

ارائه محدوده باریک برای تعیین نسبت های اختلاط بتن خود تراکم بر اساس بهینه سازی چند معیاره

مصطفی خانزادی

عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران

ساان معتقد *

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، دانشکده مهندسی، گروه عمران

علیرضا اسدیان اردکانی

دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه شبروک، کانادا

چکیده

استفاده از بتن خود متراکم بدلیل مزایای فراوان در سازه‌ها رو به افزایش است. در عملکرد و ایمنی اعضای سازه، خواص بتن سخت شده نقش کلیدی دارد. تعیین میزان بهینه مواد تشکیل دهنده بتن به منظور حصول همزمان بهترین مجموعه از خواص مفید انجام می‌گیرد. هر چه محدوده ارائه شده برای مواد تشکیل دهنده فشرده‌تر باشد، می‌توان با هزینه کمتر و دقت بیشتر به خواص مورد نظر در طرح اختلاط رسید. در این مقاله بر اساس بهینه سازی چند معیاره با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات محدوده‌ای باریک برای طرح اختلاط بتن‌های خود متراکم بر اساس نیازهای تیرهای پیش ساخته - پیش تنیده ارائه شده است. این روش با محدود نمودن بازه مواد انتخابی در محدوده بهینه دقت طرح اختلاط را افزایش و هزینه را کاهش خواهد داد. نتایج این پژوهش کاربرد موفقیت آمیز روش بهینه سازی پارتو را در تسهیل طرح اختلاط بهینه بتن‌های خود متراکم نشان می‌دهد. در این صورت فرایند ارائه طرح اختلاط در مدت زمان کم ممکن خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری، خزش، مدول الاستیسیته، بهینه پارتو، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات.

* نویسنده مسئول: motaghed@bkatu.ac.ir

۱- مقدمه

خرش و جمع شدگی نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد. مجموع این عوامل می‌تواند باعث افت نیروی پیش تنیدگی و در نتیجه زوال ظرفیت و قابلیت سرویس گردد. به منظور کاربرد موفق بتن خود تراکم در اعضای پیش ساخته تنیده عملکرد کلی سازه‌ای و سرویس شامل انحنای تغییر شکل، افت پیش تنیدگی، مقاومت خمشی، طول گیرایی و طول پوشش باید مورد مطالعه قرار گیرد و معادلات پیش بینی خواص و طراحی دقیق استخراج گردد. این معادلات توسط تعدادی از محققین به روش‌های آماری یا روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با استفاده از نتایج آزمایش‌ها داده شده است [۸-۱۲]. بر اساس این معادلات می‌توان بهینه‌سازی نسبت اجزای تشکیل دهنده را برای رسیدن به خواص مطلوب انجام داد.

«ژی» و همکاران روشی تقریباً شهودی را برای یافتن طرح اختلاط بهینه بر اساس نتایج آزمایشات برای بتن با خاکستر بادی فوق پودر مورد استفاده قرار دادند [۱۳]. «پاریپاچا» و همکاران بر اساس بهینه‌سازی تک معیاره با استفاده از الگوریتم ژنتیک هزینه تمام شده بتن را حداقل نمودند. در این مطالعه بهینه‌سازی تنها برای هزینه انجام شده است [۹]. «ناگوچی» و همکاران در سال ۲۰۰۳ بهینه‌یابی چند معیاره بر اساس الگوریتم ژنتیک را در بتن معمولی مورد استفاده قرار داد. نتایج کاربرد موفق روش در ارائه بهینه پارتو را نشان می‌دهد. اما سرعت در برخی موارد نامناسب گزارش شده است [۱۴]. الگوریتم ازدحام ذرات با توجه به سرعت بهتر می‌تواند راه حل مناسبی باشد. الگوریتم ژنتیک توسط تعدادی از محققان برای بهینه‌سازی چند معیاره انواع بتن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۱۵-۱۷]. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات قبلاً توسط محققین در بهینه‌سازی بتن مورد استفاده قرار گرفته است. جیرم و همکاران الگوریتم ازدحام ذرات را برای بهینه‌سازی بتن توانمند مورد استفاده قرار داده اند [۱۸].

در این مقاله با توجه به معادلات حاصل از نتایج آزمایشگاهی تعدادی از تحقیقات انجام شده در این زمینه، با استفاده از بهینه‌سازی چند معیاره بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات و مفهوم بهینه پارتو، روش تعیین محدوده فشرده اجزای تشکیل دهنده برای حصول همزمان خواص بتن خود تراکم سخت شده موثر بر رفتار شاهتیرهای پیش ساخته پیش تنیده، شامل مشخصه‌های خمشی، پیوستگی، تغییرات حجمی و دوام ارائه شده است. همچنین تاثیر تعداد توابع هدف بر نتایج مورد مطالعه قرار گرفته است.

