://www.irna.ir)
- دهقان‌پور، د. برومندنسب، س. هوشمند، ع. ۱۳۹۱. استفاده از آب شور در آبیاری بارانی گیاه ماش با تکنولوژی الکترومغناطیس. اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار: رامهرمز.
- رحمت‌آبادی، و. برومندنسب، س. سخایی‌راد، ح. باوی، ع. ۱۳۹۱. تلفات تبخیر و باد دو نوع آبپاش تک‌نازله و سه‌نازله در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط اقلیمی اهواز. آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۴): صص ۲۶۵-۲۷۲.
- رحیم‌زادگان، ر. طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی. جهاد دانشگاهی اصفهان.
- رستمیان، ب. معروف‌پور، ع. آذربو، ن. فرزانه‌کیا، ف. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل جوی و هیدرولیکی بر میزان تلفات تبخیر و باد آبپاش‌های ضربه‌ای در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت. آب و خاک. ۲۸(۴): صص ۶۶۹-۶۶۱.
- روشنی، ا. ۱۳۹۱. اصول اجرایی سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.
- روشنی، ا. ۱۳۹۴. طراحی و شناخت سیستم‌های آبیاری بارانی (کلاسیک-ویلموو)، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.
- رنجبر، ع. صدرالدینی، ع. ا. ناظمی، ا. ح. دلیرحسن‌نیا، ر. فاخری‌فرد، ا. ۱۳۸۹. بررسی معادلات تلفات بادبردگی و تبخیر در سیستم آبیاری سنتریوت. اولین کنگره بین‌المللی و چهارمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه: ارومیه.
- زارع ابیانه، ح. زیوری عارف، س. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری کلاسیک ثابت در اسدآباد همدان، پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۴): صص ۵۳۴-۵۲۳.
- زارع ابیانه، ح. یوسفی، ر. جوزی، م. عباسی، ع. شاکرمی، م. ۱۴۰۰. تأثیر سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر تغییر برخی خصوصیات شیمیایی خاک. محیط‌زیست و مهندسی آب. ۷(۴): صص ۶۲۸-۶۱۵.
- زهتابیان، غ. ۱۳۷۵. راهنمای عملی آبیاری، انتشارات دانشگاه تهران.
- زهتابیان، غ. طیب، م. سوری، م. ۱۳۸۵. بررسی علل شوری خاک در استان کرمان (مطالعه موردی: دشت کبوترخان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۳(۴): صص ۳۸۴-۳۶۸.
- سراج رضایی، ی. حسن‌نیا، ر. د. ۱۳۹۳. تحلیل خصوصیات باد در شب و روز و تأثیر آن بر عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی، آبیاری و زهکشی، ۲(۸): صص ۳۲۴-۳۱۱.
- سهرابی، ت.، پایدار، ز. ۱۳۸۷. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری، انتشارات دانشگاه تهران.

سهرابی، ت. عباسی، ف. ۱۳۸۸. ارزیابی بازده آبیاری در کشور و ارائه نقشه‌های هم‌بازده آبیاری، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۵ و ۶ اسفند، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۹۱. ارزیابی عملکرد مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی درودزن، گزارش نهایی.

شریفی پور، م. ناصری، ع.ع. هوشمند، ع. حسن‌اقلی، ع. معاضد، ه. ۱۳۹۶. آبشویی و اصلاح اراضی شور و سدیمی، بخش اول: مفاهیم نظری و روابط حاکم بر آبشویی نمک‌ها از نیم‌رخ خاک، مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۱): صص ۴۸-۳۹.

شعبانی، ح. دل‌آور، م.ا. صفری، ی. علمداری، پ. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی و تحلیل مکانی برخی خصوصیات خاک در اراضی دانشگاه زنجان. تحقیقات کاربردی خاک. ۷(۴): صص ۱۷۸-۱۶۴.

شکری، ح. سلطانی‌محمدی، ا. برومندنسب، س. ۱۳۸۹. ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان مهران، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی: اهواز.

شیخ‌اسماعیلی، ا. ۱۳۹۱. بررسی اثرات باد و فشار آب بر تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط گرم و نیمه‌خشک. آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۶): صص ۹۲-۸۷. عابدی کوپایی، ج. افیونی، م. مصطفی‌زاده، ب. موسوی، س.ف. باقری، م. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه‌شده بر شوری خاک، آب و فاضلاب، ۱۴(۱): صص ۱۱-۲.

عالمی، م.ح. ۱۳۶۰. طراحی سیستم‌های آبیاری، انتشارات دانش و فن. عباسی، ف. ن. عباسی و ع. ر. توکلی. ۱۳۹۶. یادداشت تحلیلی: بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها، نشریه آب و توسعه پایدار، سال چهارم، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۴۱. عرفانیان، م. علیزاده، ا. موسوی بایگی، س.م. انصاری، ح. باغانی، ج. ۱۳۸۷. مطالعه پتانسیل اثرات تبخیر و بادبردگی بر کارایی سیستم‌های آبیاری بارانی در دشت‌های کشاورزی استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی، ۲۲(۱): صص ۱۷۲-۱۶۱.

علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای، دانشگاه امام رضا (ع). علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری: طراحی سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار، دانشگاه امام رضا (ع). عمویی، ص. خالدیان، م. صورتی‌زنجانی، ر. ۱۴۰۱. بهبود بهره‌وری آب و انرژی با کاربرد سامانه هوشمند آبیاری بارانی توتستان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. پذیرش.

فیلی، ج. سقاوی، ح. ۱۳۸۷. بررسی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده از مدل NPAIS (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی مارون بهبهان). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. تبریز. قاضی‌زاده، ا. سیاری، ن. ۱۳۹۲. بررسی اثرات آب مغناطیسی بر شوری و آب‌گرفتگی در سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار، دوازدهمین همایش سراسری آبیاری و زهکشی: کرمان.

قربانی، ب. و خیرابی، ج. ۱۳۹۱. اصول و طراحی ماشین‌های بزرگ آبیاری بارانی، جهاد دانشگاهی اصفهان.

- قنبری، آ. خالیدیان، م. اشرف‌زاده، ا. نواییان، م. ۱۴۰۰. کاربرد رینگ مروس و مگنت برای آبشویی متناوب و پیوسته کاتیون‌های خاک شور با استفاده از منابع مختلف آب. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۵): صص ۱۱۱۷-۱۱۰۴.
- قهرمانی پیرسلامی، ف. راهنما، ا. سیاهپوش، م. برومندنسب، س. ۱۳۹۵. اثر آبیاری بارانی با آب شور بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays L.*). علوم زراعی ایران. ۱۸(۲)، صص ۱۶۰-۱۴۷. کاظمی، س. برومندنسب، س. ایزدپناه، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (AMBOO, VYR155) در شهرستان اقلید فارس. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۲(۲)، صص ۱۹۶-۱۸۱.
- کریمی، ب. محمدی‌نسب، آ. عبدی، چ. ۱۳۹۵. ارزیابی تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم آبیاری بارانی شبانه و روزانه، آبیاری و زهکشی، ۱(۱۰): صص ۱۳۸-۱۳۵.
- کولائی‌ان، ع. و غلامی سفیدکوهی، م. ۱۳۹۱. معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائم‌شهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، شهریورماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی: ساری.
- کیانی، ع. ۱۳۷۸. ارزیابی روش‌های آبیاری بارانی معمولی در منطقه گرگان و گنبد، نشریه شماره ۸۴۷/۷۸ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.
- محلوجی، م. اکبری، م. ۱۳۸۰. اثر شوری آب بر عملکرد ارقام مختلف گندم در آبیاری بارانی، نهال و بذر، ۱۷(۲): صص ۱۸۲-۱۷۲.
- محمدی، ع. بیگلویی، م. خالیدیان، م. مریدنژاد، ع. پورحاج شکر، ه. ۱۳۹۱. تعیین آرایش مناسب قطره‌چکان‌ها در اراضی شیب‌دار دشت فتحعلی مغان، نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۳۹۱، صص ۴۱۳-۴۰۴.
- محمدی، ع. بیگلویی، م. خالیدیان، م. مریدنژاد، ع. رجبی، ج. ۱۳۹۲. بررسی ابعاد پياز رطوبتی در اراضی شیب‌دار، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال هفدهم. شماره ۶۶ زمستان ۹۲.
- مختارن، ع. آيسالان، ش. ورجاوند، پ. ۱۳۹۸. بررسی میدانی تأثیر سامانه آبیاری بارانی بر روی شوری خاک در کشت‌های ذرت و گندم مناطق مرکزی خوزستان، اولین کنگره بین‌المللی و چهارمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- مریدنژاد، ع. ۱۳۸۶. تجربیاتی از شبکه آبیاری بارانی بيله سوار مغان. اولین سمینار ملی توسعه پایدار روش‌های آبیاری تحت فشار، اسفند ماه ۱۳۸۶، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.
- مریدنژاد، ع. ۱۳۸۷. مشخصات فنی تجهیزات آبرسانی و آبیاری تحت فشار، سمینار تخصصی ادوات و تجهیزات آبرسانی در ایران، آبان ماه ۱۳۸۷، انجمن هیدرولیک ایران. تهران.
- مریدنژاد، ع. ۱۳۸۸. کارگاه آموزشی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری تحت فشار، آبان ماه ۱۳۸۸، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.



