کانون ملی معماری ایران
همایش ملی معماری، عمران و توسعه‌ی نوین شهری
تبریز - اردیبهشت ۱۳۹۳

روشهای بهینه‌سازی در طرح اختلاط بتن

امیر پاکزاد*[۱]، حمید اسکندری[۱]

*[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس دانشگاه حکیم سبزواری
Amir_pakzad2020@yahoo.com
[۲]استادیار، گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری
Hamidiisc@yahoo.com

چکیده

طرح اختلاط بتن اولین گام در ساخت و تولید این مصالح پرکاربرد پروژه‌های عمرانی می‌باشد. در این‌راستا بهینه‌سازی طرح اختلاط بتن، می‌تواند با صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بهبود کیفیت سازه، راهکار مناسبی برای توجیه سازندگان به اجرای با کیفیت سازه‌ها خصوصا سازه‌های با اهمیت بالا باشد. در این تحقیق با توجه به کاربرد فراوان بتن در سازه‌های مختلف و لزوم تولید بهینه بتن با کیفیت و مقاومت بالا و با کمترین هزینه ممکن برای استفاده از حداکثر ظرفیت بتن مصرفی ارائه گردیده است. لذا ابتدا به بررسی روشهای مختلف بهینه‌سازی در طرح اختلاط بتن و سپس به معرفی اجمالی مراحل این روشها از جمله بهینه‌سازی خطی، غیرخطی، نحوه تعیین متغیرهای تصمیم، توابع هدف، محدودیت‌ها و معرفی و تحلیل روشهای ریاضی موجود در طرح اختلاط بتن اشاره شده‌است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، طرح اختلاط بتن، متغیر تصمیم، تابع هدف، محدودیتها.

۱- مقدمه

مفهوم بهینه‌سازی برای طراحی بتن به عنوان صرف کمترین هزینه با ایجاد ویژگیها وخصوصیاتی مناسب و مطلوب می‌باشد[۱]. به عبارت دیگر طراحی بتن به معنی پروسه تعیین مقدار ومیزان ترکیب اجزای بتن با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی و با رعایت ویژگیها و خصوصیات مطلوب مانند دوام، پیوستگی، مقاومت و با یک ترکیب منظم اجزای تشکیل دهنده آن است[۲]، برای انجام طراحی اختلاط مناسب بتن، روشهای مختلفی وجود دارد که می‌تواند از طرق متفاوتی با توجه به خواست و نیاز بتن مورد نظر را طراحی نماید، که البته مستلزم صرف هزینه، انرژی، تخصص و زمان می‌باشد[۳] . در طراحی بتن یکی از مهمترین پارامترهایی که مدنظر قرار می‌گیرد مقاومت فشاری آن است، مقاومت فشاری بتن خصوصیتی است که به وسیله آن می‌توان بسیاری از ویژگیهای دیگر بتن را تعیین و تخمین زد وغالبا طراحی را بر مبنای مقاومت بتن انجام

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد
[۲] استادیار

می‌دهند[۴]. یکی از مسائل مهم در تمام صنایع، خصوصا در صنعت ساختمان صرفه اقتصادی است، لذا در تمام طراحی‌ها مثل طراحی بتن، سعی می‌شود، هزینه تولید کاهش یافته و تولید با کمترین هزینه و بالاترین کیفیت انجام گردد، برای رسیدن به این هدف بایستی پارامترهای مختلفی که بر روی خصوصیت خاص مورد نظر تاثیر دارد را شناسایی کرد[۵]، روشهای متعددی مانند فاکتوریل بر مبنای حدود بالا و پایین متغیرها[۶] استفاده از نرم افزارهای مختلف رایانه‌ای برای تحلیل داده‌ها [۷] و استفاده از نمونه‌های با نسبتهای مختلف اجزا[۸]، روش طراحی سیمپلکس با استفاده از توابع مختلف پیشنهادی برای تعیین ترکیب مخلوطهای مختلف[۹]، تابع پخش خطی[۱۰]، دو مرحله‌ای[۱۱]، روش تجربی و مبتنی بر نتایج کارها و مشاهدات قبلی و استفاده از آیین نامه‌ها[۱۲]، روش عددی و مبتنی بر تحلیل های عددی و ریاضی[۱۳] ، کاربرد ماسه به جای کل یا بخشی از سنگدانه درشت[۱۴] و همچنین روشهای مختلف پیش‌بینی مانند روش شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک، SVM و ... که بر مبنای یک بانک اطلاعاتی کامل از نتایج بدست آمده کارهای قبلی و مشابه و بررسی و آنالیز آنها با نرم‌افزارهای مربوط، هستند[۱۵]، روش تاگوچی به عنوان یک روش طرح اختلاط بهینه بتن بر اساس داده‌های آماری و بر اساس نسبتهای جرمی و یا حجمی اجزا به کل بتن[۱۶]، و مسائل طراحی اختلاط، با اجزای مختلف مورد توجه تحقیقات اخیر قرار گرفته‌است[۱۷]. مزیت بهینه‌سازی بتن تنها برای صرفه جویی اقتصادی و کم کردن هزینه‌ها نبوده و با استفاده از بهینه‌سازی در تولیدات می‌توان به محیط زیست ، سلامت جامعه، نگهداری منابع معدنی و ... کمک کرد، تولید سیمان به عنوان اصلی‌ترین جزء مورد استفاده در سیمان، با ایجاد گازهای مضر برای محیط زیست و صرف هزینه‌ها و استفاده از منابع طبیعی و معادن همراه است، لذا از منظر دیگر با توجه به قیمت و نحوه تولید سیمان، طراحی بتن با سیمان کمتر، هم هزینه ها را کاهش می دهد و هم به حفظ محیط زیست کمک می‌کند، لذا در صورتی که به خصوصیات و ویژگیهای مورد نظر بتن آسیبی نرسد، کاهش میزان سیمان می‌تواند مفید باشد، همچنین گاه با صرف هزینه‌های نه‌چندان زیاد، با بهینه سازی طرح، می توان به نتایج و کارآمدی بالاتری برای بتن دست‌یافت[۱۸]. با توجه به استفاده فراوان از انواع بتن در پروژه‌های مختلف عمرانی به دلیل شرایط خاص تولید و موارد کاربرد آن، این نکته به خوبی آشکار می‌گردد که استفاده صحیح و بهینه از ظرفیت این مصالح ساختمانی می‌تواند موجب طراحی و اجرای بهینه تمام سازه‌ها گردد. با توجه به بافت متراکم شهرهای امروزی اکثر سازه‌ها به عنوان سازه‌های مهم تلقی شده و بایستی به صورت ایمن طراحی و اجرا گردند. همچنین بهینه‌سازی طراحی بتن، باعث کاهش هزینه‌های تولید و درعین حال حفظ خصوصیات آن و یا بهبود ویژگیها در قبال کمترین افزایش هزینه‌ها می‌گردد و بدین ترتیب باعث ایجاد صرفه اقتصادی و رغبت بیشتر در تولید و اجرای بتن با کیفیت بهتر می‌شود، لذا آشنایی با روشهای بهینه‌سازی و اجرای آن در طراحی‌های مختلف، مانند طرح بتن، می‌تواند به کیفیت بهتر آن و همچنین صنعت ساختمان کمک نموده و موجبات ساخت سازه‌های با مقاومت بالا و ایمن را فراهم آورد، بنابراین بحث و بررسی درباره این روشها و فنون و همچنین معرفی اجمالی روشهای انجام شده و مقایسه آنها می‌تواند به طراحی بهینه طرح اختلاط بتن کمک نماید.

