available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۵ (۱۳۹۰)، ۳۲۴-۳۱۵

کاربرد منطق فازی جهت پیشگویی اثر نوع و مقدار رنگدانه بر مقاومت فشاری بتن

محمود نادری[1*]، اویس قدوسیان[2]، حسین ملائی دهشالی[3]
۱- دانشیار، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران، صندوق پستی: ۳۴۱۴۹-۱۶۸۱۸
۲- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران، صندوق پستی: ۳۴۱۴۹-۱۶۸۱۸
۳- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران، صندوق پستی: ۴۶۶-۱۹۵۸۵
تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

چکیده

بتن به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی نزدیک به دو قرن است که در صنعت راه و ساختمان استفاده می‌گردد. ساخت بتن رنگی نیز در دهه اخیر از طرح‌های نوین تحقیقاتی در سطح جهان به شمار می‌آید. در صنعت تولید بتن رنگی، استفاده از رنگدانه‌های معدنی یک روش جهت رنگی نمودن کامل بتن می‌باشد که امروزه اهمیت ویژه‌ای یافته است، زیرا توسط رنگدانه‌های معدنی به دامنه وسیعی از رنگ‌ها می‌توان دست یافت و بتن ساخته شده دارای خواص مطلوبی از جمله مقاومت و دوام می‌باشد. هدف این مقاله، بررسی تأثیر رنگدانه‌های معدنی بر مقاومت فشاری بتن رنگی ساخته شده با رنگدانه‌های معدنی و پیش‌بینی نتایج با استفاده از منطق فازی می‌باشد. برای این منظور نمونه‌های بتنی معمولی (شاهد) و رنگی با درصدهای مختلف رنگدانه‌ها ساخته شد و با استفاده از آزمایش فشاری استاندارد، میزان تأثیر رنگدانه‌ها بر مقاومت فشاری بتن و نیز درصد بهینه میزان رنگدانه برای رنگ‌های مختلف مشخص گردید. سپس با استفاده از سیستم استنتاج فازی و همچنین تحلیل رگرسیون خطی و غیر خطی، مقادیر این تأثیرات پیش‌بینی، و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی و غیر خطی، مدل فازی جواب‌های بسیار نزدیک‌تری به نتایج حاصل از آزمایش‌ها ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه، مقاومت فشاری، بتن رنگی، منطق فازی.

Effects of Type and Dosage of Pigment on the Concrete Compressive Strength and Its Prediction by the Fuzzy Logic

M. Naderi[*1], O. Qodousian[1], H. Mollayi Dehshali[2]
[1] Department of Engineering, Imam Khomeini International University, P.O. Box: 34149-16818, Qazvin, Iran
[2] Department of Engineering, Takestan Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 19585-466, Takestan, Iran
Received: 05-01-2011 Accepted: 23-06-2011 Available online: 10-03-2012

Abstract

Concrete is one of the most frequently used construction material that is used in civil engineering industry for two centuries. Production of colored concrete is also has become a new research topic in recent decades. In the production of the colored concrete, the use of mineral pigments is a method by which fully colored concrete can be obtained because by using mineral pigments it is possible to produce vast variety of colored concrete with desirable strength and durability. The aim of this paper is to study the effects of the pigments on the compressive strength of concretes produced by mineral pigments and to predict the results by Fuzzy inference system. To do so, ordinary and colored concrete specimens were made by adding different percentages of different pigments and were tested using standard compression testing and the effects of pigments on the compressive strength and the optimum percentage of the pigments were obtained. Then having tested the specimens, Fuzzy inference system as well as linear and non-linear regression analysis were used to predict these effectcs and the results were compared with the laboratory results. The obtained results show that in comparison with linear and non-linear regression models, the Fuzzy inference system predicts results more similar to the laboratory results. J. Color Sci. Tech. 5(2012), 315-324© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Pigment, Compressive strength, Colored concrete, Fuzzy logic.

***Corresponding author: Naderi-m@ikiu.ac.ir**

Archive of SID
www.SID.ir

۱ـ مقدمه

بتن رنگی در دهه اخیر از طرح‌های نوین تحقیقاتی در سطح جهان به شمار می‌آید ساخت آسان بتن رنگی و کاربردهای متنوع این ماده رنگی برای استفاده کنندگان بسیار حائز اهمیت بوده و وسعت بکارگیری آن را روشن می‌سازد [۳-۱].

بتن‌های رنگی به طور معمول برای جایگزینی سنگ‌های طبیعی رنگی بوده‌اند و جایگزینی آن، توجیه اقتصادی نیز داشته است زیرا برش سنگ‌ها، هزینه دستگاه‌ها و اندازه‌های مورد دلخواه، بار مالی فراوانی داشته و از طرفی از نظر طراحی و انعطاف‌پذیری در بافت رنگ و کیفیت رنگ، در بتن شرایط ایده‌آل‌تر و ساده‌تری وجود داشته است. از بتن‌های رنگی حاوی رنگدانه‌های روشن در مناطق آفتابی برای منعکس کردن نور خورشید و برای مناطق برفی و خنک از رنگدانه‌های تیره به منظور جذب گرما در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است. در محیط‌های مختلف مثل باغ وحش، پارک‌ها، استخرهای شنا، سواحل، اسکله‌ها، میدان گلف، بنادر، مناظر، میدان تنیس، چشم‌اندازها، کاشی بام، صنایع نظامی (جهت استتار و اختفاء) و مناطق آب و هوایی خشن استفاده می‌گردد. همچنین برای افزایش عمر بتن‌هایی که در معرض هوازدگی شدید بوده و فرسودگی زیادی را داشته اند از رنگ‌های سیاه برای این کار استفاده شده است که بهترین نتیجه را نیز به همراه داشته است. البته این رنگ‌ها به صورت رنگ‌های شیمیایی مایع بوده‌اند.