- مریدنژاد، ع. ۱۳۹۱. کارگاه آموزشی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری تحت فشار، چهارمین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، خرداد ماه ۱۳۹۱، کنگره ملی مهندسی آب و خاک ایران. کرج.
- مریدنژاد، ع. ۱۳۹۲. اثرات طراحی، نظارت و اجرا بر بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری تحت فشار، چهارمین سمینار ملی توسعه پایدار روش‌های آبیاری تحت فشار، مهر ماه ۱۳۹۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشور. کرج.
- مریدنژاد، ع. ۱۳۹۳. کارگاه آموزشی محدودیت‌ها و فرصت‌های توسعه آبیاری تحت فشار، اردیبهشت ماه ۱۳۹۳، نخستین کنگره ملی مهندسی آب و خاک ایران. کرج.
- مصطفی‌زاده، ب.، تقوی، ص. ۱۳۸۵. ارزیابی سیستم‌های مختلف آبیاری بارانی در استان آذربایجان شرقی. پژوهش کشاورزی. ۴۶(۴): صص ۳۹-۴۸.
- معروف‌پور، ع.، ابراهیم‌پور، م. ۱۳۹۳. بررسی و ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای استان کردستان، پژوهش آب ایران. ۸(۲): صص ۱۹۷-۲۰۵.
- ملک‌پور، م.، ابراهیمی، ح.، حسن‌پور درویشی، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک در دشت قزوین، چهارمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار: تهران. منعم، م.ج.، قاهری، ع.، بادزهر، ع.، غروی، ح.، برهان، ن.، ذوالفقاری، ع.، ثابتی، ع.، احسانی، ا. ۱۳۷۹. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری قزوین با استفاده از مدل PAIS، مجموعه مقالات دهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صص ۱۵۵-۱۶۷.
- منعم، م.ج.، قدوسی، ح. ۱۳۸۳. ارزیابی و بهبود عملکرد هشت شبکه آبیاری کشور با انجام تحلیل حساسیت در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۱): صص ۶۹-۷۷.
- مهدوی، پ.، منعم، م.ج. ۱۳۸۹. توسعه مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار با استفاده از روش کلاسیک، آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۱)، صص ۶۲-۷۲.
- موسوی‌بایگی، م.، علیزاده، ا.، عرفانیان، م.، انصاری، ح.، باغانی، ج. ۱۳۸۶. بررسی اثرات عوامل اقلیمی و سیستمی بر تلفات آب در آبیاری بارانی، علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، ۲۲(۱)، صص ۲۱۲-۲۰۵.
- نادری، ن.، قدمی فیروزآبادی، ع.، فرومدی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی فنی سیستم‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۳)، صص ۴۲۹-۴۳۹.
- نجفی مود، م.ج.، منتظر، ع.ا.، بهدانی، م.ع. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از طرح‌های آبیاری تحت فشار اجراشده در خراسان جنوبی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۱)، صص ۱۲-۲۵.
- نصیری قیداری، ا.، منتظر، ع.، مؤمنی، م. ۱۳۸۹. کاربرد ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک تاپسیس در تعیین ارزش وزنی معیارها و ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: نواحی سه‌گانه شبکه آبیاری سفیدرود). آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۲)، صص ۲۹۶-۲۸۴.

هزارجریبی، ا.، دهقانی، ا.ا.، حسام، م.، شریفان، ح. ۱۳۹۰. تخمین یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۴)، صص ۱۴۴-۱۲۹.

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper N° 56. Rome, Italy.
- Ayers, R. S. and Wescot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper. No. 29, Rev. 1, FAO, Rome.
- Barati, H., Khaledian, M., Biglouei, M., Parvashrizi, A. 2018. Assessment of Energy Efficiency in Pump Stations of Pressurized Irrigation Systems (Case Study: Qazvin and Kermanshah Provinces). International Journal of Agricultural Management and Development. 8(3): 389-396.
- Benes, S.E., Aragues, R., Grattan, S.R., Austin, R.B. 1996. Foliar and root absorption of Na and Cl in maize and barley: implications for salt tolerance screening and the use of saline sprinkler irrigation. Plant and Soil. 180(1): 75-86.
- Bernstein, L., and Francois, L.E. 1973. Effects of frequency of sprinkling with saline waters compared with daily drip irrigation. Agronomy Journal, 67(2): 185-190.
- Cavero, J., Medina, E.T., Puig, M., Martinez-Cob, A. 2009. Sprinkler irrigation changes maize canopy microclimate and crop water status, transpiration, and temperature. Agronomy Journal. 101(4): 854-864.
- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agricultural Expert Sta. Bull. No 670.
- Clark, G.A., Srinivas, K., Rogers, D.H., Stratton, R., Martin, V.L. 2003. Measured and simulated uniformity of low drift nozzle sprinklers. ASAE, 46(2): 321-330.
- Darko, R.O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Y., Xingye, Z. 2017. Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. Journal of Agricultural and Biological Engineering. 10(2): 1-15.
- Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Faci, J.M., Martinez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and corn yield. Irrigation Science. 22(2): 67-77.
- Faci, J.M., Salvador, R., Playan, E., Sourell, H. 2001. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 127: 224-233.
- Frost, K.R. and Schwalen, H.C. 1955. Sprinkle evaporation losses. Agricultural Engineering. 36(8): 526-528.
- Hosseini, S., Khaledian, M., Biglouei, M., Shahinrokhshar, P. 2016. Technical and economical evaluation of tape drip and drip line irrigation systems in a strawberry greenhouse. Acta agriculturae Slovenica, 107(1): 55-64.
- ICID. 2020. International Commission on Irrigation and Drainage. <https://icid-ciid.org>
- Isla, R., Aragues, R. 2010. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. Field Crops Research. 116(1-2): 175-183.

