

# شناسایی و اولویت‌بندی مشکلات عدم به کارگیری بتن پر مقاومت در ایران با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

مرتضی حسن نژاد<sup>۱</sup>، محمد جواد طاهری امیری<sup>۲\*</sup>، محمد رضا مداحیان<sup>۳</sup>، جواد برنجیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مدیریت و ساخت مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (Manshoor65@gmail.com)

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی مدیریت و ساخت مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (Jvd.taheri@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت و ساخت مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (M.madahian@yahoo.com)

<sup>۴</sup> استادیار و رئیس مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (Berenjian@nit.ac.ir)

کد مقاله: H

کد انجمن: IF

## چکیده

سال‌هاست در دنیا بتن پر مقاومت در مقیاس وسیع به کار گرفته می‌شود. شناخت تاریخچه بتن پر مقاومت و روند گسترش کاربرد و نیز موارد عمومی استفاده از آن، به پی بردن پتانسیل کاربرد بتن پر مقاومت در ایران کمک می‌کند. در این مطالعه برخی از مهم‌ترین کاربردهای بتن پر مقاومت و فواید آن نسبت به بتن معمولی سنجیده شده است، مشکلات موجود در راه ساخت و کاربرد بتن پر مقاومت و ساخت سازه‌های مورد نظر مشتمل بر؛ مشکلات مربوط به مشاغل و ذی‌نفعان صنعت بتن کشور، طراحی سازه، مشکلات موجود در تأمین مصالح تشکیل‌دهنده، مشکلات مربوط به طرح مخلوط و مشکلات موجود در اجرا و بهره‌برداری مطرح و تشریح گردید و در پایان پس از شناخت موانع و مشکلات، با استفاده از پرسشنامه و نظر کارشناسان و روش تحلیل سلسله مراتبی AHP<sup>۱</sup> به اولویت‌بندی آنها پرداخته شده است. بر اساس تحقیق انجام شده تأمین و تولید مواد متشکله اصلی‌ترین عامل در این مورد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن پر مقاومت، کاربرد بتن، مشکلات اجرای بتن، AHP

## ۱- مقدمه

در میان بتن‌های ویژه، بتن پر مقاومت<sup>۲</sup> (HSC) دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. امروزه استفاده از بتن پر مقاومت در پروژه‌های بزرگ دنیا بسیار رایج شده است. به طوری که ساخت بزرگ‌ترین و بلندترین سازه‌های جهان بدون استفاده از تکنولوژی پر مقاومت غیر ممکن می‌باشد. هر روز سازه‌های جدیدی در کشورهای مختلف با بتن پر مقاومت ساخته می‌شود. قطعاً در کشورهای پیشرفته مقدماتی برای این کار فراهم آمده است [۱-۲].

### ۱-۱- معرفی بتن پر مقاومت

این نوع بتن یک ماده شگفت‌آور نبوده و نیز شامل موادی به غیر از مواد تشکیل‌دهنده بتن‌هایی که تاکنون شناخته شده نمی‌باشد. اسم قبلی این بتن، «بتن با مقاومت زیاد» بود و تعریف بتن پر مقاومت نسبی است و به زمان اجرای کار و محل پروژه مربوط می‌شود. منابع مختلف تعاریف مختلفی برای بتن پر مقاومت ذکر کرده‌اند، اما آنچه واضح است مبنای مقاومت فشاری ۴۱ MPa به عنوان حد پائین این نوع بتن انتخاب شد [۳].

در ابتدائی‌ترین روش‌های تهیه بتن پر مقاومت، تولید بتن با نسبت‌های آب به سیمان بسیار پایین بود. این گونه بتن‌ها اکثراً فاقد کارایی مناسب بودند. در سال ۱۹۵۰ بتن با مقاومت فشاری ۳۴ MPa به عنوان بتن با مقاومت زیاد شناخته می‌شد [۴]. در سال ۱۹۵۷، کلایگر روش تهیه و طرح اختلاط بتنی را معرفی کرد که مقاومت ۲۸ روزه آن در محدوده ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بود. [۵]. ساخت بتن پر مقاومت در کشور چین در دهه ۱۹۵۰ با استفاده از سیمان‌های مخصوص بسیار متداول بوده است. مقاومت ۲۸ روزه چنین بتن‌هایی ۷۰۰ تا

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process

<sup>2</sup> High Strength Concrete

۸۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع گزارش شده است. لیکن در دهه ۱۹۸۰ در این کشور به دلیل مشکلات تولید سیمان مخصوص، ساخت بتن پر مقاومت با استفاده از سیمان پرتلند معمولی و نسبت‌های آب به سیمان پایین به همراه فوق‌روان‌کننده رواج یافت. مقاومت ۲۸ روزه این‌گونه بتن‌ها بین ۵۰۰ تا ۸۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع گزارش شده است [۶]. در سال ۱۹۷۳، پرینچیو گزارش‌هایی در ارتباط با ساخت بتن‌های با مقاومت فشاری ۲۸ روزه تا ۹۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع منتشر ساخت [۷]. به عنوان ارائه‌ی نمونه دیگری از ساخت بتن پر مقاومت با چنین مشخصاتی، می‌توان به پژوهش آیتسین، اشاره کرد. که تنها با استفاده از نسبت آب به سیمان پایین و فوق‌روان‌کننده، بدون استفاده از مواد معدنی ریز پوزولانی، موفق به ساخت بتن پر مقاومت گردید [۸]. لارنس با آزمایش روی سیمان‌هایی که تحت فشار زیاد متراکم شده بودند، مقاومت فشاری در حدود ۳۷۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع بدست آورد. طبق تحقیقات بنت و همکاران، اگر بتن ساخته شده با سیمان زود سخت شونده با فرکانس ۸۰۰ هرتز متراکم شود، مقاومت فشاری حدود  $1450 \text{ kg/cm}^2$  خواهد بود [۹].