در بین روش‌های موجود رنگ‌کردن بتن، استفاده از رنگدانه‌های معدنی[1] یکی از روش‌هایی است که امروزه جهت رنگ کردن کلی بتن استفاده می‌گردد. به طور کلی رنگدانه‌های معدنی استفاده‌های فراوانی در صنایع مختلف دارند [۴]. روش تولید بتن رنگی اساسا تفاوتی با تولید بتن معمولی ندارد و رنگدانه به آسانی به مخلوط اضافه می‌گردد. البته باید موارد قید شده در آیین‌نامه‌های ASTM C494، AASHTO M194 ، ACI 303.1 ، و ASTM C979 رعایت گردند [۸-۵].

همچنین در بیشتر موارد، بتن رنگی مشابه بتن غیررنگی با استفاده از ابزارآلات و روش‌های یکسان ساخته می‌شود. در فرآیند رنگ‌کردن بتن با استفاده از رنگدانه‌ها، باید میلیون‌ها ذره ریز رنگی وجود داشته باشند، تا به طور یکنواخت، توسط مخلوط‌کردن در سرتاسر خمیر سیمان پخش گردند. در این حالت چشم انسان قادر به تشخیص دانه‌های رنگی نمی‌باشد و تنها نتیجه فرآیند را به صورت یک رنگ خاص یکنواخت سفید، قهوه‌ای، سبز، زرد، قرمز، سیاه، آبی و یا غیره می‌بیند. بهترین رنگدانه‌ها، رنگدانه‌های خانواده آهن هستند که به طور طبیعی و مصنوعی قابل دسترس می‌باشند. با استفاده از این رنگدانه‌ها می‌توان رنگ‌های اصلی قرمز، نارنجی، قهوه‌ای، زرد و سیاه را تولید کرد. رنگدانه‌های معدنی دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند دامنه رنگ‌های بتن رنگی را گسترده‌تر کنند. این رنگدانه‌ها عبارتند از: اکسیدهای کرم، کبالت، اکسید تیتانیم، کربن بلک و غیره که رنگ‌های مختلف سبز، آبی، سفید و سیاه را تولید می‌کنند. البته در ارتباط با مواد رنگی، اکسید تیتانیم مصارف دیگری نیز دارد [۹].

معمولا لازمه یک بتن سخت‌شده، داشتن مقاومت فشاری کافی و رضایت‌بخش است. مقاومت فشاری فقط بدین منظور انتخاب نمی‌شود که بتن بتواند یک تنش فشاری معین را تحمل کند، بلکه به دلیل بسیاری از دیگر خواص مطلوب بتن، متناسب با مقاومت فشاری آن می‌باشد و در کل، مقاومت فشاری را به عنوان یک شاخص از کیفیت کلی بتن به کار می‌برند.

تئوری مجموعه‌های فازی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی عسکرزاده پایه‌گذاری شد. پس از چند سال و در اوایل دهه هفتاد، با مطرح شدن منطق فازی، اولین کاربردهای این تئوری در علوم مهندسی ارائه گردید. از آن زمان به بعد شاهد گسترش روزافزون جنبه‌های تئوری و عملی آن توسط دانشمندان علوم مختلف بوده‌ایم به طوری که امروزه تقریبا در تمام عرصه‌های صنعت و دانش، از این تئوری استفاده می‌گردد. مهم‌ترین ویژگی منطق فازی در مقایسه با منطق کلاسیک این است که دانش و تجربه بشر را می‌تواند در قابل روابط ریاضی بیان نماید. این مهم باعث گردیده است که مسایل موجود در دنیای واقعی را به خوبی بتوان با استفاده از آن مدل‌سازی نمود [۱۴-۱۰].

سیستم استنتاج فازی[2] (FIS) براساس قواعد اگر- آن‌گاه بنا نهاده شده است، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین تعدادی متغیر ورودی و خروجی را به دست آورد. بنابراین از FIS می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی برای شرایطی که داده‌های ورودی و/یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند استفاده نمود؛ چرا که در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند. برای توسعه سیستم استنتاج فازی از عملگرهای استلزام فازی و ترکیب روابط فازی استفاده می‌گردد [۱۰].

با عنایت به توسعه روزافزون کاربرد بتن‌های رنگی از یک طرف و عدم وجود اطلاعات در خصوص مقاومت فشاری این نوع بتن‌ها از طرف دیگر، تحقیقاتی برای بررسی مقاومت فشاری بتن‌های رنگی با توجه به نوع و درصد رنگدانه‌های به کار گرفته شده در تولید این بتن‌ها تعریف گردید که نتایج این تحقیقات در این مقاله ارائه شده است. همچنین از منطق فازی برای پیشگوئی اثر نوع و مقدار رنگدانه بر مقاومت فشاری بتن و مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج تحلیل رگرسیون در این مقاله ارائه شده است که تاکنون گزارش نشده است.

1- Pigments

2- Fuzzy Inference System

Archive of SID
www.SID.ir

۲ـ روش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

برای ساخت بتن‌های رنگی رنگدانه‌های قرمز، سبز، زرد و قهوه ای با جایگزینی ۳، ۵، ۷ و ۹ درصد وزنی سیمان با رنگدانه و عدم تغییر در سایر مصالح استفاده گردید. همچنین یک نمونه شاهد بدون به کارگیری رنگدانه نیز برای مقایسه ساخته شد. برای تهیه بتن‌ها از شن موجود در شرکت ماسه‌شویی قسم واقع در استان قزوین و از ماسه شرکت کردان استفاده شد. سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند تیپ دو آبیک و آب به کار رفته در بتن، آب معدنی دماوند می‌باشد. در جدول ۱ دانه‌بندی ماسه مورد استفاده و در جدول ۲ دانه‌بندی شن به کار رفته در ساخت نمونه‌های بتنی ارائه شده است. در جدول ۳ نیز طرح اختلاط بتن‌های رنگی و شاهد برای یک متر مکعب بتن آورده شده است. مشخصات رنگدانه‌های مصرفی در جدول ۴ ارائه گردیده است.

