



ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تازه‌تشریفات نوین مقدمه‌مهندسی

سال پنجم، شماره ۲ (پیاپی ۳۰)، تابستان ۱۳۹۹

بهینه سازی طراحی کنترل کننده فازی با استفاده از یک الگوریتم کرم
شب تاب جدید با انطباق پارامتر فازی پویا
نوید مشتاقی یزدانی، محمدحسن علیانی طریقه

مبانی مرمت بافت‌های تاریخی شهری
امید شاطری وایقان، محمد دبیده، وحید کهیازاده

مطالعات بتن الیافی در سازه‌های شهری مورد مطالعه طول به قطر الیاف
فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی
کبری الهیاری، رضا الهیاری، زهرا کارگر

بررسی تأثیر سرعت جوشکاری به روش SMAW و استحکام کششی و
سختی فلز پایه (کربن استیل گرید B) در منطقه HAZB
امین جمال پور، علی حیدری مقدم

نشریه

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۲۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد یک
www.NRES.ir ۰۲۶۳۴۴۷۶۷۸/۰۲۱۳۳۲۰۲۴۸۷

چاپ

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳
نشانی: تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳
انتشارات هنر و علوم دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱۳۳۸۴۰۷۹۲

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: امیر حسین یوسفی
زیر نظر شورای سردبیری
مدیر اجرایی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی و داوری تحریریه: (به ترتیب حروف الفبا)

- دکتر محمدعلی ارجمند، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر شهرروز اسدی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر رضا افضل، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
- دکتر علی جباری، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر نعمت حسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر راحله خادمیان، عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
- دکتر چنگیز دهقانپایان، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
- دکتر علی رحمانی هنزکی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر قدرت الله رودینی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر مرتضی زیودار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر علی فروغی، عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
- دکتر محمدحسین کاظمی، عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد
- دکتر علی لکی روحانی، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان
- دکتر سیدحمید هاشمی، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر هجیر کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه یاسوج

فراخوان پذیرش مقاله:

نشریه «پژوهش‌های نوین علوم مهندسی» توسط موسسه مطبوعاتی مطالعات کاربردی شباک و با همکاری علمی اساتید برجسته دانشگاه‌های کشور به انتشار مقالات علمی در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی می‌پردازد. از این‌رو از تمام اساتید، صاحب‌نظران، کارشناسان، دانشجویان و پژوهشگران دعوت می‌شود با ارسال مقالات علمی خود از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.Nres.ir در پربارتر کردن این نشریه، ما را یاری نمایند. برای ارسال مقاله کافی است تا در وبسایت ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید.

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - مهندسی صنایع | - مهندسی برق و الکترونیک |
| - مهندسی عمران | - مهندسی انرژی و فیزیک |
| - مهندسی مکانیک | - مهندسی شیمی، نفت و پلیمر |
| - مهندسی معدن | - مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات |
| - مهندسی هوا فضا | - مبانی علوم مهندسی |
| - مهندسی مواد و متالورژی | - مدیریت دانش در علوم مهندسی |

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	بهینه سازی طراحی کنترل کننده فازی با استفاده از یک الگوریتم کرم شب تاب جدید با انطباق پارامتر فازی پویا نوید مشتاقی یزدانی، محمد حسن علیائی طرقیه
۱۵	مبانی مرمت بافت‌های تاریخی شهری امید شاطری وایقان، محمد دبدبه، وحید کهیازاده
۲۵	مطالعات بتن الیافی در سازه‌های شهری مورد مطالعه طول به قطر الیاف فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی کبری الهیاری، رضا الهیاری، زهرا کارگر
۴۷	بررسی تأثیر سرعت جوشکاری به روش SMAW و استحکام کششی و سختی فلز پایه (کربن استیل گرید B) در منطقه HAZ امین جمال پور، علی حیدری مقدم

بهینه‌سازی طراحی کنترل‌کننده فازی با استفاده از یک الگوریتم کرم شب تاب جدید با انطباق پارامتر فازی پویا

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۴

کد مقاله: ۷۲۴۷۹

نوید مشتاقی یزدانی^۱، محمد حسن علیائی طرقله^۲

چکیده

در این مقاله، ما اصلاح یک الگوریتم الهام گرفته از بر اساس رفتار زنبور عسل (BCO)، بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل (برای بهینه‌سازی کنترل‌کننده‌های فازی ارائه می‌کنیم). BCO یک تکنیک فوق‌ابتکاری با الهام از رفتار زنبور عسل در طبیعت است، که می‌تواند برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده شود. ابتدا، BCO کلاسیک با بهینه‌سازی کنترل‌کننده‌های فازی آزمایش شده است. سپس با اصلاح روش اصلی و گنجاندن منطق فازی به منظور تغییر پویای مقادیر پارامتر اصلی، الگوریتم حین اجرا ارائه شده است. در انتها اصلاح پیشنهادی الگوریتم BCO با رویکرد فازی برای بهینه‌سازی مسائل معیار کنترل استفاده شده است. مقایسه نتایج نشان دهنده آن است که روش BCO فازی پیشنهادی، بهتر از BCO سنتی در طراحی بهینه کنترل‌کننده‌های فازی عمل می‌کند.

واژگان کلیدی: منطق فازی، کنترل‌کننده فازی، BCO، تنظیم پارامتر پویا

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، Navid.moshtaghi@alumni.ut.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد مهندسی برق کنترل دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران، mh.olyaei123@sadjad.ac.ir

