ارزیابی مدل‌های تخمین عمر مفید خدمت رسانی برای سازه های بتن مسلح در محیط دریایی خلیج‌فارس

علی‌اکبر رمضانیانپور[1*]، احسان جهانگیری[2]، فرامرز مودی[3]، بابک احمدی[4]

۱- استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر و رئیس مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن
۲- کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴- محقق، مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

یکی از مهمترین علل موثر بر دوام سازه های بتن مسلح، کلرید نفوذ یافته به درون بتن بوده و از این رو در دهه‌های اخیر طراحی بر اساس دوام سازه‌های بتنی در محیط دریایی اهمیت ویژه‌ای پیدا نموده و مدل‌های مختلفی برای تخمین عمر مفید توسط مراکز تحقیقاتی ارائه شده است. علی‌رغم تحقیقات گسترده صورت گرفته کماکان مفاهیم مبهم و بحث برانگیز در این زمینه وجود دارد. یکی از مهمترین مسائل تاثیرگذار بر دوام بتن، شرایط محیطی قرارگیری بتن می‌باشد. لذا تحقیقات در شرایط محیطی مختلف برای ارزیابی ملاحظات طراحی بر اساس دوام و تخمین عمر مفید می تواند بسیار مفید واقع شود. خلیج فارس به علت دمای محیطی بالا و رطوبت زیاد و همچنین میزان یون کلرید موجود در آب، یکی از مخرب‌ترین محیط‌های طبیعی برای بتن مسلح از نقطه نظر دوام می‌باشد.

هدف این مقاله بررسی چهار مدل تخمین عمر مفید خدمت‌رسانی بتن مسلح به کمک آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سازه بتنی در شرایط واقعی می‌باشد. که دو مدل توسط مراکز تحقیقاتی خارجی و دو مدل دیگر توسط مراکز تحقیقاتی داخلی ارائه شده است. نتایج گویایی عدم قطعیت‌های فراوان در تخمین‌های مدل‌ها و عدم تطابق مدل‌های خارجی با شرایط محیطی خلیج فارس می‌باشد.

کلمات کلیدی: بتن، طراحی بر اساس دوام، مدل‌های تخمین عمر مفید، انتشار یون کلرید، خلیج‌فارس

Evaluation of Models for Service-Life Prediction of Reinforced Concrete Structures in Persian Gulf Marine Environment

A. A. Ramezanianpour[1], E. Jahangiri[2], F. Moodi[3], B. Ahmadi[4]

1-Professor, Dept. of Civil Eng., Concrete technology and durability research center, Amirkabir University of Technology
2-MSc, Dept. of Civil Eng., Concrete technology and durability research center, Amirkabir University of Technology
3-Assistance Professor, Dept. of Civil Eng., Concrete technology and durability research center, Amirkabir University of Technology
4-Research Assistance, Dept. of Civil Eng., Concrete technology and durability research center, Amirkabir University of Technology

[*] نویسنده مسئول aaramce@aut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

Abstract

Chloride ion ingress is one of the major problems that affect the durability of reinforced concrete structures such as bridge decks, concrete pavements, and other structures exposed to harsh saline environments. Therefore, durability based design of concrete structures in marine areas has gained great significance in recent decades and various mathematical models for estimating the service life of reinforced concrete have been proposed. In spite of comprehensive researches on the corrosion of reinforced concrete, there are still various controversial concepts. Effect of environmental conditions on durability of concrete structures is one of the most important issues. Hence, regional investigations are necessary for durability-based design and evaluation of the models proposed for service-life prediction. The Persian Gulf is one of the most aggressive regions of the world because of elevated temperature and humidity as well as high content of chloride ions in seawater.

In this work, two probabilistic service-life prediction models and two other service-life models proposed by local research centers are studied and compared using chloride profiles obtained from marine RC structures located in the Persian Gulf region. The results show the various uncertainties in model predictions and incompatibility of non-local models with Persian Gulf region.

Keywords: Concrete, Service-Life Prediction Models, Durability-Based Design, Chloride Diffusion, Corrosion, Persian Gulf

۱- معرفی

بتن به عنوان یک مادهٔ ساختمانی بسیار مهم، سالهاست که در صنعت ساختمان بکار می‌رود. غالباً در دهه‌های گذشته، طراحی اجزاء مخلوط بتن براساس مقاومت صورت می گرفت، ولی اخیراً علاوه بر مقاومت، طراحی براساس دوام بتن نیز در اغلب آیین‌نامه‌ها مشاهده می‌شود که علت این امر را می‌توان مشکلات جدی بتن مسلح در شرایط محیطی خورنده دانست [۱]. یکی از خورنده‌ترین شرایط محیطی برای بتن مسلح از نقطه نظر دوام، شرایط دریایی می‌باشد. ضایعات و خسارات ناشی از اثرات خوردگی روی سازه-هایی که در سواحل دریا احداث می گردند، سالانه رقم قابل توجهی از هزینه‌های صنعت ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد [۲].

عوامل متعددی در شرایط محیطی دریایی بر دوام بتن مسلح موثر می‌باشند، ولی تحقیقات، گویای نقش غالب خوردگی فولاد مدفون در بتن به علت یون کلرید موجود در سطح میلگرد می‌باشد. در صورتی که میزان یون کلرید در سطح میلگرد از حد آستانه [۱] بیشتر شود، لایه محافظ [۲] از بین رفته و خوردگی فولاد مدفون آغاز می‌گردد و با پیشرفت فرآیند خوردگی و تولید محصولات آن که حجمی بیش از ۵ الی ۶ برابر فولاد دارد، پوشش بتنی روی میلگرد ترک خورده و شرایط برای خوردگی فولاد مهیاتر گشته و سازه بتنی رو به زوال می‌نهد. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بیش از ۹۰٪ خرابی‌های سازه‌های حاشیهٔ خلیج‌فارس و دریای عمان، خوردگی فولاد مدفون ناشی از یون کلرید موجود در بتن می‌باشد [۳].

ساخت بنادر عظیم در حاشیه خلیج‌فارس و هزینه‌های کلان اختصاص داده شده در این بخش و همچنین شرایط محیطی بسیار مخرب این منطقه برای سازه‌های بتنی به علت دما و رطوبت زیاد و یون‌های محلول در آب آن، این الزام را بوجود می‌آورد که در راستای طراحی سازه‌هایی بادوام و همچنین مدیریت و نگهداری پس از ساخت، ابزاری برای بررسی کمی دوام بتن مسلح در این منطقه در دست باشد. مدل‌های تخمین عمر مفید خدمت رسانی یکی از این قبیل ابزارها بوده و در صورت برخورداری از دقت و صحت مناسب می-توانند نقش بسیار مهمی در کاهش هزینه‌های طراحی، تعمیرات و نگهداری ایفا نماید [۲].

با بررسی آیین‌نامه‌ها، مشهود است که غالباً مبحث دوام به صورت توصیه‌ای و ارائه دستورالعمل برای افزایش کیفی آن می‌باشد. ولی مدل‌های تخمین عمر مفید قادر به بررسی دوام بتن با توجه به مشخصات مصالح و محیط، به صورت کمی می‌باشند. امروزه آیین‌نامه‌های معتبر جهانی توجه ویژه‌ای به امر مدل‌سازی رفتار بتن

www.SID.ir
Archive of SID

در محیط‌های مخرب دارند و مدل‌های مختلف توسط محققین و مراکز تحقیقاتی ارائه می‌شود.