بتن خودتراکم (SCC) برای اولین بار در حدود سال ۱۹۹۰ در ژاپن معرفی شد. بتن خودتراکم بتنی است که روانی بسیار بالا بدون جدایش داشته و برای رسیدن به خواص مطلوب در حالت تازه مانند کارایی و پایداری نیازی به ویبره نداشته باشد [۱]. در کشورهای اروپایی در سال ۱۹۹۶ مؤسسه‌ای در توسعه این بتن برای کاربردهای درجا و پیش ساخته فعال شدند. که حاصل آن تدوین قوانینی در این زمینه بود [۲ و ۳]. با توجه به حساسیت بالای بتن خود تراکم به تغییرات نوع و میزان مواد متشکله و شرایط ساخت و محیطی، مسأله طرح اختلاط در این بتن‌ها اهمیت خاص یافته است. مؤسسه PCI در سال ۲۰۰۳ آیین‌نامه‌ای را در مورد استفاده از بتن خود تراکم در اجزای پیش ساخته- پیش تنیده تدوین نمود [۴]. کمیته ACI ۲۳۷ نیز راهنمایی برای استفاده از بتن خودتراکم منتشر نموده است [۱]. با توجه به عبور پذیری، پر کنندگی و پایداری بتن تازه، استفاده از بتن خودتراکم در اعضای پیش ساخته می‌تواند مزایای بسیار مانند کیفیت پرداخت بهتر، آلودگی صوتی کمتر، کاهش زمان جای‌گذاری، کاهش هزینه نگهداری تجهیزات، نیروی کار کمتر و کیفیت اجرای بالاتر بتن را به همراه داشته باشد. بنابراین مشخص است که خواص بتن تازه در بتن‌های خود تراکم ارجحیت کامل بر بتن‌های معمولی دارد [۵-۷].

در مبحث تیرهای پیش ساخته پیش تنیده خواص بتن سخت شده اهمیت بیشتری دارد. به عنوان مثال در این اعضا مقاومت اولیه بالا مورد نیاز می‌باشد. با بهینه‌سازی نسبت اجزای تشکیل دهنده این بتن شامل افزودنی‌های شیمیایی (همانند مواد فوق کاهنده آب) و معدنی می‌توان روانی بالا، مقاومت در برابر جدایش را با خواص مطلوب بتن سخت شده همراه نمود. بتن خود تراکم معمولاً حجم خمیر بیشتر و درشت‌دانه کمتر در مقایسه با بتن معمولی دارد و به همین علت لازم است خواص بتن سخت شده مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد.

خواص مکانیکی مختلفی مانند مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و مقاومت کششی دو نیم شدن بر عملکرد سازه‌ای شاه تیرهای پل تأثیر دارند. این مشخصه‌ها برای طراحی و تحلیل رفتار مورد نیاز می‌باشند. خمیر بیشتر با کاهش قفل و بست میان سنگ-دانه‌ها مقاومت برشی را می‌کاهد. بعلاوه به علت پتانسیل آب انداختگی مقاومت پیوستگی کاهش می‌یابد. خواص بلند مدت مانند

۲- خواص بتن سخت شده موثر در تیر بتنی پیش ساخته-

پیش تنیده

خواصی از بتن سخت شده که در طرح و عملکرد شاه تیرهای بتنی اهمیت دارند یا نیازهای ایمنی و عملکردی شامل ظرفیت فشاری، خمشی و برشی، خیز و شیب، افت تنش و پیوستگی، و دوام است. ظرفیت فشاری، خمشی و برشی از شرایط محیطی، خواص مواد و عملیات ساخت تاثیر پذیرفته و نیازمند تعیین رفتار وابسته به زمان مانند تغییر شکل دراز مدت و تنش های بهره برداری است. خیز و شیب متاثر از خزش، جمع شدگی، مدول الاستیسیته، توسعه مقاومت فشاری و پیوستگی است. افت تنش پیش تنیدگی بر خیز و شیب تاثیر دارند. دوام تابع نفوذپذیری و انتشار و متاثر از ساختار منافذ می باشد. معمولا میزان شیب و خیز ناشی از نیروهای پیش تنیدگی بیش از شیب و خیز حاصل از خزش ناشی از بارهای ثقیلی می باشد. بعلاوه در تیرهای ساخته شده از بتن خود تراکم به علت مدول الاستیسیته کم و خزش و جمع شدگی زیاد، میزان شیب اولیه بالاست. بتن های خود تراکم به علت ریز دانه بیشتر نفوذپذیری کمتری نسبت به بتن های معمولی دارند. دوام بتن های خود تراکم به نسبت های اختلاط و نوع افزودنی ها حساسیت بالایی دارد. معمولا در بررسی دوام نفوذپذیری، ضریب انتشار و مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن مورد توجه قرار می گیرد.

برای تأمین مشخصه های فوق لازم است خواص بتن خود تراکم شامل خواص مکانیکی، خواص پیوستگی و خزش و جمع شدگی مورد توجه قرار گیرد. البته با توجه به پیچیدگی و پراکندگی نتایج در صورت اعمال همه عوامل، بهتر است عوامل اصلی موثر تعیین و در مدلسازی مورد استفاده قرار گیرد. سایر عوامل با توجه به روابط بین متغیرها تعیین و قرار گرفتن آنها در محدوده مناسب کنترل گردد.

خواص مکانیکی برای پیش بینی رفتار الاستیک و ظرفیت کششی و خمشی مورد استفاده هستند. برای کاربرد موفق بتن خود تراکم در تیرهای پیش ساخته- پیش تنیده طراحی بر اساس نیاز خواص سخت شده الزامی است. مهمترین این خواص شامل مقاومت فشاری، مدول