۱- مقدمه

در مسائل بهینه سازی، هدف اصلی این است که بهترین جایگزین در میان مجموعه‌ای از راه‌حل‌های ممکن را یافت. در برخی از موارد، فضای راه‌حل برای مشکلات بیش از حد بزرگ است و می‌تواند باعث شود که زمان یافتن بهترین راه‌حل، بسیار زیاد باشد. از سوی دیگر، حوزه‌های مختلف هوش محاسباتی وجود دارد که مجموعه روش‌هایی را برای حل مسائل جستجو و بهینه سازی ارائه می‌کند [۲]. این روش‌ها می‌تواند نتایج بسیار رقابتی تولید کند، علاوه بر این، الگوریتم‌های ابتکاری مبتنی بر جمعیت، یافتن بهترین راه‌حل را تضمین نمی‌کند، هرچند آن‌ها می‌توانند یک راه‌حل خوب را در مدت زمان معقولی پیدا کنند. این الگوریتم‌ها اخیراً به موضوع تحقیقی مورد علاقه [۳ و ۴] بسیاری از دانشمندان در حوزه هوش مصنوعی تبدیل شده است. هوش جمعی می‌تواند اینطور تعریف شود: مجموعه‌ای از تکنیک‌های فراابتکاری هوش مصنوعی بر اساس مطالعه سیستم‌های رفتار جمعی حاضر در طبیعت که معمولاً به شکل غیرمتمرکز و خودسازمان‌دهی می‌باشد [۵]. مطالعات بسیاری درباره الگوریتم‌های جستجو و بهینه سازی وجود دارد که به مسائل فراوانی اعمال شده‌اند. برای مثال: در [۶] یک الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای بهینه سازی قانون پایه مطلوب یک پایدارکننده سیستم قدرت فازی ارائه شده است، که به نوسان فرکانس پایین میرایی پس از اختلال سیستم‌های قدرت منجر می‌شود. در [۷] بهینه سازی طراحی کنترل کننده فازی نوع ۱ و نوع ۲ برای مخزن آب با استفاده از روش بهینه سازی کلونی زنبور عسل ارائه شده است. در [۸] طراحی یک کنترل کننده PID منطق فازی بهینه با استفاده از بهینه سازی کلونی زنبور عسل برای کنترل فرکانس در یک سیستم دیزل باد جداشده ارائه شده است. در [۹] طراحی کنترل PID مبتنی بر منطق فازی بهینه سازی کلونی زنبور عسل برای پایداری ریزشیکه ارائه شده است. در [۱۰] یک کنترل کننده فرکانس بار فازی بهینه با توابع عضویت خودکار تنظیم شده همزمان و قواعد کنترل فازی ارائه شده است. در [۱۱] بهینه سازی طراحی کنترل کننده‌های فازی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل ارائه شده و الگوریتم BCO برای بهینه سازی پارامترهای توابع عضویت یک کنترل کننده منطق فازی استفاده شده است. دستاورد اصلی این مقاله، اصلاح الگوریتم بهینه سازی کلونی زنبور عسل (BCO)، با اضافه کردن روش فازی به منظور تغییر پویای پارامترهای آن است. در منابع، مطالعات مشابهی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل برای حل مسائل مختلف وجود دارد، برای مثال [۱۲]، که در آن تفاوت اصلی با توجه به پیشنهاد ما، الگوریتمی است که استفاده شد. ما از بهینه سازی کلونی زنبور عسل BCO (که توسط تئودورویک در سال ۲۰۰۲ ایجاد شده) [۱۳ و ۱۴] استفاده می‌کنیم؛ بر خلاف الگوریتم مورد استفاده در [۱۵]، که کلونی زنبور عسل مصنوعی (که توسط کارابوگا ایجاد شده [۱۶])، هر دو الگوریتم الهام گرفته از زیست‌شناسی بر اساس رفتار زنبور عسل هستند، اما ویژگی‌های مختلفی نیز دارند که در زیر توضیح داده می‌شوند. الگوریتم ABC دارای: زنبور عسل‌های پیرو، زنبور عسل پیشرو و زنبور عسل کارگر، و سنجش انتخاب متفاوت است. الگوریتم BCO دارای: زنبور عسل پیرو، زنبور عسل پیشرو و فرایند الگوریتم متفاوت است. در این مورد، زنبورها از یک گام به جلو و یک گام به عقب استفاده می‌کنند، در گام به جلو، زنبور عسل راه‌حل‌های جدید را جستجو کرده و در گام به عقب، زنبور عسل اطلاعات راه‌حل‌های جدید را با زنبور عسل‌های کندو به اشتراک می‌گذارد، و این مورد نقش زنبور عسل پیرو و همکار را تعریف می‌کند، بنابراین این‌ها الگوریتم‌های مختلفی هستند.

مقاله به صورت زیر مرتب شده است. روش‌شناسی در بخش ۳، نظریه و عملیات الگوریتم در بخش ۲، موارد مورد استفاده در این کار در بخش ۴ و نتایج تجربی با استفاده از روش سنتی و با تطابق پویای پارامتر با استفاده از منطق فازی و مقایسه آماری بین دو الگوریتم در بخش ۵ شرح داده شده است. در نهایت، در بخش ۶ نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل (BCO)

الگوریتم پیشنهادی شده بر اساس کلونی زنبور عسل مصنوعی (BCO، بهینه سازی کلونی زنبور عسل) است، که یکی از الگوریتم‌های اخیراً پیشنهاد شده در زمینه هوش جمعی می‌باشد. در این مقاله بر روی مدل پیشنهادی لوسیک و تئودورویک در سال ۲۰۰۱ تمرکز دارد، و انگیزه آن، مشاهده رفتار هوشمند ازدحام‌های زنبور عسل است [۱۷ و ۱۸] استفاده شده است. بهینه سازی کلونی زنبور عسل (BCO) یک الگوریتم فراابتکاری است [۱۹] که در دسته الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت است قرار دارد. فرآیندهای بیولوژیکی و طبیعی مختلف الهام‌بخش این الگوریتم بوده‌اند. سیستم‌های طبیعی به منبع مهمی از ایده‌ها و مدل‌ها برای توسعه بسیاری از سیستم‌های مصنوعی تبدیل شده‌اند [۲۰]. ایده اصلی پشت BCO، ساخت سیستم چندعامله (کلونی زنبور عسل مصنوعی) [۲۱] است که به طور کارآمدی می‌تواند مسائل ترکیبی دشوار بهینه سازی را حل کند [۲۳، ۲۰].

۲-۱- اجزا و رفتار BCO

این مدل به صورت زیر سه جزء اصلی را تعریف می‌کند:

(۱) منبع غذایی: ارزش یک منبع غذایی به عوامل بسیاری بستگی دارد، از جمله نزدیکی آن به کندو، تمرکز منابع یا غذا و سهولت استخراج مواد غذایی.

(۲) زنبور عسل کارگر: آنها با یک منبع غذایی فعلی و یا استفاده شده مرتبط هستند. آنها با خود اطلاعاتی را درباره این منبع خاص، فاصله، محل و بازگشت به سهم خود با احتمال معینی حمل می کنند.

(۳) زنبورهای پیشرو: آنها در جستجوی مداوم یک منبع غذایی هستند.

۲-۱-۱- ساخت مسیر توسط زنبور عسل مصنوعی

در این مدل، یک زنبور عسل مجاز است هنگام خروج از کندو به کاوش و یافتن مسیری کامل بپردازد. زنبورهای عسل رقص تصادفی انجام شده توسط دیگر زنبورهای عسل را مشاهده می کنند. سپس این زنبورها با آرایه ای از حرکات رقص مشاهده شده مجهز می شوند. این مجموعه حرکات، به صورت θ اشاره می شود، و به عنوان راهنمایی در روند جستجوی غذا عمل می کند. θ شامل مسیر کاملی است که قبلاً توسط شریک او طی شده بود و زنبور عسل به مقصد هدایت خواهد شد. در طول جستجوی غذا، یک زنبور عسل از یک گره به گره دیگری می رود تا به مقصد برسد. در این مدل، یک قاعده ابتکاری برای کمک به انتقال زنبور عسل در تصمیم گیری خود درباره اینکه به کدام گره بعدی برود، استفاده می شود. این قاعده از دو عامل تشکیل شده است: برازش قوسی و ابتکار فاصله. برازش قوسی با معادله (۱) برای همه مسیرهای ممکن محاسبه می شود که می تواند توسط یک زنبور عسل بر روی یک گره خاص در یک لحظه خاص بازدید شود. قاعده انتقال در تصمیم گیری انتخاب گره بعدی به زنبور عسل کمک می کند، همانطور که در معادله ۱ نشان داده شده است. احتمال انتقال حالت، $P_{ij,n}$ ، احتمال حرکت از گره i به گره j بعد از N انتقال است. این امر طبق قرارداد در معادله (۱) تعریف شده است [۲۴].

$$p_{ij,n} = \frac{[p_{ij,n}]^{\alpha} \cdot [\frac{1}{d_{ij}}]^{\beta}}{\sum_{j \in A_{i,n}} [p_{ij,n}]^{\alpha} \cdot [\frac{1}{d_{ij}}]^{\beta}} \quad (1)$$