امر مدل‌سازی رفتار بتن در برابر انتقال یون کلرید به درون بتن با روابط ریاضی از دیرباز مورد توجه محققین بوده و از ارائه اولین مدل در این زمینه توسط کوله-پاردی حدود ۴۰ سال می‌گذرد و در طی این مدت، مدل‌ها از لحاظ ساختار، فرضیات و روش حل، تغییرات بسیاری نموده‌اند [۴]. علیرغم تحقیقات گسترده در این زمینه کماکان نادانسته‌های بسیار زیادی در این زمینه وجود داشته و تنها با ساده‌سازی‌های بسیار می‌توان در مورد فرآیند انتقال یون کلرید به درون بتن اظهار نظر نمود، بدین سبب می‌توان ادعا نمود، هنوز هیچ رابطه ریاضی که بتواند این فرآیند را به صورت کامل و دقیق شبیه‌سازی نماید، وجود نداشته و کلیه مدل‌ها با فرضیات ساده‌ساز همراه می‌باشند. در راستای کاربردی بودن مدل‌ها و مدل‌سازی بهتر و دقیقتر انتقال یون کلرید به درون بتن، عموماً سعی می‌شود که مدل‌ها با آزمونه‌های قرار گرفته در شرایط محیطی واقعی دریایی کالیبره شوند و هرچه فرضیات ساده‌ساز در مدل‌سازی بیشتر باشد، وابستگی مدل‌ها به شرایط محیطی که در آن کالیبره شده است، بیشتر شده و امکان ناتوانی مدل‌ها در ارائه نتایج قابل قبول در شرایط محیطی دیگر بیشتر می‌گردد [۴]. بنابراین برای استفاده از مدل‌ها در راستای اهداف طراحی، مدیریت و نگهداری پس از ساخت، باید ابتدا از صحت نتایج مدل‌ها در شرایط محیطی مدنظر اطمینان حاصل گردد. هدف این تحقیق بررسی و ارزیابی چهار مدل تخمین عمر مفید بتن مسلح به کمک آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سازه بتنی در شرایط واقعی می‌باشد. بدین منظور سازه‌های بتن مسلحی در جنوب کشور انتخاب شده و آزمایش‌هایی در این خصوص بر روی آنها صورت گرفته است و آزمونه‌هایی مشابه طرح اختلاط بتن سازه در آزمایشگاه ساخته و آزمایش شده است. مدل‌ها عبارتند از مدل *fib* یک مدل احتمالاتی معروف اروپایی،۲۰۰۶ [۵]، مدل *Life-365* یک مدل احتمالاتی معروف آمریکایی،۲۰۰۹ [۶] و ۲ مدل داخلی که توسط مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر [۷] و انستیتوی مصالح ساختمانی دانشگاه تهران [۸] ارائه شده است. سازه‌های بتنی مورد نظر در مجتمع بندری امام خمینی (ره) واقع شده است و در دوره‌های مختلف زمانی ساخته شده‌اند. آزمایش‌ها روی سازه در دو شرایط قرارگیری جزر و مدی و اتمسفری انجام شده است.

۲- تحقیقات پیشین

علیرغم آنکه از ارائه اولین مدل‌های تخمین عمرمفید بتن حدوداً ۴۰ سال می‌گذرد ولی در عین حال تحقیقات در این زمینه تا اوایل قرن ۲۱ گستردگی چشمگیری نداشته است و حدود یک دهه است که با گسترش توان رایانه‌ها، مدل‌سازی های رفتار بتن از دیدگاه تخمین عمر مفید گسترش پیدا نمود. شاید اگر ادعا نمود که هنوز هیچ تحقیق مدون و جامعی در زمینه بررسی و ارزیابی مدل‌ها در کنار یکدیگر صورت نگرفته است، سخنی گزاف نباشد. عموماً مدل‌ها بر حسب شرایط منطقه‌ای ارائه می‌گردد و برای شرایط محیطی که در آن کالیبره شده اند قابل اعتماد می-باشند، علت این امر نیز ناشناخته ماندن رفتار واقعی بتن و ترکیب مکانیزم‌های خورنده و ... می‌باشد که با تمام تلاش‌های صورت گرفته، اگر مدلی با نمونه‌های آزمایشگاهی قرارگرفته در محیط واقعی کالیبره نگردد عملاً نتایج غیرواقع‌گرایانه ارائه می‌نماید. از این رو تا کنون مدلی ارائه نشده است که برای شرایط محیطی مختلف نتایج قابل قبول ارائه نماید. بدین سبب تحقیقی با مشخصات تحقیق حاضر در سطح ایران و جهان منحصر به فرد بوده و هیچ محققی تاکنون این چهار مدل را با یکدیگر در شرایط محیطی خاصی ارزیابی و مقایسه ننموده است ولی چندین تحقیق در سطح جهان بر روی بررسی و مقایسه مدل‌ها صورت گرفته است که به علت تفاوت شرایط محیطی خلیج فارس و شرایط مصالح ایران و همچنین تفاوت مدل-های بررسی شده، عملاً این تحقیقات هیچ نتیجه مثبتی برای پیشبرد اهداف این تحقیق نداشته است، از این رو از ذکر این تحقیقات صرفه نظر شده است. مولفین این مقاله با بررسی بیش از ۹۰٪ مدل‌های ارائه شده از سال ۱۹۷۰ تا به کنون بر این عقیده‌اند که

www.SID.ir
Archive of SID

بهترین مدل‌های پاسخگو برای شرایط محیطی خاص خلیج فارس که امکان اصلاح آن نیز وجود داشته باشد، چهار مدل بررسی شده در این تحقیق می‌باشند هر چند این چهار مدل نیز نتایج کاملاً مناسب ارائه نمی-نمایند ولی در عین حال بسیار بهتر از مدل‌های دیگر برای شرایط محیطی خلیج فارس می‌باشند.

۳- مدل‌های تخمین عمر مفید خدمت رسانی

اساساً مدل‌های تخمین عمر مفید خدمت‌رسانی توابع ریاضی می‌باشند که بر پایه رفتارها و مکانیزم‌های فیزیکی و شیمیایی خرابی و میزان پیشرفت آنها در طول زمان تدوین می‌گردند و با داده‌های تجربی و آزمایشگاهی ارزیابی و کالیبره می‌گردند [۴]. بنابر پیچیدگی رفتار بتن، هرچه مدل با داده‌های بیشتر تجربی و آزمایشی تهیه شده باشد، قابل اعتمادتر است. امروزه رویکرد احتمالاتی در تحلیل مدل‌ها به علت عدم‌قطعیت‌های فراوان موجود، جایگاه ویژه‌ای پیدا نموده است. در این مقاله در نظر است چهار مدل مورد ارزیابی قرارگیرد که همگی اصول یکسانی را در مکانیزم خرابی در نظر گرفته ولی از روش‌های مختلف برای مدل‌سازی پیروی می‌نمایند. در ادامه مدل‌ها به اختصار معرفی می‌گردند.

۳-۱- مدل BHRC (۲۰۰۵)

این مدل توسط مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن طی آزمایش‌های گسترده‌ای در شرایط محیطی خلیج‌فارس (بندر عباس) به صورت غیر احتمالاتی تهیه شده است. این مدل بر پایه خوردگی کلریدی استوار می‌باشد. تخمین ضریب انتشار ظاهری وابسته با زمان، طرح اختلاط و شرایط قرارگیری، و زمان آغازخوردگی، خروجی‌های مدل می‌باشند. معادله (۱) مدل تخمین ضریب انتشار و معادله (۲) مدل تخمین زمان آغاز خوردگی فولاد مدفون در بتن را نمایش می‌دهد. پارامترهای D_{t_1}، α، B_1 و C_1 پارامترهای این مدل می‌باشند که توسط ارائه دهندگان مدل پیشنهاد شده و بی‌بعد است. این پارامترها بر اساس طرح اختلاط، شرایط قرارگیری و زمان به کمک معادله (۳) بدست می‌آید با این تفاوت که برای هر یک از پارامترها، ضرایب (A,B,C,D,E,F,G,H,I) متفاوت می‌باشد [۷].

$$D(t) = D_{t_1} \times \left(\frac{t_1}{t}\right)^{\alpha} \quad (۱)$$

$$t_{cr} = 0.75 \times \left(\frac{c}{B_1}\right)^{C_1} \quad (۲)$$

(۳)

$$(D\times t), \alpha, D_1, C_1 = A(w/c)^2 + B(w/c) + C(SF)^2 + D(SF) + E(w/c)^2(SF)^2 + F(w/c)(SF) + G(w/c)^2(SF) + H(w/c)(SF)^2 + I$$

t_1 : زمان مبنا، ۰/۷۵ سال [سال]

t: زمان [سال]

D (t_1): ضریب انتشار ظاهری در زمان t_1 [mm^2/years]

D (t): ضریب انتشار ظاهری در زمان t [mm^2/years]

a: ضریب توان عمر [بی بعد]

t_{cr}: زمان آغاز خوردگی [سال]

c: پوشش بتنی روی میلگرد [mm]

B_1, C_1: ضرایب تجربی معادله که به کمک معادله ۳ تعیین می‌گردد [بی بعد]

w/c : نسبت آب به مواد سیمانی [بی بعد]

SF: میزان جایگزینی دوده سیلیسی [درصد]

A, B, C, D, E, F, G, H, I: ضرایب معادله ۳ [بی بعد]

۳-۲- مدل DuraPGulf (۲۰۰۶)