## ۱-۲- موارد کاربرد بتن پر مقاومت در دنیا

با توجه به قسمت‌های پیشین، نخستین استفاده‌ها از بتن مقاومت بالا از نیمه قرن بیستم شروع شده و تاکنون بیشترین استفاده از بتن پر مقاومت در ایالات متحده، محدود به مناطق شیکاگو، نیویورک و هوستون بوده است [۱۰ - ۱۱]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای بتن پر مقاومت در پل سازی است. پروفیسور ضیا نشان داد برای دهانه‌های ۲۹ متری با افزایش مقاومت بتن از ۴۰ به ۷۰ مگاپاسکال می‌توان پل‌هایی با دهانه‌های تا ۱۷٪ بزرگ‌تر احداث کرد. پایه‌های پل‌های کلرودو (از مقاومت‌های ۴۵ تا ۹۰ مگاپاسکال در قطعه‌های مختلف این پل استفاده شده) پل u شکل لوزانیا<sup>۲</sup>، پل مموریال بریج<sup>۴</sup>، پرت‌نوف<sup>۵</sup> کانادا، نرم‌دی<sup>۶</sup> فرانسه و پل رودخانه لیانگک شوی، نمونه‌هایی از کاربرد بتن مقاومت بالا در پل سازی هستند.

گرچه در ساخت قسمت‌های مختلف ساختمان‌های بلند ممکن است از بتن پر مقاومت استفاده شود، ولی کاربرد اصلی آن سازه‌های خاص می‌باشد. تعدادی از ساختمان‌هایی که با بتن HSC در دنیا ساخته شده‌اند، مانند برج دوبی، برج تایپه ۱۰۱ و پتروناس است که برج دوبی بزرگترین برج دنیا با استفاده از بتن پر مقاومت بوده که دارای بیش از ۱۵۰ طبقه و بتنی با مقاومت فشاری بیشتر از ۸۰ مگاپاسکال می‌باشد [۱۲].

## ۱-۳- موارد کاربرد بتن پر مقاومت در ایران

در کشور ایران نیز در چند سال گذشته کارهای تحقیقاتی متعددی در زمینه بتن پر مقاومت، توسط متخصصین فن تکنولوژی بتن انجام گردیده است. علی‌رغم تحقیقات صورت گرفته گزارشی مبنی بر مورد مصرفی و کاربردی از این بتن در پروژه‌های ساخت کشور نشده است. مشخصات فنی بتن مقاومت بالا در هیچ کدام از دفترچه‌های مشخصات فنی عمومی سازمان برنامه و بودجه وجود ندارد. متأسفانه حتی در "روش ملی طرح مخلوط بتن" و "فهرست بهای پایه رشته ابنیه" نیز اشاره‌ای به این نوع بتن نشده است. در ادامه به شرح دلایل عدم کاربرد این بتن در ایران می‌پردازیم [۹ - ۱۳ - ۱۴].

## ۲- مشکلات به کارگیری بتن پر مقاومت در ایران

### ۲-۱- مشکلات موجود در مشاغل و ذی‌نفعان صنعت بتن کشور

بررسی و رسیدگی به مشکلات هر صنف نیز، نیاز به شناخت و مشکلات آن گروه از طریق وارد شدن به بطن کار و آشنایی با موانع فراروی آنها از نزدیک و شنیدن مشکل دست‌اندرکاران در صنف مربوطه دارد [۱۵]. ذی‌نفعان<sup>۲</sup> افراد و سازمان‌هایی هستند که به‌صورت فعال در پروژه درگیر می‌باشند. یا ممکن است، به واسطه نتیجه اجرای پروژه یا تکمیل پروژه به‌صورت مثبت یا منفی تحت تأثیر قرار بگیرند، همچنین ممکن است آنها بر پروژه یا نتایج آن اعمال نفوذ نمایند. بنابراین تیم مدیریت پروژه برای حصول اطمینان یک پروژه موفق باید ذی-نفعان را شناسایی کند، نیازمندی‌های آن را تعیین نماید و سپس بر نیازمندی‌ها، مدیریت و اثر گذاری نماید [۱۶]. گسیختگی و خرابی بتن تعداد زیادی از سازه‌های بتنی از جمله پل‌ها و ساختمان‌ها در سال‌های اخیر، روشن‌گر این واقعیت است که مهندسان به اندازه کافی با بتن آشنا نمی‌باشند [۱۷]. بر اساس سازمان‌هایی که عضو انجمن بتن گردیده‌اند دسته‌بندی صنعت بتن کشور، در شش حوزه تولید کنندگان مواد اولیه بتن، تولید کنندگان بتن و قطعات بتنی، اجرا، خدمات طراحی و کنترل مهندسی، مراکز نشر دانش فنی بتن، تولید کنندگان ماشین‌آلات و تجهیزات صنعت بتن و تولید کنندگان اولیه بتن تقسیم‌بندی گردیده است. حال برای شناسایی مشاغل این صنعت در مطالعه تحقیقاتی نجفی سارو کلابی برای برخی از سازمان‌های عضو انجمن بتن لیستی ارسال گردید تا نسبت به معرفی مشاغل صنعت خود و نیازهای آموزشی که