۲- بهینه سازی و روشهای آن

بهینه‌سازی، مجموعه‌ای از تکنیکها و روش‌های برگرفته از علوم ریاضی و البته سایر علوم، مانند طبیعی ، آمار و مهندسی است، که در حل مسائلی از قبیل برنامه‌ریزی تولید ، تخصیص منابع ، کنترل موجودی، تبلیغات و ... از آن بهره‌گیری می‌شود. در بهینه‌سازی، مسائل به صورت سیستمی بررسی می‌شود. به درک کامل طراح از واکنش سیستم درمقابل هرگونه تغییر و سنجش اثر نهایی هر نوع عملیات اجرایی در کل سیستم را نگرش سیستمی گویند. تمرکز اصلی بهینه‌سازی، بر روی اخذ تصمیم در مسائل مختلف است. بهینه‌سازی ، بکارگیری روش‌های علمی است و شامل فرآیند تعریف مسئله یا به عبارت دیگر فرموله کردن فرضیه، آزمون فرضیه و کسب نتایج می‌باشد، از جمله موارد مهم و ویژگی‌های بهینه‌سازی را می‌توان به این صورت بیان نمود که بهینه‌سازی ترکیبی از گروه‌های متخصص در رشته‌های مستقل می‌باشد، مدل‌های موجود در این رشته، مدلهای ریاضی هستند و ضمنا از رایانه نیز در این مسیر بهره‌برداری بسیاری می‌شود. فرآیند تصمیم‌گیری در رویکردی

سیستمی دارای بخش‌ها و مراحل مختلفی از جمله مشاهده و شناخت نیاز، تعریف مسئله ، شناخت و ارزیابی راه‌حل‌ها و انتخاب راه‌حل بهینه می‌باشد.

روشهای برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند،که مهمترین و پرکاربردترین آنها برنامه‌ریزی‌های خطی که تابع هدف و محدودیتها در آن تابعی خطی از متغیرهای تصمیم است، و با روشهای ترسیمی و سیمپلکس و نرم‌افزاری، تحلیل می‌شود و برنامه‌ریزی غیرخطی با دو نوع بدون محدودیت و با محدودیت، که تابع هدف و یا محدودیتهای آن رابطه غیرخطی با متغیرهای تصمیم دارند و غالبا با روشهای دیفرانسیل و یا عددی محاسبه می‌گردد، هر کدام از این روشها بسته به نوع کاربرد مسئله و مدل تابع هدف، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد ، که در هر دو نوع ابتدا متغیرهایی که بایستی درباره آنها تصمیم گرفته‌شود را انتخاب کرده و سپس با توجه به نوع برنامه‌ریزی مورد نظر، رابطه تابع هدف و محدودیتها را تعیین می‌شود.

۲-۱- مدل خطی

در مدلهای خطی برنامه‌ریزی، روابط تابع هدف و محدودیتها با متغیرهای تصمیم خطی و درجه اول است:

$$Min\ (Max)\ f(x_i) = \sum c_i . x_i \qquad (۱)$$

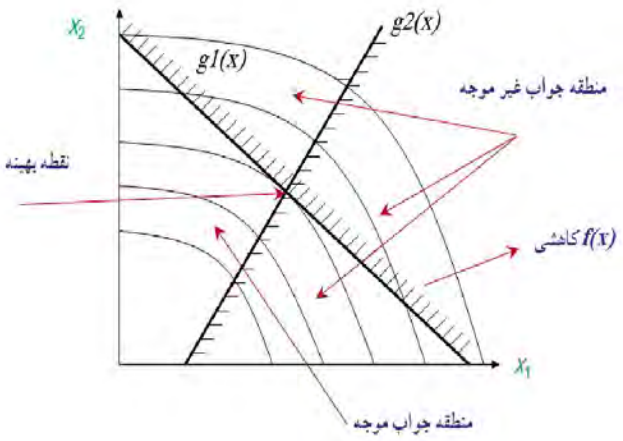
محدودیت‌های مدل، می‌توانند بصورت معادله یا نامعادله خطی باشند:

$$g_j(x_i) = \sum_{n_i=1} \sum_{n_j=1} a_{ij} . x_i\ (>=<)\ b_i \qquad (۲)$$

در روابط بالا c_i و a_{ij} ضرایب ثابت تابع و محدودیتها، x_i متغیرهای تصمیم مساله، $g_j(x_i)$ توابع محدودیت و $f(x_i)$ تابع هدف مساله می‌باشد.