این مدل در انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش در سایت پایایی بندرعباس تهیه و ارائه شده است. این مدل شرایط مصالح و شرایط محیطی را در نظر می‌گیرد و بر پایه معادلات دیفرانسیل انتشار فیک بنا شده و با اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌ها کالیبره شده است. این مدل که غیر احتمالاتی می‌باشد به صورت نرم افزار ارائه شده است و شرایط مختلف محیطی خلیج‌فارس به صورت پیش‌فرض در آن موجود می‌باشد. این مدل انتشار یک بعدی یون کلرید را به کمک حل معادله دیفرانسیل قانون دوم فیک به روش تفاضل محدود با در نظر گرفتن ضریب انتشار متغیر با زمان را محاسبه

Archive of SID

www.SID.ir

نموده و پروفیل یون کلرید در دوره‌های مختلف زمانی و محاسبه عمرمفید از خروجی‌های این مدل می‌باشد. لازم به ذکر است که زمان پایان عمر مفید، زمان آغازخوردگی فولاد مدفون در نظر گرفته شده است [۸]. از دیگر نکات مهمی که در این مدل وجود دارد که نمی‌توان آن را به عنوان نقطه ضعف و یا قوت عنوان کرد، نگرش این مدل برای تعیین میزان ضریب انتشار است. این مدل میزان ضریب انتشار لحظه‌ای را ملاک عمل قرار داده است که کالیبره نمودن آن ممکن نمی باشد. این امر در ابتدا به نظر تخمین‌ها دقیق‌تر را در برابر ضریب انتشار ظاهری تداعی می‌نماید ولی امکان تعیین ضریب انتشار لحظه‌ای بتن به کمک آزمایش میسر نمی‌باشد و عموماً تخمین‌های ضریب انتشار لحظه‌ای به کمک تخمین ضریب انتشار لحظه‌ای اولیه و توان عمر با روابطی بر اساس مشخصات بتن و در نهایت آزمون و خطا برای تعیین فرض اولیه (ضریب انتشار لحظه‌ای اولیه و ضریب توان عمر) با کمک ضریب انتشار ظاهری که قابل تعیین به کمک آزمایش می‌باشد، صورت می‌پذیرد. لذا با توجه به دانش فعلی بتن به نظر می‌رسد که همان ضریب انتشار ظاهری نتایج بهتری را برای تخمین های یک‌بعدی (مانند دال، دیوار و ..) به دنبال خواهد داشت ولی در عین حال برای تخمین‌های دوبعدی (ستون ها و شمع ها و ...) ضریب انتشار لحظه‌ای کاربرد داشته و اگر آینده این مدل بخواهد به آن سمت حرکت نماید، نمی‌توان ضریب انتشار ظاهری کارایی چندانی داشته باشد، لذا نمیتوان تغییر تئوری مدل از پیشنهادات اصلاحی باشد.

۳-۳- مدل fib (۲۰۰۶)

این مدل توسط فدراسیون بین المللی بتن (*fib*) در بولتن ۳۴ در سال ۲۰۰۶ ارائه شده است. این مدل بر پایه معادلات دیفرانسیل قانون انتشار فیک بوده و با در نظر گرفتن ضریب انتشار ظاهری متغیر با زمان به تخمین انتشار یون کلرید به درون بتن به صورت یک بعدی در بتن بدون ترک می پردازد. پارامترهای دخیل اعم از مشخصات بتن، پوزولان‌ها، شرایط آب و هوایی، شرایط بهره‌برداری در تخمین ضریب انتشار و همچنین تخمین میزان نفوذ یون کلرید به درون بتن بر حسب زمان بصورت احتمالاتی، بر اساس آزمایش در شرایط محیطی اروپا تعیین و کالیبره شده است. مدل*fib* از سه بخش عمده تشکیل شده است. بخش اول، معادله تعیین کننده ضریب انتشار ظاهری می‌باشد که بر اساس آزمایش تسریع شده مهاجرت یون کلرید[۳]، شرایط آب و هوایی، مشخصات مخلوط بتن و زمان تخمین زده می‌شود. بخش دوم، معادله تعیین کننده میزان یون کلرید در عمق مشخص بر حسب زمان می-باشد که بر اساس معادله انتشار فیک و ضریب انتشار ظاهری می‌باشد که پایه تخمین زمان آغاز خوردگی نیز می‌باشد (معادله۴). بخش سوم این مدل تعیین کننده احتمال وقوع خوردگی در زمان‌های مختلف می‌باشد که بر اساس شاخص قابلیت اعتماد ۱/۳، زمان آغاز خوردگی تعیین می‌گردد [۵].

اکثر پارامترهای ورودی به صورت احتمالاتی مقداردهی می‌شود، بدین معنی که تعیین پارامترهای ورودی به صورت تابع توزیع بوده و بر اساس احتمالات مختلف، پارامترهای ورودی بر اساس مقدار میانگین، انحراف معیار و تابع توزیع، مقداردهی می‌شوند.

$$C_{crit} = C(x=a,t) = C_0 + \left(C_{S,\Delta x} - C_0\right)\left[1 - erf\frac{a-\Delta x}{2\sqrt{D_{appc}t}}\right] \quad (۴)$$

C_{crit}: مقدار یون کلرید آستانه [درصد وزنی نسبت به سیمان]

$C(x,t)$: مقدار یون کلرید در عمق x از سطح بتن در زمان t [درصد وزنی نسبت به سیمان]

C_0: مقدار یون کلرید اولیه بتن [درصد وزنی نسبت به سیمان]

$C_{S,\Delta x}$: مقدار یون کلرید در عمق Δx در زمان t [درصد وزنی نسبت به سیمان]

x: عمق متناظر با مقدار یون کلرید C(x,t) [mm]

a: پوشش بتن [mm]

Δx: عمق ناحیه همرفتی[۴] [mm]

$D_{app,c}$: ضریب انتشار ظاهری [mm^2/year]

erf: تابع خطا [-]

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۴- مدل Life - 365

این مدل در کنسرسیوم صنعتی امریکا با حمایت کمیته ACI 365 تهیه و به صورت نرم افزار در نسخه های مختلف ارائه شده است و هر ساله به روز رسانی می‌گردد. مدل مورد بررسی در این تحقیق آخرین نسخه این مدل بوده که محصول سال ۲۰۰۹ می‌باشد. این مدل بر پایه تحقیقات گسترده در سواحل و بنادر ایالات متحده امریکا می‌باشد و اطلاعات آب و هوایی مناطق مختلف ایالات متحده به صورت پیش‌فرض در این نرم‌افزار موجود است. اساس مدل‌سازی، معادلات دیفرانسیل انتشار فیک می‌باشد و بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی ارزیابی و کالیبره شده است. این مدل قادر به تعیین پروفیل یون کلرید به صورت غیر احتمالاتی و همچنین عمر مفید به صورت احتمالاتی می‌باشد. این مدل معادله دیفرانسیل انتشار فیک را به صورت دو بعدی با در نظر گرفتن ضریب انتشار متغیر با زمان حل می‌نماید [۶]. از دیگر نکات مهم در این مدل همان مسئله‌ای است که برای مدل DuraPGulf برای تخمین ضریب انتشار عنوان گردید ولی در عین حال نمی‌توان به توانایی های این مدل در بررسی دوبعدی المان های بتنی اشاره ننمود.

۴- معرفی سازه و شرایط آب و هوایی

۴-۱- شرایط آب و هوایی بندر امام خمینی

بندر امام خمینی در منتهی الیه شمال غربی خلیج فارس واقع گردیده است. در واقع این بندر در انتهای آبراه طبیعی خور موسی واقع شده است. این بندر در استان خوزستان و در ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز قرار دارد. بندر امام خمینی، در میان بنادر تجاری ایران با ۱۱ میلیون مترمربع مساحت، یکی از بزرگترین و مهمترین بنادر تجاری کشور محسوب می‌گردد. به طور عمومی شرایط آب و هوایی بندر امام خمینی به دلیل مجاورت با خلیج فارس، از خصوصیات این منطقه تبعیت می‌کند. در نواحی حاشیه خلیج فارس، به علت نزدیکی این منطقه به خط استوا، میزان تابش نور خورشید و درنتیجه میزان تبخیر زیاد است. افزون بر این، منطقه مورد بحث از نظر شرایط آب و هوایی جزء مناطق گرم و خشک به حساب می‌آید. میانگین درجه حرارت سالیانه این منطقه حدود ۳۸ درجه سانتیگراد است. به علت بالابودن درجه حرارت و قرار گرفتن در مجاورت دریا، رطوبت نسبی هوا نیز بالا است، بدیهی است که در درجه حرارتهای بالا، ظرفیت هوا در جذب مقادیر آب بیشتر شده و در نتیجه میزان تبخیر افزایش می‌یابد و نهایتاً این پدیده توسط وزش باد نیز تشدید می‌گردد. میزان بارندگی در این منطقه محدود بوده و اکثر بارندگی‌ها در ماه‌های آذر و دی می‌باشد و در فصل تابستان تقریباً بارشی وجود ندارد.