الاستیسیته و مدول گسیختگی و مقاومت دو نیم شدن است. با استفاده از داده های مقاومت فشاری رفتار اعضا قابل پیش بینی است. مقاومت فشاری به سن بتن، دانه بندی مواد سنگی، شرایط عمل آوری، مواد افزودنی و نسبت مواد تشکیل دهنده و روش آزمایش بستگی دارد. مقاومت اولیه بالا ضامن تأمین مقاومت پیوستگی و ایجاد بستر انتقال نیروی پیش تنیدگی می باشد. مدول الاستیسیته برای بیان رابطه تنش کرنش در محدوده الاستیک تخمین خیز، شیب، افت تنشهای پیش تنیدگی در تیرهای پیش تنیده مورد استفاده قرار می گیرد. مدول الاستیسیته به سختی خمیر سیمان و سنگ دانه ها، تخلخل، خواص ناحیه انتقال، اندازه نمونه و نسبت های اختلاط بستگی دارد. بسیاری از محققین خواص سنگدانه ها را مهمترین عامل بر مدول الاستیسیته می دانند [۱۹-۲۱]. چنانچه مقاومت بتن افزایش یابد بستگی مدول الاستیسیته به سختی خمیر بیش از سنگدانه ها می باشد. سختی و حجم سنگدانه ها دو عامل مهم در تعیین مدول الاستیسیته می باشند. معمولا مدول الاستیسیته بتن خود تراکم کمتر از بتن معمولی است [۲۲]. مدول گسیختگی و مقاومت دو نیم شدن معیارهای غیر مستقیم سنجش مقاومت کششی هستند و برای تخمین و در صورت لزوم محدود کردن حداکثر تنش در نواحی خاصی از تیر مورد استفاده قرار می گیرند.

بتن های با روانی بالا مستعد جداشدگی فاز خمیر و سنگدانه و کاهش مقاومت پیوستگی به علت آب انداختگی است. آزمایش بیرون کشیدن به منظور سنجش مقاومت پیوستگی بتن مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج تحقیقات نشان می دهد در بتن های خود تراکم در محدوده مجاز خواص، این مقاومت مشابه بتن های معمولی می باشد. بنابراین نیاز به توجه خاص در این زمینه نمی باشد. جمع شدگی به بافت و سختی سنگدانه ها، نسبت آب به سیمان، حجم خمیر، حجم درشت دانه ها، نوع سیمان، نوع افزودنی و روش عمل آوری، نسبت حجم به سطح عضو سازه ای، شرایط محیطی (دما و رطوبت) و بازه زمانی خشک شدگی بستگی دارد. خزش علاوه بر عوامل بالا به اندازه و تاریخچه بارگذاری نیز مرتبط می باشد [۲۳]. مقدار تغییر شکل دراز مدت حاصل از خزش معمولا ۰/۵ تا ۴ برابر (بسته به بلوغ

۳- بهینه سازی

۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مانند سایر الگوریتم‌های تکاملی دیگر بهینه‌سازی جمعی را شبیه‌سازی می‌کند. در این الگوریتم جمعیتی با اعضای متناسب با شرایط مسأله تولید می‌شود. هر یک از این اعضا که ذره^۱ نام دارند، دارای یک سرعت انطباقی (تغییر مکان) است که مطابق با آن در فضای جست‌وجو حرکت می‌کند، علاوه بر آن، هر کدام از آن‌ها دارای حافظه نیز هستند. یعنی بهترین موقعیتی که در فضای جست‌وجو به آن می‌رسند به خاطر می‌سپارند.

بتن در زمان بارگذاری تغییر شکل اولیه خواهد بود. با توجه به بالا بودن حجم ریز دانه در بتن خود تراکم معمولاً تغییرات حجمی آن زیاد می‌باشد [۲۴]. این مسأله در اعضا پیش تنیده با سطح تنش بالا می‌تواند مشکل ساز باشد. با توجه به مطالب بالا خواص بتن سخت شامل مقاومت فشاری ۲۴ ساعته f'_{c-1day} ، مقاومت فشاری ۲۸ روزه $f'_{c-28day}$ ، مدول الاستیسیته ۲۸ روزه $E_{c-28day}$ ، مدول گسختگی خمشی ۲۸ روزه $f'_{r-28day}$ ، آزمایش تسریع شده یون کلراید (۹۱ روزه) RCP_{91day} و جمع شدگی ۱۱۲ روزه $shrinkage_{112day}$ به عنوان توابع هدف انتخاب شده اند.

جدول ۱- مدل رگرسیون مورد استفاده برای تخمین خواص بتن خودتراکم بر اساس مواد تشکیل دهنده [۸]

شماره	معادله (مدل پیش بینی)	عوامل موثر	R ²
1	$f'_{c-1day} = 1548.6 - 43175.1(w/c) + 34338(w/c)^2$	PV, FA, W/C, S/A	0.798
2	$f'_{c-28day} = 13527 - 126.89(FA)(w/cm) - 27142(S/A)(w/cm)$	PV, FA, W/CM, S/A	0.387
3	$E_{c-28day} = 8865.9 - 10737.5(S/A)(w/cm) - 27142(PV)(w/cm) + 0.751(FA)^2 + 0.712(PV)(FA)$	PV, FA, W/CM, S/A	0.738
4	$1/f'_{r-28day} = 4.29 * 10^{-4} + 3.18 * 10^{-3}(S/A)(w/cm) + 1.130 * 10^{-7}(FA)^2$	PV, FA, W/CM, S/A	0.804
5	$RCP_{91-day} = 6873.4 + 1.110(FA)^2 + 1206.1(PV)(w/cm) - 2.801(PV)(FA) - 41515.6(w/cm) - 4.246(PV)^2 + 47.26(FA)(S/A)$	PV, FA, W/P, S/A	0.964
6	$Shrinkage_{112day} = -3244.3 + 178.31(PV) - 14.26(FA)(w/p) + 25.87(FA)(S/A) - 2.107(PV)^2$	PV, FA, W/P, S/A	0.70

w/c : نسبت جرمی آب به سیمان، FA : جرم خاکستر بادی (کیلوگرم)، S/A : نسبت جرمی ماسه به سنگدانه، w/cm : نسبت جرمی آب به مواد

سیمانی، $cm = c + FA$ (Kg) و $PV = V_w + V_c + V_{FA} + 0.05V_s$: حجم خمیر

هر عضو در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از برداری با D بردار مکان جاری X_i را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای از مختصات بعد تشکیل شده‌است، که D ، ابعاد فضای جست‌وجو را نشان می‌دهد. این ابعاد شامل بردار مکان جاری X_i ، بردار بهترین موقعیت قبلی P_i و بردار سرعت V_i است.