<sup>۲</sup> (با عیار سیمان  $410 \text{ kg/m}^3$  مقاومت فشاری از ۶۰ تا ۱۰۹ مگاپاسکال در قطعات آن استفاده شد) Louisiana's U-beams

<sup>۴</sup> Pat Tillman Memorial Bridge (با مقاومت فشاری ۶۹ مگاپاسکال)

<sup>۵</sup> Portneuf Bridge

<sup>۶</sup> Normandie Bridge

برای این مشاغل مناسب می‌بینند را بیان نمایند. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات، نهایتاً مشاغل صنعت بتن در ۲۵ شغل به صورت مستقیم شناسایی گردید. که دامنه آنها از رده کارگری تا تکنسین و مهندسان می‌باشد. بنابراین صنعت بتن کشور، سطح مدیریت کلان ضعف-ها و ایراداتی دارد [۱۸].

## ۲-۲- مشکلات مربوط به طراحی و اجرا و بهره‌برداری سازه

در EN و ACI ضوابط متفاوت با آئین‌نامه‌های طراحی سازه‌های بتن معمولی قید شده است و نیز تفاوت در محاسبه مدول ارتجاعی و مقاومت برشی و پیوستگی بتن و میلگرد، هر چند ناچیز، مطرح گردیده است. حتی در مورد جمع شدگی و خزش، نحوه محاسبه بیان شده است [۱۹]. در جدول شماره ۱ ضوابط چند آئین‌نامه معتبر و نیز آئین‌نامه بتن ایران «آبا» در مورد حداکثر مقاومت فشاری مجاز بتن و مبنای تعیین مقاومت‌های مربوط ذکر شده است. همان‌طور که عنوان شد، در کشور ما هنوز برای طراحی اعضای سازه‌ای با بتن پر مقاومت، آئین‌نامه منسجم و مناسبی تدوین نشده است.

جدول شماره ۱- حد بالای مقاومت فشاری مشخصه مجاز بتن با توجه به آئین‌نامه های مختلف [۲]

کشور	آئین‌نامه	تاریخ	حداکثر مقاومت فشاری مشخصه
اروپا	EC-2-02	۲۰۰۲	۹۰
کانادا	CSA A23.3-94	۱۹۹۴	۸۰ برای قاب‌های معمولی و ۵۵ برای طراحی لرزه‌ای قاب‌های شکل‌پذیر
آمریکا	ACI 318 R-02	۲۰۰۲	بدون محدودیت
ایران	آبا	۱۳۸۲	۵۰

یکی از مهم‌ترین اشکالات در اجرای این بتن، عدم رعایت طرح اختلاط و حفظ نسبت‌های بهینه مواد متشکله بتن است، که البته این مشکل برای همه بتن‌ها وجود دارد. عامل دیگر مصرف مواد افزودنی ناشناخته و به‌ویژه مصرف توأم چند ماده بدون توجه به سازگاری آنها با هم است. استفاده از روش‌ها و وسایل نامناسب برای ریختن و جادادن بتن. عامل مهمی که در تمام بتن‌ها در کشور همه‌گیر است، عدم مراقبت و محافظت یا به‌طور ناقص و با وسایل و روش‌های غیر مؤثر است. تسطیح و پرداخت عجولانه بتن قبل از این که بخش عمده‌ی جمع-شدگی اولیه و نشست بتن صورت گرفته باشد. قالب‌برداری زود هنگام در این بتن، و قالب‌برداری با اعمال فشار و ضربه نیز که منجر به ریزترک‌ها در این بتن است نیز عامل دیگری است. عدم توجه به مرحله‌بندی اجرا و از جمله کشیدن بی‌موقع کابل‌های پیش‌تندگی با رعایت نکردن ترتیب بتن‌ریزی که در نقشه‌ها پیش‌بینی شده است عامل دیگری است [۲۳].

یکی از مشکلات عمومی در بتن‌ریزی سازه‌ها، عمل ویریه زدن مناسب و صحیح می‌باشد. متأسفانه اکثر افرادی که عمل ویریه زدن را انجام می‌دهند غیر فنی بوده و با اصول آن آشنایی ندارند [۲۴]. پس از سخت شدن بتن و شروع مرحله بهره‌برداری، بهتر است از خشک شدن سریع بتن سخت شده پس از مرحله عمل‌آوری رطوبتی جلوگیری شود. روش‌های کنترل کیفیت، از قبیل آزمایش‌ها بر روی بتن تازه و سخت شده، تکرار آزمایش‌ها و تفسیر نتایج آنها، شبیه بتن‌های معمولی است [۲۰].