که در آن $p_{ij,n}$ برازش قوسی از گره i به گره j بعد از n انتقال است و d_{ij} فاصله بین گره i و گره j را نشان می دهد. توجه داشته باشید که $p_{ij,n}$ با فاصله گره تناسب معکوسی دارد. به عبارت دیگر، هرچه فاصله کوتاه تر باشد، احتمال انتخاب آن گره بیشتر خواهد بود. α متغیر دودویی است که سبب تاثیر یا عدم تاثیر برازش قوسی در مدل می شود. اگر آلفا تهی باشد، زنبور عسل تصمیم می گیرد از فاصله ابتکاری استفاده کند که گره های مجاور را ارزیابی و بسته به مقدار برازش، گره بعدی را تعیین می کند β کنترل سطح معناداری فاصله ابتکاری استفاده می شود [۲۷]. مراجع اصلی در منابع مطالعه برای پارامترهای آلفا و بتا مقادیری را ارائه نمی کنند، و مادر این مقاله، بتا را در محدوده ۲ تا ۷، و آلفا را بین ۰ و ۱ در نظر می گیریم. برازش قوسی، $p_{ij,n}$ ، مانند معادله ۲ تعریف شده است، اگر $|A_{i,n} \cap F_{i,n}| = 1$ باشد، نمونه مشترکی در هر دو $A_{i,n}$ و $F_{i,n}$ وجود دارد و بالعکس. $A_{i,n} - F_{i,n}$ نشان دهنده تفاوت بین مجموعه های $A_{i,n}$ و $F_{i,n}$ است اگر تنها یک گره در $A_{i,n}$ مانده باشد، مقدار $p_{ij,n}$ برابر یک می شود تا نشان دهد که گره تنها راه باقی مانده است. این امر در آخرین انتقال قبل از اینکه زنبور عسل گره شروع را به منظور تکمیل سفر خود بازبینی کند، اتفاق می افتد

$$p_{ij,n} = \begin{cases} \lambda, & j \in F_{i,n}, |A_{i,n}| > 1 \\ x, & j \notin F_{i,n}, |A_{i,n}| > 1 \\ 1, & |A_{i,n}| = 1 \end{cases} \quad \forall j \in A_{i,n}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (2)$$

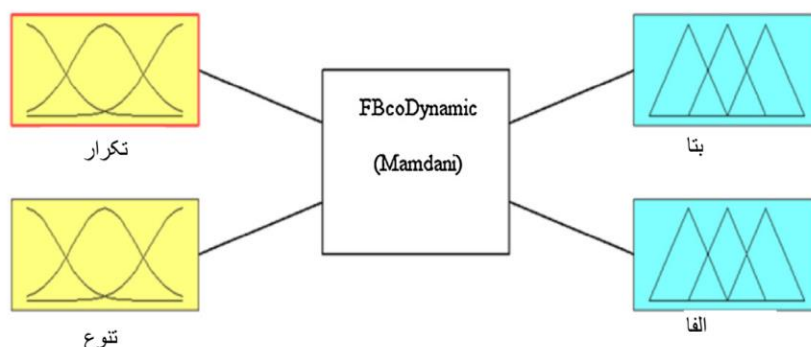
۳- الگوریتم با تنظیم پویا با استفاده از منطق فازی

در این بخش، اصلاح الگوریتم BCO با روش منطق فازی برای تنظیم پویای مقادیر پارامترهای آلفا و بتا ارائه شده است. روش پیشنهادی در زیر توصیف شده است [۲۵ و ۲۶]. هدف خاص در انتخاب الگوریتم BCO این است که از آنجا که چند کار اندک تحقیقاتی منتشر شده از این الگوریتم وجود دارد، اگر نتایج خوبی را بتوان هنگام مقایسه با توجه به الگوریتم های دیگر به دست آورد، میتوان از این الگوریتم پیشنهادی در بهینه سازی بهره برد.

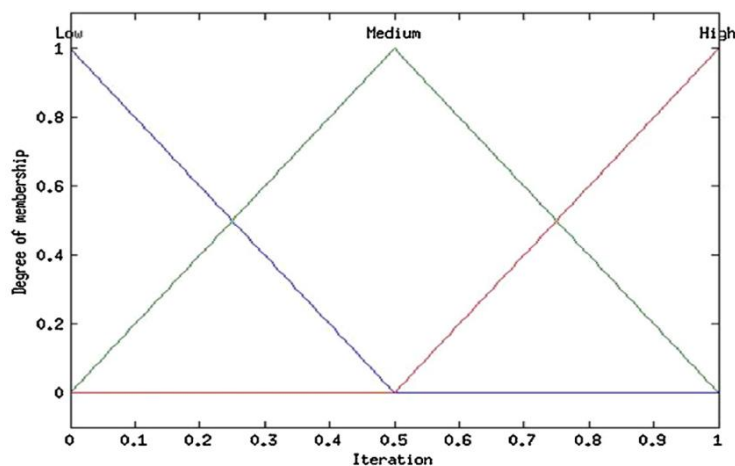
۳-۱- روش تطابق پارامترها

در این مقاله از معماری کنترل فازی زیر برای تغییر پویای پارامترها در زمان اجرا استفاده می شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است کنترل کننده منطق فازی مورد استفاده برای تنظیم پویای پارامترهای الگوریتم از نوع ممدانی با ۲ ورودی، ۲ خروجی و ۹ قاعده هستند که با دانش قبلی مسئله کاوش و بهره برداری در فضاهای جستجو انتخاب شده است. به عنوان ورودی از

متغیر تکرار الگوریتم برای سنجش حالت تکرارها استفاده می‌کنیم، زمانی که الگوریتم شروع می‌شود، مقدار تکرارها را ابتدا کوچک در نظر می‌گیریم پس از آن رفته رفته مقدار تکرارها بیشتر و نزدیک به ۱۰۰٪ در نظر گرفته می‌شود. برای نشان دادن این ایده، از فرمول (۳) استفاده می‌کنیم [۲۷]، متغیر ورودی، تعداد تکرارهای الگوریتم را در نظر می‌گیرد.



شکل ۱- ساختار سیستم فازی برای تنظیم پویای پارامترها



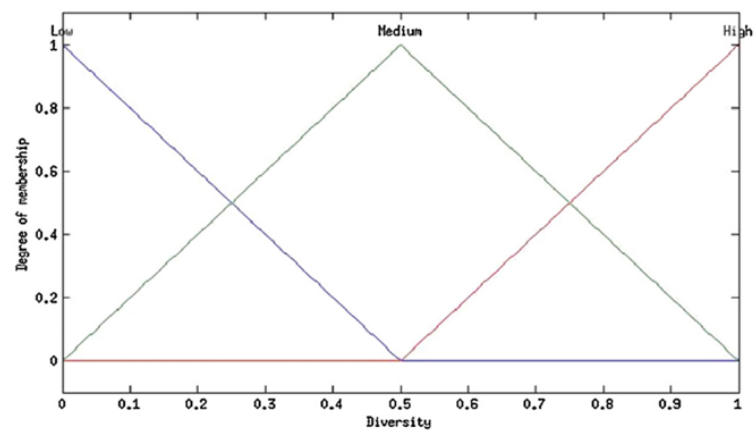
شکل ۲- متغیر ورودی تکرار

متغیر ورودی دوم، تنوع تعریف شده توسط فرمول (۴) است که میزان پراکندگی زنبورهای عسل را اندازه‌گیری می‌کند، در زمانی که زنبورها به هم نزدیک‌تر هستند، تنوع کمتر و هنگامی که زنبورها جدا هستند، تنوع بالاست. معادله تنوع می‌تواند به‌عنوان متوسط فاصله اقلیدسی بین هر زنبور عسل و بهترین زنبور عسل مشاهده شود، متغیر ورودی تنوع، مقدار پراکندگی زنبورها را در نظر می‌گیرد و مقادیر در هر تکرار الگوریتم در حال تغییر هستند. با استفاده از فرمول (۴) تعریف می‌شود، که توابع عضویت متغیر ورودی تنوع را نشان می‌دهد در این مورد، x_{ij} نشان دهنده راه‌حل فعلی و z_j نشان دهنده بهترین راه‌حل جهانی است.