۲ـ۲ـ روش کار

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، پس از ساخت نمونه‌ها در قالب‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری و عمل‌آوری آنها در آب به مدت ۲۸ روز، مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از جک بتن شکن ۲۰۰ تنی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. تهیه نمونه‌ها و انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری آنها بر اساس استاندارد BS 1881 [۱۵] صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که برای هر طرح اختلاط (مقاومت طراحی شده) سه نمونه مکعبی مورد آزمایش فشاری استاندارد قرارگرفته و بررسی‌ها با در نظر گرفتن معدل قرائت‌های به دست آمده ارائه گردیده است.

جدول ۱: دانه‌بندی ماسه به کار گرفته شده.

ردیف	اندازه الک (mm)	انباشته عبورکرده از الک (٪)
۱	۹,۵	۱۰۰
۲	۴,۷۵	۹۰
۳	۲,۳۶	۶۳,۵
۴	۱,۱۸	۳۸,۴
۵	۰,۶۰	۲۵,۵
۶	۰,۳۰	۱۴,۵
۷	۰,۱۵	۳
۸	زیر الک	۰

جدول ۲: دانه‌بندی شن به کار گرفته شده.

ردیف	اندازه الک (mm)	انباشته عبورکرده از الک (٪)
۱	۲۵,۰۰	۱۰۰
۲	۱۹,۰۰	۱۰۰
۳	۱۲,۵۰	۱۰۰
۴	۹,۵۰	۱۰۰
۵	۴,۷۵	۳۰
۶	۲,۳۶	۳
۷	۱,۱۸	۰
۸	زیر الک	۰

جدول ۳: طرح اختلاط نمونه‌های شاهد و رنگی برای یک متر مکعب بتن.

نمونه	نسبت آب به سیمان	آب (kg)	سیمان (kg)	شن (kg)	ماسه (kg)	رنگدانه (kg)
شاهد	۰,۴۲	۲۲۵	۵۳۵	۶۷۰	۹۲۵	۰
٪ ۳	۰,۴۲	۲۲۵	۵۱۷	۶۷۰	۹۲۵	۱۷,۶۱
٪ ۵	۰,۴۲	۲۲۵	۵۰۸	۶۷۰	۹۲۵	۲۷
٪ ۷	۰,۴۲	۲۲۵	۴۹۸	۶۷۰	۹۲۵	۳۷
٪ ۹	۰,۴۲	۲۲۵	۴۸۷	۶۷۰	۹۲۵	۴۸

جدول ۴: مشخصات و عناصر اصلی تشکیل‌دهنده رنگدانه‌های مختلف.

نوع رنگدانه	اکسیدآهن ٪	اکسیدسیلیسیم ٪	اکسیدکروم ٪	جرم حجمی(gr/cm^3)	pH	رطوبت ٪	شکل ذره
زرد	۸۶<	۰,۱	ـ	۴,۱	۴,۵	۱>	نوک تیز
سبز	۵۰-۵	ـ	۷۵-۲۵	۴,۹	۷-۵	۱,۵>	گرد
قرمز	۹۶	۱	ـ	۴,۸	۷-۳	۱>	گرد
قهوه‌ای	۸۵	ـ	ـ	۴,۲	۶-۵	۰,۵>	ترکیبی

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱: آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین مقاومت فشاری آن‌ها.

۱-آماده نمودن قالب‌ها، ۲و۳- الک نمودن و توزین سنگدانه و سیمان، ۴- آماده نمودن مقدار رنگدانه، ۵- آماده نمودن بتن تر، ۶- ریختن بتن تر به درون قالب‌ها، ۷- قالب‌های آماده باز شدن، ۸- عمل آوری نمونه‌ها، ۹- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها.

تصویر رنگی در نشانی www.jest.icrc.ac.ir قابل دسترس است

۳ـ نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی رنگی و شاهد به همراه ضرایب تغییرات مربوط به قرائت‌های صورت گرفته در جدول ۵ نشان داده شده است.

بررسی ضرایب تغییرات مندرج در جدول ۵، حاکی از قابل قبول بودن استانداردهای لازم رعایت شده برای تهیه و آزمایش فشاری نمونه‌ها می‌باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵، در مقایسه با مقاومت بتن شاهد (غیر رنگی) بررسی مقاومت‌های مربوط به بتن‌های رنگی تولید شده با استفاده از رنگدانه‌های زرد نشان می‌دهد که افزودن رنگدانه‌های زرد با درصدهای ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب باعث کاهش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۸،۵، ۷،۷، ۱۰ و ۱۳ درصد می‌گردد. نکته قابل تأمل این است که علیرغم کاهش مقاومت فشاری بتن دارای ۹ درصد رنگدانه زرد، مشاهده می‌شود که نمی‌توان شدت کاهش مقاومت را به طور مستقیم به افزایش درصد رنگدانه نسبت داد چون بتن‌های دارای درصد رنگدانه‌های ۳، ۵ و ۷ چنین روندی را نشان نمی‌دهند.