## ۲-۳- مشکلات موجود در تأمین مصالح تشکیل‌دهنده و قیمت بتن پر مقاومت

بتن‌های معمولی نسبت به مصالح مصرفشان خیلی حساس نمی‌باشند و مصالح، نسبت‌های اختلاط و شرایط عمل‌آوری آنها می‌تواند، بدون این که خواص مکانیکی بتن را تحت تأثیر قرار دهند، تغییرات کوچکی داشته باشند. اما در بتن‌های پر مقاومت باید تمام اجزای مخلوط، در محدوده تعیین شده قرار داشته باشد [۲۰]. در مطالعات و پژوهش‌هایی که دشتی ناصرآبادی و همکاران در بررسی ضعف‌ها و ایرادات اجرایی در ساخت و سازه‌های شهری انجام داده‌اند، اولویت نخست ایرادات و خطاهای ساخت به استفاده از مصالح نامرغوب مربوط شد [۲۱]. متأسفانه معادن تولید سنگدانه در کشور تولیدات غیر استاندارد به بازار عرضه می‌کنند، که بخش عمده‌ای از این تولیدات در کارهای سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. هزینه‌های بالای تولید و آگاه نبودن بسیاری از مصرف‌کنندگان از فواید ماسه استاندارد باعث شده که تولیدکنندگان رغبت چندانی به تولید فرآورده‌های استاندارد از خود نشان ندهند [۲۲].

علاوه بر شن و ماسه استاندارد در وهله بعدی، اکثر بتن‌های پر مقاومت جدید، حداقل دارای یک ماده سیمانی متمم می‌باشند که این مواد عبارتند از خاکستر بادی، میکروسیلیس، نانوسیلیس. و در کارهای بتنی جدید، تولید بتن پر مقاومت و دارای کارآیی کافی در کارگاه بدون استفاده از فوق‌روان‌کننده عملی نیست. این موضوع از جهتی به دلیل تغییراتی در ترکیبات فرعی سیمان و از طرف دیگر به دلیل خیلی خشن و بسته نبودن آئین‌نامه‌های مربوط به پذیرش فوق‌روان‌کننده‌هاست. بنابراین باید سیمان‌هایی را که با فوق‌روان‌کننده‌های خاصی سازگارند، تعیین نمود [۲۰].

در وهله سوم عوامل فوق سبب شده است قیمت ظاهری اولیه این بتن نسبت به بتن معمولی افزایش داشته باشد. که منجر به کاهش میل به مصرف این بتن شده است. ولی باید توجه داشت مزایای چشم‌گیری که این بتن نسبت به بتن معمولی دارد، می‌تواند دلیلی باشد، که از این عامل ناچیز چشم‌پوشی کرد.

#### ۲-۴- مشکلات مربوط به طرح مخلوط بتن

هنوز روش عمومی برای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن‌های پر مقاومت ارائه نشده است. و طرح اختلاط بتن‌های پر مقاومت، امروزه با توجه به روش‌های تجربی تعیین می‌شود و به نوع مصالح هر منطقه بستگی دارد و روش‌های قانون‌مند بسیار کمی برای طرح مخلوط بتن پر مقاومت وجود دارد. به عنوان مثال، انجمن سیمان پرتلند کانادا، طرح مخلوط به دست آمده از طریق سعی و خطا را بهترین روش برای تعیین نسبت‌های اختلاط در بتن‌های پر مقاومت می‌داند و می‌توان گفت که حتی در مقاومت‌های یکسان، طرح اختلاط بتن‌ها به مقدار قابل توجهی متفاوت است. این موضوع به دلیل اختلاف در کیفیت کلیه مواد خام تشکیل دهنده هر مخلوط نسبت به سایر مخلوط‌ها است. بنابراین اگر از آنها به عنوان یک راهنمای کلی در تولید بتن‌های پر مقاومت استفاده شود و یکی از آن نسبت‌ها عیناً در جای دیگری به کار رود، به احتمال زیاد بتن با همان مشخصات تولید نخواهد شد [۲۰]. در نهایت پیشنهاد می‌شود، مانند بتن‌های معمولی طرح اختلاط این بتن نیاز به ساخت تعدادی مخلوط آزمایشی دارد. و در درجه اول اطمینان حاصل گردد که مواد خام موجود، توانایی ایجاد مقاومت لازم را دارند و هیچ‌گونه ناسازگاری بین سیمان و مواد متمم افزودنی وجود ندارد و در صورت مناسب بودن مقادیر مقاومت‌ها نسبت به ساخت این بتن اقدام شود.

#### ۳- روش تحقیق

جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آنها باید به نوعی باشد که جامعه‌ی آماری مورد بررسی را به‌طور کامل پوشش دهد و حجم اطلاعات دریافتی به حدی باشد که سطح اطمینان آن بالا باشد و بتوان به آن استناد کرد. در این مطالعه روش‌های گردآوری اطلاعات عبارتند از:

##### ۳-۱- پرسش‌نامه

در این تحقیق تمام اعضای جامعه شانس یکسانی در انتخاب نمونه داشته‌اند و با توزیع پرسشنامه میان ۶ متخصص بتن با درجه کارشناسی ارشد و دکتری و میانگین سابقه اجرایی ۱۶/۲ سال در پروژه‌های کشور بودند، نهایتاً عوامل مؤثر به ترتیب درجه اهمیت مرتب شده و مهم‌ترین عامل انتخاب شده است. در این پژوهش، از قاعده‌ی ترکیبی به منظور استخراج اطلاعات استفاده شده است. این قاعده بدین صورت است که ترکیب وزنی از هر دسته را به عنوان یک اولویت به کار می‌گیرد [۲۵].