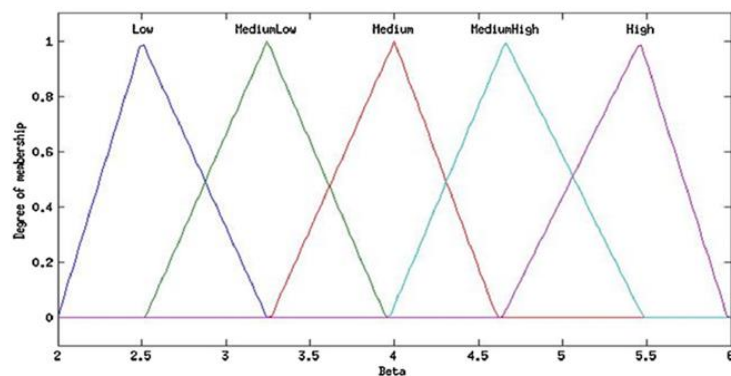
$$\text{تکرار کنونی} = \frac{\text{تکرار کنونی}}{\text{حداکثر تکرارها}} \quad (۳)$$

$$D = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^n \sqrt{\sum_{j=1}^{n_x} (x_{ij}(t) - z_j(t))^2} \quad (۴)$$

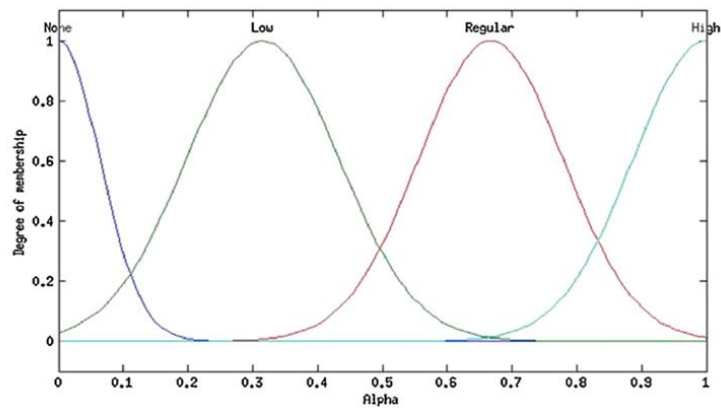
خروجی بتا به صورت پنج تابع عضویت مثلثی و متغیر خروجی دوم آلفا به چهار تابع عضویت گاوسی دسته‌بندی می‌شود، پس از تعریف متغیرهای ورودی و خروجی ممکن، آنها را برای تولید مقادیر خروجی مختلف α و β ترکیب می‌کنیم.



شکل ۳- متغیر ورودی تنوع



شکل ۴- متغیر خروجی بتا



شکل ۵- متغیر خروجی آلفا

در زیر مجموعه قواعد فازی تعریف شده در روش پیشنهادی نشان داده می شود:

۱. اگر (تکرار پایین) و (تنوع پایین باشد)، (بتا متوسط است) (آلفا عادی است)
۲. اگر (تکرار پایین) و (تنوع متوسط باشد)، (بتا بالا است) (آلفا بالا است)
۳. اگر (تکرار پایین) و (تنوع بالا باشد)، (بتا متوسط-پایین است) (آلفا پایین است)
۴. اگر (تکرار متوسط) و (تنوع بالا باشد)، (بتا متوسط-بالا است) (آلفا عادی است)
۵. اگر (تکرار متوسط) و (تنوع متوسط باشد)، (بتا متوسط است) (آلفا بالا است)
۶. اگر (تکرار متوسط) و (تنوع پایین باشد)، (بتا متوسط-بالا است) (آلفا کم است)
۷. اگر (تکرار بالا) و (تنوع پایین باشد)، (بتا پایین است) (آلفا بالا است)
۸. اگر (تکرار بالا) و (تنوع متوسط باشد)، (بتا بالا است) (آلفا عادی است)

۹. اگر (تکرار بالا) و (تنوع بالا باشد)، (بتا متوسط-بالا است) (آلفا عادی است) برای این مشکل، مجموعه‌ای از ۹ قاعده برای تعریف تطابق پارامترها استفاده می‌شود، قواعد با کمک دانش قبلی بر اساس آزمایش‌های انجام شده طراحی می‌شود، که در آن مشاهده گردید زمانی که این ترکیب قواعد استفاده شود، نتایج بهتری به دست می‌آید. مسئله اصلی دستیابی به ترکیب درست قواعد برای به دست آوردن کنترل مناسب مقادیر پارامتر در BCO است. در فلوچارت ۱ سلسله مراحل الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است:

شبه کد الگوریتم پیشنهادی نیز به شرح زیر ارائه شده است:

مرحله ۱: تولید تصادفی جمعیت اولیه n زنبور عسل پیشرو برای پارامترهای MF.

برای شروع الگوریتم، مجموعه‌ای از غذاهای منبع تصادفی تولید شده است، که در آن هر بردار نشان دهنده یک زنبور عسل بوده و زنبور عسل یک مسیر را به یاد دارد و این مسیر یک راه‌حل ممکن برای این مشکل است، که در این مورد، نشان دهنده مقادیر پارامترهای تابع عضویت کنترل کننده فازی است. این جمعیت اولیه باید راه‌حل‌های احتمالی را داشته باشد که محدودیت‌ها را برآورده سازد. $NC = 0$ را تنظیم کرده، و مقدار برازش جمعیت‌های اولیه را با (۶) ارزیابی کنید.

مرحله ۲: انتخاب m محل برتر برای جستجوی مجاورت.

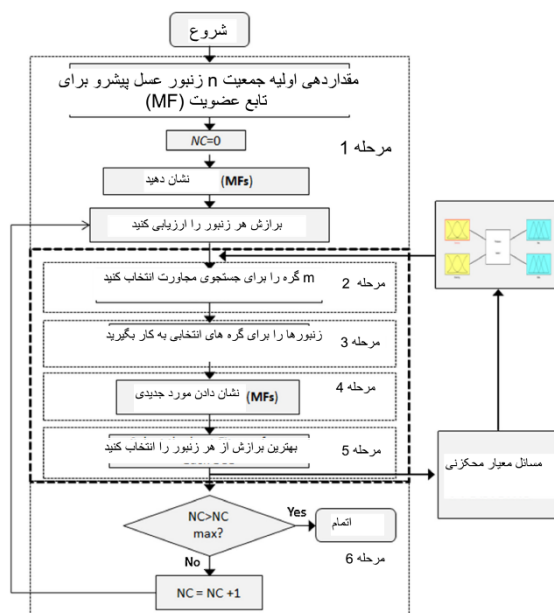
حافظه انتخابی زنبور عسل شامل بهترین مسیر یافت شده تا به حال است، و برای تعریف برازش هر زنبور عسل، معادله میانگین مربع خطا استفاده شده است، که معادله (۹) است.