- Kara, T., Ekmekei, E., Apan, M. 2008. Determination the uniformity coefficient and water distribution characteristics of some sprinklers. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11(2): 214-219.
- Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. *Sprinkle and tricklr irrigation*. Avi book. Published by Van Nostrand Reinhold. New York.
- Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Dejean, C. 2013. Effect of cropping strategies on the irrigation water productivity of durum wheat in a Mediterranean climate. *Plant, Soil and Environment*, 59(1): 29-36.
- Kincaid, D.C., Solomon, K.H., Oliphant, J.C. 1996. Drop size distribution for irrigation sprinklers. *Trans. ASAE*. 39: 839-845.
- Lorenzini, G., De Wrachien, D. 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems, a new indicator for spray evaporation losses. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 54(3): 295-305.
- McLean, R.K., Sriranjn, R., Klassen, G. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. *Canadian Agriculture Engineering*. 42(1): 1-15.
- Merriam, J.L., Keller, J. 1978. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University, London, UT, 271pp.
- Molle, B., Tomas, S., Hendawi, M., Granier, J. 2012. Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and Drainage*. 61(2): 240-250.
- Montero, J., Tarjuelo, J.M., Carrion, P. 2003. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectrophluviometer. *Irrigation Science*. 22: 47-56.
- Mubarak, I., Mailhol, J.C., Angulo-Jaramillo, R., Ruelle, P., Boivin, P., Khaledian, M. 2009. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. *Geoderma* 150: 158-165.
- Najafi, S., Khaledian, M.R., Rezaei, M. 2021. Evaluation of water productivity with three rice genotypes under different irrigation regimes and nitrogen fertilizer treatments in Rasht, northern Iran. *Irrigation and Drainage*. 70(4) : 679-689.
- Naseri, A.A., Rezaia, A., Albaji, M., Sharifi, S., Sarafriz, A., Eghbali, M.R. 2009. Investigation of soil quality for different irrigation systems in Lali Plain, Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7(3-4): 955-960.
- Nourelahi, O., Khaledian, M.R., Kavooosi-Kalashami, M., Pirmoradian, N. 2021. Factors affecting the adoption of collective pressurized irrigation systems. *Environment, Development and Sustainability*. doi: 10.1007/s10668-021-01952-6.
- Ouazaa, S., Latorre, B., Burguete, J., Serreta, A., Playan, E., Salvador, R., Paniagua, P., Zapata, N. 2015. Effect of the strat-stop cycle of centerpivot towers on irrigation performance: Experiments and simulations. *Agricultural Water Management*. 147: 163-174.
- Phocaides, A. 2000. *Technical handbook on pressurized irriation techniques*. Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO.
- Playan, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-set and moving laterals. *Agricultural Water Management*. 76: 139-159.
- Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P., Noble, A.D. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*. 38: 282-295.

- Robinson, F.E. 1970. Modifying an arid microclimate with sprinklers. *Agricultural Engineering*. 51: 465-474.
- Sanchez, I., Zapata, N., Faci, J.M., Martinez-Cob, A. 2011. The spatial variability of the wind in a sprinkler irrigated district: Implication for irrigation management. *Biosystems Engineering*. 109: 65-76.
- SCS. 1971. *National Engineering Handbook*. Soil Conservation Service's. University of Minnesota, USA.
- Seifzadeh, A., Khaledian, M.R., Zavareh, M., Shahinroksar, P., Damalas, C. 2020. European Borage (*Borago officinalis* L.) Yield and Profitability under Different Irrigation Systems. *Agriculture (Switzerland)*. 10(136) : 1-13.
- Spurgeon, W.E., Thompson, T.L., Gilly, J.R. 1983. Irrigation management using hourly spray evaporation loss estimate. *ASAE*. 83: 2591-2598.
- Steiner, J.L., Kanemasu, E.T., Clark, R.N. 1983. Spray losses and partitioning of water under a centerpivot sprinkler system. *ASAE*. 26(4): 1128-1134.
- Taherabadi, F., Motamed, M.K., Khaledian, M.R. 2014. Sprinkle irrigation system, a way to achieve sustainable production of wheat in Kermanshah province, Iran. *Advances in Environmental Biology*, 8(21): 1249-1255.
- Tarjuelo, J.M., Montero, J., Honrubia, F.T., Ortiz, J.J., Ortega, J.F. 1999. Analysis of uniformity of sprinkler irrigation in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*. 40: 315-331.
- Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F., Montero, J., Juan, J.A. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*. 43: 263-284.
- Trimmer, W.L. 1987. Sprinkler evaporation loss equation. *American Society of Civil Engineers. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 113(4): 616-620.
- USDA. 2013. United States Department of Agriculture. <https://www.usda.gov>
- Vories, E.D., Von Bernuth, R.D., Mickelson, R.H. 1987. Simulating sprinkler performance in wind. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 113 (1): 119-130.
- Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi, A., Slatni, A., Salvador, R., Playan, E. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. *Biosystems Engineering*. 107(1): 25-35.
- Yazar, A. 1984. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. *Agricultural Water Management*. 8: 439-449.
- Zare, H., Khaledian, M.R., Shabanpour, M., Malekpour, A. 2022. Evaluating the performance of salt leaching in frozen saline soils. *Irrigation Sciences and Engineering*. 45(2): 99-108.



