

تحقیقات بتن

سال نهم، شماره دوم

پائیز و زمستان ۹۵

ص ۶۳ - ۵۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۷

## استفاده از مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی در تعیین ضریب نفوذ یون کلراید در بتن‌های سبک

علی دنواز \*

استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

### چکیده

بتن سبک از جمله مواد جدیدی می‌باشد که در سالیان اخیر به خاطر مزایای عملی استفاده از آن، به عنوان یکی از مصالح سازه‌ای مهم شناخته شده و تقاضا برای استفاده از آن در حال افزایش است. در این تحقیق اثر میکروسیلیس بر دوام بتن سبک و میزان نفوذپذیری آنها در مقابل یون کلرید بررسی شده است. به این منظور پارامترهای اساسی در طرح اختلاط بتن مانند نسبت آب به سیمان و همچنین درصد میکروسیلیس به عنوان پارامترهای اصلی تعیین گردیده‌اند و اثر آن بر مقاومت فشاری، دوام و ضریب نفوذپذیری یون کلراید در بتن مورد بررسی قرار گرفته و در انتها یک مدل مبتنی بر شبکه عصبی برای تعیین ضریب نفوذ کلراید در بتن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: بتن سبک، میکروسیلیس، کلرید، ضریب نفوذپذیری.

---

\* نویسنده مسئول: A.Delnavaz@qiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

از آنجا که کشور پهناور ایران بر روی کمربند زلزله قرار گرفته است و وقوع زلزله می تواند خسارات جانی و مالی بسیاری را تحمیل کند. از این رو تدوین راهکارهای مناسب جهت به سازی لرزه ای سازه های ساخته شده اهمیت بسزایی خواهد داشت.

با توجه به روند فزاینده استفاده از بتن سبک در جهان که به علت منافع حاصل از سبک نمودن ساختمان و در نتیجه کاهش بار مرده و نیروی زلزله وارد به سازه ها و همچنین عملکرد بهتر از نظر عایق بندی حرارتی و در نتیجه صرفه جویی در مصرف انرژی می باشد، لزوم بررسی پتانسیل های استفاده از بتن سبک با مقاومت بالا در صنعت ساختمان مشخص می گردد ویژگی هایی نظیر کم کردن وزن ساختمان، عملکرد مطلوب در برابر زلزله، کاهش مصرف مواد اولیه، عایق بودن در برابر حرارت و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در ساختمان، آن را از انواع معمول بتن متمایز کرده است.

از سویی دیگر با توجه به توسعه کارهای ساختمانی بتنی در سراسر جهان و کمبود سیمان در اکثر کشورهای جهان و همچنین در کشور های توسعه یافته، در ساخت بتن از مصالح و مواد جدید جای گزین درصدی از سیمان استفاده می شود.

مفهوم دوام بتن و مدل سازی عمر بهره برداری سازه ها برای مدت های طولانی موضوع تحقیقات مختلفی بوده است. Tuutti از اولین محققینی بود که اصول اولیه این فرآیند را با تقسیم فرآیند خرابی بتن به دو مرحله اصلی بنا نهاد: ۱- دوره آغازین ۲- دوره گسترش خوردگی [۱].

یون کلراید در بتن به سه حالت مختلف پیدا می شود: ۱- محلول در ترکیبات آب حفره ای ۲- جذب فیزیکی در دیواره های منافذ و ۳- جذب شیمیایی با ترکیبات هیدراتاسیون سیمان. ([۲])

قدس اثر الیاف فولادی را بر دوام بتن های سبک مورد بررسی قرار داد. او در کار خود اثر این الیاف را بر خواص مکانیکی بتن سبک تحت سیکلهای تر و خشک مورد بررسی قرار داد [۳].

رنجبر و همکاران دوام بتن های سبک حاوی دانه های منبسط شونده پلی استایرن را در محیط های حاوی کلراید مورد بررسی قرار دادند.

این گروه بتن های سبک حاوی میکروسیلیس را در محیط حاوی ۵٪ کلراید سدیم تحت سیکل تر و خشک قرار دادند و موقعیت این بتن ها را با بتن های معمولی مقایسه کردند [۴]. احمدی و سهرابی اثر پوزولان متاکائولن را بر خواص مکانیکی و دوام بتن های سبک در شرایط

خورنده بررسی کردند. این گروه در تحقیق خود دوام بتن های سبک با چگالی ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را در منطقه خلیج فارس بررسی کردند. نتیجه کار حاکی از بالاتر بودن مقاومت فشاری و پایین تر بودن درصد تخلخل در بتن های حاوی متاکائولن نسبت به بتن های معمولی بود [۵].