مرحله ۳: زنبور عسل‌های همکار برای محل‌های انتخاب شده استفاده می‌شود (بیشتر زنبورها برای بهترین محل‌ها).

مرحله ۴: نشان دهنده مقدار جدیدی از MF از هر زنبور عسل کارگر است.

مرحله ۵: زنبورهای عسل با بالاترین برازش را از هر مسیر انتخاب کنید.

مرحله ۶: معیار توقف را بررسی کنید. اگر برآورده شود، جستجو را خاتمه داده، اگر $NC = NC + 1$ باشد، بهترین مقادیر پیدا شده را نشان دهید و ذخیره کنید و به ارزیابی راه‌حل‌های جدید برگردید.

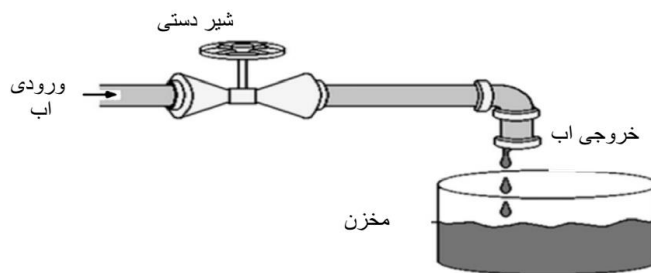


شکل ۶- رویه‌ای برای تنظیم پارامترها در الگوریتم BCO

۴- مسائل معیار

۴-۱- کنترل کننده فازی برای مساله معیار تنظیم مخزن

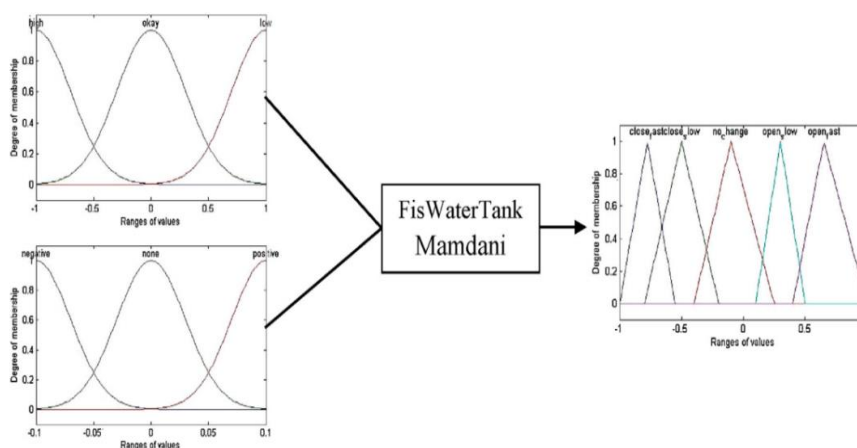
در این مسائل برای تست عملکرد کنترل کننده‌ها، از یک مدل ریاضی استفاده می‌شود [۲۸] مساله اول، کنترل کننده مخزن آب نام دارد، که به این شرح است: هدف کنترل کننده در سطح آب خاص در مخزن است، بنابراین، باید سطح آب واقعی در مخزن را بدانیم و سپس قادر به تنظیم شیر باشیم. شکل (۶) به طور تصویری روش بازشدن دریچه و از این رو، روند پرشدن مخزن را نشان می‌دهد. متغیر سطح آب به عنوان ورودی و متغیر سرعت بازشدن شیر مخزن پرکننده به عنوان خروجی است [۲۹]. هدف اصلی در این مورد، طراحی کنترل کننده فازی برای حفظ سطح آب در مخزن است.



شکل ۷- ارائه تصویری از مساله تنظیم مخزن

۴-۱-۱ ویژگی‌های کنترل کننده فازی

اکنون ویژگی‌های کنترل کننده فازی که مورد استفاده قرار گرفتند را ارائه می‌کنیم. کنترل کننده دارای دو ورودی به سیستم فازی است: اول، سطح آب است که سه تابع عضویت با مقادیر کلامی «بالا»، «خوب» و «پایین» دارد، همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است. متغیر ورودی دوم، نرخ سه تابع عضویت با مقادیر زبانی «منفی»، «خوب» و «مثبت» نام دارد و در شکل ۸ نشان داده شده است. نام برچسب‌های کلامی بر اساس فرایند تجربی رفتار پرشدن یک مخزن آب اختصاص داده شده است. سیستم استنتاج فازی، یک متغیر خروجی به نام «شیر» دارد که پنج تابع «عضویت مثلثی» با مقادیر کلامی ذیل دارد: «بسته-سریع»، «بسته-کند»، «بدون تغییر»، «باز-کند» و «باز-سریع».



شکل ۸- ساختار کلی سیستم فازی با متغیرهای ورودی و خروجی

قواعد فازی کنترل کننده عبارت‌اند از:

- اگر (سطح خوب باشد)، (شیر بدون تغییر است).
- اگر (سطح پایین باشد)، (دریچه باز-سریع است).
- اگر (در سطح بالا باشد)، (شیر بسته-سریع است).
- اگر (سطح خوب) و (نرخ مثبت است)، (شیر بسته-کند است).
- اگر (سطح خوب) و (نرخ منفی است)، (شیر باز-کند است).

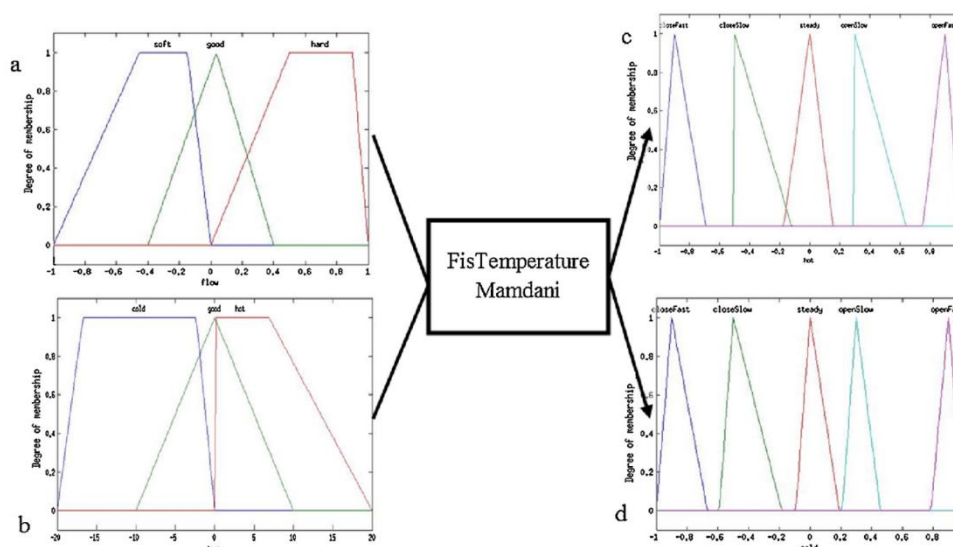
ترکیب قواعد به صورت تجربی با توجه به نظریه چگونگی اجرای فرایند پرکردن مخزن آب مشخص شد. ما این ۵ قاعده را برای نمایش رفتار کنترل کننده فازی در نظر می‌گیریم [۳۰].