##### ۳-۲- روش AHP

این تکنیک اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح گردید. این تکنیک بر مبنای مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده که امکان فرموله کردن مسائل را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و نیز میزان سازگاری یا ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد [۲۶]. AHP<sup>۸</sup> روشی است که در آن یک روش پیچیده، به بخش‌های کوچک‌تر تجزیه می‌شود، سپس این اجزا در یک ساختار سلسله مراتبی قرار می‌گیرند. در این روش بر اساس قضاوت‌های ذهنی و با توجه به اهمیت هر معیار، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود و معیارهایی که بیشترین اهمیت را دارند، مشخص می‌شود. به عبارت دیگر ترتیب اولویت معیارها تعیین می‌شود [۲۷]. کاربردهای این روش تاکنون در بسیاری از زمینه‌های علمی به اثبات رسیده است. روشی مناسب برای تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده می‌باشد و اجازه می‌دهد که در فرآیندهای تصمیم‌گیری، قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده در کنار ساختار معیارهای تأثیر گذار در نظر گرفته شوند. در واقع AHP کمک کرده تا ساختار یک سیستم و محیط آن به گونه‌ای که اثر متقابل اجزا در خود دارد، درک شود و احتمال خطا را کاهش داده و نیز در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد [۲۸].

#### ۴- گزینه‌ها و معیارهای مورد ارزیابی

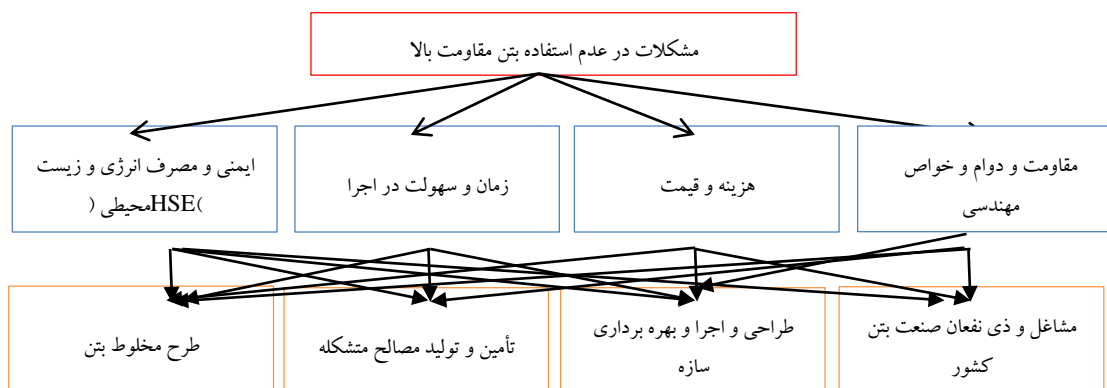
با توجه به قسمت‌های پیشین معیارهای در نظر گرفته شده در این مدل‌سازی، مقاومت و دوام و خواص مهندسی، هزینه و قیمت، زمان و سهولت در اجرا، و ایمنی و مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی<sup>۹</sup> (HSE) بوده است و عوامل مؤثر در عدم استفاده بتن پر مقاومت مشاغل و ذی‌نفعان صنعت بتن کشور، طراحی و اجرا و بهره‌برداری سازه، تأمین و تولید مصالح متشکله و طرح مخلوط بتن استنتاج شد، که در شکل شماره ۲ ساختار سلسله مراتبی این مسئله نشان داده شده است. در سطح اول ساختار، هدف مسئله که اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم به کارگیری بتن مقاومت بالا در ایران می‌باشد، آورده شده است. در سطح دوم معیارهای مؤثر در این اولویت‌بندی و در سطح سوم عوامل مؤثر بر عدم به کارگیری بتن مقاومت بالا در کارگاه‌های کشور نشان داده شده است.

#### ۴-۱- نتایج حاصل از روش AHP

توسط پرسشنامه‌های تنظیم شده، موارد کمی به کیفی تبدیل شده است. در ماتریس مقایسات زوجی هر درایه بیانگر درجه اهمیت معیار سطر نسبت به معیار ستون است. در جدول شماره ۲ ماتریس مقایسه زوجی معیارها آورده شده است. درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی حاصل میانگین هندسی نظرات پرسش‌شونده‌ها و تصمیم‌گیرندگان است. در این جدول وزن هر یک از معیارها آورده شده است.

<sup>8</sup> Analytical Hierarchy Process

<sup>9</sup> Health, Safety, Environment



شکل شماره ۲ - ساختار سلسله مراتبی معیارها و عوامل مؤثر بر آن

این وزن‌ها به روش میانگین حسابی محاسبه شده‌اند. در این روش ابتدا هر درایه نرمال می‌شود، بدین صورت که هر درایه بر مجموع درایه‌های همان ستون تقسیم می‌شود. سپس میانگین مقادیر نرمال شده در هر سطر وزن معیار یا گزینه‌ی مورد نظر را حاصل می‌کند.