Wall و Freeman نفوذ پذیری بتن های سبک در مقابل یون کلراید را با بتن های سبک مقایسه کردند. این گروه در کار خود عملکرد بتن های سبک با چهار طرح اختلاط را تحت آزمایش RCPT با بتن های معمولی مقایسه کردند. نتایج کار حاکی از پایین تر بودن نفوذ کلراید در بتن های سبک بود [۶].

Haque و Khaiat (۱۹۹۹) دوام بتن های سبک را تحت شرایط محیطی مختلف با بتن های معمولی مقایسه کردند. به این منظور این گروه تعدادی نمونه بتن سبک با مقاومت ۳۵ Mpa و ۵۰ Mpa و تعدادی بتن معمولی با مقاومت ۵۰ Mpa را تحت شرایط محیطی دریایی گرم برای مدت ۲ سال قرار دادند. نتایج آزمایشها نشان می داد که نفوذ پذیری آب و عمق کربناسیون در بتن های سبک بیشتر از بتن های معمولی بود و این امر مستقل از شرایط عمل آوری بود [۶].

Van Breugel و Taberi (۲۰۰۰) نفوذ کلراید را در تیرهای بتنی ساخته شده از بتن سبک بررسی کردند. این گروه اثر تنش های ثانویه در تار بالای تیر تحت اثر خوردگی را بررسی کردند. نتایج کار نشان می داد که رفتار بتن های سبک در مقایسه با بتن های معمولی تحت اثر بارهای سیکلی و حرارتی در محیط خورنده تفاوت زیادی ندارد و در بعضی موارد عملکرد بتن های سبک مناسب تر نیز بود [۷].

در مقاله حاضر بعضی از پارامترهای موثر در دوام بتن های سبک که می تواند در تعیین میزان نفوذ کلراید به بتن های سبک موثر باشد مورد مطالعه قرار می گیرد. همچنین به منظور تعیین رابطه ای جهت تعیین میزان یون کلراید در بتن های سبک از یک مدل مبتنی بر شبکه های عصبی برای تعیین ضریب نفوذ یون کلراید در بتن استفاده شده است.

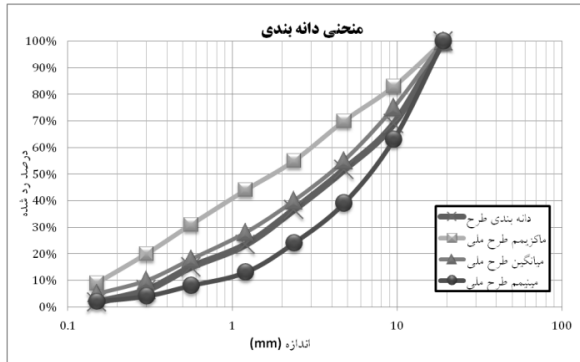
## ۲- برنامه آزمایشگاهی

## ۲-۱- مصالح مورد استفاده

سیمان مصرفی در ساخت تمام نمونه ها از نوع سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ می باشد. سنگدانه مصرفی نیز از نوع سنگدانه لیکا سازه ای انتخاب شد. جدول ۱ نتایج آزمایش های انجام شده بر روی سنگدانه لیکا بر اساس استاندارد ASTM را نشان می دهد.

### ۳- نتایج آزمایش‌ها

مهم‌ترین ویژگی که به‌عنوان مشخصات بتن بیان می‌گردد مقاومت فشاری می‌باشد. آزمایش مقاومت فشاری بتن مطابق با استاندارد BS-1881 بر روی نمونه آزمون‌های مکعبی به ابعاد ۱۰\*۱۰\*۱۰ سانتیمتر انجام شد. شکل ۱ متوسط مقاومت فشاری بر روی سه نمونه متوالی از هر طرح را در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی در قیاس با طرح اختلاط ملی

جدول ۲- نتایج آزمایش XRF بر روی مصالح به کار رفته (اعداد بر حسب درصد وزنی می‌باشند)

ترکیب شیمیایی	سیمان تپ ۱	دوده سیلیسی
SiO <sub>2</sub>	21.50	87.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.68	0.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.76	1.53
CaO	61.50	1.27
SO <sub>3</sub>	3.50	0.46
MgO	4.80	1.01
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.36
K <sub>2</sub> O	0.95	1.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.131
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.02
CL	0.03	0.056
LOI	0.70	5.92

جرم حجمی خشک (kg/m <sup>3</sup> )	جرم حجمی اشباع (kg/m <sup>3</sup> )	درصد وزنی جذب آب
۵۵۰	۶۶۹	۹

با توجه به اینکه هدف از انجام آزمایش‌ها ارائه یک مدل نفوذ می‌باشد لذا باید آزمایش‌ها را در شرایط کنترل شده انجام داد. بنابراین در ساخت تمام نمونه‌ها از یک نوع دانه‌بندی یکسان استفاده شده است. شکل ۱ و جدول ۲ نوع دانه‌بندی مصالح سنگی به همراه نتایج آزمایش XRF سیمان و میکروسیلیس را نشان می‌دهد.