همان‌گونه که در جدول ۵ نشان داده شده است، در ارتباط با رنگدانه‌های سبز نیز این مقوله صحت دارد. چون افزودن رنگدانه‌های سبز به مقدار ۳، ۵ و ۷، درصد تأثیر نسبتا یکسانی را بر کاهش مقاومت فشاری بتن از خود نشان داده درحالی که افزایش رنگدانه به میزان ۹ درصد کاهش مقاومت فشاری کمتری به بار آورده است. با این حال باید در نظر داشت در مقایسه با رنگدانه‌های زرد، تأثیر کاهشی رنگدانه‌های سبز بر مقاومت فشاری بتن بیشتر بوده است چون افزودن رنگدانه‌های سبز به مقدار ۳، ۵، ۷ و ۹ درصد، به ترتیب باعث کاهش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۲۶،۹، ۲۶،۶، ۲۴،۹ و ۱۴ درصد گردیده‌اند.

Archive

www.SID.ir

جدول ۵: مقاومت‌های فشاری بتن‌های رنگی و بتن شاهد.

مشخصات نمونه‌ها	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	متوسط (مگاپاسکال)	C.V ٪
شاهد	۵۳,۶۲ ۵۳,۴۸ ۵۳,۳۴	۵۳,۴۸	۰,۲
زرد ۳ درصد	۴۸,۸ ۴۹,۷ ۴۸,۳	۴۸,۹۳	۱,۴
زرد ۵ درصد	۴۹,۷۴ ۴۹,۲۹ ۴۹,۰۵	۴۹,۳۶	۰,۷
زرد ۷ درصد	۴۸,۷۵ ۴۷,۲۰ ۴۸,۶۱	۴۸,۱۹	۱,۸
زرد ۹ درصد	۴۶,۵۹ ۴۶,۵۴ ۴۶,۵۵	۴۶,۵۶	۰,۰
سبز ۳ درصد	۳۹,۴۹ ۳۸,۶۴ ۳۹,۱۳	۳۹,۰۹	۱,۱
سبز ۵ درصد	۳۷,۵۴ ۴۰,۱۴ ۴۰,۰۲	۳۹,۲۳	۳,۷
سبز ۷ درصد	۳۹,۱۷ ۴۰,۰۶ ۴۱,۳۴	۴۰,۱۹	۲,۷
سبز ۹ درصد	۴۵,۵۱ ۴۶,۷۸ ۴۵,۵۷	۴۵,۹۵	۱,۶
قرمز ۳ درصد	۵۱,۱ ۴۹,۵۷ ۴۹,۳۸	۵۰,۰۲	۱,۹
قرمز ۵ درصد	۴۴,۹۹ ۴۵,۷۰ ۴۵,۸۶	۴۵,۵۲	۱
قرمز ۷ درصد	۴۳,۶۱ ۴۵,۷۰ ۴۷,۱۴	۴۵,۴۸	۳,۹
قرمز ۹ درصد	۴۰,۵۷ ۴۲,۹۴ ۴۲,۲۱	۴۱,۹۱	۲,۹

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: ادامه.

مشخصات نمونه‌ها	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	متوسط (مگاپاسکال)	C.V ٪
قهوه‌ای ۳ درصد	۴۸,۱۹ ۴۷,۹۱ ۵۰,۶۷	۴۸,۹۲	۳,۱
قهوه‌ای ۵ درصد	۴۵,۴۶ ۴۶,۹۸ ۴۷,۶۶	۴۶,۷۰	۲,۴
قهوه‌ای ۷ درصد	۴۳,۹۹ ۴۴,۲۷ ۴۶,۶۲	۴۴,۹۶	۳,۲
قهوه‌ای ۹ درصد	۴۲,۰۲ ۴۱,۳۴ ۴۳,۰۴	۴۲,۱۳	۲

بررسی تأثیر رنگدانه‌های قرمز بر مقاومت فشاری بتن‌های قرمز ساخته شده با این رنگدانه‌ها نشان می‌دهد که همان‌گونه که در جدول ۵ نشان داده شده است، افزودن رنگدانه‌های قرمز به مقدار ۳، ۵، ۷، و ۹ درصد به بتن به ترتیب باعث کاهش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۶,۵، ۱۴,۹، ۱۵ و ۲۱,۶ درصد می‌باشد. شاید بتوان گفت که در محدوده آزمایش‌های انجام شده، افزایش درصد رنگدانه‌های قرمز در بتن، باعث شدت کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.

بررسی نتایج مربوط به رنگدانه‌های قهوه‌ای که در جدول ۵ ارائه گردیده است، بیانگر آنست که افزایش ۳، ۵، ۷ و ۹درصد رنگدانه قهوه‌ای به بتن باعث کاهش مقاومت بتن رنگی ساخته شده، به میزان تقریبی ۸,۵، ۱۲,۷، ۱۵,۹ و ۲۱,۲ درصد کاهش می‌دهد.