¹ Particle

یکنواختی جواب ها تأثیر گذار است. این مقادیر به ذرات اجازه می دهد که در گام های تصادفی در محدوده ی بین $pbest$ و $gbest$ حرکت کند.

پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات شامل اندازه ی جمعیت، ضرایب شتاب (C_1 و C_2)، پارامتر وزن اینرسی (w) می باشند که باید به نحو صحیح انتخاب گردند.

۳-۲- بهینه سازی چند معیاره

یافتن بهترین جواب از فضای پاسخ شامل اهداف متفاوت، مستلزم بهینه سازی چند معیاره می باشد. مسأله بهینه سازی چند معیاره بصورت زیر تعریف می شود:

بردار (۴) از مجموعه فضای پاسخ (۵) به گونه ای انتخاب شود که با ارضاء m قید نامساوی $g_i(X) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$

$$p \text{ قید تساوی } h_i(X) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$X^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]^T \quad (4)$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (5)$$

تابع هدف (۶) را بهینه نماید.

$$F(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)] \quad (6)$$

$$f_k(X) : R^n \rightarrow R \text{ ها توابع هدف می باشند و}$$

مشکل اصلی تعیین پاسخ بهینه مبتنی بر چند هدف، پراکندگی عوامل مؤثر بر خواص حاصل از طرح اختلاط است به گونه ای که بهینه یابی مبتنی بر روش های ریاضیاتی با در نظر گرفتن چند تابع هدف غیر ممکن است. به همین جهت استفاده از روش های تکاملی مورد توجه محققین قرار گرفته است. همچنین با به کارگیری روش های تکاملی، در بسیاری از حالات یافتن پاسخ بهینه به علت عدم وجود چنین پاسخ منحصر به فردی غیر ممکن می باشد [۲۵].

در روش های تکاملی جستجو در فضای پاسخ برای تعیین نقطه بهینه با توجه به توابع هدف انجام می گیرد. حال آن که با توجه به ناسازگاری توابع هدف با یکدیگر بهتر نمودن یک عامل الزاما

پیدا شده است بهتر باشد، مختصات در بردار P_i ذخیره می شود. مقدار عددی تابع برازندگی برای آن مکان، به منظور مقایسه های تکرارهای آینده، در متغیری با نام $pbest_i$ ذخیره می شود. البته هدف، نگه داشتن بهترین مکان ها و به روز کردن بردار P_i و مقدار $pbest_i$ است. با اضافه کردن مختصات بردار V_i به بردار X_i نقاط جدید انتخاب می شوند، V_i ، حکم طول قدم برای راه رفتن دارد.

در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، شتاب و طول قدم هر ذره به طور مرتب و در هر تکرار تنظیم می شود و این سبب می شود ذره ها پیرامون بهترین های محلی و بهترین های سراسری در حرکت باشند. پس به طور خلاصه هر ذره در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای رسیدن به بهترین جواب سعی می کند موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تغییر دهد:

$$X^t \text{ موقعیت کنونی}$$

$$V^t \text{ سرعت کنونی}$$

فاصله ی بین موقعیت کنونی و $pbest$

فاصله ی بین موقعیت کنونی و $gbest$

بدین ترتیب سرعت هر ذره و به تبع آن موقعیت جدید آن به صورت زیر تغییر می کند:

$$V_i^{t+1} = wV_i^t + c_1 \text{rand}(0, 1)(pbest_i - X_i^t) + c_2 \text{rand}(0, 1)(gbest_i - X_i^t) \quad (2)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (3)$$

که در آن: V_i^{t+1} سرعت ذره ی i در تکرار جدید، V_i^t سرعت ذره ی i در تکرار فعلی، X_i^t موقعیت کنونی ذره، X_i^{t+1} موقعیت ذره در تکرار جدید، $pbest_i$ بهترین موقعیتی که ذره ی i تاکنون مشاهده کرده است، $gbest_i$ بهترین موقعیت بهترین ذره (بهترین موقعیتی که تمام ذرات تاکنون مشاهده کرده اند) می باشند.

$Rand(0, 1)$ یک عدد تصادفی بین صفر و ۱ است که برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به کار می رود. مقدار مناسب آن در

بتن بهینه شده‌اند مشخص می‌گردد. بدین ترتیب می‌توان محدوده ای بهینه را برای اجزاء تشکیل دهنده تعیین کرد. این محدوده برای استفاده از بتن خود تراکم در ساخت تیرهای پیش ساخته پیش تنیده بکار می‌رود. همچنین با انتخاب مجموعه های متفاوت از توابع هدف (جدول ۲) دقت الگوریتم در تخمین پاسخ بهینه با توابع هدف متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول ۲- مجموعه توابع هدف مورد توجه در هر تحلیل

توابع هدف	تعداد توابع هدف	شماره آنالیز				
		۱	۲	۳	۴	۵
f'_{c-1day}	۴	√		√		√
$f'_{c-28day}$	۶	√	√	√	√	√
$E_{c-28day}$	۴		√		√	
$f'_{r-28day}$	۴			√		√
RCP_{91day}	۴	√	√	√	√	
$shrin_{112day}$	۳		√	√	√	