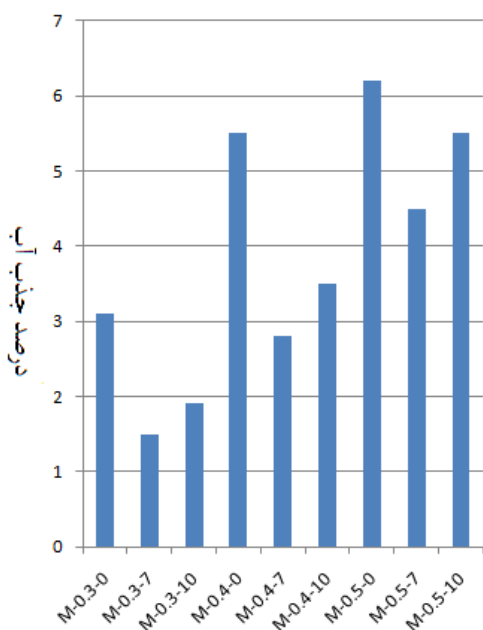
### ۲-۲- طرح اختلاط نمونه‌ها

برای دستیابی به انرژی تراکم یکسان در ساخت تمام نمونه‌ها، میزان اسلامپ نمونه‌ها در محدوده ۵ تا ۷ سانتیمتر ثابت نگه داشته شد. این امر با تغییر میزان فوق روان کننده مصرفی در ساخت نمونه‌ها محقق شد. فوق روان کننده مصرفی بر پایه نفتالین بود که موجب تسریع در سرعت گیرش بتن می‌شد. میزان میکروسیلیس جایگزین سیمان در تمام طرح‌ها ۰.۷٪، ۱.۰٪ و ۱.۳٪ وزن سیمان در نظر گرفته شد. جدول ۳ طرح اختلاط نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

با توجه به جذب آب بالای سنگدانه‌ها، قبل از ساخت نمونه‌ها، سنگدانه‌ها با آب اشباع شدند و سپس در حالت اشباع با سطح خشک در ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌ها در مخلوط آب آهک اشباع ۲۲ درجه به مدت ۲۸ روز عمل آوری شدند.

جدول ۳- طرح اختلاط نمونه‌های بتنی

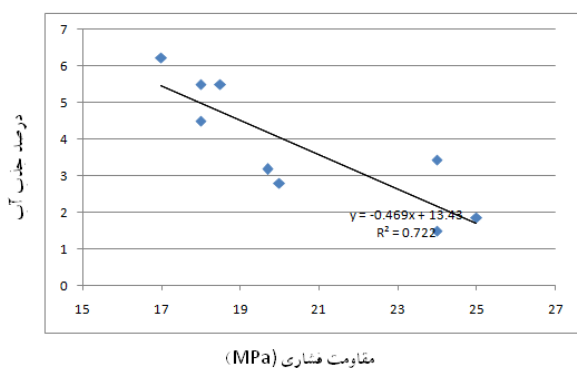
شماره طرح	کد طرح	W/C	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	میکروسیلیس (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	سبکدانه لیکا (kg/m <sup>3</sup> )	چگالی مرطوب (kg/m <sup>3</sup> )	مقدار روان کننده (درصد وزن سیمان)
۱	M-0.5-7	۰/۵	۳۷۲	۲۸	۲۰۰	۷۰۰	۱۵۰۰	۰
۲	M-0.4-7	۰/۴	۳۷۲	۲۸	۱۶۰	۷۰۰	۱۴۸۰	۰/۸
۳	M-0.3-7	۰/۳	۳۷۲	۲۸	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۸۰	۱/۳
۴	M-0.5-10	۰/۵	۳۶۰	۴۰	۲۰۰	۷۰۰	۱۳۹۰	۲
۵	M-0.4-10	۰/۴	۳۶۰	۴۰	۱۶۰	۷۰۰	۱۴۲۱	۲
۶	M-0.3-10	۰/۳	۳۶۰	۴۰	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۸۲	۲/۲
۷	M-0.5-0	۰/۵	۴۰۰	۰	۲۰۰	۷۰۰	۱۳۸۹	۰
۸	M-0.4-0	۰/۴	۴۰۰	۰	۱۶۰	۷۰۰	۱۳۰۲	۱/۵
۹	M-0.3-0	۰/۳	۴۰۰	۰	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۱۶	۱/۵