جدول شماره ۲ - ماتریس مقایسه زوجی معیارها

معیار	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	وزن معیار
(۱) - ایمنی و مصرف انرژی	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۱۱۱
(۲) - زمان و سهولت در اجرا	۲	۱	۰/۵	۱	۰/۲۲۲
(۳) - هزینه و قیمت	۴	۲	۱	۲	۰/۴۴۴
(۴) - مقاومت و دوام و خواص مهندسی	۲	۱	۰/۵	۱	۰/۱۱۱

سپس برای تعیین نسبت میان معیارها و گزینه‌ها، ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل می‌شود. در [جدول شماره ۳](#) ماتریس مقایسه گزینه‌ها بر اساس معیار ایمنی و مصرف انرژی و زیست محیطی (HSE) آورده شده است.

جدول شماره ۳ - مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم با توجه به معیار ایمنی و مصرف انرژی و زیست محیطی (HSE)

معیار	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	وزن معیار
(۱) - طرح مخلوط بتن	۱	۱	۰,۱۲۵	۰,۲۵	۰/۰۷۱
(۲) - تأمین و تولید مواد مشکله	۱	۱	۰,۱۲۵	۰,۲۵	۰/۰۷۱
(۳) - طراحی و اجرا و بهره برداری سازه	۸	۸	۱	۲	۰/۵۷۱
(۴) - مشاغل و ذی نفعان صنعت بتن	۴	۴	۰/۵	۱	۰/۲۸۵

در [جدول شماره ۴](#) ماتریس مقایسه گزینه‌ها بر اساس معیار هزینه و قیمت آورده شده است.

جدول شماره ۴ - مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم با توجه به معیار هزینه و قیمت

معیار	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	وزن معیار
(۱) - طرح مخلوط بتن	۱	۰,۱۲۵	۰,۵	۰,۵	۰/۰۷۷
(۲) - تأمین و تولید مواد مشکله	۸	۱	۴	۴	۰/۶۱۵
(۳) - طراحی و اجرا و بهره برداری سازه	۲	۰,۲۵	۱	۱	۰/۱۵۴
(۴) - مشاغل و ذی نفعان صنعت بتن	۲	۰,۲۵	۱	۱	۰/۱۵۴

در [جدول شماره ۵](#) ماتریس مقایسه گزینه‌ها بر اساس معیار زمان و سهولت اجرا آورده شده است.

**جدول شماره ۵- مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا**

معیار	۱	۲	۳	۴	وزن معیار
۱- طرح مخلوط بتن	۱	۳	۳	۶	۰/۵۴۵
۲- تامین و تولید مواد متشکله	۰,۳۳	۱	۱	۲	۰/۱۸۲
۳- طراحی و اجرا و بهره برداری سازه	۰,۳۳	۱	۱	۲	۰/۱۸۲
۴- مشاغل و ذی نفعان صنعت بتن	۰,۱۶۶	۰,۵	۰,۵	۱	۰/۰۹۰

در [جدول شماره ۶](#) ماتریس مقایسه گزینه‌ها بر اساس معیار مقاومت و دوام و خواص مهندسی آورده شده است.

**جدول شماره ۶- مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم با توجه به معیار مقاومت و خواص مهندسی**

معیار	۱	۲	۳	۴	وزن معیار
۱- طرح مخلوط بتن	۱	۰,۲۵	۰,۲۵	۱	۰/۱۰
۲- تامین و تولید مواد متشکله	۴	۱	۱	۴	۰/۴
۳- طراحی و اجرا و بهره برداری سازه	۴	۱	۱	۴	۰/۴
۴- مشاغل و ذی نفعان صنعت بتن	۱	۰,۲۵	۰,۲۵	۱	۰/۱

پس از وزن دهی معیارها و گزینه‌ها، نوبت به اولویت‌بندی عوامل مؤثر در عدم به کارگیری بتن پر مقاومت در ایران می‌رسد. در [جدول شماره ۷](#) وزن نهایی عوامل محاسبه شده است و بر طبق این وزن‌ها، عوامل رتبه بندی شده‌اند. طبق این رده بندی تامین و تولید مواد متشکله مهم‌ترین عامل و به عنوان اولویت نخست در عدم استفاده بتن پر مقاومت در کشور ایران شناخته شد و پس از آن طراحی و اجرا و بهره برداری سازه تأثیر بسزایی داشته است.

**جدول شماره ۷- وزن نهایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عدم استفاده بتن مقاومت بالا در ایران**

اولویت	گزینه	وزن
اول	تامین و تولید مواد متشکله	۰/۴۱۱
دوم	طراحی و اجرا و بهره برداری سازه	۰/۲۶۰
سوم	طرح مخلوط بتن	۰/۱۸۶
چهارم	مشاغل و ذی نفعان صنعت بتن	۰/۱۴۳

**۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات**

بر اساس تحقیقات صورت گرفته و با در نظر گرفتن این مطلب که این نتایج منحصراً مربوط به نمونه خاص پرسشنامه‌های به کار رفته در این پروژه بوده و در بسیاری موارد جهت اظهار نظر قطعی نیاز به برنامه گسترده‌تری وجود دارد، موارد زیر قابل استنتاج و نتیجه‌گیری است:

منصفانه است که بگوئیم فاصله بین حالت ایده‌آل و نتایج عملی، در اغلب موارد زیاد می‌باشد. فاصله‌ی بین حالت دل‌خواه و نتایج عملی در کارهای بزرگ عمرانی، که هزاران متر مکعب بتن ریخته می‌شود به کمترین مقدار خود می‌رسد. در این نوع پروژه‌ها، بخش بزرگی از کوشش‌ها صرف تهیه بهترین بتن ممکن، برای رسیدن به هدف مورد نظر، می‌گردد. اهمیت تکنولوژی بتن را حداقل مساوی با اهمیت آنالیز و طراحی سازه بدانیم و با توجه به این که استفاده از بتن پر مقاومت از بسیاری جهات نسبت به بتن نرمال برتری دارند که از جمله آنها افزایش چشم‌گیر مقاومت فشاری و ایمنی است و در صورتی که مقاومت فشاری افزایش یابد، سایر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن بهبود می‌یابد، همین موضوع باعث مزیت آن شده است.