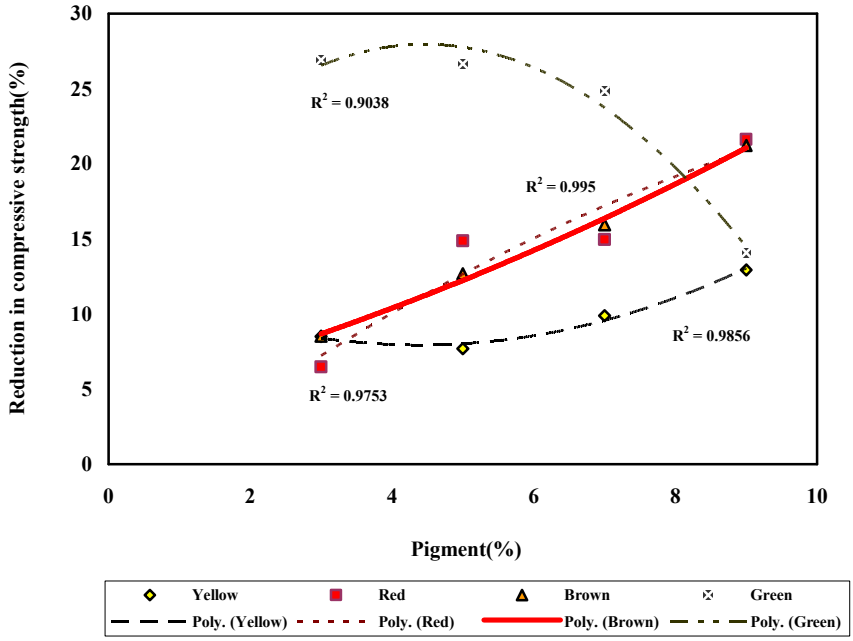
مقایسه مقاومت فشاری نمونه بتن شاهد به مقدار ۵۳,۴۸ مگاپاسکال با دیگر نتایج مندرج در این جدول بیانگر آن است که بدون استثنا، افزودن رنگدانه‌ها باعث کاهش مقاومت فشاری بتن‌های رنگی نسبت به بتن شاهد گردیده است. حد اکثر این کاهش متعلق به بتن با ۳ درصد رنگدانه سبز می‌باشد که منجر به تولید بتنی با مقاومت فشاری ۳۹,۰۹ مگاپاسکال، با کاهش مقاومت ۲۶,۹ درصدی، گردیده است. با توجه به مقدار درصدهای عناصر اصلی رنگدانه‌ها که در جدول ۴ مندرج است، شاید بتوان کاهش زیاد مقاومت بتن‌های سبز حاصله را به وجود اکسید کرم نسبت داد. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵ و مقایسه کاهش مقاومت‌های اندازه‌گیری شده منسوب به رنگدانه‌های زرد نشان می‌دهد که این رنگدانه‌ها حداقل کاهش مقاومت فشاری بتن را در بین رنگدانه‌ها به وجود آورده است که شاید بتوان این امر را به شکل ذرات این رنگدانه نسبت داد، چون می‌تواند با نفوذ خود به حفره‌های خالی موجود در بتن باعث افزایش مقاومت گردد. همان گونه که از نتایج مندرج در جدول ۵ پیداست، حداقل کاهش مقاومت به دلیل افزودن رنگدانه‌ها، متعلق به بتن حاوی ۳ درصد رنگدانه قرمز می‌باشد که بتنی با مقاومت فشاری ۵۰,۰۲ مگاپاسکال تولید نموده است. همچنین مقایسه اجمالی نتایج مندرج در جدول ۵ بیانگر آن است که افزودن رنگدانه‌های سبز، بیشترین کاهش را در مقاومت‌های اندازه‌گیری شده به وجود آورده‌اند. البته این روند در مورد دیگر رنگدانه‌ها صادق نمی‌باشد، چون به طور کلی افزایش درصد دیگر رنگدانه‌ها، باعث کاهش بیشتر مقاومت‌های فشاری گردیده است.

۳ـ۱ـ تحلیل آماری و فازی

با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18، تحلیل رگرسیون خطی و غیر خطی و با استفاده از نرم افزار MATLAB R2010a تحلیل فازی بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها انجام و تأثیر رنگدانه‌های مختلف و مقدار آنها بر کاهش مقاومت فشاری بتن پیش‌بینی شد.

در نمودار نشان داده شده درشکل ۲ ارتباط درصد افزایش هر یک از رنگدانه‌ها با درصد کاهش مقاومت فشاری بتن آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد رنگدانه زرد کمترین تاثیر منفی را روی مقاومت فشاری بتن گذارده است. در حالی که دو رنگدانه‌ی قرمز و قهوه‌ای اثر نسبتا مشابهی بر روی مقاومت فشاری بتن گذارده‌اند. ضمن اینکه به طور متضاد با دیگر رنگدانه‌ها، با افزایش مقدار رنگدانه سبز به ویژه از ۵ درصد به بعد، مقدار کاهش مقاومت فشاری بتن سیر نزولی داشته و کم می‌شود. به طوری که با وجود آنکه ۳ درصد رنگدانه سبز بالاترین اثر منفی بر مقاومت فشاری را داراست ۹ درصد از این رنگدانه به اندازه کم‌تاثیرترین رنگدانه ـ رنگدانه زرد ـ بر مقاومت فشاری بتن اثر منفی می‌گذارد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲: ارتباط درصد افزایش هر یک از رنگدانه‌ها با درصد کاهش مقاومت فشاری بتن.

برای نشان دادن روند تاثیر هر یک از رنگدانه‌ها بر مقاومت فشاری بتن یک منحنی چند جمله‌ای در هر مورد برازش شده است که انطباق مناسبی را از خود نشان می‌دهد. برای ارائه یک رابطه کلی بین اثر رنگ رنگدانه و درصد مورد استفاده از رنگدانه بر مقاومت فشاری بتن از رگرسیون خطی و چند مدل رگرسیون غیر خطی استفاده شده است. رابطه ارائه شده توسط رگرسیون خطی برای پیش‌بینی درصد کاهش مقاومت فشاری به صورت رابطه ۱ در زیر بیان شده است:

$$R = -3.233 + 4.019(L) + 0.776(N) \quad (۱)$$

همچنین با انتخاب مدل‌های غیر خطی، سه رابطه غیر خطی ۲، ۳ و ۴ نیز برای پیش‌بینی درصد کاهش مقاومت فشاری به دست آمد.

مدل غیر خطی (۱):

$$R = 8.083 + 0.01e^{(0.64L)} + 0.355\,(0.729N) \quad (۲)$$

مدل غیر خطی (۲):

$$\ln R = 0.924 + 0.826 \ln L + 0.427 \ln N \quad (۳)$$

مدل غیر خطی (۳):

$$R = 15.489 + 148.207e^{(-128.715L)} + 178.164e^{(-91.292N)} \quad (۴)$$

در روابط فوق R: درصد کاهش مقاومت فشاری، L: رنگ رنگدانه؛ زرد ۱، قرمز ۲، قهوه‌ای ۳، سبز ۴ و N: مقدار رنگدانه به درصد می‌باشد.