واژه‌نامه

**A**

Accumulated infiltration  
Actual evapotranspiration  
Air release  
Application efficiency  
Application rate  
Application time  
Application uniformity  
Available water

نفوذ تجمعی  
تبخیر و تعرق واقعی  
هواگیری  
راندمان کاربرد  
شدت پاشش  
زمان پاشش  
یکنواختی توزیع  
رطوبت قابل دسترس

**B**

Basic infiltration rate  
Boom  
Boom sprinkler  
Booster pump  
Bulk density

سرعت نفوذ نهایی  
بوم  
آبپاش بوم  
پمپ بوستر  
جرم ویژه ظاهری

**C**

Center master control unit  
Center pivot  
Check valve  
Conveyance losses  
Corner catcher  
Crop water requirement

قسمت کنترل مرکزی  
سنتریپوت  
شیر یکطرفه  
تلفات انتقال  
گوشه گیر  
نیاز آبی گیاه

**D**

Deep percolation  
Deficit irrigation  
Design pressure  
Destructive Test  
Discharge  
Distribution pattern  
Distribution uniformity  
Drip irrigation  
Drip tape  
Dripper

نفوذ تجمعی  
کم آبیاری  
فشار طراحی  
آزمایش‌های مخرب  
دبی  
الگوی توزیع  
یکنواختی توزیع  
آبیاری قطره‌ای  
تیپ قطره‌ای  
قطره چکان

|                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Droplet                           | قطره                  |
| Duration of Application           | مدت زمان کاربرد       |
| Dummy Joist                       | جوش آزمایشی           |
| <b>E</b>                          |                       |
| Economic                          | اقتصادی               |
| Effective rainfall                | بارندگی موثر          |
| Effective root depth              | عمق موثر ریشه         |
| End gun                           | آبپاش انتهایی         |
| End plug                          | درپوش                 |
| Erosion control                   | کنترل فرسایش          |
| Evaporation                       | تبخیر                 |
| Evapotranspiration                | تبخیر و تعرق          |
| <b>F</b>                          |                       |
| Family intake                     | گروه نفوذ             |
| Field capacity                    | ظرفیت زراعی           |
| Field layout                      | آرایش مزرعه           |
| Fitting                           | اتصالات               |
| Friction loss                     | افت اصطکاک            |
| <b>G</b>                          |                       |
| Gear-driven sprinkler             | آبپاش دنده‌ای         |
| Gun sprinkler                     | آبپاش بزرگ یا گان     |
| <b>H</b>                          |                       |
| Hand move                         | جاب‌جایی دستی         |
| Hand move lateral                 | جاب‌جایی دستی لترال   |
| Hydraulic conductivity            | هدایت هیدرولیکی       |
| <b>I</b>                          |                       |
| Impact sprinkler                  | آبپاش ضربه‌ای         |
| Infiltration capacity             | ظرفیت نفوذ            |
| Instantaneous application rate    | شدت پاشش لحظه‌ای      |
| Instantaneous infiltration rate   | شدت نفوذ لحظه‌ای      |
| Irrigation                        | آبیاری                |
| Irrigation application efficiency | راندمان کاربرد آبیاری |
| Irrigation cycle                  | دور آبیاری            |



|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Irrigation efficiency                 | راندمان آبیاری          |
| Irrigation requirement                | نیاز آبیاری             |
| Irrigation scheduling                 | برنامه‌ریزی آبیاری      |
| Irrigation time                       | مدت آبیاری              |
| <b>L</b>                              |                         |
| Lateral diameter                      | قطر لوله لترال          |
| Lateral                               | لترال، باله، لوله فرعی  |
| Leaching requirement                  | نیاز آبشویی             |
| Low energy precision application-LEPA | آبپاش دقیق کم انرژی     |
| Low elevation spray application-LESA  | آبپاش کم ارتفاع         |
| Low pressure in canopy-LPIC           | آبپاش کم فشار           |
| Linear move system                    | سامانه لینیئر یا خطی    |
| <b>M</b>                              |                         |
| Main line and sub-main                | لوله اصلی و نیمه‌اصلی   |
| Maximum allowable deficit-MAD         | حداکثر تخلیه مجاز       |
| Mid elevation spray application-MESA  | پاشش در ارتفاع میانی    |
| Micro sprinkler                       | آبپاش میکرو یا کوچک     |
| Minor loss                            | افت جزئی                |
| Moisture holding capacity             | ظرفیت نگهداشت آب در خاک |
| <b>N</b>                              |                         |
| Net irrigation depth                  | عمق خالص آبیاری         |
| Non Destructive Test                  | آزمایش‌های غیرمخرب      |
| <b>O</b>                              |                         |
| Operating cost                        | هزینه‌های جاری          |
| Operating pressure                    | فشار کاری               |
| Operation and maintenance             | بهره‌برداری و نگهداری   |
| Overall efficiency                    | راندمان کلی             |
| Overhang                              | دهانه معلق              |
| Over-irrigation                       | بیش آبیاری              |
| Overhead irrigation                   | آبیاری بارانی           |
| <b>P</b>                              |                         |
| Pad                                   | پاشنه                   |
| Pan evaporation                       | تبخیر از تشت            |