بندر امام خمینی دارای اقلیم گرم و خشک بوده و به همین دلیل اغلب دارای هوایی خشک است. اما در صورت وزیدن بادهای شرجی که معمولاً همراه با رطوبت دریا می‌باشد رطوبت منطقه را به شدت بالا برده و آن را به بالاتر از۹۰ درصد می‌رساند. معدل نسبی رطوبت در زمستان ۸۰ درصد و در تابستان زیر ۴۰ درصد است.

۴-۲- سازه‌های مورد ارزیابی

سازه‌های مورد نظر در جنوبی‌ترین قسمت مجتمع بندری امام خمینی واقع شده است که از سه سازه مجزا با یک طرح اختلاط تشکیل شده است. سازه‌های مورد نظر در سنین مختلف ساخته شده و این امکان را می-دهد که مدل‌ها برای بتن سازه در سه سن مختلف (۲، ۴ و ۶ سال) مورد ارزیابی قرار گیرند. شکل ۱ نمایی از سازه‌های بررسی شده و جدول ۱ مشخصات بتن سازه-های مورد نظر را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات طرح اختلاط

نسبت آب به مواد سیمانی	۰/۳۵
میزان سیمان تیپ ۲ [Kg/m^3]	۴۵۰
درصد دوده سیلیس	٪۷
میزان ماسه [kg]	۸۶۴
میزان نخودی [kg]	۲۶۰
میزان بادامی [kg]	۶۰۶

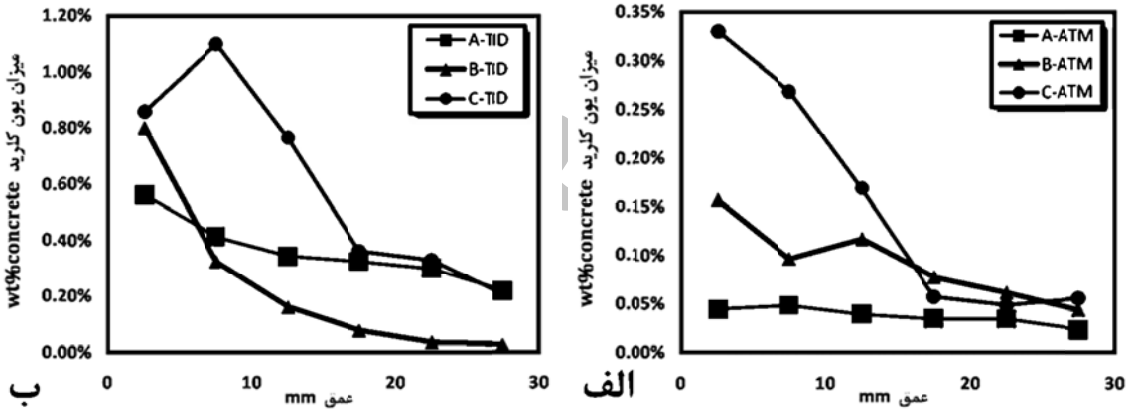
۵- آزمایش‌ها

به منظور تحلیل و ارزیابی مدل‌ها برای سازه‌های مدنظر، دو سری آزمایش صورت گرفته است. سری اول بر روی آزمونه‌های بتنی با طرح اختلاط مشابه با سازه

www.SID.ir
Archive of SID

و سری دوم آزمایش‌ها بر روی سازه‌های مورد نظر صورت گرفته است.

شکل ۱- نمایی از سازه‌های مورد بررسی



شکل ۲- پروفیل یون کلرید (الف- شرایط قرارگیری اتمسفری، ب- شرایط قرارگیری جزر و مدی)

جدول ۲- نتایج آزمایش بر روی سازه‌ها

کد نمونه	سن	ضریب انتشار $mm^2/Years$	میزان یون کلرید سطحی wt%/concrete	مقاومت الکتریکی سطحی به روش ونر		میزان پوشش بتنی	
				میانگین $K.\Omega.cm$	*CoV%	میانگین mm	CoV%
A-ATM	۲	۸۲/۶۵	٪ ۰/۰۶۲۶۵	۳۴	٪ ۵	۶۰/۷	٪ ۳۰
B-ATM	۴	۳۸/۹۳	٪ ۰/۲۱۹۹	۱۸/۵	٪ ۱۶		
C-ATM	۶	۱۵/۳۱	٪ ۰/۴۰۲	۲۹	٪ ۴		
A-TID	۲	۲۳۷/۹	٪ ۰/۵۵۲۳	۱۰/۲۵	٪ ۳۱		
B-TID	۴	۱۲/۹۱	٪ ۰/۶۸۴۷	۱۴/۷	٪ ۱۰		
C-TID	۶	۲۰/۶۸	٪ ۱/۷۰۸	۲۹	n/a**		

* ضریب تغییرات از تقسیم انحراف معیار بر مقدار میانگین محاسبه می‌گردد.(s/m*100)

** تعداد اعداد بدست آمده برای تعیین ضریب تغییرات کافی نمی‌باشد.

www.SID.ir

۵-۱- آزمایش‌های در محل

انتخاب محل‌های نمونه‌برداری بنا بر مستندات پروژه انتخاب شده است بنحوی که امکان بررسی بتن سازه در سنین مختلف مهیا گردد. آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن سازه عبارتند از: مقاومت الکتریکی به روش ونر[۵]، سنجش پوشش بتنی[۶] و پودرگیری از بتن در اعماق مختلف جهت تهیه پروفیل یون کلرید. آزمایش‌ها در هر محل برای دو شرایط جزر و مدی و اتمسفری صورت گرفته است. پروفیل‌های یون کلرید بدست آمده در شکل ۲ نمایش داده شده و نتایج حاصل از آزمایش‌ها و تحلیل پروفیل یون کلرید و برازش معادله قانون فیک به شرح جدول ۲ می‌باشد. نقاط مختلف نمونه‌گیری با کد A ، B و C شناخته می‌گردد که A، کد نمونه اخذ شده از سازه با سن دو سال و B، چهار سال و C، شش سال می‌باشد و شرایط قرارگیری اتمسفری با ATM و شرایط قرارگیری جزر و مدی با TID نمایش داده شده است.

۵-۲- مطالعات آزمایشگاهی

همانگونه که ذکر شد، طرح اختلاط منطبق با بتن سازه ساخته شده و بر روی آزمونه‌های ساخته شده در سن ۲۸ روز آزمایش‌های مهاجرت کلرید تسریع شده[۷] [۹]، آزمایش تسریع شده نفوذ کلرید[۸] [۱۰]، مقاومت الکتریکی به روش ونر [۱۱] و مقاومت فشاری انجام شده و نتایج آن به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمایش بر روی آزمونه‌های ساخته شده

آزمایش‌ها	نتایج
RCMT ($mm^2/years$)	۱۶۹
RCPT (کولمب)	۱۳۶۵
	کم
مقاومت الکتریکی ویژه	۳۶
($K\Omega.cm$)	کم
مقاومت فشاری (MPa)	۷۵/۸

۶- تحلیل و ارزیابی مدل‌ها

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، همچنین شرایط آب و هوایی بندر امام خمینی و طرح مخلوط بتن سازه، مدل‌ها مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته‌اند. مدل‌های *Life-365* و *DuraPGulf* به صورت نرم‌افزار بوده و با مدل‌سازی سازه مورد نظر به کمک نرم‌افزار مربوطه تحلیل صورت گرفته است ولی برای تحلیل مدل‌های *fib* و *BHRC* از نرم‌افزارهای ریاضیات و آمار استفاده شده (Excel2007، Matlab9، MathWave و SPSS18) و تحلیل احتمالاتی مدل *fib* به روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۹] می‌باشد.