در این پژوهش عامل‌هایی که بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند، بیشترین تأثیر را در آن فرآیند دارند. بدین ترتیب مشخص است که برای هر یک از عوامل ذکر شده کدام گزینه بیشترین تأثیر را خواهد داشت. مطابق نتایج به دست آمده مشخص است که در معیار ایمنی و مصرف انرژی و زیست محیطی، گزینه طراحی و اجرا و بهره برداری سازه، در معیار هزینه و قیمت، گزینه تامین و تولید مواد متشکله، در معیار زمان و سهولت اجرا، گزینه طرح مخلوط بتن و در معیار مقاومت و خواص مهندسی گزینه‌های تامین و تولید مواد متشکله و طراحی و اجرا و بهره برداری سازه بیشترین تأثیر را داشته‌اند با توجه به جمع‌بندی تمامی نتایج و مشخص شدن ارزش هر یک از معیارها مشخص شد که در امر عدم استفاده از بتن مقاومت بالا مطابق **جدول شماره ۷** تأمین و تولید مواد متشکله به عنوان مهم‌ترین پارامتر شناخته شده است. برای رواج بیشتر بتن پر مقاومت در ایران پیشنهاد می‌شود، آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های محاسبات سازه‌ای برای این بتن‌ها تهیه گردد. هم‌چنین لازم است، برای تمام رده‌های بتن پر مقاومت روابطی برای تعیین E، مقاومت کششی، برشی، تنش پیوستگی بتن و میلگرد، جمع‌شدگی و غیره ارائه نمود. در تولید و عرضه مصالح استاندارد باید همت گماشت و اطلاعات اولیه در رابطه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی را به خریدار ارائه داد. در بتن‌های پر مقاومت تمام اجزای مخلوط، در محدوده تعیین شده قرار داشته باشند. بنابراین برای اطمینان از کیفیت بتن‌های پر مقاومت، تمامی مراحل مربوط به تولید آنها را باید کنترل نمود. این مراحل شامل یکنواخت بودن مصالح خام و روش‌های مخلوط کردن، انتقال، در قالب ریختن، ویریه کردن، عمل‌آوری و آزمایش‌های بتن سخت شده می‌باشد. در تولید بتن‌های پر مقاومت باید به تمام جزئیات، توجه کامل نمود. همچنین باید همکاری نزدیکی بین کارفرما، مشاور، پیمانکار، تهیه و تولید کننده مواد خام و آزمایشگاه وجود داشته باشد. این نکته را نیز باید مد نظر داشت که قوانین سرانگشتی حاکم بر بتن‌های معمولی را ممکن است در بتن‌های پر مقاومت نتوان به کار برد. با این وجود امروزه اطلاعات کافی در رابطه با بتن‌های پر مقاومت در دست است و می‌توان آنها را نه تنها در آزمایشگاه، بلکه در کارگاه نیز به‌طور پیوسته تولید نمود. امید است که آئین‌نامه‌ها و استانداردهای آزمایشگاهی کشور، خود را به تکنولوژی بتن‌های پر مقاومت برسانند و استفاده از این بتن در سطح کارگاه‌ها افزایش یابد. علاج این نقص در آن است که هم‌زمان با آموزش و طراحی سازه، دانش مناسب در مورد بتن هم آموخته شود. پیشنهاد می‌گردد صنعت بتن کشور، به یک جامع‌نگری در سطح مدیریت کلان در رابطه به مشاغل و ذی‌نفعان صنعت بتن کشور داشته باشد.