|                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Peak period crop water requirement | دوره بیشینه نیاز آبی گیاه         |
| Percolation rate                   | سرعت نفوذ                         |
| Perennial irrigation               | آبیاری دائمی                      |
| Permanent wilting point-PWP        | نقطه پژمردگی دائم                 |
| Permissible velocity               | سرعت مجاز                         |
| Pipeline                           | خط لوله                           |
| Pivot point                        | برج مرکزی                         |
| Polyvinyl chloride plastic- PVC    | پی‌وی‌سی                          |
| Pore space of soil                 | خلل و فرج خاک                     |
| Porosity                           | تخلخل                             |
| Portable system                    | سامانه با قابلیت جابه‌جایی        |
| Potential evaporation              | تبخیر پتانسیل                     |
| Potential evapotranspiration       | تبخیر و تعرق پتانسیل              |
| Pressure bomb                      | محفظه فشاری                       |
| Pressure of the system             | فشار سامانه                       |
| Pressure plate                     | صفحات فشاری                       |
| Pressure regulation                | تنظیم فشار                        |
| Pressure relief                    | کاهش فشار                         |
| Pressure relief valve              | شیر فشار شکن                      |
| Pressure switch                    | کلید کنترل فشار                   |
| <b>Q</b>                           |                                   |
| Quick coupler                      | اتصال سریع                        |
| <b>R</b>                           |                                   |
| Rain gun                           | آبپاش تفنگی                       |
| Readily or easily available water  | آب سهل الوصول                     |
| Reference crop                     | گیاه مرجع                         |
| Rotating sprinkler                 | آبپاش دوار                        |
| Runoff                             | رواناب                            |
| Runoff rate                        | شدت رواناب                        |
| <b>S</b>                           |                                   |
| Saturated hydraulic conductivity   | هدایت هیدرولیکی اشباع             |
| Semi-permanent or semi-solid sets  | سامانه‌های نیمه‌دائمی و نیمه‌ثابت |
| Solid set                          | سامانه دائمی                      |

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Sequential irrigation           | آبیاری متناوب              |
| Set time                        | زمان استقرار               |
| Side-move lateral               | لوله چرخ‌دار متحرک         |
| Side roll lateral (wheel move)  | لوله چرخ‌دار یا ویل‌موو    |
| Soil moisture deficit           | کمبود رطوبت خاک            |
| Soil moisture release curve     | منحنی آزادسازی آب خاک      |
| Soil water retention curve      | منحنی مشخصه رطوبتی خاک     |
| Solenoid valve                  | شیر سلونوئید               |
| Spans                           | دهانه                      |
| Speed of center pivot rotation  | سرعت چرخش سنتریپوت         |
| Sprayer                         | آبفشان                     |
| Sprinkler                       | آبپاش                      |
| Sprinklers layout               | آرایش آبپاش‌ها             |
| Sprinkler discharge             | دبی آبپاش                  |
| Sprinkler riser                 | پایه آبپاش                 |
| Sprinkle irrigation system      | سامانه آبیاری بارانی       |
| System layout                   | آرایش سامانه               |
| <b>T</b>                        |                            |
| Tensiometer                     | تانسیومتر                  |
| Time domain reflectometry (TDR) | دستگاه تی‌دی‌آر            |
| Total available water           | تمام آب قابل دسترس         |
| Towers                          | برج                        |
| Trajectory angle                | زاویه پرتاب                |
| Transpiration                   | تعرق                       |
| Traveler sprinkle system        | سامانه آبیاری قرقره‌ای     |
| <b>U</b>                        |                            |
| Under tree sprinkle method      | روش آبیاری بارانی زیردرختی |
| Uniformity coefficient          | ضریب یکنواختی              |
| <b>V</b>                        |                            |
| Vacuum breaker                  | خلاشکن                     |
| <b>W</b>                        |                            |
| Water balance                   | بیلان آبی                  |
| Water hammer                    | ضربه قوچ                   |