۶-۱- مدل BHRC

مدل برای بتن سازه مورد نظر تحلیل شده و ضریب انتشار ظاهری در سه سن محاسبه شده و در جدول ۴ با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

جدول ۴- نتایج ضریب انتشار ظاهری تخمینی مدل BHRC در مقایسه با مقدار واقعی بدست آمده از پروفیل یون کلرید

کد	سن سال	ضریب انتشار ظاهری تخمینی $mm^2/years$	ضریب انتشار ظاهری واقعی $mm^2/years$
A-ATM	۲	۲۳/۶	۸۲/۷
B-ATM	۴	۱۷/۲	۳۸/۹
C-ATM	۶	۱۴/۳	۱۵/۳
A-TID	۲	۱۰۲/۴	۲۳۷/۹
B-TID	۴	۷۴/۷	۱۲/۹
C-TID	۶	۶۲/۱	۲۰/۷

نتایج گویای عدم تطابق نتایج تخمین با مقادیر واقعی در سنین کم بوده ولی به نظر می‌رسد با افزایش سن، تخمین‌ها به مقادیر واقعی نزدیک می‌گردد. از آنجایی که ضریب انتشار در سنین کمتر از زمان آغاز خوردگی تاثیری در تخمین نداشته و تنها مقدار ضریب انتشار ظاهری در لحظه‌ی آغازخوردگی ملاک می‌باشد، احتمال می‌رود که تخمین زمان آغاز خوردگی به اندازه تخمین ضریب انتشار دور از واقعیت نباشد ولی به نظر می‌رسد که زمان تخمینی برای آغاز خوردگی کمتر از مقدار واقعی تخمین زده شود و تخمین‌های مدل در جهت اطمینان باشد. از طرفی با توجه به مقادیر واقعی ضریب انتشار به نظر می‌رسد که این مقادیر نیز با عدم قطعیت روبرو بوده و نمی‌توان این مقادیر را مقادیر مطلق ضریب انتشار بتن سازه دانست.

Archive of SID

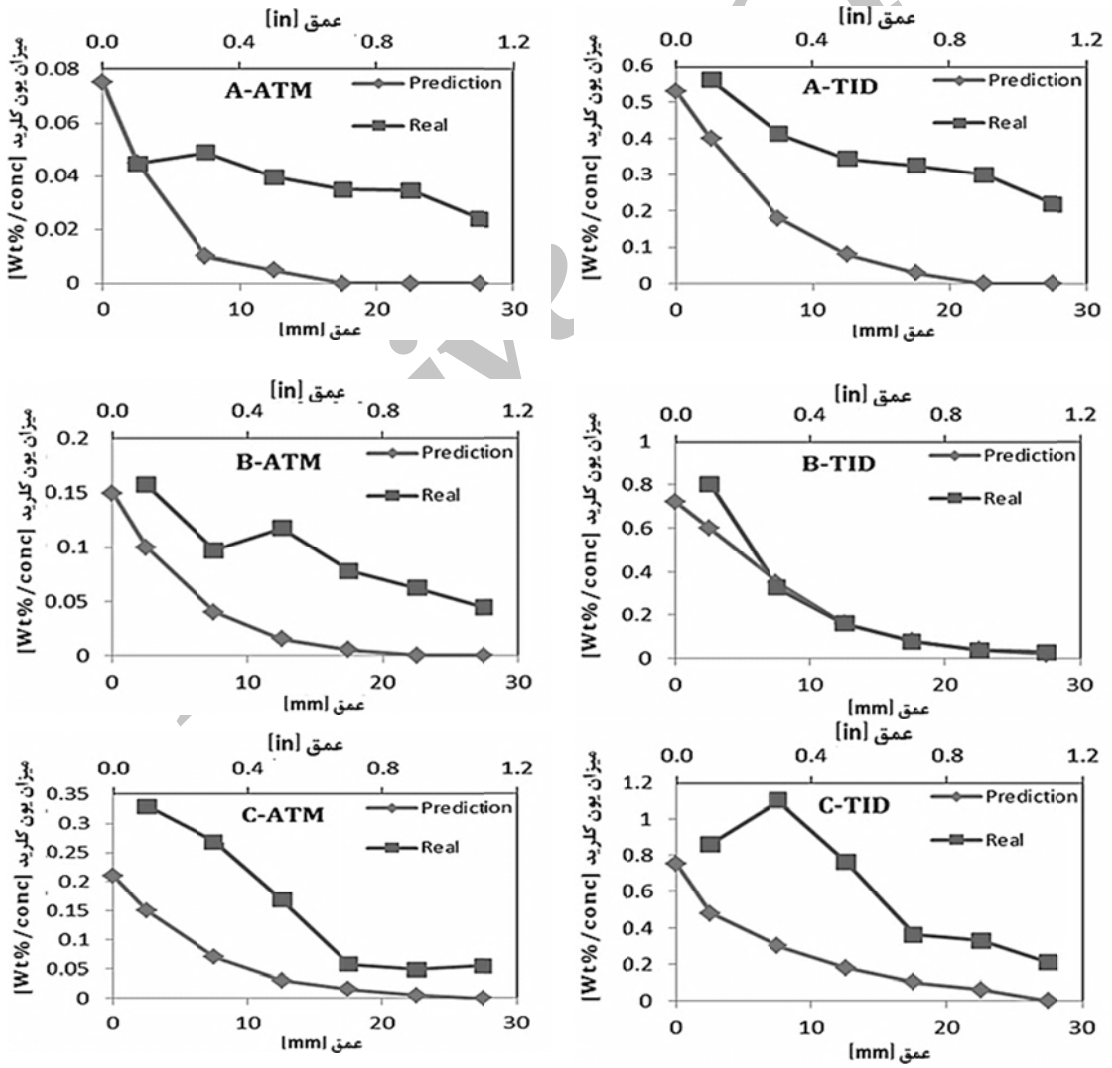
www.SID.ir

زمان آغاز خوردگی برای شرایط قرارگیری جزر و مدی ۱۴/۷ سال تخمین زده شده و مدل بتن را در شرایط اتمسفری برای همیشه پایا ارزیابی می‌نماید. بر اساس نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که مدل در شرایط جزر و مدی نتایج نسبتاً قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد و استفاده از آن برای طراحی و برنامه‌ریزی‌های نگهداری محافظه‌کارانه می‌باشد ولی کاربرد مدل برای شرایط اتمسفری در حال حاضر پیشنهاد نمی‌گردد.

۶-۲- مدل DuraPGulf

مدل برای بتن سازه مورد نظر تحلیل شده و نتایج پروفیل یون کلرید تخمینی در مقایسه با پروفیل یون کلرید واقعی در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

از مقایسه صورت گرفته در شکل ۳ به نظر می‌رسد تخمین‌های این مدل کمتر از مقدار واقعی بوده و این مدل بتن را مقاوم‌تر از آنچه هست در نظر گرفته است که پیش‌بینی می‌شود زمان تخمینی توسط این مدل بیش از زمان واقعی بوده و در صورت استفاده از این مدل برای امور طراحی و برنامه‌ریزی نگهداری، سازه زودتر از آنچه انتظار می‌رود دچار خوردگی خواهد شد. زمان آغاز خوردگی تخمینی توسط این مدل در شرایط قرارگیری اتمسفری ۱۹۳ سال و در شرایط جزر و مدی ۶۶ سال می‌باشد.