۴- نتایج

با انجام تحلیل و در نظر گرفتن مجموعه‌های مختلف توابع هدف مطابق جدول (۲)، پارامترها ورودی و خروجی به ترتیب در جداول (۳) و (۴) دیده می‌شود. چنانچه انتظار می‌رود با کاهش توابع هدف فضای بهینه کاهش یافته است. در حالت ۲ با در نظر گرفتن ۶ تابع هدف مجموعه بهینه پارتو شامل ۳۶۵ عضو است. توجه به این نکته ضروریست که با کاهش تعداد توابع هدف الزامات تعداد جواب‌های بهینه کاهش یکسانی نشان نمی‌دهد. علت این امر آن است که ماهیت توابع هدف و میزان همبستگی آن‌ها با هم می‌تواند بر تعداد جواب‌ها تأثیر گذار باشد. توجه به محدوده جوابها (نمودار) نشان می‌دهد که که با توجه به محدوده‌های باریک ارائه شده در برخی از حالات، این روش می‌تواند به عنوان روشی عددی مبنای طرح اختلاط بتن برای رسیدن به توابع هدف مورد نظر در عملکرد عضو مد نظر قرار گیرد. چنانچه در شکل‌های ۳ تا ۱۲ دیده می‌شود فضای بهینه هر یک از توابع هدف در محدوده خاصی قرار دارد. در این فضا انتخاب نقاط به نظر طراح بستگی خواهد داشت. مثلا طراح می‌تواند به منظور حداقل نمودن جمع شدگی و در نتیجه افت تنش توجه خود را به نقاط پایینی معطوف دارد. در مورد سایر توابع هدف نیز می‌توان این قاعده را در محدوده فضای بهینه مورد نظر داشت.

منجر به بهبود سایر عوامل نمی‌گردد. به همین جهت تعدادی از محققین استفاده از مفهوم بهینه پارتو را توصیه نموده‌اند. در این حالت مجموعه ای از پاسخ‌های بهتر وجود دارد که بصورت زیر تعریف می‌گردد:

بردار تصمیم $X_u \in R^n$ بهینه پاریو گفته می‌شود اگر و تنها اگر هیچ بردار $X_v \in R^n$ وجود نداشته باشد به گونه‌ای که بتواند همه توابع هدف را نسبت به $X_u \in R^n$ بهبود بخشد. یعنی نتوان یک تابع را بهتر نمود بدون آنکه تابع دیگری را بدتر کرد.

مفهوم بهینه پارتو در نظریه بازی‌ها به مفهوم حالتی است که بازیکن در وضعیتی است که هر گونه تغییر موقعیت یکی از اجزا که بتواند منجر به بهبود آن شود، قطعاً وضعیت جزء یا اجزای دیگر را بدتر خواهد نمود. با توجه به تعاریف مشخص است که در مسائل پیچیده بهینه پارتو ممکن است شامل تعداد زیادی بردار از فضای تصمیم باشد.

۳-۳- مدلسازی و تحلیل

برای پیاده‌سازی الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات در نرم افزار متلب بردار پاسخ ورودی (۷) به گونه ای انتخاب شده است که با ارضاء m قید نامساوی (۸) تابع هدف (۹) را بهینه نماید.

$$X = [w, w/c, FA, S/A, w/cm, PV]^T \quad (7)$$

$$200 \leq w \leq 300$$

$$0.4 \leq w/c \leq 0.55$$

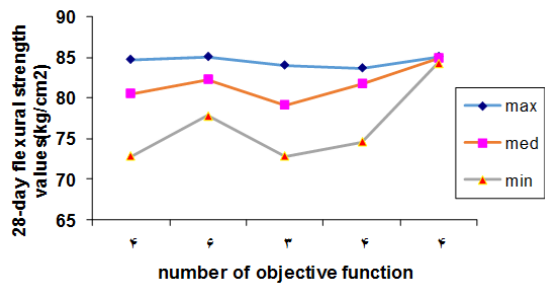
$$0 \leq FA \leq 40$$

$$0.35 \leq S/A \leq 0$$

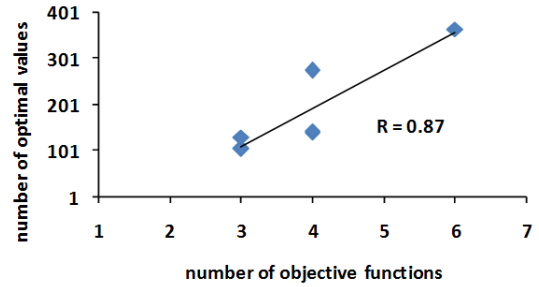
$$F(X) = \begin{bmatrix} f'_{c-1day}(X), f'_{c-28day}(X), \\ E_{c-28day}(X), f'_{r-28day}(X), \\ RCP_{91day}(X), shrin_{112day}(X) \end{bmatrix} \quad (9)$$

به این منظور حداکثر مقادیر شامل مقاومت فشاری ۲۴ ساعته، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، مدول الاستیسیته ۲۸ روزه، مدول گسختگی خمشی ۲۸ روزه و حداقل نفوذ تسریع شده یون کلراید (۹۱ روزه) و جمع شدگی ۱۱۲ روزه مطلوب می‌باشند. با بهینه سازی توابع هدف مقادیر اجزاء تشکیل دهنده بتن که منجر به تولید

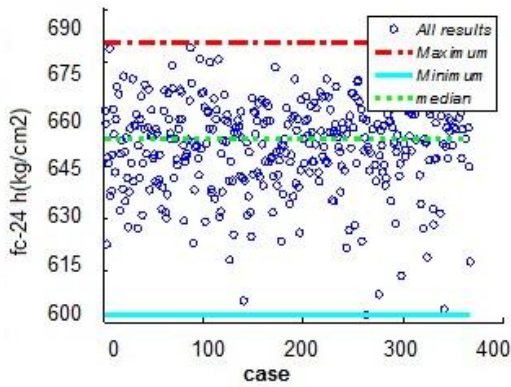
ارائه محدوده باریک برای تعیین نسبت های اختلاط ...