۲-۴- مساله کنترل دما

در این بخش، مساله معیار کنترل دما، که برای آزمایش روش پیشنهادی نیز استفاده شد، به صورت دقیق توصیف شده است. مشکل اصلی در این مطالعه موردی، کنترل دما در جریان آب است [۳۱].

1. If (ev is N) and (ew is N) then (T1 is N)(T2 is N)
2. If (ev is N) and (ew is Z) then (T1 is N)(T2 is Z)
3. If (ev is N) and (ew is P) then (T1 is N)(T2 is P)
4. If (ev is Z) and (ew is N) then (T1 is Z)(T2 is N)
5. If (ev is Z) and (ew is Z) then (T1 is Z)(T2 is Z)
6. If (ev is Z) and (ew is P) then (T1 is Z)(T2 is P)
7. If (ev is P) and (ew is N) then (T1 is P)(T2 is N)
8. If (ev is P) and (ew is Z) then (T1 is P)(T2 is Z)
9. If (ev is P) and (ew is P) then (T1 is P)(T2 is P)

شکل ۹- ترکیبی از قواعد فازی استفاده شده برای کنترل



شکل ۱۰- (الف) جریان، (ب) دما، (ج) گرم، (د) سرد

۲-۴-۱- ویژگی‌های کنترل کننده فازی استفاده شده

در زیر، ویژگی‌های کنترل کننده فازی استفاده شده در این کار ارائه شده است. کنترل کننده از نوع ممدانی بوده، و پارامترهای ورودی و خروجی توسط متغیرهای کلامی ارائه شده‌اند. مقادیر کلامی دو متغیر ورودی و خروجی «دما»، «جریان» برای ورودی و «سرد» و «گرم» برای خروجی است، که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. توابع عضویت برای ورودی‌ها نوع دوزنقه‌ای و مثلثی هستند و متغیرهای خروجی از شکل مثلثی هستند، همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. تصمیم می‌گیریم که از ۹ قاعده فازی استفاده کنیم که معمولاً در کنترل این مسئله در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۴- مسئله کنترل پاندول معکوس

مسئله کنترل پاندول معکوس، کاربرد آزمایش استاندارد برای روش‌های کنترل پیچیده است، و پیچیدگی آن از ماهیت غیرخطی مسئله نشأت گرفته است [۳۲]. مسئله پاندول معکوس نمونه مجبویی از استفاده از کنترل بازخورد برای پایداری یک سیستم ناپایدار حلقه باز با ورودی‌های کنترل کمتر از درجه آزادی است. همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. میله تنها

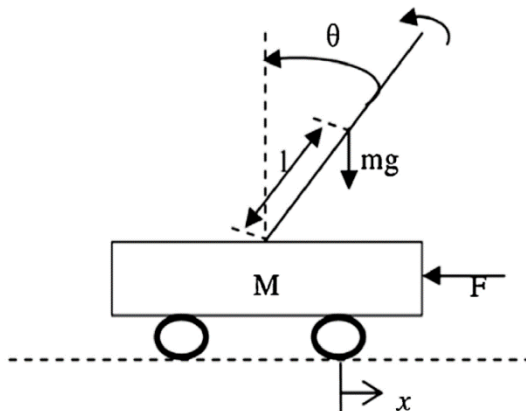
در سطح عمودی، چرخشی ندارد. و اگر هیچ نیروی جانبی به جسم چرخدار وارد نگردد متعادل باقی می‌ماند. هدف کنترلر، اعمال دنباله‌ای از نیروهای چپ یا راست با بزرگی ثابت به جسم چرخدار چرخدار است، به طوری که؛ زمانی که به نقطه تعادل قائم برسد آونگ را پایدار می‌کند.

۴-۴-۱- ویژگی‌های کنترل کننده فازی مورد استفاده

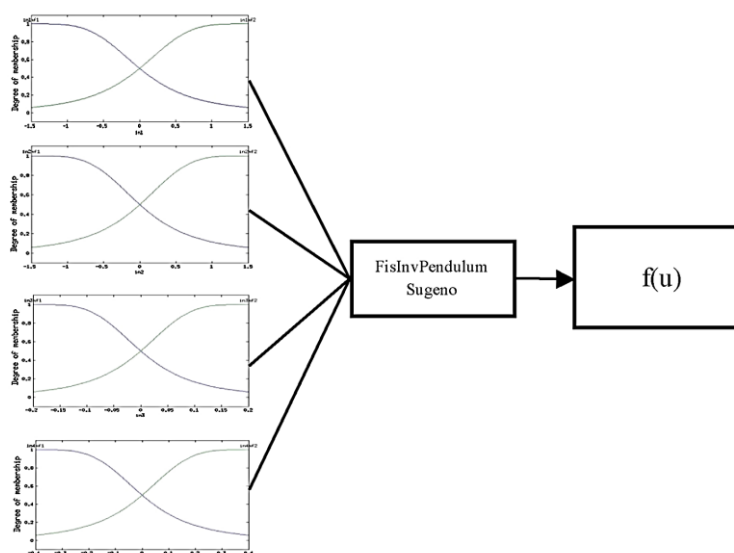
در زیر، ویژگی‌های کنترل کننده فازی استفاده شده در این کار ارائه شده است. کنترل کننده می‌تواند از نوع تاکاگی سوگنو باشد. در این مطالعه موردی، از کنترل کننده‌های نوع سوگنو استفاده کرده و عملکرد را مقایسه خواهیم نمود تا ببینیم آیا این روش برای این مشکل خوب است یا خیر. طرح کلی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. کنترل کننده مورد استفاده در این مطالعه موردی از نوع سوگنو است، و به‌عنوان ورودی، چهار متغیر با توابع عضویت از نوع زنگوله‌ای تعمیم یافته را در نظر گرفته و خروجی توسط توابع ریاضی تعریف می‌شود. خروجی کنترل کننده تابع، نشان دهنده نیرویی است که باید جسم چرخدار را برای حفظ تعادل در آونگ هل دهد [۳۳].

1. If (temp is cold) and (flow is soft) then (cold is openSlow) (hot is openFast)
2. If (temp is cold) and (flow is good) then (cold is closeSlow)(hot is openSlow)
3. If (temp is cold) and (flow is hard) then (cold is closeFast)(hot is closeSlow)
4. If (temp is good) and (flow is soft) then (cold is openSlow)(hot is openSlow)
5. If (temp is good) and (flow is good) then (cold is steady)(hot is steady)
6. If (temp is good) and (flow is hard) then (cold is closeSlow)(hot is closeSlow)
7. If (temp is hot) and (flow is soft) then (cold is openFast)(hot is openSlow)
8. If (temp is hot) and (flow is good) then (cold is openSlow)(hot is closeSlow)
9. If (temp is hot) and (flow is hard) then (cold is closeSlow)(hot is closeFast)

شکل ۱۱- ترکیبی از قواعد استفاده شده در کنترل کننده



شکل ۱۲- سیستم پاندول معکوس



شکل ۱۳- ساختار کلی کنترل کننده فازی

۵- نتایج شبیه سازی

در این بخش، نتایج به دست آمده از بهینه سازی پارامترهای توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی برای کنترل کننده های فازی ارائه شده است و آزمایش ها با تغییر پویای پارامترهای الف و بتا انجام می شود. مقادیر ارائه شده، نتایج ۳۰ آزمایش هستند که مقادیر مختلف پارامترهای الف و بتا دارند. در این مورد، معادله برای محاسبه مقدار برازش هر زنبور عسل، (معادله ۲) توسط معادله میانگین مربعات خطا (MSE) (معادله ۹) جایگزین شده است، بنابراین عملکرد کنترل کننده فازی طراحی شده توسط کلونی زنبور عسل الگوریتم BCO با این تابع را می سنجیم.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N [x(k) - y(k)]^2 \quad (9)$$