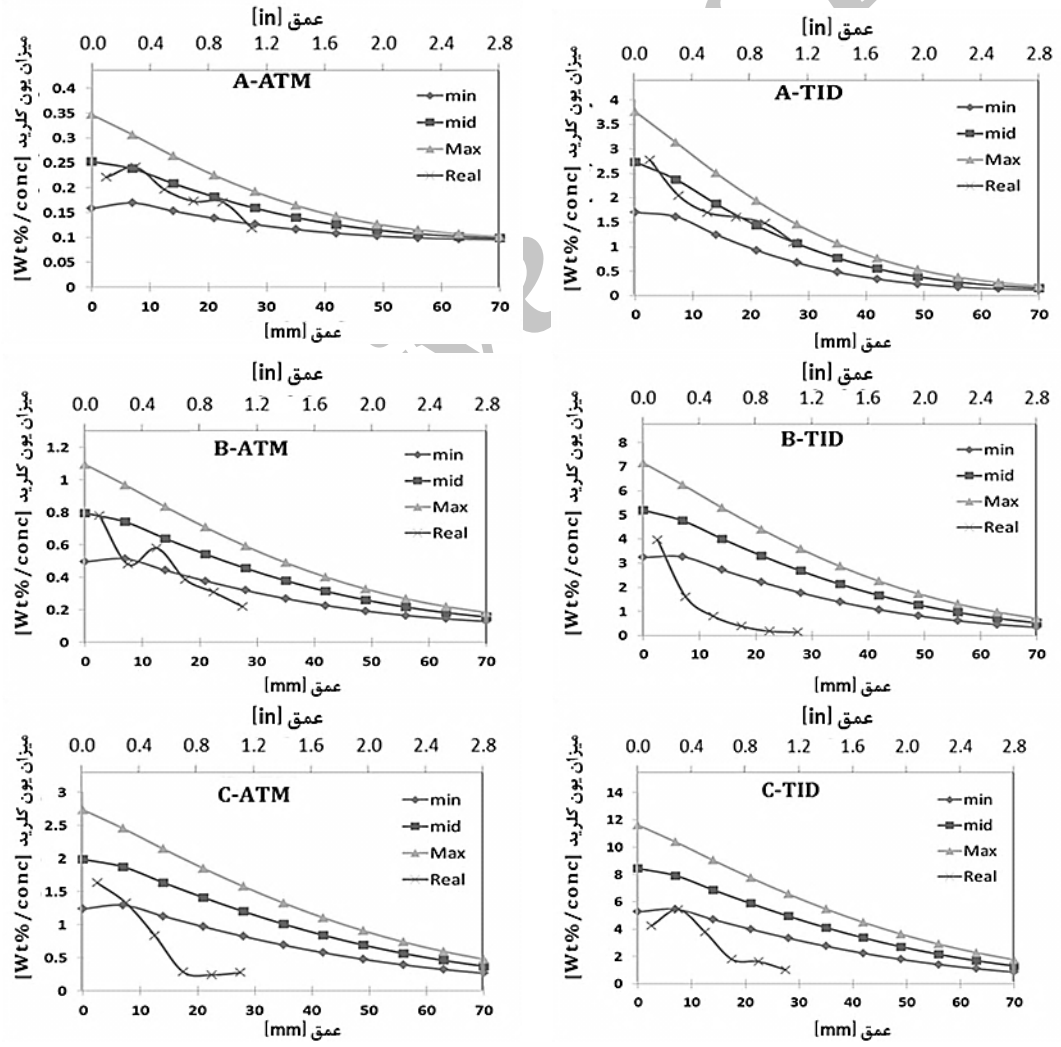
شکل ۳ - مقایسه پروفیل‌های یون کلرید تخمینی توسط مدل DuraPGulf با پروفیل واقعی

www.SID.ir

۶-۳- مدل *fib*

برای حل احتمالاتی مدل *fib* از روش مونت‌کارلو استفاده شده است. روش‌های مونت‌کارلو یک دسته از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که محاسبات آن بر پایه نمونه‌گیری‌های تکرار شوندهٔ تصادفی می‌باشد [۱۲ و ۱۳]. بدین منظور، ابتدا پارامترهای ورودی براساس مقدار میانگین، انحراف استاندارد و نوع تابع توزیع مربوط به آن تعیین شد و سپس داده‌های تصادفی برای پارامترهای ورودی، به میزان لازم تولید و مدل حل گردید. نتایج حاصل از مدل برای تخمین ضریب انتشار ظاهری به صورت مجموعه از اعداد محتمل بوده و تحلیلی آماری نتایج آن در حجم این مقاله نمی‌گنجد، از این رو تنها به بررسی پروفیل یون کلرید تخمینی که به صورت مجموعه پروفیل‌های یون کلرید محتمل می‌باشد، پرداخته شده است. شکل ۴ پروفیل‌های یون کلرید تخمینی را نمایش می‌دهد. شایان ذکر است که میزان یون کلرید سطحی مورد استفاده مدل بر اساس اطلاعات بدست آمده از پروفیل‌های یون کلرید در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است پروفیل‌هایی مینیمم و ماکزیمم حدود محتمل ترین پروفیل‌ها می‌باشند که در اطراف محتملترین پروفیل(مقادیر با بیشترین تکرار) به فاصله نصف انحراف معیار واقع شده‌اند.

با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد تخمین‌های این مدل بیش از مقدار واقعی بوده و این مدل بتن را بسیار ضعیف‌تر از آنچه هست در نظر می‌گیرد که این امر باعث می‌گردد نتایج تخمین زمان آغاز خوردگی



شکل ۴- مقایسه پروفیل‌های یون کلرید تخمینی توسط مدل fib با مقادیر واقعی

www.SID.ir

بسیار کمتر از مقدار واقعی آن تخمین زده شود که در صورت کاربرد برای طراحی و برنامه‌ریزی احتمالاً منجر به افزایش شدید هزینه‌ها خواهد شد، البته این مشکل تنها در این مدل نبوده و کلیه مدل‌های پیشنهادی خارجی به علت عدم تطابق با شرایط محیطی خلیج-فارس با این مشکل روبرو می‌باشند.

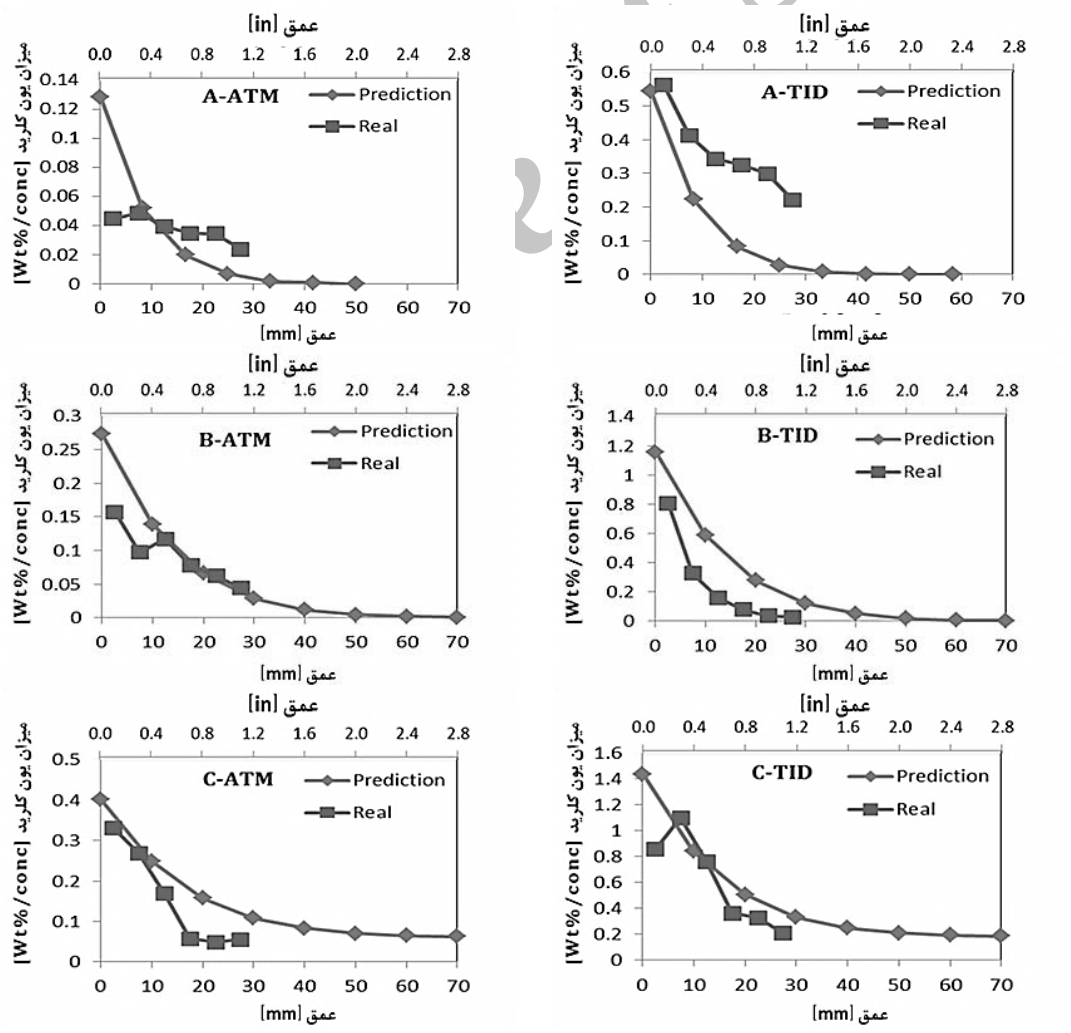
این مدل بر اساس شاخص قابلیت اعتماد ۱/۳ و یا احتمال ۱۰٪ را برای آغازخوردگی در نظر می‌گیرد. از این رو زمان آغازخوردگی تخمینی توسط این مدل برای بتن در شرایط قرارگیری اتمسفری ۲۲ سال و در شرایط قرارگیری جزر و مدی ۵/۸ سال می‌باشد.