روش برنامه‌ریزی خطی دارای ویژگیهایی به شرح زیر است:

- تناسب: هر فعالیتی مستقل از سایر فعالیتها عمل می‌کند و مقدار تابع، مطابق با تغییرات متغیر تصمیم تغییر می‌کند .
- جمع‌پذیری: یعنی روابط در تابع هدف و محدودیت‌ها بصورت جمع جبری بیان می‌شود.
- بخش‌پذیری: بدلیل آنکه جواب حاصل از برنامه‌ریزی خطی حتما عدد صحیح نیست، پس باید هر فعالیت به هر کسر دلخواهی قابل تقسیم باشد، بنابراین متغیرهای تصمیم می‌توانند غیرصحیح باشند .
- معین بودن : پارامترها در مدل برنامه‌ریزی خطی عموما ثابت هستند و در صورتی که افق برنامه‌ریزی طولانی باشد که سبب‌شود، پارامترها تغییر کنند. برای بررسی تاثیر تغییرات بر جواب بهینه مدل از فن تحلیل حساسیت استفاده می‌شود .



شکل ۱: نمونه‌ای از حل ترسیمی

برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی از سه روش ترسیمی ، جدول سیمپلکس و استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط، استفاده می‌شود. روش ترسیمی برای مسائل دو یا حداکثر سه متغیره قابل استفاده است و برای متغیرهای بیشتر، استفاده از آن به دلیل عدم توانایی در ترسیم ، مناسب نمی‌باشد.

۲-۲- مدل غیرخطی

در این مدل برنامه‌ریزی، روابط محدودیت یا تابع هدف یا هردوی آنها به صورت غیرخطی تعریف می‌شوند، این مدل به دو نوع یک متغیره و چندمتغیره و همچنین هر کدام از آنها نیز به دو دسته بدون محدودیت و با محدودیت تقسیم‌بندی می‌شود. در اینجا لازم به ذکر است که، مدلهای خطی برای بهینه‌سازی حتما نیاز به قید و محدودیت دارند، زیرا در صورتی که محدودیتی وجود نداشته باشد، این مدلها به صورت خطی بدون نقاط اکسترمم گسترش می‌یابند، ولی مدلهای غیرخطی چون ممکن است دارای نقاط اکسترمم باشند، بدون وجود محدودیت هم می‌توانند بهینه‌سازی شوند.

$$\begin{matrix} Min\ (Max)\ f(x_i) \\ h_k(x_i) = 0\ ,\ \ i\ =\ 1, \dots, n_e \\ g_j(x_i) <=>\ 0\ ,\ \ j\ =1, \dots, n_g \end{matrix} \qquad (۳)$$

که در روابط بالا $f(x_i)$، رابطه غیرخطی تابع هدف ، $h_k(x_i)$ ، محدودیتهای تساوی و $g_j(x_i)$ ، محدودیتهای نامساوی هستند. برای حل مسائل هر کدام از انواع مدلهای برنامه‌ریزی غیرخطی روشهای مختلفی وجود دارد. توابع یک متغیره بدون محدودیت علاوه بر روش مشتق‌گیری درجه اول و دوم برای تعیین نقطه اکسترمم، از روشهای عددی مانند درون‌یابی درجه دوم، جستجوی فیبوناچی، درون‌یابی دیویدان ، محصورکردن و چندجمله‌ای حفاظت‌شده استفاده می‌شود. توابع چند متغیره نیز با روشهای سیمپلکس دنباله‌ای، جهت‌های مزدوج پاول، تندترین کاهش، نیوتن و شبه نیوتن متریک، بهنگام‌سازی، سرد شدن تدریجی و الگوریتم ژنتیک تحلیل و بهینه‌سازی می‌شوند. برای توابع غیرخطی چندمتغیره نیز از روشهای لاگرانژین، مسائل محدب، تصویر گرادیان و گرادیان کاهش یافته، جهت‌های قابل قبول و تابع جریمه (داخلی و خارجی) می‌توان استفاده کرد. این روشها یا مبتنی بر دیفرانسیل‌گیری مرتبه اول و دوم یا مبتنی بر روشهای عددی هستند و غالبا برای حل مسائل غیرخطی چند متغیره بایستی از نرم افزارهای ریاضی و بهینه‌سازی استفاده کرد. روابط زیر نمونه‌ای از حل مدل برنامه‌ریزی به روش لاگرانژین، می‌باشد:

$$\begin{matrix} Min \quad f(x_i) \\ S.to \quad h_j(x_i) = 0 \end{matrix}$$

$$L(x_i, \lambda_j) = f(x_i) + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j h_j \qquad (۴)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \frac{\partial h_j}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = h_j = 0$$

در روابط بالا $f(x_i)$ تابع هدف، $h_j(x_i)$ ، محدودیتهای تبدیل شده به تساوی و $L(x_i, \lambda_j)$، تابع لاگرانژ هستند، که با محاسبه مشتق جزئی روی هرکدام از متغیرهای تصمیم و ضرایب لاگرانژ که در هر تابع محدودیت ضرب شده است و مساوی صفر قرار دادن آن به یک دستگاه چند معادله و مجهول می‌رسیم که با حل آن متغیرهای تصمیم بدست می‌آیند.

۳- روشهای بهینه‌سازی طراحی طرح اختلاط بتن

روشهای مبتنی بر ریاضیات و آمار مانند تاگوچی، فاکتوریل ، سیمپلکس و با استفاده از توابع خطی و یا غیر خطی مانند تابع scheffe، برای تعیین طرح اختلاط بتن، توسط محققین در مقالات مختلفی معرفی شده‌اند.