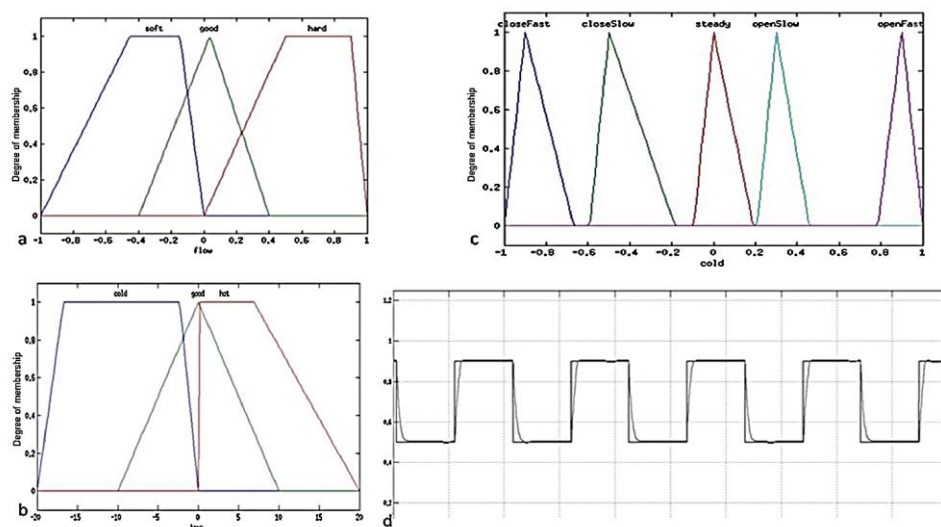
در معادله (۹)، $X(K)$ نشان دهنده مقدار مرجع در زمان K ، $Y(K)$ نشان دهنده مقدار تولید شده توسط سیستم در زمان K و N نشان دهنده تعداد کل نمونه های در نظر گرفته شده است. جهت مقایسه، الگوریتم پیشنهادی به مسائل مختلف معیار ذکر شده در بخش ۴ اعمال گردید.

۵-۱- BCO و FBCO اعمال شده به مسئله کنترل دما

در این بخش، نتایج به دست آمده از اعمال روش پیشنهادی برای مسئله کنترل دما ارائه شده است. در جدول ۱، مهم ترین داده های ۳۰ آزمایش ارائه شده است. آزمایش ها با پارامترهای پیکربندی یکسانی انجام شدند، بر خلاف روش فازی که در آن، پارامترهای الف و بتا به صورت پویا در زمان اجرا تغییر یافتند. در این مطالعه موردی، پیشنهاد ما بیش از انتظارات الگوریتم کلونی های زنبور عسل سستی پیش رفت. در شکل ۱۴، بهترین معماری کنترل کننده فازی یافت شده توسط الگوریتم ارائه شده است. می توانیم عملکرد بهتر کنترل کننده فازی ساخته شده توسط روش پیشنهادی (FBCO) را مشاهده کنیم، که در آن، خط سیاه نشان دهنده مرجع و خط خاکستری نشان دهنده عملکرد کنترل کننده ساخته شده برای پیروی از مرجع است.

جدول ۱- پارامترهای پیکربندی و نتایج BCO و FBCO

پارامترهای پیکره بندی				نتایج			
روش	تکرار	α	β	σ	متوسط زمان	بهترین نتیجه	متوسط نتیجه
BCO	۵۰	۰٫۹	۱	4.23E-0.5	۶٫۵۷	3.4E-06	4.89E-04
FBCO	۵۰	دینامیک	دینامیک	2.83E-0.5	۶٫۵۹	1.7E-06	2.41E04



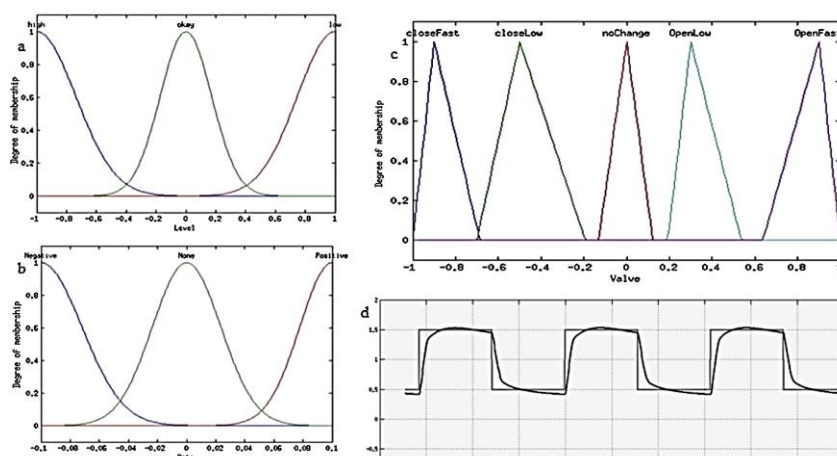
شکل ۱۴- (a) جریان، (b) دما، (c) سرد، (d) شبیه سازی

۵-۲- BCO و FBCO اعمال شده به کنترل سطح آب در یک مخزن

الگوریتم‌ها (BCO و FBCO) برای مشکل کنترل مخزن آب نیز اعمال شدند. این مشکل به طور گسترده به عنوان یک مسئله معیار برای آزمایش روش‌های کنترل استفاده می‌شود. در جدول ۲، نتایج و پارامترهای پیکربندی ارائه شده است. در شکل ۱۵، نمودار کلی توزیع توابع عضویت بهترین کنترل کننده فازی برای این مطالعه موردی ارائه شده است. در شکل ۱۵(e)، عملکرد بهتر کنترل کننده فازی ساخته شده توسط روش پیشنهادی (FBCO) را مشاهده می‌کنیم، که در آن خط آبی نشان دهنده مرجع و خط سبز نشان دهنده مسیر کنترل کننده ساخته شده برای دنبال کردن مرجع است. بسیاری از نتایج نویسندگان دیگر با روش‌های مختلف منتشر شده است، و در این مورد، برخی از آن‌ها نتایج بهتری از الگوریتم پیشنهادی ما بوده است.

جدول ۲- پارامترهای پیکربندی و نتایج BCO و FBCO.