Water quality

کیفیت آب

Wilting point

نقطه پژمردگی

Wind drift

بادبردگی

Wind speed

سرعت باد



نمایه

آپاش بحرانی..... ۱۲۸

آپاش تفنگی (گان)..... ۹

آپاش‌های ضربه‌ای..... ۳۲۷، ۲۷۴، ۲۷۱، ۴۵، ۴۳

آبیاری..... ا، ب، ت، ث، ج، ح، خ، د، ذ، ۲، ۳، ۴، ۵،

۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶،

۴۱، ۴۰، ۳۹، ۳۵، ۳۳، ۳۱، ۲۹، ۲۵، ۲۴، ۲۱، ۲۰

۵۶، ۵۵، ۵۴، ۵۱، ۵۰، ۴۸، ۴۷، ۴۵، ۴۴، ۴۲

۶۷، ۶۵، ۶۴، ۶۳، ۶۲، ۶۱، ۶۰، ۵۹، ۵۸، ۵۷

۸۲، ۸۰، ۸۱، ۷۹، ۷۸، ۷۷، ۷۶، ۷۳، ۷۲، ۷۱، ۶۹

۹۵، ۹۲، ۹۱، ۸۹، ۸۸، ۸۷، ۸۶، ۸۵، ۸۴، ۸۳

۱۰۵، ۱۰۴، ۱۰۳، ۱۰۲، ۱۰۱، ۱۰۰، ۹۹، ۹۸، ۹۷، ۹۶

۱۱۶، ۱۱۵، ۱۱۴، ۱۱۳، ۱۱۲، ۱۰۹، ۱۰۸، ۱۰۷، ۱۰۶

۱۲۶، ۱۲۵، ۱۲۴، ۱۲۳، ۱۲۱، ۱۲۰، ۱۱۹، ۱۱۸، ۱۱۷

۱۴۶، ۱۴۵، ۱۳۵، ۱۳۳، ۱۳۱، ۱۳۰، ۱۲۹، ۱۲۸

۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۲۵،  
۱۳۱، ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۷۴، ۱۸۰، ۱۸۲،  
۱۸۳، ۱۹۲، ۱۹۷، ۲۰۶، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۹، ۲۸۶، ۲۸۹،  
۲۹۰، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۳۰۲، ۳۱۰، ۳۳۶،  
۳۳۸، ۳۳۷

رایزر..... ۷، ۸، ۱۲، ۶۸، ۱۲۸، ۱۷۴، ۱۷۶

## ز

زاویه پرتاب..... ۳۴۰

## س

سامانه لینییر یا خطی..... ۳۳۸  
سامانه‌های آبیاری بارانی..... ا، ب، ث، د، ۴، ۵، ۶،  
۷، ۸، ۱۱، ۱۸، ۴۱، ۵۸، ۶۲، ۸۶، ۸۸، ۹۲، ۹۶،  
۹۷، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۶، ۱۱۹، ۱۲۳، ۱۲۶،  
۲۸۶، ۲۸۹، ۲۹۰، ۳۱۷، ۳۲۶

سامانه عقربه‌ای..... ۹۶، ۹۷  
سنتریوت..... ا، ب، ث، ج، ح، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۸، ۱۹، ۲۰،  
۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱،  
۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲،  
۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۳،  
۵۴، ۵۵، ۵۷، ۵۸، ۸۶، ۱۰۱، ۱۲۵، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱،  
۱۳۲، ۱۳۵، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۸۰، ۱۸۲، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸،  
۱۹۹، ۲۲۰، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰،  
۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸،  
۲۳۹، ۲۴۳، ۲۵۴، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۹۰، ۳۲۷، ۳۳۶،  
۳۴۰

## ش

شدت پخش..... ب، ۱۵، ۱۹، ۴۱، ۴۲، ۴۷، ۴۸،  
۴۹، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۸۷، ۸۸، ۱۲۵، ۱۴۱، ۲۱۱  
شیر آبیگری..... ۹  
شیر فشارشکن..... ۳۳۹

پمپ بوستر..... ۱۲، ۳۲، ۳۳، ۳۳۶

## ت

تبخیرت..... ج، ۹، ۱۳، ۱۵، ۳۷، ۴۰، ۴۳، ۵۴،  
۵۸، ۸۱، ۸۴، ۸۶، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷،  
۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۵،  
۱۱۷، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۲، ۱۸۳،  
۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۹، ۱۹۲، ۱۹۶، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۶،  
۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۳۰،  
۲۳۲، ۲۴۳، ۳۰۲، ۳۱۰، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹،  
۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹

تریمر..... ۹۳، ۹۴، ۱۲۶  
تعرق..... ج، ۱۳، ۸۱، ۸۲، ۸۴، ۸۶، ۹۲، ۹۳، ۱۰۱،  
۱۰۲، ۱۲۴، ۱۳۷، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۲،  
۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۹، ۱۹۶، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۶، ۲۰۹،  
۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۳۴۰  
تلفات تبخیر..... ۷، ۱۵، ۳۷، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵،  
۹۶، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۹۲

## ج

جز نیاز آبشویی..... ۱۴

## ح

حداکثر تخلیه مجاز..... ۳۳۸

## خ

خلاشکن..... ۳۴۰

## د

دارسی-وایسباخ..... ۱۲۷، ۱۲۸  
دور آبیاری..... ۸، ۱۰، ۱۴، ۸۰، ۸۶، ۱۲۴

## ر

راندمن..... ۲، ۶، ۱۴، ۳۱، ۴۳، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۶۹،  
۸۳، ۸۴، ۹۲، ۹۵، ۹۶، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۴،



## ل

لترال.....ب, ۱۲, ۱۸, ۱۹, ۲۱, ۲۳, ۳۰, ۴۲, ۴۹,  
 ۵۷, ۶۰, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۷, ۸۳, ۸۴, ۱۰۱, ۱۲۵,  
 ۱۲۶, ۱۲۷, ۱۲۸, ۱۳۵, ۱۴۰, ۱۴۱, ۱۴۴, ۱۶۹, ۱۷۴,  
 ۲۱۰, ۲۱۱, ۲۲۶, ۲۸۰, ۳۰۱, ۳۳۷, ۳۳۸  
 لترال‌ها.....۱۲, ۶۳, ۹۶, ۱۰۰, ۱۲۵, ۱۳۵, ۱۴۴, ۱۷۴  
 لوله اصلی.....۱۲۵, ۳۳۸  
 لوله فرعی.....۳۳۸  
 لوله‌های نیمه اصلی.....۷  
 لینیر.....ا, ب, ث, ج, ح, ۱۰, ۱۱, ۳۱, ۴۸, ۵۱, ۵۵,  
 ۵۶, ۵۷, ۵۸, ۶۱, ۱۲۵, ۱۳۰, ۱۳۱, ۱۳۳, ۱۳۴,  
 ۱۷۵, ۱۷۶, ۲۰۶, ۲۰۷, ۲۰۸, ۲۵۸, ۲۵۹, ۲۶۰,  
 ۲۶۱, ۲۶۲, ۳۳۸