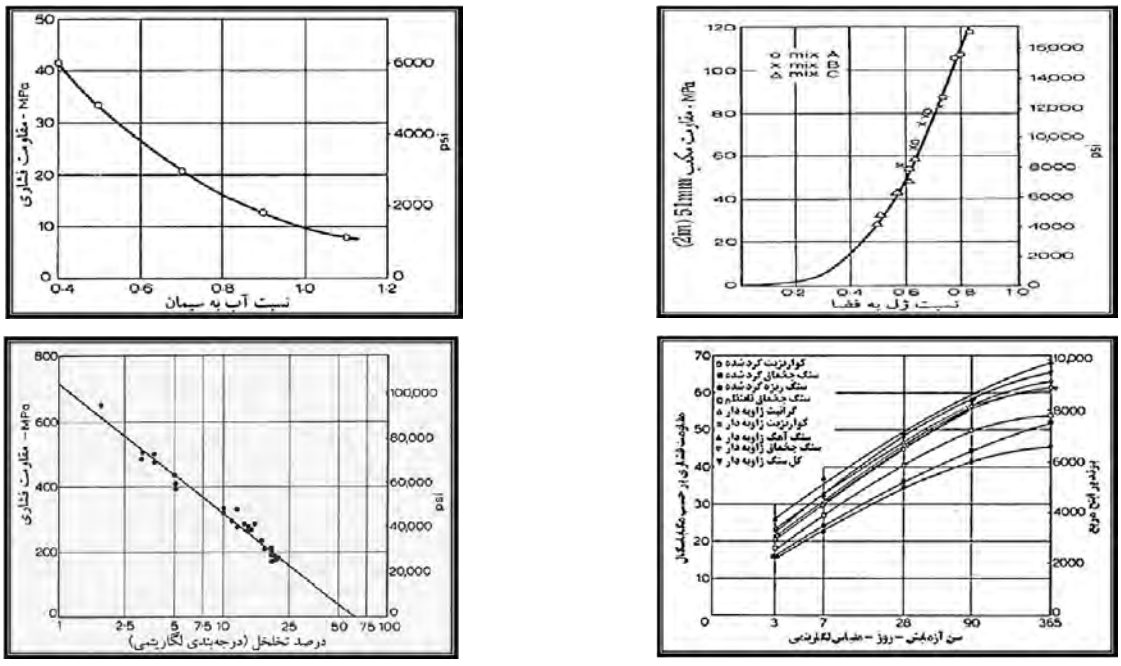
در بهینه‌سازی طرح بتن، ابتدا بایستی متغیرهای تصمیم مساله را مشخص نماییم، در روشهایی که تا کنون مورد استفاده محققین قرار گرفته است، هرکدام از اجزای مورد استفاده در ساخت به عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود، این اجزا عبارتند از مقدار حجمی یا وزنی سیمان، آب، سنگدانه درشت، سنگدانه ریز و افزودنیهای مختلف دیگر بر حسب نوع بتن مورد نظر، که با تغییر در میزان هر کدام از این اجزای ترکیبات بتن، می‌توان مقادیر بهینه آنها را برای یک ویژگی خاص بتن تعیین نمود.

در روشهای مختلف بهینه‌سازی طرح بتن پس از تعیین متغیرهای تصمیم، تابع هدف رابطه‌سازی شده است، این رابطه بر مبنای نوع برنامه‌ریزی مد نظر، تعیین می‌گردد، مثلا در روش سیمپلکس به دنبال رابطه خطی برای تابع هدف هستیم و در روشهای دیگر مثلا تاگوچی تابع هدف به صورت غیرخطی رابطه‌سازی می شود. روابط زیر نمونه هایی از توابع مورد استفاده در روشهای مختلف، می‌باشند:

$$Y = \sum b_i . x_i + e$$

$$Y = \sum b_i . x_i + \sum b_{ij} . x_i . x_j + \sum b_{ii} . x_i^2 \qquad (۵)$$

که در این روابط Y تابع هدف یکی از خصوصیات بتن مانند مقاومت فشاری یا کارایی و ... ، b_i ضرایب ثابت رابطه، x_i متغیرهای تصمیم و e درصد خطای احتمالی در روابط می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، در روابط بالا در صورتی که



شکل۲: نمونه‌ای از برخی پارامترهای مرتبط با مقاومت فشاری بتن [۱۹]

مقدار ضرایب ثابت مشخص شوند، روابط کامل می‌شوند و تابع هدف بدست می‌آید، برای بدست آوردن این ضرایب از ساخت

نمونه‌های آزمایشگاهی و نتایج آن استفاده می‌گردد، بدین‌ترتیب که تعداد ضرایب رابطه معین شده و به تعداد آنها با توجه به استانداردهای موجود، طرحهای مختلف و همچنین برای کنترل تابع چند طرح اضافی کنترلی طراحی می گردد، سپس بر طبق طرحهای محاسبه شده مرحله قبل، نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده و آزمایشات مربوط به ویژگیهای مورد نظر مانند مقاومت فشاری و ... بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود، حال با جایگذاری مقدار هرکدام از اجزای ترکیبی بتن در رابطه تابع هدف، بجای متغیرهای تصمیم و نتیجه آزمایش متناظر با آن یک دستگاه چند معادله و چند مجهول بدست می‌آید، که با حل آن می‌توان مقادیر ضرایب ثابت رابطه را معین نمود. با بدست آمدن مقادیر ضرایب ثابت، رابطه کامل شده و می‌توان با جایگذاری مقادیر طرحهای کنترلی در رابطه بدست آمده، مقدار ویژگی مورد نظر را از رابطه بدست آورده و با نتایج واقعی آزمایشگاهی مقایسه کرد. با مقایسه نتایج واقعی و نتایج حاصل از رابطه ، می توان مقدار خطای رابطه را محاسبه و اعمال نمود تا درصد خطا کاهش یابد.

