DAM AND TUNNEL CONFERENCE & EXPO همایش و نمایشگاه سد و تونل
ششمین همایش و نمایشگاه سد و تونل ایران
The 6th Dam and Tunnel Conference & Exhibition
16 - 17 February 2021
۲۸-۲۹ بهمن ماه ۱۳۹۹

طرح اختلاط بهینه سنگدانه بتن با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری (مطالعه موردی: کارخانه سگمنت خط۳ قطارشهری مشهد)

محمدمهدی مخملباف ، سید جلیل عراقی

چکیده

با توجه به پیچیدگی رفتار بتن و اینکه یکی از اجزای مهم در پروژه های عمرانی می باشد طرح اختلاط بتن بسیار اهمیت داشته و ارائه یک طرح اختلاط متناسب با شرایط اجرا نیازمند طرحی دقیق و پیچیده است. یکی از خواص مکانیکی بتن، مقاومت فشاری آن است که بسیار تأثیر گذار در طرح اختلاط بتن است. از پرکاربرد ترین روش های بهینه سازی، استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری است که در این مقاله به بررسی و بهینه کردن سنگدانه های طرح اختلاط پرداخته شده و سعی شده است که با الگوریتم ژنتیک(GA) که یکی از این الگوریتم ها می باشد، درصد سنگدانه ها و اختلاط آن ها را تا حد ممکن به نمودار فولر-تامسون نزدیک گردد. مطالعات زیادی در زمینه طرح اختلاط و الگوریتم های بهینه سازی انجام شده است ولی کمتر مطالعه ای به بهینه کردن سنگدانه ها و طرح اختلاط با نمودار دانه بندی فولر-تامسون پرداخته شده است. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بخش Solver در نرم افزار Excel این مسئله حل گردید و سعی شده است که این طرح اختلاط بهینه بیشترین تطابق را با نمودار فولر-تامسون داشته باشد و نسبت به طرح اختلاط های معمول بسیار کارآمد تر و با هزینه بسیار کمتر طرح اختلاط بهینه بدست آید. از این مدل می توان در تمامی آزمایشگاه ها و طرح های اختلاط سنگدانه بتن در پروژه ها استفاده نمود.

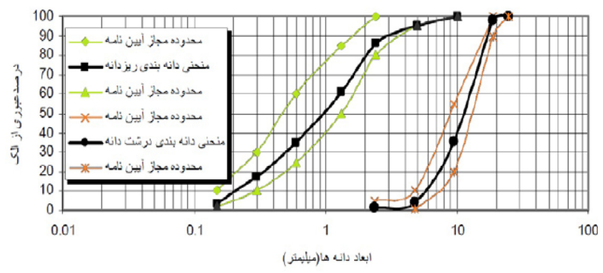
واژه‌های کلیدی: طرح اختلاط بتن ، سنگدانه ، دانه بندی ، فولر-تامسون ، الگوریتم ژنتیک

روش تحقیق

با استفاده از روش های بهینه سازی، مدل سازی این تحقیق صورت گرفته و این مقدار اختلاف دانه بندی را با نمودار اصلی فولر-تامسون به حداقل ممکن رسانیده شده است. روش کار شده، در نرم افزار سالور که از بخش Evolutionary که برگرفته از الگوریتم های فراابتکاری می باشد استفاده شده است. در ادامه در مورد مدل سازی، متغیر ها، توابع هدف و محدودیت ها شرح داده خواهد شد.

متغییره (نسبت هریک از سنگدانه ها)

در این بخش متغیر های مسئله نسبت هر یک از مصالح A، B، C و D بترتیب بادامی، نخودی، ماسه و ماسه بادی که هر کدام دارای دانه بندی متفاوتی هستند که ترکیب این مصالح باعث می شود که دانه بندی مصالح اصلی نیز بدست آیند.



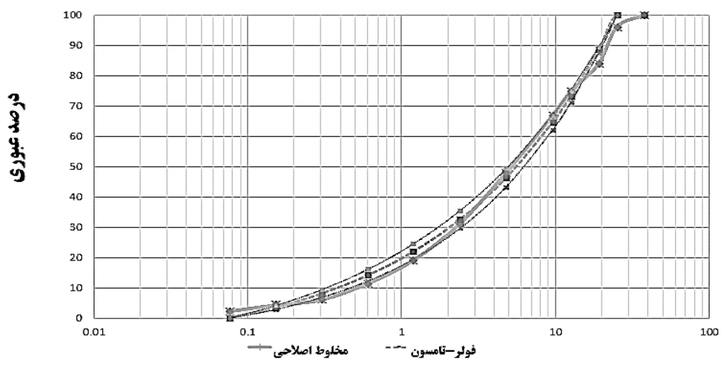
شکل ۱- منحنی دانه بندی سنگدانه، منحنی دانه بندی ماسه در سمت چپ و درشت‌دانه با اندازه ۵۷ در سمت راست دیده می‌شوند. (بر اساس آیین نامه ASTM C33)

تابع هدف

هدف از این مسئله این است که دانه بندی مصالح را تا حد ممکن با نمودار دانه بندی فولر-تامسون منطبق شود. با توجه به اینکه متغیر های تعریف شده در بخش قبلی، تابع هدف مجموع اختلاف مربعات فاصله بین مصالح با نمودار فولر-تامسون است.