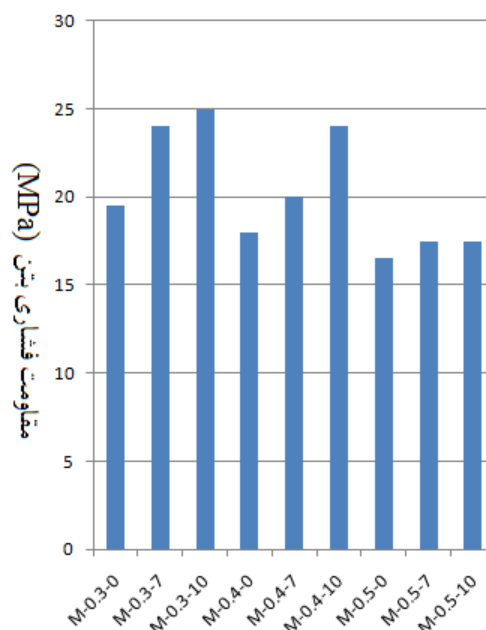
شکل ۲- نتایج آزمایش جذب آب لحظه‌ای نمونه های بتنی

همان گونه که مشاهده می شود در صد جذب آب رابطه مستقیمی با نسبت آب به سیمان دارد که این امر را میتوان به پر شدن تخلخل خمیر سیمان نسبت داد. با این حال از مقایسه نمونه های با نسبت آب به سیمان مساوی و درصد میکروسیلیس متفاوت مشاهده می شود که با افزایش میکروسیلیس از صفر به ۷ درصد میزان جذب آب پایین می آید با این حال با افزایش درصد میکروسیلیس از ۷ به ۱۰ درصد این میزان افزایش می یابد.

با مقایسه این نمودار با نمودار شکل ۱ می توان نتیجه گرفت که رابطه مقاومت فشاری و درصد جذب آب را می توان با یک رابطه خطی برازش نمود. بر این اساس میتوان رابطه ای مشابه نمودار شکل ۳ را بین مقاومت فشاری و درصد جذب آب لحظه ای تعریف کرد.



شکل ۳ - رابطه بین مقاومت فشاری و درصد جذب آب



شکل ۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های بتنی

همان گونه که مشاهده می شود مقاومت فشاری نمونه ها در محدوده نسبت آب به سیمان پایین مقاومت بالاتری نسبت به نمونه های با نسبت آب به سیمان بالا دارد به عبارت دیگر با بالا رفتن نسبت آب به سیمان، لایه انتقال بین سنگدانه و ملات تا حد زیادی ضعیف شده و ضعف مقاومتی بتن را سبب می شود. همچنین از مقایسه نمونه های با نسبت آب به سیمان مختلف و درصد میکروسیلیس مساوی نتیجه می شود که اضافه کردن میکروسیلیس در نسبت آب به سیمان پایین اثر محسوسی در افزایش مقاومت فشاری بتن دارد. این امر نشان می دهد که در نسبت های بالای آب به سیمان عملاً میکروسیلیس توانایی کافی در پر کردن منافذ در بتن را ندارد. همچنین نتایج نشان می دهد که تغییر نسبت میکروسیلیس از ۷ به ۱۰ در نمونه های با نسبت آب به سیمان ۰/۳ تاثیر زیادی در افزایش مقاومت ندارد که علت آنرا می توان در ضعف سنگدانه دانست. به عبارت دیگر در نمونه با نسبت آب به سیمان ۰/۳ خمیر مقاومت بسیار بیشتری نسبت به سنگدانه دارد و عملاً تقویت بیشتر آن تاثیری در بالا بردن مقاومت ندارد چرا که شکست از ناحیه سنگدانه اتفاق می افتد.