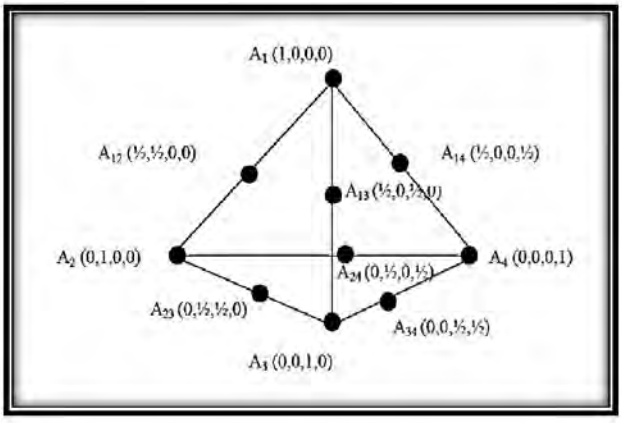
برای نوشتن تابع هدف می‌توان به دو صورت عمل نمود، در روش اول می‌توان با توجه به خواست مساله تابع هدف بدست آمده را ماکزیمم یا مینیمم کرد و در روش دوم می توان تابع جدیدی به صورت قدرمطلق تفاضل مقدار واقعی آزمایشگاهی و مقدار نتایج حاصل از رابطه تعریف و آن را مینیمم نمود. پس از تعیین رابطه اصلی تابع هدف، با توجه به شرایط اجرا و ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر، روابط محدودیت برای مقدار متغیرهای تصمیم نوشته می‌شود که این روابط نیز می‌تواند با توجه به روشی که برای حل مساله انتخاب شده است، خطی و یا غیرخطی باشد. با مشخص شدن تابع هدف و محدودیتها، مساله با روشهای مختلفی قابل حل است و می‌توان با حل آن مقادیر بهینه اجزای مختلف بتن را بدست آورد. در این میان انتخاب متغیرهای تصمیم تابع هدف و نوع رابطه‌سازی آن اهمیت زیادی در واقعی بودن جوابهای مساله دارد.

در روش تاگوچی نسبتهای اجزا اختلاط در ابتدا به صورت نسبت حجمی انتخاب شده و سپس برای اختلاط به وزن تبدیل می گردد. حدود ماکزیمم و مینیمم برای هر جز بر اساس نسبتهای حجمی مشخص می گردد. نسبتهای حجمی با استفاده از وزن مخصوصی که از آزمایشگاه بدست آمده اند به وزنهای متناظر آن تبدیل می شود. برای مدل‌سازی ریاضی از چندجمله‌ای Scheffe درجه دو به عنوان یک مدل قابل قبول برای هر خاصیتی که تابعی از چند جز باشد انتخاب می شود. از آنجایی که n ضریب در مدل وجود دارد ، حداقل بایستی n طرح اجرا شود، (n طرح اختلاط مجزا) تا این ضرایب تخمین زده شوند. علاوه بر n بار انجام آزمایش، برای کنترل مطابقت مدل، چند آزمایش اضافی (با طرح اختلاطهای متفاوت) باید انجام شود و برای برآورد تخمینی از قابلیت تکرارپذیری که به ما اجازه استفاده از روشهای آماری را می‌دهد، بایستی چند طرح اختلاط دقیقا تکرار گردد. نتایج با استفاده از آنالیز واریانس ارزیابی می شود(ANOVA).

دریک شبکه سیمپلکس، نسبت اجزا و مولفه‌های سازنده مخلوط به حجم و یا وزن کل بتن هستند. مولفه های مخلوط به این شرط محدود می‌شود که جمع آنها برابر یک است.

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \qquad (۶)$$

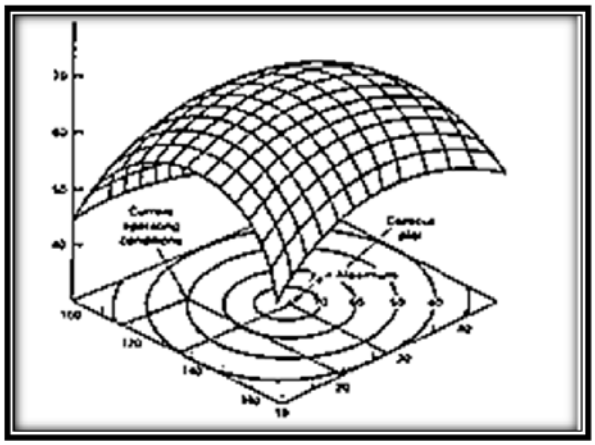
که در آن n تعداد مولفه های مخلوط می باشد. و x_i نسبت iامین مولفه در مخلوط است. در این روش نمی توان از نسبتهای اختلاط معمولی مانند ۱:۲:۴ یا ۱:۳:۶ استفاده کرد ، چون لازمه روش سیمپلکس اسچف، آنست که جمع کل مولفه‌ها یک باشد، بنابراین لازم است که یک تغییر در اجزای اصلی به اجزای مجازی داده شود.همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود، شبکه سیمپلکس چهاروجهی ارائه شده است، در هر نقطه این شبکه، مجموع اجزا و متغیرها برابر واحد می‌باشد. نمودار



شکل ۳: یک شبکه سیمپلکس چهار وجهی [۳]

شکل (۳) برای مخلوط با تعداد چهار جزء ترسیم شده است.

در روش فاکتوریل با انتخاب تعداد k جزء اختلاط، و تعیین حدود بالا و پایین مرزی برای مقادیر اجزای درنظر گرفته شده، حدود بالا و پایین یک جزء با حدود مرزی دیگر اجزا در رابطه قرار داده می‌شود و بهترین پاسخ بدست می‌آید. لذا بایستی چندین حالت مختلف بررسی شود، بنابراین غالبا این روش با استفاده از رایانه و برنامه‌نویسی انجام می‌پذیرد.