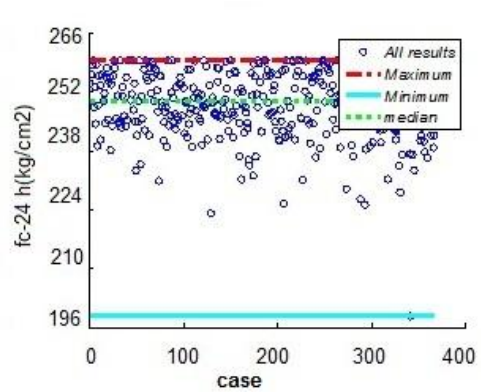
شکل ۲- محدوده بهینه مقاومت گسیختگی در خمش در ترکیبات مختلف توابع هدف



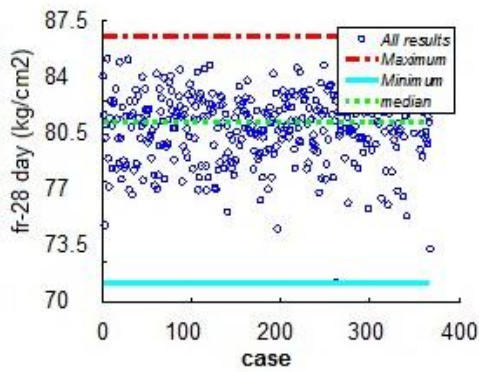
شکل ۱- تعداد اعضای مجموعه بهینه پارتو بر حسب تعداد توابع هدف



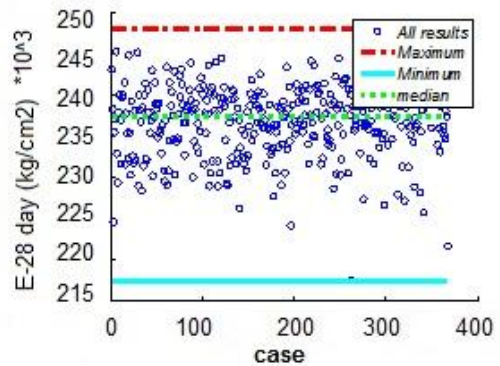
شکل ۴- محدوده و میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه



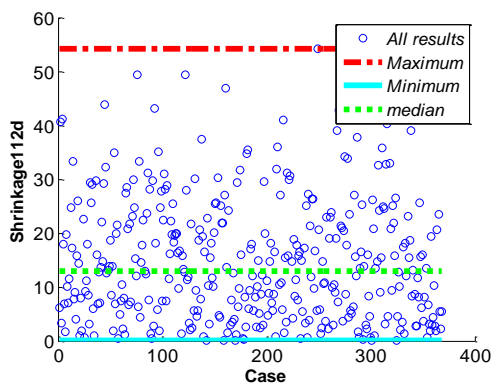
شکل ۳- محدوده و میانگین مقاومت فشاری ۲۴ ساعته



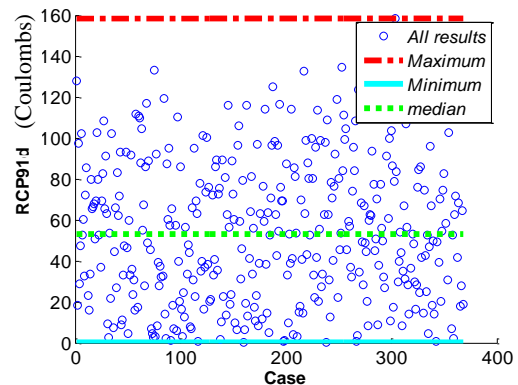
شکل ۶- محدوده و میانگین مدول گسیختگی ۲۸ روزه



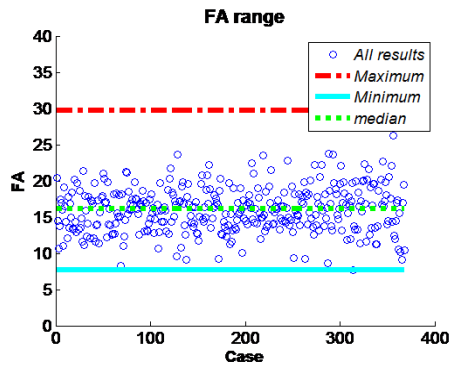
شکل ۵- محدوده و میانگین مدول الاستیسیته ۲۸ روزه



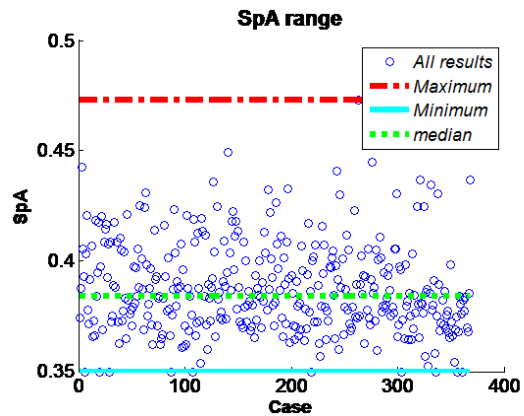
شکل ۸- محدوده و میانگین میزان جمع شدگی



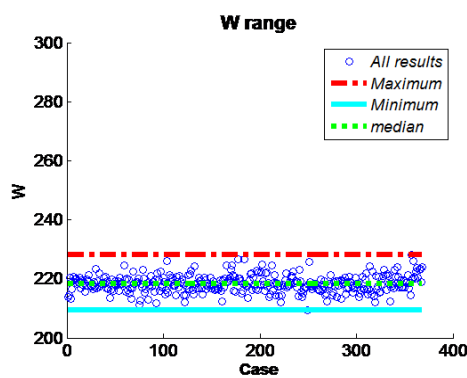
شکل ۷- محدوده و میانگین میزان نفوذ یون کلر تسریع شده