هرگاه بخواهیم بهترین مدل برازش شده را در بین چندین مدل خطی و غیر خطی رگرسیون شناسایی کنیم، یک روش، استفاده از آماره مجذور مربعات خطا (MSE) می‌باشد. این آماره اندازه‌ای برای انحراف مدل برازنده شده از مدل واقعی می‌باشد. با داشتن چندین مدل، این شیوه به قبولی مدلی منجر می‌شود که MSE آن، کمینه باشد. بنابراین با استفاده از مقدار MSE مقایسه‌ای بین مدل رگرسیون خطی و غیر خطی به عمل آورده شده است که نتایج نشان می‌دهد مقدار MSE مدل غیر خطی (۲) به میزان قابل توجهی کمتر از مدل‌های مذکور می‌باشد.

جدول ۶: مقایسه مدل‌های رگرسیون ساخته شده.

مدل	خطی	غیر خطی (۱)	غیر خطی (۲)	غیر خطی (۳)
MSE	۲۵,۳۵۸	۲۹,۷۱۳	۰,۱۰۵	۳,۷۱۹

در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی با رابطه فازی کمینه-بیشینه برای پیش‌بینی نتایج استفاده شده است. برای غیرفازی کردن نتایج نیز از روش مرکز سطح استفاده شده است. همچنین روش استلزام فازی ممدانی به کار گرفته شده است. در شکل‌های ۳ تا ۶ ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم فازی به کارگرفته شده نشان داده شده‌اند.

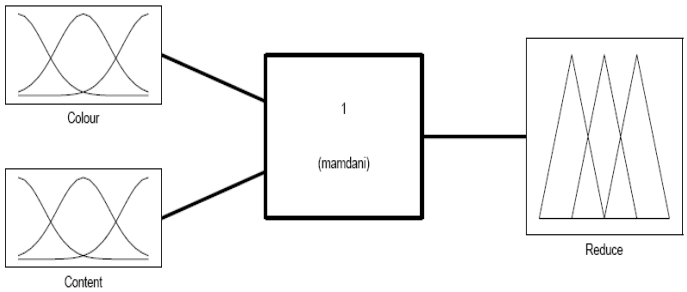
Archive of SID

www.SID.ir

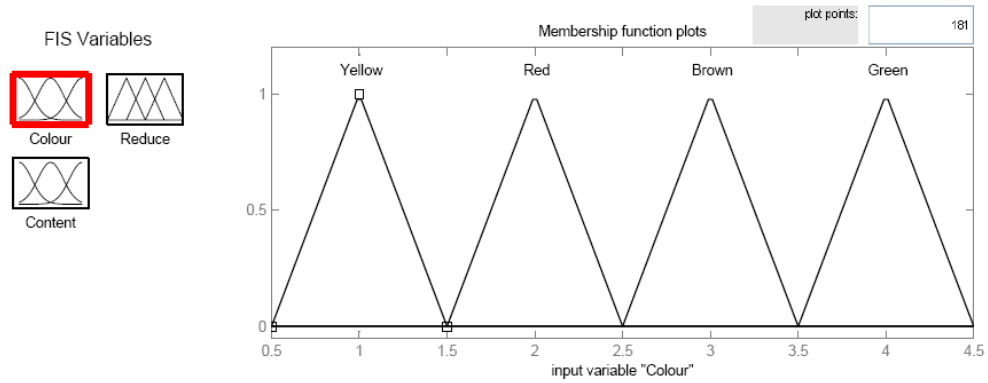
ارتباط بین پیش‌بینی‌های حاصل از سیستم استنتاج فازی طراحی شده و نتایج آزمایشگاهی در نمودار شکل ۷ قابل مشاهده است. همان‌گونه که از این شکل پیداست، ضریب R^2 برابر با ۰,۹۳۲۵، بیانگر رابطه نسبتا قوی بین ضرایب یاد شده می‌باشد که می‌تواند با داشتن یکی، دیگری را با دقت قابل قبولی تخمین زد.

جهت مقایسه هر چه بهتر نتایج به دست آمده از اعمال روش‌های مختلف تحلیلی، در جدول ۷ نتایج حاصل از آزمایش‌ها، پیش‌بینی تحلیل رگرسیون و فازی و مقدار خطای آن‌ها نشان داده شده است.

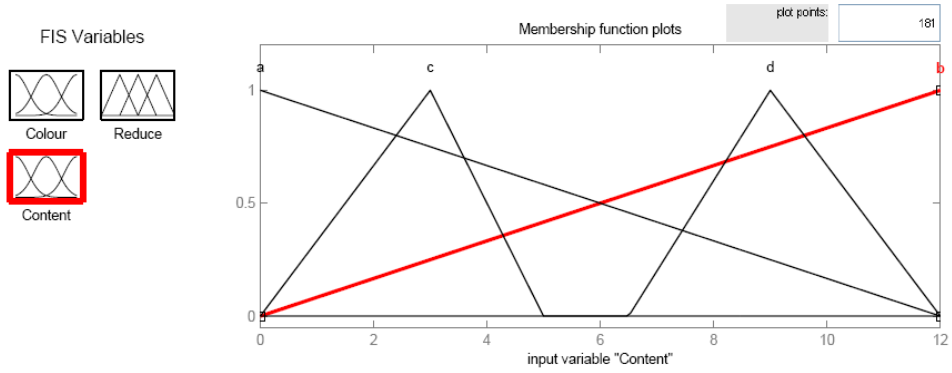
با توجه به نتایج مندرج در این جدول مشاهده می‌شود، که حتی در رگرسیون غیرخطی نیز کاهش درصد مقاومت فشاری بتن با افزایش مقدار رنگدانه‌ی سبز نشان داده نمی‌شود ولی این کاهش در مدل فازی به خوبی قابل مشاهده است. همچنین مقایسه خطاهای منسوب به روش‌های تحلیلی بکار گرفته شده، بیانگر آن است که در اکثر موارد مورد بررسی، خطای حاصل از سیستم استنتاج فازی به طور چشمگیری از خطاهای ثبت شده برای تحلیل رگرسیون غیر خطی کمتر می‌باشد.