شکل ۴: نمونه‌ای از کانتورهای هم پاسخ

روش رویه هم‌پاسخ (RSM) برای مدل‌کردن و تحلیل مسائلی که هدف از آنها بهینه‌سازی پاسخ یک تابع است، بکار می‌رود. اولین گام در حل مساله RSM انتخاب داده‌ها و سپس بدست آوردن نتایج آزمایشگاهی مربوط به آن داده‌هاست. گام بعدی در این نوع مسائل ، یافتن تقریبی خوب برای ارتباط دادن پاسخ سیستم بر متغیرهای مستقل است. تقریبا در همه مسائل RSM از یکی از مدلهای چندجمله‌ای مرتبه اول یا دوم استفاده می‌شود:

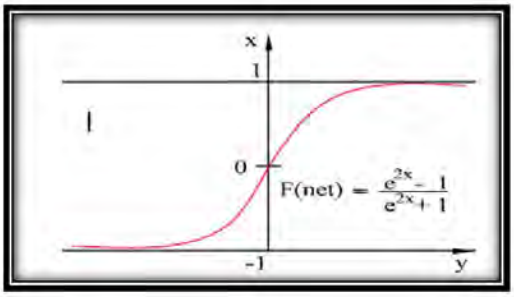
$$Y = \sum a_i . x_i + e$$

$$Y = \sum a_i . x_i + \sum a_{ij} . x_i . x_j + e \qquad (۷)$$

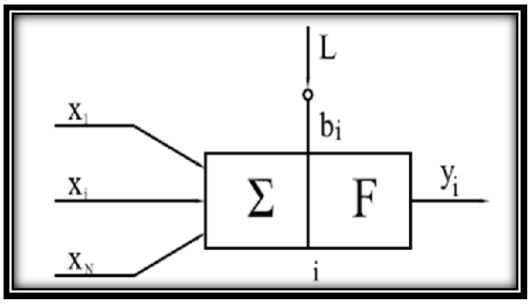
ضرایب a_i به ضرایب رگرسیون معروفند و از روش حداقل مربعات خطا بدست می‌آیند. بعد از تعیین مدل رگرسیون منحنی‌های هم پاسخ رسم می‌شود و سپس از روی این نمودارها می‌توان در مورد نقش پارامترهای مورد نظر در پاسخ تابع بحث کرد [۲۱].

روشهای پیش‌بینی مانند شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و SVM غالبا از یک بانک اطلاعاتی مربوط به نسبتهای اختلاط فراوان و آزمایشهای لازم انجام شده روی آن استفاده شده و سپس به وسیله نرم‌افزار تجزیه و تحلیل می‌شوند، سپس داده‌های اولیه، یک طرح اختلاط جدید را به سیستم، معرفی می‌نماید و سیستم با پردازش داده‌های قبلی مقدار تابع هدف مثلا مقاومت بتن با طرح اختلاط داده شده را به کاربر ارائه می‌دهد و در واقع برای یک طرح معرفی شده سیستم تابع هدف را پیش‌بینی می‌کند. به عنوان مثال شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌ها است، که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند. در این شبکه‌ها به کمک دانش برنامه‌نویسی، ساختار داده‌ای طراحی می‌شود که می‌تواند همانند نورون عمل کند. که به این ساختار داده نورون گفته می‌شود. بعد با ایجاد شبکه‌ای بین این نورونها و اعمال یک الگوریتم آموزشی به آن، شبکه را آموزش می‌دهند. در سیستمهای شبکه عصبی می‌توان در کنار یک خصوصیت مانند مقاومت فشاری ، ویژگیهای دیگری مانند اسلامپ و ... نیز پیش‌بینی کرد. در این روش بایستی ابتدا طرحهای مختلفی که قبلا انجام و آزمایش شده‌اند را در یک بانک اطلاعاتی و تعداد دفعات و چرخه‌های بررسی مساله را در رایانه وارد نموده و سپس تعداد پارامترهای ورودی، نوع تابع مورد نظر و تعداد لایه‌های پنهان عصبی و تعداد پارامترهای خروجی را مشخص کرد، پس از تکمیل برنامه نرم‌افزاری می‌توان با ارائه پارامترهای ورودی برای مساله جدید مورد نظر، مقدار پارامترهای خروجی را پیش‌بینی کرد. برای نمونه در یک کار انجام شده [۱۵] از تعداد ۳۰۰ طرح اختلاط بتن که از مقالات قبل گردآوری شده است، در ۱۰ پارامتر

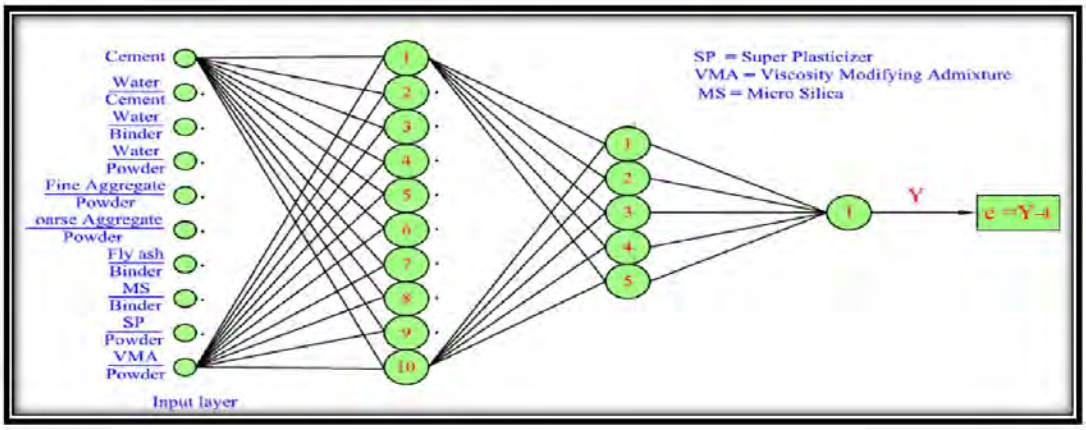
ورودی، ۲۰۰۰ چرخه، دولایه پنهان عصبی، تعداد یک پارامتر خروجی، با تابع *Tanh* و تقریب ۰/۰۱ برای پیش‌بینی ویژگیهای



شکل ۵: تابع انتقال تانژانت هایپربولیک [۱۵]



شکل ۶: یک دیاگرام عصب در شبکه [۱۵]



شکل ۷ : ساختار شبکه عصبی برای بتن خودتراکم و با کارایی بالا [۱۵]

بتن خودمتراکم و بتن با کارایی بالا، استفاده شده است[۱۵].