شکل ۲ نتایج آزمایش جذب آب نمونه های بتنی را نشان می دهد. مشابه آزمایش مقاومت فشاری این آزمایش نیز بر روی نمونه های ۲۸ روزه انجام شده است. این آزمایش به منظور تعیین میزان تخلخل ظاهری بتن بر روی نمونه های ۱۰\*۱۰\*۱۰ سانتیمتر براساس استاندارد (ASTM-C642-97) انجام شده است که به عنوان معیاری در تعیین میزان حفرات موئینه بتن کاربرد دارد.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

جواب معادله دیفرانسیل فوق بصورت زیر درمی آید:

$$C(x, t) = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad (2)$$

که در آن  $x$  فاصله از سطح بتن برحسب متر،  $t$  مدت زمان رویارویی برحسب سال،  $D_c$  ضریب انتشارپذیری بتن برحسب متر مربع بر سال،  $C$  میزان درصد وزنی یون کلراید در سطح بتن و  $C(x, t)$  میزان درصد وزنی یون کلراید در عمق  $x$  نسبت به سطح و در زمان  $t$  است.  $\operatorname{erf}$  هم تابع خطاست که بصورت زیر بیان می شود:

$$\operatorname{erf}(a) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^a e^{-\beta^2} d\beta \quad (3)$$

در هر پروفیل، دو سری شش تایی درصد وزنی یون کلراید و عمق مربوطه وجود دارد. با استفاده از نرم افزار Matlab، منحنی مربوط به معادله ۲ از میان نتایج آزمایش برآزش شده و مقادیر  $D_{cl}$  و  $C_s$  بدست می آید. جدول ۴ خلاصه نتایج ضریب نفوذ کلراید برای نمونه‌ها پس از ۱ سال را نشان می‌دهد.

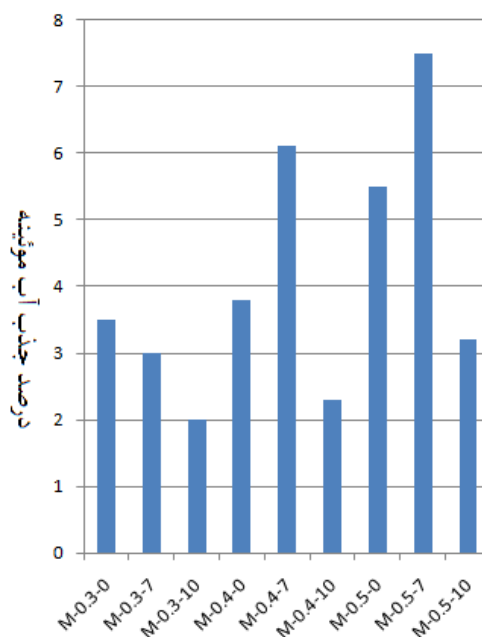
جدول ۴- مقادیر ضریب نفوذ کلراید در نمونه‌های بتن [۹]

شماره طرح	$D_{cl}(\text{mm}^2/\text{Year})$
M-0.5-0	325
M-0.5-7	169
M-0.5-10	158
M-0.4-0	308
M-0.4-7	195
M-0.4-10	101
M-0.3-0	234
M-0.3-7	209
M-0.3-10	107

#### ۴-۱- مدل شبکه عصبی برای تعیین $D_{cl}$

به منظور تعیین مدل مناسب برای پیش‌بینی ضریب تغییرات  $D_{cl}$  در این بخش مدل شبکه عصبی استفاده شده بر پایه نتایج آزمایشهای تسریع یافته ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی بر اساس مدل جلوسوی پرسپترون می‌باشد. شکل عمومی مدل به صورت نشان داده شده در شکل ۵ می‌باشد.

شکل ۴ نتایج آزمایش جذب آب موئینه را بر روی نمونه های بتنی ۲۸ روزه نشان می دهد. روش آزمایش به این صورت است که نمونه های بتنی ۲۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر بر روی سطح آب به نحوی قرار داده می شوند که ۰/۵ سانتیمتر از بتن داخل آب قرار گیرد. سپس در بازه های زمانی مشخص بتن از داخل آب خارج شده و وزن نمونه قرائت می شود. میزان تغییر وزن نمونه پس از ۷۲ ساعت بیانگر درصد جذب آب موئینه بتن می باشد. مشابه جذب آب لحظه ای مشاهده می شود که با کاهش نسبت اب به سیمان میزان جذب موئینه نیز کاهش می یابد. با این حال نسبت میکروسیلیس روند مشخصی را در کاهش میزان جذب موئینه نشان نمی دهد. به نحوی که در میزان میکروسیلیس ۷ درصد میزان جذب موئینه افزایش می یابد ولی در درصد میکروسیلیس ۱۰ درصد این میزان کاهش می یابد. علت این امر را می توان تراوایی بالای سنگدانه ها و تاثیر متقابل آن با خمیر سیمان در میزان جذب موئینه دانست.