## ۱۰ - مراجع

- [۱]. حسین هادیان کمروی، محمدرضا سهرابی، "بررسی اثرات نوع دانه‌بندی مصالح سنگی در افزایش مقاومت فشاری بتن" مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای معماری و مصالح ساخت، ساری، ۱۳۹۰
- [۲]. مرتضی حسن نژاد، "بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن مقاومت بالا" مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای معماری و مصالح ساخت، ساری، ۱۳۹۰
- [۳]. آدام نوئل، "بتن شناسی" ترجمه: هرمز فامیلی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول (۱۳۷۸)
- [۴]. علی خیرالدین، حسین نادرپور، "بررسی رفتار غیر خطی تیرهای بتن آرمه با مقاومت بالا"، نشریه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، سال بیست و یکم، شماره یک (۱۳۸۸)
- [5]. Klieger, paul, "early high strength concrete for prestressing" proceeding, world conference on prestressed concrete" san frasco pp. a 5-1-a-5-14 (1957)
- [6]. علی اکبر مقصودی، حامد احمدی مقدم، "پژوهشی در مورد بتن‌های با مقاومت بالای پوزولانی" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، (۱۳۸۶)
- [7]. Perenchio, William f, " an evaluation of some of factors involved in producing very high strength concrete" reseach and development bulletin no rdo 11.1 t Portland cement association Skokie, (1973)
- [8]. Aisitein, pierre-claude and nahhas raid, "curing temperature and very high strength concrete" high strength concrete, Aci, (1993)
- [9]. فریدون کیوان، "تأثیر میکرو سیلیس بر روی خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران، اساتید راهنما: جواد برنجیان، مرتضی حسینعلی بیگی، (۱۳۷۹)
- [۱۰]. پ. کومار مهتا - پانولوج . م . مونه نیرو، "ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)"، ترجمه: اسماعیل گنجیان، علی اکبر رضانیانپور، پرویز قدوسی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم، ۱۳۸۸
- [11]. P. Kumar Mehta & Paulo J.M. Monteiro, "CONCRETE Microstructure, Properties, and Materials" Third Edition, (2002)
- [12]. Michael A. Caldarone "High Strength Concrete A Practical Guide", Taylor & Francis Publication, USA, 2009
- [۱۳]. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن "روش ملی طرح ملی مخلوط بتن" نشریه ض-۴۷۹ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- [۱۴]. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت ریاست جمهوری، "فهرست بهای واحد پایه رشته ابنیه، رسته ساختمان و ساختمان صنعتی"، ۱۳۸۷
- [۱۵]. مشکلات کلیدی فراوی پیمانکاران در طرح‌های عمرانی"، بهار اشرف، مجموعه مقالات چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۷
- [1] A Guide to project management body of knowledge "(PMBOK) Project Management Institute (PMI Standards 6 Committee, USA), (200
- [۱۷]. آدام نوئل، جی جی بروکس، "تکنولوژی بتن"، ترجمه: علی اکبر رضانیانپور و محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت چاپ هفدهم، ۱۳۸۶
- [۱۸]. محمد رضا نجفی ساروکلایی "ضرورت برگزاری آموزش مستمر و ضمن خدمت در روند اجرای پروژه‌های عمرانی مطالعه موردی: مشاغل صنعت بتن" مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰
- [۱۹]. محسن تدین، "مشکلات به کارگیری و اجرای بتن سبک‌دانه در ایران" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بتن سبک، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ۱۳۹۰

- [۲۰]. اس. اچ احمد، اس. پی. شاه، "بتن‌های توانمند و کاربردهای آن" ترجمه: موسی مظلوم و علی اکبر رمضانیاپور، چاپ انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۳۸۳
- [۲۱]. حیدر دشتی ناصر آبادی، مرتضی حسن نژاد، محمد جواد طاهری امیری "اولویت‌بندی اشکالات اجرایی ساختمان‌ها در استان مازندران" مجموعه مقالات همایش ملی سازه راه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ۱۳۹۰
- [۲۲]. محمود توکلی، "مصالح سنگی استاندارد و تکنولوژی تولید ماسه استاندارد" فصلنامه داخلی سازمان نظام مهندسی ساختمان مازندران، شماره ۲۶، پائیز ۱۳۸۹
- [۲۳]. مهدی قالیبافیان، "ضعف‌ها و اشکالات طراحی و اجرای ساختمان‌های بتنی" دوره آموزشی ضعف‌ها و اشکالات اجرایی ساختمان‌ها در حال ساخت، ۱۳۸۲
- [۲۴]. محمدرضا عدل‌پور، حمیدرضا وثوقی‌فر، مهدی شریفی "ارزیابی کیفی اجرای ساختمان‌های مسکونی فولادی و بتنی در شهر تهران جهت مقاوم سازی" مجموعه مقالات اولین همایش بین‌المللی مقاوم سازی لرزه‌ای،
- [۲۵]. حامد رضا طاریان، "برنامه‌ریزی و کنترل پروژه"، چاپ اول، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸)
- [2] J. Oraee. K., Hosseini. N., Gholinejad. M., "A new approach for determination of tunnel support system using analytical hierarchy process (AHP)", Coal Operators' Conference, 78-89, 2009.
- [۲۷]. بتول شمس، محمود قاسمی پور، "تعیین مهم‌ترین معیارهای تأثیر گذار پرنگان مهاجر با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تالاب سد حنا، مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰
- [۲۸]. مرادی حمید رضا و همکاران، تحلیل و برآورد خطر زمین لرزه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در بخش جاده هراز، فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش، دوره چهاردهم، شماره دوم (۱۴)، صفحه ۲۳۴ - ۲۴۷، تیر ۱۳۸۹



## **Identification and classification of the problems with disuse of high strength concrete in Iran by Analytical Hierarchy Process (AHP) method**

### **Abstract:**

It's for many years that high strength concrete is used in a extensive scale through the world. The understanding of the high strength concrete background and the usability expansion trend as well as the common cases to use it helps us understand the potential use of high strength concrete in Iran. In this research, some of the most important applications of high strength concrete and its advantages compared to the traditional concrete have been measured. The difficulties existing on the way of construction and use of the high strength concrete and the constructions given including the problems with the professions and the beneficiaries of the concrete industry of the country, the construction design, the problems with the mixture design and the difficulties existing in executing and exploiting was investigated. In the end, after knowing the barriers and the problems by the questionnaire use and the expert's attitude and AHP technique, we have classified them. Based on the investigating, providing and producing the constituent material is the main factor in this case.

**Keyword:** High strength concrete, concrete application, the problems with using the concrete