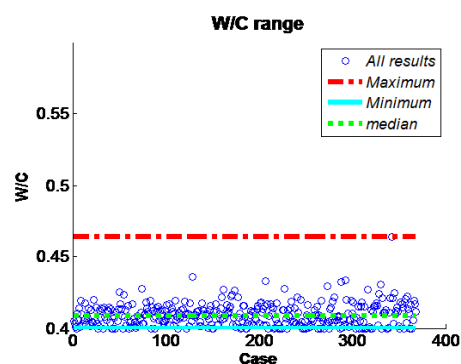
شکل ۱۰- محدوده و میانگین میزان خاکستر بادی (درصد جایگزین شده سیمان)



شکل ۹- محدوده و میانگین نسبت ماسه به سنگدانه



شکل ۱۲- محدوده و میانگین میزان آب (کیلوگرم)



شکل ۱۱- محدوده و میانگین نسبت آب به سیمان

جدول ۳- محدوده پارامترها در آنالیزها

توابع هدف							تعداد جوابهای بهینه	شماره آنالیز
$shrinkage_{112day}$	RCP_{9day}	$f'_{r-28day}$	$E_{c-28day}$	$f'_{c-28day}$	f'_{c-1day}			
56	230		6840		3706	Max	140	۱
12	47		6715		3347	med		
0	0		6385		2685	min		
54	160	1210	6860	9680	3700	Max	365	۲
14	54	1150	6645	9300	3560	med		
0	0	1040	6250	8620	2840	min		
50	128	1215		9765		Max	105	۳
7	26	1176		9445		med		
0	0	1112		9007		min		
69.49	225	1200			3710	Max	275	۴
15.427	42	1130			3460	med		
0.002	0	1040			3020	min		
58	175	1195	6850			Max	145	۵
10	40	1168	6740			med		
0	0	1065	6450			min		
		1216	6900	6765		Max	130	۶
		1213	6865	9692		med		
		1204	6735	9648		min		

جدول ۴- مقادیر بهینه مواد متشکله

مواد متشکله						
S/A	FA	W/C	W			
0.35	0	0.6	300	max	محدوده انتخابی اولیه	شماره
0.5	40	0.4	200	min	تعداد جوابهای بینه	آنالیز
0.4446	31.667	0.4785	230.334	Max		
0.3618	24.304	0.4241	216.330	med	140	۱
0.3500	11.801	0.4000	202.024	min		
0.4731	29.6487	0.4640	228.175	Max		
0.3841	16.0855	0.4088	218.246	med	368	۲
0.3500	7.6901	0.4000	209.414	min		
0.3872	26.0492	0.4471	225.77	Max		
0.3567	17.8234	0.4187	222.39	med	104	۳
0.3500	7.4325	0.4000	212.81	min		
0.4637	28.7312	0.4480	223.5418	Max		
0.3926	21.2286	0.4163	214.2113	med	273	۴
0.3500	9.2841	0.4000	200.8131	min		
0.4234	29.7032	0.4565	223.6	Max		
0.3550	22.5007	0.4220	219.2	med	143	۵
0.3500	16.5817	0.4013	206.73	min		
0.3507	21.9625	0.4002	220.32	Max		
0.3500	17.8170	0.4000	207.74	med	126	۶
0.3500	10.5009	0.4000	200.00	min		

۵- بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان می دهد که با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و مفهوم بهینه پارتو می توان به سمت جواب بهینه در طرح اختلاط بتن حرکت نمود. با توجه به ماهیت پیچیده مساله طرح اختلاط پاسخ های بهینه با توجه به تعداد توابع هدف انتخابی برای تیرهای پیش تنیده پیش ساخته مجموعه های در حدود ۱۰۰ عضوی می باشند. البته جدول (۴) نشان می دهد که این تعداد اعضا در محدوده کوچکی قرار گرفته اند و بنابراین با تعیین فاصله عملی حداقل بین مقادیر، تعداد اعضا کاهش یافته و انتخاب ورودی از این مجموعه ساده خواهد بود. چنانچه انتظار می رود با کاهش توابع هدف فضای بهینه کاهش یافته و انتخاب جواب در محدوده کوچکتر ممکن می گردد. سرعت بالای الگوریتم ازدحام ذرات مزیت این الگوریتم نسبت به الگوریتم های مشابه است.

۶- مراجع

- [1]. ACI Committee 237 (2007), Self- consolidating concrete, ACI 237R-07, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- [2]. FENARC (2001), European guidelines for self-compacting concrete, www.efnarc.org (Des.5.2003)
- [3]. FENARC (2005), European guidelines for self-compacting concrete, www.efnarc.org (Aug.5.2008)
- [4]. PCI(2003), Interim guidelines for the of self-consolidating concrete in precast- prestressed concrete institute member plants, TR_6_03, precast-prestressed concrete institute member plants, Chicago
- [5]. Ramezani-pour, A. A., Samadian, M., & Mahdikhani, M. (2012). Engineering properties and durability of self-consolidating concretes (SCC) containing volcanic pumice ash'. Asian journal of civil engineering (building and housing), 13(4), 521-530.