شکل ۴- رابطه بین درصد جذب آب موئینه و طرح اختلاط بتن

#### ۴-۲- پروفیل یون کلراید

آزمایش تعیین پروفیل یون کلراید در شرایط محیطی مستغرق انجام شده است. به این منظور نمونه‌ها به مدت یکسال در معرض یون کلراید ۳۰ گرم در لیتر قرار دادند. رابطه بین میزان نفوذ یون کلراید برحسب عمق از سطح بتن در زمان مشخص، توسط قانون دوم انتشارپذیری Fick بیان می‌شود [۴]:

محدوده صفر تا ۰/۸۵ نرمال شوند. یکی از مشکلات مربوط به شبکه عصبی نیاز به داده‌های فراوان برای مقایسه مدلها می‌باشد. در مدل حاضر به علت کمبود داده‌ها مقایسه مدلها به سختی ممکن می‌باشد. زیرا میزان خطای خروجی مدلها در تمام مدلها عدد کوچکی بود. همچنین به علت کمبود داده‌ها امکان حذف تعدادی از آنها به منظور کنترل شبکه وجود نداشت. به همین دلیل به منظور مقایسه مدلهای ارائه شده از الگوریتم زیر استفاده شد:

الف- در مرحله اول ۸ نمونه از نتایج ورودی و خروجی به عنوان داده برای آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفت تا شبکه به کمک این داده‌ها آموزش ببیند. پس از آموزش شبکه داده نهم به شبکه‌های مورد استفاده داده می‌شد و خروجی شبکه با مقدار خروجی حاصل از نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شد و مقدار اختلاف بین نتیجه آزمایش و خروجی شبکه ضبط می‌شد.

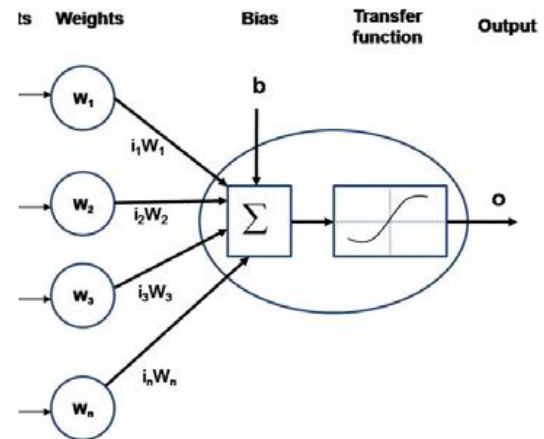
ب- در مرحله دوم مجدداً فرآیند مرحله اول تکرار شد. با این تفاوت که در این مرحله از یکی دیگر از نتایج طرح اختلاط برای کنترل شبکه استفاده شد.

ج- مراحل الف و ب برای تمام طرح اختلاطها و در تمام شبکه‌های پیشنهادی استفاده شد. در نهایت مجموع خطای شبکه‌های مختلف برای ۹ بار آموزش و کنترل شبکه محاسبه و شبکه‌ای که کمترین میزان خطا را داشت به عنوان شبکه بهینه انتخاب شد.

جدول ۵- مدل‌های شبکه عصبی مورد استفاده

ANN model structure	Transfer function	Training		MSE
		Max Error	R <sup>2</sup>	
2-2-2-1	S-S-S	0.038	0.99	0.1
2-2-2-1	G-G-S	0.04	0.99	0.08
2-2-2-1	HT-HT-S	0.0299	0.99	0.2
2-2-2-1	HS-HS-S	0.0252	0.99	0.15
2-3-2-1	G-G-S	0.02	0.99	0.18
2-4-3-1	G-G-S	0.02	0.99	0.13
2-5-3-1	G-HT-S	0.02	0.99	0.11
2-5-3-1	G-HS-S	0.02	0.99	0.14
2-5-3-1	HT-G-S	0.02	0.99	0.12
2-5-3-1	HS-G-S	0.02	0.99	0.10
2-7-5-1	G-TH-S	0.0199	0.99	0.14
2-7-5-1	G-HS-S	0.02	0.99	0.09
2-7-5-1	G-G-S	0.02	0.99	0.11
2-7-5-1	G-S-S	0.02	0.99	0.18
2-7-5-1	HS-G-S	0.02	0.99	0.19
2-7-5-1	HT-G-S	0.02	0.99	0.17