شکل ۳: دو ورودی (رنگ و مقدار رنگدانه) و تنها خروجی (درصد کاهش مقاومت فشاری بتن) سیستم استنتاج فازی.

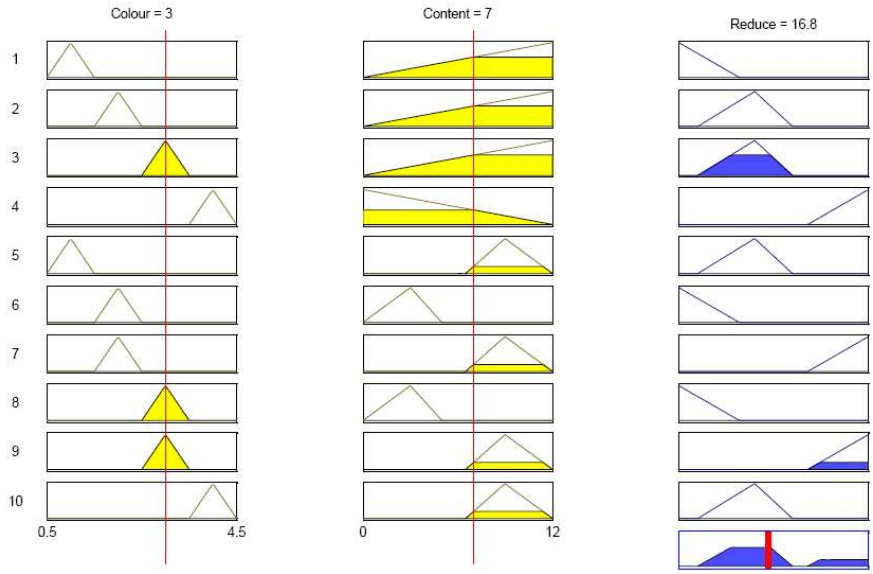


شکل ۴: تابع عضویت رنگ رنگدانه.

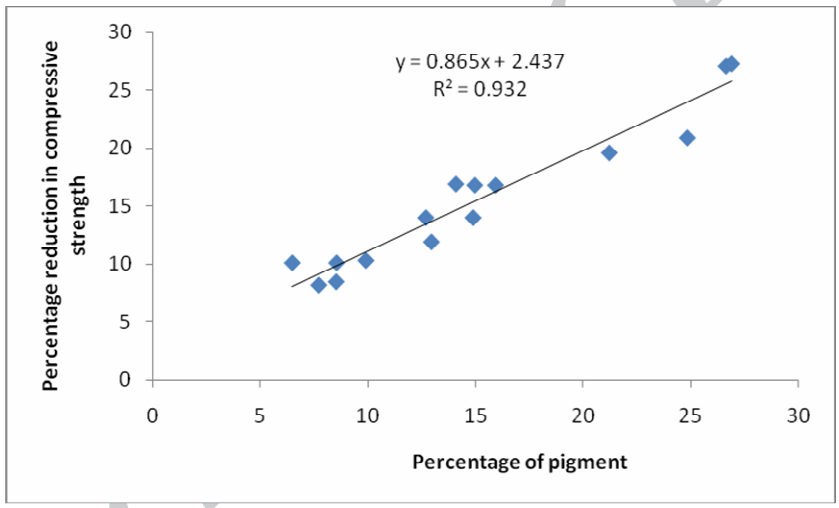


شکل ۵: تابع عضویت مقدار رنگدانه.

www.SID.ir



شکل ۶: استفاده از ده قانون اگر- آنگاه و پیش بینی نتایج.



شکل ۷: ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج پیش‌بینی شده توسط سیستم استنتاج فازی طراحی شده.

جدول ۷: نتایج حاصل از آزمایش‌ها، پیش‌بینی تحلیل رگرسیون و فازی و مقدار خطاها.

رنگ رنگدانه	مقدار رنگدانه (٪)	مقاومت فشاری (MPa)	کاهش مقاومت فشاری بتن (٪)	پیش‌بینی رگرسیون غیرخطی(۲) (٪)	پیش‌بینی سیستم استنتاج فازی (٪)	خطای رگرسیون غیر خطی (۲) (٪)	خطای سیستم استنتاج فازی (٪)
زرد	۳	۴۸,۹۳	۸,۵۱	۷,۱۴	۸,۴۶	۱۶,۰۱	۰,۵۹
زرد	۵	۴۹,۳۶	۷,۷۰	۸,۸۸	۸,۱۷	۱۵,۳۲	۶,۱۰
زرد	۷	۴۸,۱۹	۹,۸۹	۱۰,۲۵	۱۰,۳	۳,۶۴	۴,۱۵
زرد	۹	۴۶,۵۶	۱۲,۹۴	۱۱,۴۱	۱۱,۹	۱۱,۸۲	۸,۰۴
قرمز	۳	۵۰,۰۲	۶,۴۷	۹,۹۸	۱۰,۱	۵۴,۲۵	۵۶,۱۱
قرمز	۵	۴۵,۵۲	۱۴,۸۸	۱۲,۴۱	۱۴	۱۶,۶۰	۵,۹۱
قرمز	۷	۴۵,۴۸	۱۴,۹۶	۱۴,۳۳	۱۶,۸	۴,۲۱	۱۲,۳۰
قرمز	۹	۴۱,۹۱	۲۱,۶۳	۱۵,۹۵	۱۹,۶	۲۶,۲۶	۹,۳۹

www.SID.ir

جدول ۷: ادامه.