- [18]. Jayaram, M. A., Nataraja, M. C., Ravikumar, C. N., (2010), design of high performance concrete mixes through particle swarm optimization. *J. Intelligent Systems* 19(3): 249-264.
- [19]. Yang, C.C, Lin, Y.Y, Huang, R., (1996), Elastic modulus of concrete affected by elastic module of mortar and artificial aggregate, *journal of marine science and technology*, Vol. 4, No 1, PP 43-48
- [20]. Panesar, D. K., Shindman, B., (2011), Elastic properties of self consolidating concrete, *Construction and Building Materials*, Volume: 25, Issue: 8, Publisher: Elsevier Ltd, Pages: 3334-3344, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.024
- [21]. Parra, C., Valcuende, M., Gómez, F., Splitting tensile strength and modulus of elasticity of self compacting concrete, *Construction and Building Materials*, Vol.25, p.201-207, 2011.
- [22]. Holschemacher K, Klug Y. A database for the evaluation of hardened properties of SCC. *Lacer* 2002;7.
- [23]. FHWA & NCBC (2005), Q&A: What is the status on the use of self-consolidating concrete in bridges, HPC bridge views, the Federal Highway Administration and National Concr. Bridge Council, Skokie, Illinois, 1-4.
- [24]. Schindler, A. K., Barnes, R. W., Roberts, J. B., & Rodriguez, S. (2007). Properties of self-consolidating concrete for prestressed members. *ACI Materials Journal*, 104(1).
- [25]. Shim, M.B., Furukawa, T., Yoshimura, S., (2002), Pareto-based continuous evolutionary algorithms for multi-objective optimization, *engineering computations*, Vol. 19, No. 1, pp. 22-48, DOI: 10.1108/02644400210413649.
- [6]. Khayat, K. H., Kassimi, F., & Ghoddousi, P. (2014). Mixture Design and Testing of Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete. *ACI Materials Journal*, 111(2).
- [7]. Ghoddousi, P., Shirzadi Javid, A. A., & Sobhani, J. (2014). Effects of particle packing density on the stability and rheology of self-consolidating concrete containing mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 53, 102-109.
- [8]. Koehler, E. P., Fowler, A. W., aggregates in self-consolidating concrete, research report ICAR 108-2F.
- [9]. Parichatprecha, R., Greeplala, V., Sayamipuk, S., and Nimityongskul, P., (2009), hybrid intelligent system for optimal design of hpc mix proportion", *Proceeding of The FERRO 9 Conference*, Bali, Indonesia,
- [10]. Almeida Filho, F.M., Barragán, B.E., Casas, J.R., and El Debs, A.L.H.C., (2010), Hardened properties of self-compacting concrete — a statistical approach. *Construction and Building Materials*, 24 9, pp. 1608–1615
- [11]. Panesar, D.K., Shindman, B., Elastic properties of self consolidating concrete. *Constr. Build Mater.*, 25 (2011), pp. 3334–3344
- [12]. Ozbay, E., Gesoglu, M., and Guneyisi, E., "Empirical modeling of fresh and hardened properties of self-compacting concretes by genetic programming", *Construction and Building Materials* (2007).
- [13]. Xie, Y., Liu, B., Yin, J., Zhou, S., (2002), Optimum mix parameters of high-strength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash, *Cement and Concrete Research*, 32, pp. 477–480.
- [14]. Noguchi, T., Maruyama, I., Kanematsu, M., Performance based design system for concrete mixture with multi-optimizing genetic algorithm, *proceedings of the 11th international congress on the chemistry of cement (iccc). cement.s contribution to the development in the 21st century*, 11 - 16 may 2003, durban, south africa, pp1921-1930.
- [15]. Jayaram, M. A., Nataraja, M. C., Ravikumar, C. N. (2009): elitist genetic algorithm models: optimization of high performance concrete mixes, materials and manufacturing processes, 24:2, 225-229, <http://dx.doi.org/10.1080/10426910802612387>
- [16]. Baykasoglu, A., Öztas, A., Özbay, E., (2009), Prediction and multi-objective optimization of high-strength concrete parameters via soft computing approaches. *Expert Syst. Appl.* 36(3): 6145-6155.
- [17]. Maruyama, I., Kanematsu, M., NOGUCHI, T., (2003), performance-based design system for concrete mixture with multi-optimizing genetic algorithm, 11th International Congress on the Chemistry of Cement, , pp1921-1930.

A Narrow Band Method for Self Consolidation Concrete Mix Ratios Determination Based on Multi-Criteria Optimization

Mostafa Khanzadi

Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, Iran

Sasan Motaghd *

Department of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Alireza Asadian Ardakani

Department of Civil Engineering, Sherbrooke University, Quebec, Canada

Abstract

Because of the many advantages, using of self competing concrete (SCC) in structures is increasing. Construction of precast-prefabricated components, with the use of concrete has also recently been considered. Concrete properties have significant role in precast-prefabricated girders behavior. Exact prediction of these properties is the base of members analysis and design. Determine the optimum composition is the mean to obtain the best set of useful concrete properties. In this paper, SCC mix design optimization method is presented based on multi-criteria optimization using particle swarm algorithm (PSO). The results show the Successful application of Pareto optimization method in the optimization of scc mix design used in bridge girders.

Keywords: Compressive strength, Early age strength, Pareto optimal, Particle swarm optimization algorithm (PSO).

* Corresponding Author: motaghd@bkatu.ac.ir