۶-۴- مدل Life-365

مدل برای بتن سازه مورد نظر تحلیل شده و نتایج پروفیل یون کلرید تخمینی در مقایسه با پروفیل یون کلرید واقعی در شکل ۵ مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که میزان یون کلرید سطحی مورد استفاده مدل بر اساس اطلاعات بدست آمده از پروفیل‌های یون کلرید تنظیم شده است.

از مقایسه صورت گرفته در شکل ۵ به نظر می‌رسد تخمین‌های این مدل از روند خاصی پیروی نمی‌نماید و گاهی اوقات نتایج کمتر از واقعیت و گاهی بیشتر بدست داده و گاهی نتایج منطبق ارائه می‌دهد.

به نظر می‌رسد علت بروز این تفاوت‌ها، نوع المان‌های مختلف سازه‌ای بوده و یا ممکن است در عدم تطابق شرایط محیطی مدنظر مدل با شرایط محیطی خلیج-فارس باشد.



شکل ۵- مقایسه پروفیل‌های یون کلرید تخمینی توسط مدل Life-365 با پروفیل‌های یون کلرید واقعی

www.SID.ir

زمان آغاز خوردگی تخمینی توسط این مدل محاسبه شده و در جدول ۵ آورده شده است، علت تخمین‌های مختلف برای بتن‌های مشابه نوع المان سازه‌ای می‌باشد.

جدول ۵ - زمان آغازخوردگی تخمینی زده شده توسط مدل Life-365

کد مشخصه	نوع المان	زمان آغاز خوردگی(سال)
A-ATM	دیواره	۲۳/۲
B-ATM	ستون مستطیلی	۱۴/۵
C-ATM	ستون مستطیلی	۱۴/۵
A-TID	دیواره	۱۱/۸
B-TID	ستون مستطیلی	۸/۴
C-TID	ستون مستطیلی	۸/۴

۷- پیشنهادها برای بهبود مدل‌ها

در این تحقیق با نتایج آزمایش‌های بدست آمده بر روی آزمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های اخذ شده از سازه‌های واقعی، مدل‌ها مورد بررسی، ارزیابی و مقایسه قرار گرفته اند. اصولاً ارائه و یا اصلاح مدل نیازمند شناخت صحیح از شرایط و محدودیت های تئوری مدل بوده و با تحقیقات گسترده آزمایشگاهی امکان این امر فراهم می‌گردد. لذا مطالعات صورت گرفته در این تحقیق برای اصلاح مدل‌ها از جامعیت ناکافی برخوردار است. آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق به منظور اصلاح مدل‌ها نبوده و ردیابی نقاط ضعف مدل‌ها و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود این مدل‌ها از نتایج این تحقیق می‌باشد. در این بخش تنها در باب نقاط ضعف مدل‌ها و ذکر پیشنهادهایی برای بهبود مدل‌ها بسنده می‌شود و از آنجایی انتخاب این مدل‌های برای بررسی، گواه مزیت های فراوان آنها می‌باشد لذا از ذکر مزایا در این بخش خودداری شده و علاوه بر آن از زیاده‌گویی در باب آن که این مدل‌ها چگونه می‌توانند به تخمین های ایدآل برسند نیز خودداری می‌گردد. کلیه مدل‌ها بتن را همگن فرض نموده و فرض می‌نمایند که بتن بدون ترک، بدون پوشش سطحی بوده و همگی مدل-های از تئوری قوانین فیک پیروی می‌نمایند که همگی این فرضیات از عوامل تولید خطا بوده و باید برای رسیدن به یک تخمین ایدآل اصلاح گردد.

۷-۱- مدل BHRC

برای اصلاح این مدل باید تئوری این مدل مورد بازبینی قرارگیرد. در این مدل، شرایط محیطی در ضرایب مدل مستتر می‌باشد، لذا این امر باعث عدم انعطاف این مدل برای تغییرات شرایط محیطی و مصالح شده است. از طرف دیگر به نظر می‌رسد که ضریب انتشار ظاهری اولیه ($D(t_1)$) و پارامتر توان عمر (α) تخمین زده شده توسط مدل به درستی با یکدیگر هماهنگی نداشته و در ابتدا ضریب انتشار با مقدار کم تخمین زده شده و با سرعت بسیار کمی کاهش می‌یابد و این امر باعث می‌گردد که تخمین‌های عمر مفید اگر از سن خاصی (بسته به نوع مصالح) کمتر باشد، نتایج بیشتر از واقعیت بوده و اگر عمر تخمین زده شده از سن خاصی بیشتر باشد تخمین‌ها محافظه‌کارانه می-باشد، لذا این امر کاملاً محسوس است که این عدم هماهنگی وجود داشته و باید یکی از این پارامترها و یا هر دو اصلاح گردند. به طور کلی پیشنهاد می‌گردد که تئوری این مدل اصلاح گردد و با کمک داده‌های بدست آمده در شرایط کنترل شده دما، طرح اختلاط و ورود پارامترهای تاثیرگذار در مدل و برآورد این پارامترها، تخمین‌های این مدل هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک گردد.

۷-۲- مدل DuraPGulf

این مدل از دیدگاه تئوری مدل‌سازی با مدل‌های BHRC و fib متفاوت بوده و شباهت‌های بسیاری به مدل Life-365 دارد. عملاً می‌توان عنوان کرد که این مدل همان مدل Life-365 است که برای شرایط محیطی و مصالح خلیج‌فارس اصلاح شده است که به نظر مولفین این تحقیق در این امر تا حدود بسیاری موفق بوده ولی هنوز هم این مدل پتانسیل بهتر شدن داشته و ارائه دهندگان این مدل در این زمینه به صورت مدون و گسترده فعالیت می‌نمایند. با بررسی این مدل، به نظر می‌رسد که ضعف نتایج این مدل در تخمین نامناسب میزان کلرید سطحی بوده که منجر به ارائه نتایج عمر مفید بیش از واقعیت می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

به طور کلی برای بهبود تنها به این امر بسنده می‌گردد که اگر میزان یون کلرید تخمینی مدل بهبود یابد و بسته به شرایط منطقه‌ای و مصالح، این مقدار بهتر تخمین زده شود می‌توان امید داشت که این مدل بیش از پیش برای شرایط محیطی خلیج‌فارس قابل اعتماد گردد.

۷-۳- مدل fib

یکی ار عمده ترین نقاط ضعف مدل‌های خارجی عدم سازگاری با شرایط محیطی و مصالح خلیج‌فارس می‌باشد، ولی این امر که این مدل‌ها چقدر قابل انعطاف برای انطباق با شرایط محیطی دیگر می‌باشند بسیار مهم بوده و این مدل از این امر تا حدودی برخوردار است. تعیین ضریب انتشار ظاهری اولیه بتن بر اساس یکی از بهترین آزمایش‌ها (RCMT) بر روی نمونه‌های ساخته شده مشابه بتن استفاده شده در سازه مورد نظر با همان مصالح، گواهی بر این ماجراست که این مدل ازاین امکان انطباق در این زمینه برخوردار است ولی با بررسی این مدل مشاهده می‌شود که این مدل برای میزان یون کلرید سطحی هیچ پیشنهادی نداشته و باید بر اساس نتایج تحقیقات منطقه‌ای تعیین گردد. مولفین این تحقیق، مطالعات گسترده‌ای را در زمینه اصلاح این مدل انجام داده‌اند که در کنفرانس سالانه fib ارائه و منتشر شده است [۱۵]. اصلاحات صورت گرفته بر روی این مدل بدین شرح می‌باشد که بر اساس آزمونه‌های متعدد ساخته شده، ضریب توان عمر به صورت احتمالاتی اصلاح شده و روابطی جدید نیز برای تخمین میزان یون کلرید سطحی نیز ارائه شده است که این امر بر اساس تحقیقات صورت گرفته منجر به ارائه نتایج نزدیکتر به واقعیت شده است ولی کماکان تحقیقات بر روی اصلاح هرچه بیشتر این مدل ادامه دارد.