رنگ رنگدانه	مقدار رنگدانه (٪)	مقاومت فشاری (MPa)	کاهش مقاومت فشاری بتن (٪)	پیش‌بینی رگرسیون غیرخطی(۲) (٪)	پیش‌بینی سیستم استنتاج فازی (٪)	خطای رگرسیون غیر خطی (۲) (٪)	خطای سیستم استنتاج فازی (٪)
قهوه‌ای	۳	۴۸,۹۲	۸,۵۳	۱۲,۶۶	۱۰,۱	۴۸,۴۲	۱۸,۴۱
قهوه‌ای	۵	۴۶,۷۰	۱۲,۶۸	۱۵,۷۴	۱۴	۲۴,۱۳	۱۰,۴۱
قهوه‌ای	۷	۴۴,۹۶	۱۵,۹۳	۱۸,۷۷	۱۶,۸	۱۷,۸۳	۵,۴۶
قهوه‌ای	۹	۴۲,۱۳	۲۱,۲۲	۲۰,۲۳	۱۹,۶	۴,۶۷	۷,۶۳
سبز	۳	۳۹,۰۹	۲۶,۹۱	۱۵,۲۲	۲۷,۳	۴۳,۴۴	۱,۴۵
سبز	۵	۳۹,۲۳	۲۶,۶۵	۱۸,۹۳	۲۷,۱	۲۸,۹۷	۱,۶۹
سبز	۷	۴۰,۱۹	۲۴,۸۵	۲۱,۸۵	۲۰,۹	۱۲,۰۷	۱۵,۹۰
سبز	۹	۴۵,۹۵	۱۴,۰۸	۲۴,۳۳	۱۶,۹	۷۲,۸۰	۲۰,۰۳

۴ـ نتیجه‌گیری

از مطالعات و نتایج مندرج در این مقاله مشاهده می‌گرد که بیشترین قابلیت رنگی نمودن بتن، به رنگدانه‌های قرمز و قهوه‌ای اختصاص دارد که با جایگزینی ۳ درصد وزنی سیمان، بتنی با رنگ مناسب حاصل شده است. البته درصد بهینه برای تولید بتن رنگی برای رنگدانه‌های زرد، ۵ درصد، سبز ۹ درصد و قرمز نیز ۳ درصد می‌باشد. همچنین پیش‌بینی نتایج با دو روش رگرسیون (خطی و غیرخطی) و منطق فازی، نشان می‌دهد که منطق فازی پیش‌بینی‌های بسیار بهتر و با خطای کمتری نسبت به رگرسیون (خطی و غیر خطی) ارائه می‌دهد. همچنین مشاهده گردید که با افزایش مقدار رنگدانه، رنگدانه قرمز بیشترین تأثیر کاهشی را برروی مقاومت فشاری بتن می‌گذارد. ترتیب شدت اثرگذاری بر مقاومت بتن نیز متعلق به رنگدانه قهوه‌ای، سبز و رنگدانه زرد می‌باشد. بر خلاف رنگدانه‌های دیگر، با افزایش درصد رنگدانه سبز، از تاثیر کاهشی آن بر مقاومت فشاری بتن کاسته می‌شود.

۵ـ مراجع

1. G. Lemaire, G. Escadeillas, E. Ringot, Evaluating concrete surfaces using an image analysis process. *Constr. Build. Mater.* 19(2005), 604-611.
2. D. F. Lin, H. L. Luo, Fading and color changes in colored asphalt quantified by the image analysis method. *Constr.Build. Mater.* 18(2004), 255-261.
3. C. W. Planje, Colored ceramic aggregate for decorative concrete. *J. Am. Ceram. Soc*. 20(1937), 90-96.
4. S. Rasouli, F. Oshani, S. Abdollahi, Use of organic and inorganic pigments for preparation of colored mica. *J. Color Sci. Technol.* 4(2010), 9-15.
5. American Standards for Testing and Materials, ASTM C979 / C979M - 10 Standard specification for pigments for integrally colored concrete.
6. American Standards for Testing and Materials, ASTM C494-10a/C494M-10a Standard specification for chemical admixtures for concrete.
7. American Concrete Institute, ACI 303.1-97, Standard specification for cast-in-place architectural concrete.
8. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO M 194-chemical admixtures for concrete.
9. S. Seifolahzadeh, M. Montazer, Self-cleaning of methylene blue and acid blue 113 on wool/polyester fabric treated with nano titanium oxide under UV irradiation without yellowing. *J. Color Sci. Technol.* 4(2010), 115-123.
10. M Naderi, O. Qodousian, Prediction of in-situ strength of self-compacting concrete and mortars applied to concrete substrate measured using twist-off method, by the fuzzy logic. *International Conference on earthquake and light-weight structures,* Kerman, (2010).
11. M. Naderi, Qodousian, Oveys, Estimation of in-situ bond strength of self-compacting concrete and mortar, using twist off method and fuzzy logic. 3rd *International Conference on Seismic Retrofitting*, Iran, Tabriz, (2010).
12. Fuzzy Logic Toolbox, Matlab Software R2009a .
13. A. Sedat, T. Gokmen, C. Sever, Fuzzy Model for the Prediction of Cement Compressive Strength. *Cem. Concr. Res*. 35(2004), 1429- 1433.
14. M. C. Nataraja, M. A. Jayaram, C. N. Ravikumar, prediction of strength of concrete: a fuzzy inference system model. *Int. J. Phys. Sci.* 1(2006), 047-056.
15. British Standard Institute BS1881, Methods of testing concrete, part 4.

Archive of SID

www.SID.ir