$$\sum (d_i - x)^2$$

$$Min(S = \sum d_i)$$



شکل ۲- مقایسه منحنی دانه بندی مصالح با منحنی فولرتامسون

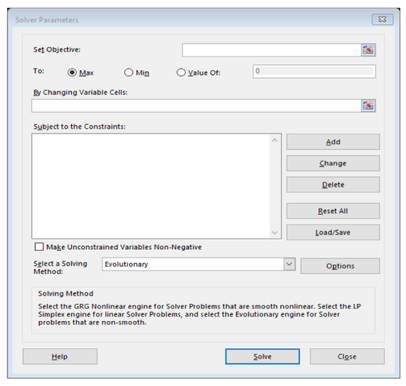
محدودیت ها

طبق بند سوم از استاندارد ملی بتن ایران ۳۰۲، نباید دانه بندی الک نمره ۲۰۰ بیشتر از ۱۵ درصد باشد؛ و دانه بندی باید بنحوی باشد که بیش از ۴۵ درصد وزنی آزمونه بین دو الک متوالی قرار نگیرد.
طبق بند ۶-۲ و ۶-۳ از استاندارد ملی بتن ایران ۳۰۲، مدول نرمی سنگدانه ریز باید بین ۲.۳ و ۳.۱ باشد.
برای محاسبه مدول نرمی هر یک از مصالح از رابطه:

$$\text{مدول نرمی} = \frac{\sum 200 \text{ درصد باقیمانده مصالح روی هر الک بجز الک}}{100}$$

گام به گام طرح اختلاط بتن با استفاده از نرم افزار

گام به گام این نرم افزار مشابه گام به گام راهنمای طرح اختلاط بتن صحبت شده است، در شیت اول دانه بندی های مصالح و درصد هریک از آنها مشخص می گردد. با استفاده از مدل سازی که در بخش گذشته انجام گردید آن را در بخش سالور با استفاده از یک کلید ماکرو بدون اینکه کاربر بخواهد وارد بخش سالور شود مدل سازی انجام می گیرد و با آن ماکرو این مدل سازی اجرا شده و بهینه سازی صورت می گیرد. در شکل ۳ مدل سازی بهینه شده در سالور قابل مشاهده است که این مدل با توجه به حالت ماکرو قابل مشاهده برای کاربران نمی باشد و بصورت خودکار پس از اجرا انجام می گیرد.



شکل۳- محیط بخش Solver در نرم افزار Excel

در بخش سالور همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود تمامی این بخش ها بصورت ماکرو و توسط خود نرم افزار انجام می گیرد و به صورت مختصر این بخش ها شرح داده خواهد شد؛ در ابتدا قسمت تعیین هدف معرفی آن می باشد که همان سلول مربوط به مجموع اختلاف مربعات است و در بخش بعدی حدود آن مشخص می شود که بین انتخاب مینیمم یا وارد کردن مقدار صفر تفاوتی وجود ندارد زیرا تابع هدف به هیچ عنوان منفی نمی شود و در بخش بعدی متغیر ها در آن مشخص می گردد. مدل حل مسئله با توجه به اینکه این روش با استفاده از یک معادله، سه متغیر را حل می کند باید در فضای فراابتکاری باشد.

جمع بندی و نتیجه گیری

هدف از این تحقیق بدست آوردن طرح اختلاط بهینه و نسبت دانه بندی سنگدانه ها بود که این مسئله را با استفاده از سالور و روش های فراابتکاری حل شده است و درصد های بهینه را برای هر دانه بندی متناسب با نیاز های هر مجموعه ای بدست بیاورد؛ روش سالور مدل مناسبی از توابع هدف و محدودیت های آن را در بتن ارائه کرد که از نظر رفتاری بتن نیز توجیح پذیر بود.
خروجی این الگوریتم نشان داد که تا دقت بسیار بالایی نسبت ها را مشخص کند و نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که مقاومت مصالح خروجی از این نرم افزار و استفاده از درصد های آن دارای مقاومت بالایی بوده و علاوه بر آن اسلامپ بسیار خوبی را از خود نشان داده است.
از این نرم افزار در طرح اختلاط مصالح کارخانه سگمنت برای خط ۳ قطار شهری مشهد مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داده بسیار کارآمد و مفید بوده است.

منابع

[1] Fuller and Thompson, The lawsof proportioning concrete, 1907.
[2] مستوفی نژاد و رئیسی, "بررسی تأثیر پودر سنگ آهک بر مقاومت فشاری بتن حاوی میکروسیلیس و بهینه سازی طرح اختلاط با استفاده از منحنی های هم پاسخ," ۱۳۸۳.
[۳] Yoonو et.al, "تناسب اختلاط بتن با کارآیی بالا با استفاده از الگوریتم ژنتیک," ۲۰۰۴.
[۴] حبیبی و صفاری, "طرح اختلاط بتن با استفاده از اصول بهینه سازی و بر اساس نتایج آزمایشگاهی," ۱۳۹۰.
[۵] حبیبی و شهریاری, "توسعه یک روش جدید برای طرح اختلاط بهینه بتن غلتکی," ۱۳۹۲.
[۶] اسماعیل نیا و فریدی, "ساخت بتن خود متراکم بهینه مقاومت بالا با استفاده از روش تاگوچی," ۱۳۹۲.
[۷] دزفولی و پیمان, "مقایسه الگوریتم انجماد تدریجی با الگوریتم ژنتیک در تعیین سطح اختلاط بهینه بتن خود متراکم," ۱۳۹۳.
[۸] یزدانی و همکارانش, "کاربرد روش تاگوچی در بهینه سازی طرح اختلاط بتن سبک نیمه سازه ای ساخته شده با سبکدانه های پومیس," ۱۳۹۵.
[۹] حبیبی و احمدوند, "توسعه یک روش تحلیلی برای بهینه سازی طرح اختلاط بتن خودتراکم با مقاومت بالا حاوی خاکستر بادی," ۱۳۹۶.