پس از بدست آوردن رابطه تابع هدف می‌توان به روشهای آماری مقدار خطای احتمالی موجود در رابطه را استفاده از نتایج آزمایشات کنترلی محاسبه و با تصحیح ضرایب نتایج تابع را به نتایج واقعی نزدیکتر نمود:

$$S = \sqrt{\sum \frac{(y_{act} - y_{pre})^2}{(n - p)}} \qquad (۸)$$

همچنین با استفاده از آیین‌نامه‌های معتبر مانند آبا، ACI، BS و DIN می‌توان توابع محدودیت را برای متغیرهای تصمیم بدست آورده و با توجه به روشهای مختلف بهینه‌سازی و همچنین نوع توابع هدف و محدودیت، مقادیر بهینه

۴- تحلیل و آنالیز روشها

با بررسی و مقایسه روش‌های معرفی شده، مشخص می‌شود که، روشهای مبتنی بر ریاضیات و توابع فرموله شده ، نتایج نزدیک به واقعیت و بسیار سریعتر از روشهای کلاسیک و آیین‌نامه‌ای به دست می‌دهد، در روشهای آیین‌نامه‌ای مراحل مختلف طراحی و لزوم رعایت فرضیات اولیه و همچنین نیاز به تجربه و قضاوت مهندسی روند طراحی بتن را پیچیده و زمان‌بر می‌نماید.

از بین روشهای ریاضی بهینه‌سازی طرح اختلاط بتن، با توجه به اینکه روشهای پیش‌بینی نتایج را از تحلیل و آنالیز بانک اطلاعاتی که قبلا توسط برنامه‌نویس در نرم‌افزار تعریف شده است، ارائه می‌دهد و کاربر، نحوه محاسبه نتایج را دریافت نمی‌کند و اطلاعاتی از آن ندارد، روش تحلیلی مناسبی نیست، در روشهای رابطه‌سازی ریاضی، در صورتی که انتخاب متغیرها و تابع هدف به طور مناسب انجام شده‌باشد، می‌توان نتایج مناسب و نزدیک به واقعیت به صورت تحلیلی بدست‌آورد. منظور از تعیین مناسب متغیرهای تصمیم اینست که با توجه به تابع هدف مساله باید پارامترهایی به عنوان متغیر تصمیم انتخاب شوند، که روابط منطقی ریاضی بین آنها و هدف مساله برقرار باشد.

با توجه به اینکه، روابط ویژگیهایی مثل مقاومت فشاری بتن با مقادیر اجزا تشکیل دهنده آن در واقعیت به صورت غیرخطی است، نتایج روشهایی که از توابع غیرخطی استفاده کرده‌اند به نتایج آزمایشگاهی و واقعی نزدیکتر است.

لذا مشاهده می‌شود که روشهای تاگوچی، منحنی هم‌پاسخ و فاکتوریل می‌توانند نتایج بهتری از طرح بتن را ارائه نمایند، که البته با توجه به روند وقت‌گیر روش فاکتوریل و پیچیدگی تفسیر نمودارها و کانتورهای روش هم‌پاسخ، استفاده از روش تاگوچی منطقی، سریع و از نظر زمان و هزینه طراحی به‌صرفه‌تر خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به استفاده روزافزون از انواع بتن به دلیل مزایای زیاد آن در سازه‌های مختلف، و لزوم اجرای پروژه‌های عمرانی با کیفیت و مقاومت بالا، آشنایی با روشهای طراحی بهینه بتن در این پروژه‌ها می‌تواند در اجرای با صرفه اقتصادی و کیفیت مناسب نقش اساسی داشته باشد.

روشهای بهینه‌سازی در عمران به چندین دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که مهمترین و پرکاربردترین آنها روشهای برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی غیرخطی هستند،که با توجه به نوع تابع هدف و شرایط مساله می‌توان از هر کدام از این دو روش استفاده نمود.

در فرآیند حل مساله بهینه‌سازی به هرکدام از دو روش ، ابتدا بایستی متغیرهای تصمیم متناسب با هدف مساله تعیین و سپس رابطه ریاضی تابع هدف و محدودیتها با توجه به شرایط مساله، معین گردد. نحوه انتخاب متغیر تصمیم، تابع هدف و محدودیتها، تاثیر زیادی در پاسخهای نهایی مساله دارد و هرچه متغیرها و پارامترهای مساله و تاثیر آنها بر تابع هدف بیشتر باشد، پاسخها به نتایج واقعی نزدیکتر می‌باشد.