## ن

نفوذ.....۵, ۱۵, ۱۹, ۴۱, ۴۲, ۴۹, ۵۰, ۵۱, ۵۲, ۵۳,  
 ۵۴, ۶۸, ۷۴, ۸۲, ۸۶, ۸۷, ۸۸, ۹۷, ۱۰۰, ۱۰۳,  
 ۱۲۵, ۱۵۴, ۱۹۰, ۱۹۳, ۲۴۴, ۲۴۷, ۳۳۶, ۳۳۷,  
 ۳۳۹  
 نفوذ عمقی.....۵, ۴۱, ۷۴, ۸۶, ۹۷  
 نفوذ لحظه‌ای.....۵۰, ۳۳۷  
 نفوذ نهایی.....۴۱, ۴۹, ۶۸, ۸۷, ۸۸, ۱۲۵, ۳۳۶  
 نفوذپذیری.....ت, ۷, ۸۷, ۸۸, ۸۹, ۱۱۵, ۱۹۰, ۲۳۳  
 نقطه پژمردگی دائم.....۳۳۹  
 نیاز آشویی.....۱۴, ۷۹, ۸۵, ۸۶, ۱۲۵, ۱۸۳, ۳۳۸  
 نیاز آبی.....ت, ۳, ۴, ۱۳, ۴۲, ۴۴, ۸۰, ۸۱, ۸۲,  
 ۸۳, ۸۶, ۱۰۳, ۱۰۹, ۱۱۲, ۱۱۴, ۱۲۴, ۱۷۹, ۱۸۰,  
 ۱۸۲, ۱۹۹, ۲۰۸, ۲۱۲, ۲۱۴, ۲۱۵, ۲۱۶, ۲۱۷,  
 ۲۱۸, ۲۱۹, ۳۱۷, ۳۳۶, ۳۳۹

## ه

هدایت الکتریکی.....۱۴, ۸۵, ۸۹, ۱۰۴, ۱۱۳, ۱۱۵  
 هیدرانت‌ها.....۱۷۶

## ص

صافی.....۲۹, ۵۶, ۱۷۱

## ض

ضربه قوچ.....۳۴۰  
 ضریب یکنواختی.....۹۶, ۹۷, ۹۸, ۱۰۰, ۱۸۳,  
 ۱۹۲, ۲۹۰, ۳۰۲, ۳۱۰, ۳۴۰

## ظ

ظرفیت زراعی.....ت, ۱۳, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶,  
 ۷۷, ۷۹, ۸۹, ۳۳۷  
 ظرفیت سامانه.....۱۵

## ع

عمق خالص.....۸۰, ۱۲۵, ۱۴۳, ۱۹۹, ۲۰۸, ۲۱۱,  
 ۲۱۹, ۳۳۸  
 عمق ناخالص.....۱۴, ۱۲۵, ۱۴۱, ۱۴۳, ۱۹۹,  
 ۲۰۵, ۲۰۸, ۲۱۱, ۲۱۹, ۲۲۰, ۲۲۱

## ف

فراست.....۹۳, ۹۴  
 فشار کاری.....۴, ۷, ۹, ۳۲, ۳۳, ۳۶, ۴۲, ۴۳,  
 ۴۵, ۴۶, ۴۷, ۵۴, ۵۷, ۵۹, ۸۴, ۱۰۱, ۱۲۸, ۲۳۲,  
 ۳۳۸

## ق

قرقره.....۹, ۵۸, ۶۰, ۶۱, ۲۸۴  
 قطر نازل.....۹۳, ۹۴, ۹۸, ۹۹, ۱۰۵, ۱۰۷, ۱۲۶  
 قطرات درشت.....۲۷۴, ۹۴  
 قطرات ریز آب.....۴۰

## گ

گوشه گیر.....۳۳, ۳۴

یکنواختی توزیع آب.....۹۲, ۹۶, ۹۷, ۱۰۰, ۱۰۶,

۱۰۷, ۱۹۲, ۲۹۰, ۳۲۶, ۳۳۱

هیدرولیکی.....۲۹, ۵۵, ۹۵, ۱۰۳, ۱۱۵, ۱۲۶,

۱۴۸, ۱۷۳, ۱۹۲, ۲۲۵, ۳۲۶, ۳۲۷, ۳۳۷, ۳۳۹

ی

یخ زدن.....۲۵۴

---

**University of Guilan Press**

---

# **Sprinkle Irrigation**

**By:**

**Mohammadreza Khaledian, Ph.D**

**Alireza Moridnejad, M.Sc**