۷-۴- مدل Life-365

یکی از مهمترین نقاط ضعف این مدل نیز همانند دیگر مدل های خارجی عدم سازگاری مدل با شرایط محیطی و مصالح خاص خلیج‌فارس می‌باشد. از دیگر مشکلات موجود در این مدل برای استفاده در محیط خلیج‌فارس می‌توان به تعیین میزان یون کلرید سطحی اشاره نمود ولی این مدل این امکان را فراهم می‌آورد که بر اساس تحقیقات منطقه‌ای، این میزان به صورت پارامتر ورودی در تخمین‌ها اعمال گردد. از دیگر نقاط ضعف این مدل تخمین‌های احتمالاتی آن است که بسیار پیش پا افتاده و پارامترهای ورودی آن بدون آزمایش تعیین شده است (در متن این مدل در مرجع آن نیز به این امر اشاره شده است) و عملاً نتایج احتمالاتی ارائه شده توسط این مدل غیر کاربردی می‌باشد ولی این امر نوید بخش نگرش احتمالاتی در آینده این مدل می‌باشد و مدل DuraPGulf که عملاً اصلاح شده و بومی شده این مدل بسیار معروف و قوی جهانی است. تحقیقات بسیار گسترده برای ارائه مدل DuraPGulf باعث شده عملاً مدل Life-365 به صورت ساده شده و بومی شده در این مدل تجلی یابد.

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق چهار مدل تخمین عمر مفید خدمت‌رسانی بررسی و ارزیابی شده است. مدل‌ها بررسی شده متشکل است از دو مدل احتمالاتی خارجی که یکی توسط فدراسیون بین المللی بتن fib و دیگری توسط کنسرسیوم صنعتی با همکاری کمیته ۳۶۵ ACI و دو مدل قطعی داخلی که یکی توسط مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر با همکاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و دیگری توسط انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران ارائه شده است.

مدل‌ها بر اساس آزمایش بر روی سازه‌های بتنی ساخته شده در بندر امام خمینی مورد بررسی قرار گرفته است و دقت و صحت نتایج ارائه شده توسط مدل‌ها بر اساس نتایج بدست آمده از پروفیل یون کلریدهای اخذ شده از سازه‌ها و دیگر آزمایش‌های صورت گرفته بر روی بتن سازه تعیین شده است.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق:

در مدل‌های BHRC و DuraPGulf عدم تطابق بین نتایج حاصل از مدل‌ها و آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سازه‌ها مشاهده می‌گردد. به نظر می‌رسد مدل BHRC در شرایط جزر و مدی تخمینی کمتر از

Archive of SID
www.SID.ir

واقعیت برای عمر مفید بتن سازه ارائه می‌دهد و از طرفی به نظر می‌رسد مدل DuraPGulf به علت تخمین نامناسب برای میزان کلرید سطحی، تخمینی بیش از واقعیت برای عمر مفید سازه ارائه می‌دهد. در این باب می‌توان به این امر اشاره نمود که این دو مدل بر اساس نتایج آزمایش در شرایط محیطی بندرعباس کالیبره شده‌اند در حالی که سازه‌های مورد بررسی در ناحیه خور موسی (بندر امام خمینی) واقع شده است. این امر نشانگر نیاز به تحقیقات بیشتر بر روی تئوری مدل‌ها و انجام آزمایش‌ها گسترده در این زمینه در نواحی خلیج‌فارس می‌باشد.

در مدل‌های fib و Life-365 نیز همانگونه که انتظار می‌رود عدم تطابق بین نتایج مدل‌ها و آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که علت اصلی این امر عدم تطابق شرایط محیطی خلیج فارس با شرایطی که مدل‌ها در آن کالیبره شده اند می‌باشد. در عین حال در این مدل-ها مشاهده می‌شود که در برخی موارد نتایج نزدیک واقعیت ارائه شده است که دو علت مهم را در مقام مقایسه با مدل‌های داخلی می‌توان عنوان نمود. علت اول توانایی‌های انکار ناپذیر این مدل‌ها در امر مدل-سازی و در نظر گرفتن شرایط بتن می‌باشد که در مدل fib با نگرش تحلیل احتمالاتی و در نظر گرفتن بازه‌ای از حالات ممکن به جای یک عدد ثابت و در مدل Life-365 با در نظر گرفتن المان های دوبعدی و تحلیل دو بعدی پدیده انتشار یون کلرید به درون بتن باعث شده‌اند که نتایج گاهاً نزدیک به واقعیت ارائه گردد و البته از طرف دیگر توجه به این نکته نیز بسیار مهم است که به علت نداشتن پیش‌فرض میزان یون کلرید سطحی در مدل‌های خارجی، نتایج میزان یون کلرید سطحی واقعی بدست آمده از آزمایش‌ها در مدل-ها به عنوان پارامتر ورودی اعمال شده ولی برای مدل-های داخلی از پیش‌فرض های خود مدل‌ها استفاده شده است که چه بسا اگر نتایج کلرید سطحی واقعی در مدل DuraPGulf اعمال می‌گشت، نتایج بسیار به واقعیت نزدیک بود.

در نهایت به نظر می‌رسد که تخمین عمر مفید خدمت رسانی و برنامه ریزی برای تعمیرات و نگهداری سازه-های بتنی در شرایط محیطی دریایی به کمک هیچ یک از مدل‌ها به تنهایی، به طور کامل امکان پذیر نبوده و این امر با تحلیل مدل‌ها در کنار یکدیگر و با دیدگاه مهندسی و دوام و با نگرش احتمالاتی و انجام آزمایش-های دوره‌ای بر روی سازه (برای برنامه ریزی های تعمیرات و نگهدرای) امکان پذیر گردد ولی باز هم نه به طور کامل، زیرا هیچ قطعیتی در رفتار ناشناخته بتن وجود ندارد.

۹- قدردانی

از شرکت مشاور تدبیر ساحل پارس مخصوصاً جناب مهندس طاحونی و جناب مهندس شاکری‌نیا در بخش مهندسی عمران سازمان بنادر و دریانوردی به علت هماهنگی و فراهم نمودن امکانات اخذ نمونه و همکاران در مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر سپاسگزاری می‌گردد.

۱۰- کلید واژگان

1-Threshold Value
2-Passive Film
3-Rapid Migration Test (NT-Build 492)
4-Convection Zone
5-Surface Resistivity using Wenner Method
6-Cover Meter
7-RCMT (Rapid Chloride Migration Test)
8-RCPT (Rapid Chloride Permeability Test)
9-Monte Carlo Simulation Method

۱۱- مراجع

1-Vidal, T., Castel, A. and François, R., (2005), Corrosion Process and Structural Performance of a 17 Year Old Reinforced Concrete Beam Stored in Chloride Environment, Journal of Cement and Concrete Research, vol. 35, p.226–232.
2-Ramezanianpour, A.A., Pourkhorshidi, A.R., (2004), Iranian Code for Durable Concrete in Persian Gulf and Omman Sea, Building Engineering and Housing Science Journals, Vol.2, No.4. (In Persian)
3-Ramezanianpour, A.A., Miyamoto, A., (2000), Durability of Concrete Structures in the Persian Gulf, Concrete Journal of JCI, Japan, Vol.38, No.3.

www.SID.ir
Archive of SID

4-Nilsson, L.O., (2009), Models for Chloride Ingress into Concrete – from Collepardi to Today, International Journal of Modeling, Identification and Control , Vol.7, No.2, p. 129 - 134.
5-The International Federation for Structural concrete (fib), (2006), Model Code for Service Life Design, Bulletin 34.
6- Life-365., (2009), Service-Life Prediction Model, Version 2.0.1, "www.life-365.org",.
7-Ashrafi, H.R., Ramezanianpour, A.A., (2007), Service Life Prediction of Silica Fume Concretes, International Journal of Civil Engineering, Iran, Vol.5, No.3.
8-Shekarchi, M. et al, (2008), DuraPGulf, A Local Service Life Model For The Durability Of Concrete Structures In The South Of Iran, The Arabian Journal for Science and Engineering, Vol.33, p. 77-88
9-NordTest, (1999), NT Build 492: Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, NordTest Register
10-ASTM C114-00, Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards; Vol. 04.01.
11-FM 5-578, (2004), Florida Method of Test for Concrete Resistivity as an Electrical Indicator of its Permeability.
12-Liu, J.S., (2001), Monte Carlo Strategies in Scientific Computing, Department of statistics, Harvard University.
13-Robert, C., (2009), Monte Carlo Methods in Statistics, University Paris Dauphine and CREST, INSEE.
14-Poulsen, E., Mejlbro, L., (2005), Diffusion of Chloride in Concrete, Taylor & Francis; London and New York.
15-Ramezanianpour, A.A., Jahangiri, E., Moodi, F. and Ahmadi, B., (2012), Evaluation and Modification of the fib Service-Life Design Model for the Persian Gulf Region, Proceeding of fib symposium, Sweden, Stockholm.

Archive of SID

www.SID.ir