روشهای بهینه‌سازی ریاضی ارائه شده درباره طراحی بتن مانند سیمپلکس، تاگوچی، فاکتوریل و منحنیهای هم‌پاسخ و ... همگی مبتنی بر فرآیندهای بهینه‌سازی معرفی شده و هر کدام با استفاده از یکی از دو روش خطی و یا غیرخطی و همچنین استفاده از نتایج واقعی آزمایشگاهی هستند و می‌توان با استفاده از روابط بدست آمده از این روشها برای هر نوع بتن و یا هر مخلوط متشکل از چند جز مختلف ، نسبتها و مقادیر بهینه اجزای تشکیل دهنده را برای بدست آوردن یک ویژگی خاص مورد نظر مانند مقاومت فشاری ، محاسبه کرد و از محاسبه طرح اختلاط به روشهای وقت‌گیر و پرهزینه سنتی و آیین نامه‌ای اجتناب نمود، البته یادآوری می گردد که انتخاب متغیر تصمیم و تابع هدف مناسب با مساله می‌تواند نتایج نزدیکتری به واقعیت ارائه دهد.

طراحی بتن به صورت بهینه می‌تواند با کاهش هزینه‌ها در یک مقاومت مشخص و یا افزایش مقاومت با کمترین افزایش هزینه ، به کیفیت هرچه بیشتر مقاطع بتنی سازه‌ها، کمک نموده و در هزینه‌ها صرفه‌جویی نماید، ضمنا این صرفه‌جویی اقتصادی سازندگان و کارفرمایان تمام سازه‌ها را نیز به اجرای با کیفیت بالاتر پروژه ترغیب می‌نماید ، که این خود می‌تواند زیرساختی برای اجرای سازه‌های فنی و مطابق استاندارد باشد.

مراجع

[1] Cheng Yeh, I. Computer-aided design for optimum concrete mixtures. Cement &Concrete Composites 29,PP 193–202, 2007.

[2] Ilinoiu,G. Concrete Mix Design Optimized Approach. Dimensi Teknik Sipil, Vol 6, NO. 1, Maret 2004, PP 49 – 56, 2004.

[3] Okere, C.E. and Onwuka, D.O. and Onwuka, S.U. and Arimanwa, J.I. Simplex-Based Concrete Mix Design. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)e-ISSN: 2278-1684 Volume 5, Issue 2 (Jan. - Feb. 2013), PP 46-55, 2013.

[4] Onwukaa, D.O. and Okerea, C.E. and Arimanwaa, J.I. and Onwukab, S.U. Prediction of concrete mix ratios using modified regression theory. Comp. Meth. Civil Eng., Vol. 2 No. 1, pp 95-107, 2011.

[5] Dvorkin, L. and Bezusyak, A. and Lushnikova, N. and Ribakov, Y. Using mathematical modeling for design of self compacting high strength concrete with metakaolin admixture. Construction and Building Materials 37,PP 851–864, 2012.

[6] Alqadi, N.S. and Bin Mustapha , K.N. and Naganathan, S. and Al-Kadi, Q.N.S. Development of self-compacting concrete using contrast constant factorial design. Journal of King Saud University – Engineering Sciences (2013) 25, PP 105–112, 2013.

[7] Mohammed, M.H. and Pusch,R. and Al-Ansari and Nand Knutsson, S. Optimization of Concrete by Minimizing Void Volume in Aggregate Mixture System. Journal of Advanced Science an Engineering Research Vol 2, No 3 September, PP 208-222, 2012.

[8] Raharjo, D. and Subakti, A. and Taviob. Mixed Concrete Optimization Using Fly Ash, Silica Fume and Iron Slag on the SCC's Compressive Strenght. Procedia Engineering 54, PP 827 – 839, 2013.

[9] Okere, C.E. and Onwuka, D.O. and Onwuka, S.U. and Arimanwa, J.I. Optimisation of concrete mix cost using Scheffe's simplex lattice theory. Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences 4(1), February, ISSN : 2141-8225; ISSN : 2251-0524, 2013.

[10] Garbalińska, H. and Kowalski, S.J. and Staszak, M. Linear and non-linear analysis of desorption processes in cement mortar. Cement and Concrete Research 40,PP 752–762, 2010.

[11] Abdelgader, H.S. How to design concrete produced by a two-stage concreting method. Cement and Concrete Research 29, PP 331–337, 1999.

[12] Mebrouki, A. and Belas, N. and Bouhamou, N. Experimental Planslans method to formulate a self-compacting cement paste. Mtaec9, 44(1)13, ISSN 1580-2949, 2010.

[13] Naik, T.R. and Kumar, N. and Rammeb, B.W. and Canpolat, F. Development of high-strength, economical self-consolidating concrete. Construction and Building Materials 30, PP 463–469, 2012.

[14] Bouziani, T. Assessment of fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete made with different sand types by mixture design modelling approach. Construction and Building Materials 49, PP 308–314, 2013.

[15] Raghu Prasad, B.K. and Eskandari, H. and Reddy, B.V.V. Prediction of compressive strength of SCC and HPC with high volume fly ash using ANN. Construction and Building Materials 23, PP 117–128, 2009.

[16] Şimşek, B. and Tansel, Y. and Şimşek, E.H. A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of the high strength self-compacting concrete. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 125, PP 18–32, 2013.

[17] Sivilevicius, H. and Podvezko, V. and Vakriniene, S. The use of constrained and unconstrained optimization models in gradation design of hot mix asphalt mixture. Construction and Building Materials 25, PP 115–122, 2001.

[18] Sonja, F. Design of self compacting concrete by particle packing optimization. 2009.

[۱۹] فامیلی،ه. ویژگیهای بتن، ترجمه کتاب نویل، ای.ام، ۱۳۹۱.

[۲۰] رمضانیان‌پور،ع.ا. و اعرابی،ن. تکنولوژی بتن، ترجمه کتاب نویل، آ. و بروکس، جی.جی، ۱۳۹۰.

[۲۱] مستوفی‌نژاد، د. و رئیسی، م. بررسی پودر سنگ آهک بر مقاومت فشاری بتن حاوی میکروسیلیس و بهینه‌سازی طرح اختلاط با استفاده از منحنی‌های هم‌پاسخ، نشریه علمی پژوهشی استقلال، دانشگاه اصفهان، سال۲۴، شماره۱، جلد۲، ۱۳۸۴.