S: Sigmoid, G: Gaussian, HT: Hyperbolic Tangent, HS: Hyperbolic Secant



شکل ۵- شکل عمومی مدل شبکه عصبی پرسپترون

به منظور تعیین بهترین مدلها سه پارامتر متوسط مربع خطا (MSE)، مقدار واریانس (R<sup>2</sup>) و متوسط درصد خطا (MAPE) به صورت تعریف شده در معادلات ۴ تا ۶ مورد استفاده قرار گرفتند.

$$MSE = \left(\frac{1}{p}\right) \times \sum_j (t_j - \sigma_j)^2 \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_j (t_j - \sigma_j)^2}{\sum_j \sigma_j^2} \right] \quad (5)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{p}\right) \times \sum_j \left( \frac{\sigma_j - t_j}{\sigma_j} \times 100 \right) \quad (6)$$

در روابط فوق  $t_j$  مقدار هدف و  $\sigma_j$  مقدار خروجی شبکه برای  $j$  امین داده و  $p$  تعداد داده‌ها می‌باشد. به منظور مدل‌سازی شبکه مورد نظر الگوریتم زیر مورد استفاده قرار گرفت:

به منظور تعیین یک رابطه غیر خطی بین نتایج حاصل از آزمایشها و ضریب  $DeI$  یک مدل شبکه عصبی ایجاد شد. در این مدل تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نورون در هر لایه به نحوی تعیین شد تا خطای شبکه به حداقل برسد. به این منظور ورودیهای شبکه مقادیر طرح اختلاط مانند  $W/b$  و میزان میکروسیلیس (S.F) انتخاب شد و مقدار  $DeI$  در سن ۱ سال به عنوان خروجی شبکه لحاظ گردید. در مدل شبکه ارتباط بین تمام نورونها برقرار شد. برای تعیین بهترین مدل شبکه، مدل‌های مختلف با تعداد لایه‌ها و نورونها و همچنین توابع آموزش مختلف در هر لایه مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۵ نمونه این مدلها را برای شرایط مستغرق نشان می‌دهد. یکی از نکات مهم در مدل‌سازی شبکه عصبی آن است که خروجی - های توابع آموزش در محدوده صفر تا یک تغییر می‌کنند. لذا برای استفاده از ورودی‌ها در شبکه لازم بود تا تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها در شبکه به این محدوده نرمال شوند. بنابراین در هر ورودی و خروجی مقادیر به حداکثر مقدار نتایج مرتبط تقسیم و حاصل در ۰/۸۵ ضرب شد تا نتایج به

### ۵- نتیجه‌گیری

رابطه بین پارامترهای طرح اختلاط بتن و پارامترهای دوام بتن از عوامل اصلی در تعیین عمر مفید سازه‌های بتن مسلح می‌باشد. بر این اساس نمونه‌های بتن سبک با سنگدانه لیکا مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج زیر حاصل شد:

- در بتن‌های حاوی سنگدانه سبک، در نسبت آب به سیمان بالا تاثیر میکروسیلیس در افزایش مقاومت کاهش می‌یابد.
- درصد جذب آب رابطه مستقیمی با نسبت آب به سیمان دارد که این امر را می‌توان به پر شدن تخلخل خمیر سیمان نسبت داد. با این حال از مقایسه نمونه‌های با نسبت آب به سیمان مساوی و درصد میکروسیلیس متفاوت مشاهده می‌شود که با افزایش میکروسیلیس از صفر به ۷ درصد میزان جذب آب پایین می‌آید با این حال با افزایش درصد میکروسیلیس از ۷ به ۱۰ درصد این میزان افزایش می‌یابد.

- به منظور کمی سازی ضریب نفوذ کلراید در بتن‌های سبک یک مدل مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شد. مدل مورد بررسی شامل دو لایه پنهان و دو نورون در هر لایه با توابع گوسین در لایه اول و دوم و تابع سیگموئید در لایه خروجی می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج عددی یک رابطه درجه ۲ جهت تعیین ضریب نفوذ کلراید در بتن‌های سبک برای سن ۱ سال در شرایط مستغرق پیشنهاد گردید.

### ۶- مراجع

[1]. K.Tuutti, (1982). "Corrosion of Steel in Concrete" Technical Report, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.

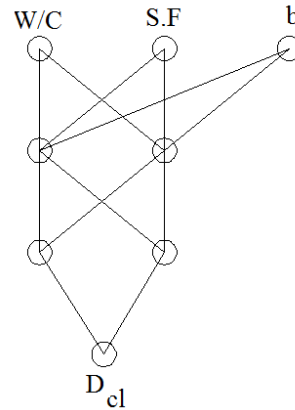
[2]. A.Neville, (1995). "Chloride Attack of Reinforced Concrete: an Overview" Materials and Structures, Vol. 28, pp. 63-70.

[۳]. علی قدس، "بررسی اثر الیاف فولادی بر دوام بتن سبک" چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران.

[۴]. ملک محمد رنجبر، رحمت مدن دوست، سید یاسین موسوی، علی صدر ممتازی "ارزیابی دوام بتن‌های سبک حاوی دانه‌های منبسط شونده پلی استایرن (EPS) در محیط مخرب نمکی" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۸.

[۵]. عقیل احمدی، محمد رضا سهرابی "بررسی اثر متاکائولن بر روی خواص مکانیکی و دوام بتن سبک در شرایط محیطی مهاجم" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۷.

بر اساس جدول فوق، شبکه با دو لایه پنهان و دو نورون در هر لایه با توابع گوسین در لایه اول و دوم و تابع سیگموئید در لایه خروجی بهترین نتایج را تولید می‌کند. مدل این شبکه در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- مدل شبکه بهینه در تعیین ضریب نفوذ کلراید

### ۴-۲- مدل برازش خطی برای تعیین Dcl

به منظور تعیین تابع تغییرات  $D_{cl}$ ، تابع برازش مشابه تابع زیر جهت تعیین ضریب نفوذ یون کلراید مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه در بدست آوردن مقادیر  $D_{cl}$  تعداد پارامترهای ورودی برای نسبت  $W/C$  و درصد میکروسیلیس ۳ بود لذا حداکثر توان تابع پیشنهادی، علی‌رغم اینکه شبکه عصبی قابلیت تولید داده‌ها بیشتری را دارد، ۲ در نظر گرفته شده است.

$$D_{cl} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{i,j} \cdot \left(\frac{W}{C}\right)^i \cdot (S.F)^j \quad (7)$$

با حداقل کردن مقادیر تابع خطا، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$D_{cl} = 1.60 - 1734 * \left(\frac{W}{C}\right) - 41575 * (S.F) + 2 * \left(\frac{W}{C}\right)^2 + 678 * (S.F)^2 + 1149 * \left(\frac{W}{C}\right) * (S.F) + 3357 * \left(\frac{W}{C}\right) * (S.F)^2 + 1064 * \left(\frac{W}{C}\right)^2 * (S.F) + 160 * \left(\frac{W}{C}\right)^2 * (S.F)^2 \quad (8)$$

در رابطه فوق ضریب  $D_{cl}$  مربوط به ضریب نفوذ کلراید در زمان ۱ سال می‌باشد

[6]. Jody R. Wall, Charles Freeman "Rapid chloride permeability of structural light weight aggregate concrete compared with normal density concrete having similar proportions" carrolinastalite company research lab, 2003.

[7]. N.Haque, A.Al.Khaiatan, "Strength and durability of light weight concrete in hot marine exposure condition" journal of Materials and Structures, 2006.

[8]Kloas Van Breugel, Ali Taheri, "chloride penetration in light weight aggregate concrete beams exposed to alternating moisture and Temperature" 2nd l light weight aggregate concrete, Kristiansand, 2000.

[9]. M.Tadayon, " Evaluation of Tensile Strength, Modulus of Elasticity, Poisson's Ratio, Rate & Potential of Corrosion of High Strength LWAC with Iranian Materials" Phd. Thesis, Iran University of Science & Technology, 2002.



## Determination of Chloride Diffusion Coefficient in Light Weight Concrete based on Artificial Neural Network

A. Delnavaz \*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University ,Qazvin, Iran

### Abstract

Light weight concrete, because of its practical benefits, is known as one of the most important structural materials in recent years. However, due to the high porosity of aggregates in the concrete, permeability models, specifications for durability and compressive strength of light weight concrete is different with ordinary concrete. In this article the effects of silica fume on the properties and durability of light weight concrete against chloride ion permeability is investigated. For this purpose, the basic parameters such as the ratio of water to cement in the concrete mix design and percentage of silica fume as the main parameters were analyzed And its effect on compressive strength, durability and permeability of chloride ion in lightweight concrete was studied. According to the chloride ion concentrations at various depths in concrete, the chloride penetration coefficient for concrete was determined according to the Fick's second law. Finally, a neural network based model for determining chloride penetration in concrete is presented.

**Keywords:** Lightweight Concrete, Silica Fume, Chloride Permeability.

---

\* Corresponding Author: A.Delnavaz@qiau.ac.ir