پارامترهای پیکره بندی				نتایج			
روش	تکرار	α	β	σ	متوسط زمان	بهترین نتیجه	متوسط نتیجه
BCO	۵۰	۰,۳	۶	۰,۱۱۱۰۲	۳۰,۷	6.4E-02	6.32E-02
FBCO	۵۰	دینامیک	دینامیک	۰,۰۶۵۲۶	۲۵,۹	1.06E-02	3.18E02



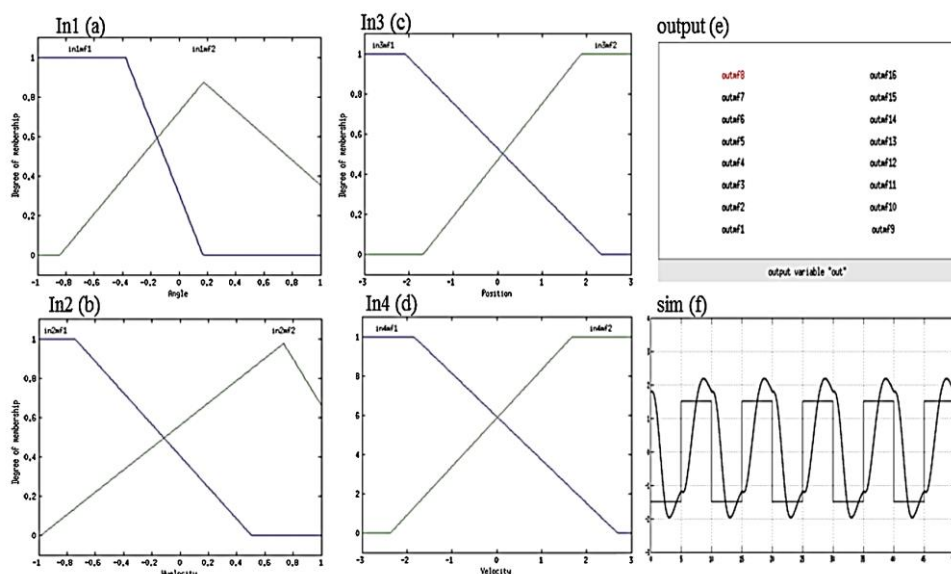
شکل ۱۵ (a) -سطح، (b)نرخ، (c)شیر، (d)نتایج شبیه سازی

۵-۳- BCO و FBCO اعمال شده به مشکل پاندول معکوس

الگوریتم های فوق در مساله پاندول معکوس نیز استفاده شده است. در این مورد، کنترل کننده فازی که استفاده می شود، از نوع سوگنو است ایده، آزمایش عملکرد الگوریتم برای مسائل مختلف کنترل فازی است. در این بخش، نتایج آزمایش ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۴- پارامترهای پیکربندی و نتایج BCO و FBCO.

پارامترهای پیکره بندی				نتایج			
روش	تکرار	α	β	σ	متوسط زمان	بهترین نتیجه	متوسط نتیجه
BCO	۵۰	۰,۱	۳	۰,۱۱۱۰۲	۳۰,۷	۱,۱۲۱۶	۱,۱۵۴
FBCO	۵۰	دینامیک	دینامیک	۰,۰۶۵۲۶	۲۵,۹	۱,۱۱۱۰	۱,۲۱۵



شکل ۱۶- (a) زاویه، (b) سرعت ω ، (c) موقعیت، (d) سرعت، (e) خارج، (f) نتایج شبیه سازی

در شکل ۱۶، نمودار کلی معماری ساخته شده توسط الگوریتم ارائه شده است، و برخلاف کنترل کننده های ذکر شده در بالا، در این مورد، محاسبه مقادیر خروجی با توابع ریاضی انجام شده است. در نتایج شبیه سازی، می توانیم تشخیص دهیم که الگوریتم هنگام مقایسه با دیگر مشکلات کنترل، همانقدر خوب نیست. در جدول ۴، می توانیم اشاره کنیم که پیشنهاد ما در الگوریتم BCO ساده برای این مطالعه موردی بهبودی نداشت. در واقع، باید بگوییم که هر دو الگوریتم در رسیدن به هدف مشکل داشتند، و می توانیم تشخیص دهیم که در اعمال الگوریتم پیشنهادی با رویکرد فازی برای این نوع کنترل کننده های فازی هیچ نفعی وجود ندارد و هزینه محاسباتی نیز بالاست.

نتیجه گیری

در این مقاله، از الگوریتم کلونی زنبور عسل (BCO)، برای حل مسائل بهینه سازی امعبار استفاده می کنیم. مشاهده می شود تنظیم پویای پارامترها می تواند کیفیت نتایج را بهبود بخشد و تنوع راه حل های مشکل را افزایش دهد و. دستاورد اصلی این بود که در حال حاضر یک روش فازی را به الگوریتم کلونی زنبور عسل با استفاده از منطق فازی اضافه می کنیم تا پارامترهای آلفا و بتا را به صورت پویا در زمان اجرا به حرکت درآورد افزودن تنظیم پویای پارامتر، می توانیم تعادل بهتر بین کاوش و بهره برداری را حفظ کرده و با این کار، از همگرایی زودرس جلوگیری می کند. با توجه به موارد فوق، می توان نتیجه گرفت که FBCO می تواند مسائل بهینه سازی دشوار را با کمک منطق فازی به منظور بهبود عملکرد حل کند.

1. Baykasoglu, L. Özbak'yr, P. Tapkan, Artificial bee colony algorithm and its application to generalized assignment problem, in: T.S.C. Felix, K.T. Manoj(Eds.), *Swarm Intelligence: Focus on Ant and Particle Swarm Optimization*, Itech Education and Publishing, Vienna, Austria, 2007, pp. 113–143
2. A.K. Qin, V.L. Huang, P.N. Suganthan, Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization, *IEEE Trans. Evolut. Com-put.* 13 (2) (2009) 398–417
- A. Aceves, J. Aguilar, A simplified version of Mamdani's fuzzy controller: the natural logic controller, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 14 (1) (2006) 16–30.
3. O. Castillo, H. Neyoy, J. Soria, M. García, F. Valdez, Dynamic fuzzy logic parameter tuning for ACO and its application in the fuzzy logic control of an autonomous mobile robot, *Int. J. Adv. Robot. Syst.* (2013) 10.
4. D. Teodorovi'c, *Swarm intelligent systems for transportation engineering: principles and applications*, *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 16 (2008) 651–782.
5. O. Abedinia, B. Wyns, A. Ghasemi, Robust fuzzy PSS design using ABC, in: 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), IEEE, 2011, pp. 1–4.
6. L. Amador-Angulo, O. Castillo, Optimization of the Type-1 and Type-2 fuzzy controller design for the water tank using the Bee Colony Optimization, in: 2014 IEEE Conference on Norbert Wiener in the 21st Century (21CW), IEEE, 2014, pp. 1–8
7. T. Chaiyatham, I. Ngamroo, A bee colony optimization based-fuzzy logic-pid control design of electrolyzer for microgrid stabilization, *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control* 8 (9) (2012) 6049–6066.
8. T. Chaiyatham, I. Ngamroo, S. Pothiya, S. Vachirasricirikul, Design of optimal fuzzy logic-PID controller using bee colony optimization for frequency control in an isolated wind-diesel system, in: *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 2009, IEEE, 2009, pp. 1–4.
9. A.A. Zamani, E. Bijami, F. Sheikholeslam, B. Jafrasteh, Optimal fuzzy load frequency controller with simultaneous auto-tuned membership functions and fuzzy control rules, *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 22 (1) (2014) 66–86.
10. Caraveo, O. Castillo, Optimization of fuzzy controllers design using the bee colony algorithm, in: *Recent Advances on Hybrid Approaches for Designing Intelligent Systems*, Springer International Publishing, 2014, pp. 163–175.
11. T. Chaiyatham, I. Ngamroo, A bee colony optimization based-fuzzy logic-pid control design of electrolyzer for microgrid stabilization, *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control* 8 (9) (2012) 6049–6066.
12. Teodorovi'c, M. Dell'Orco, Bee colony optimization – a cooperative learning approach to complex transportation problems, in: *Advanced OR and AI Methods in Transportation. Proceedings of the 10th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*, Poznan, Poland, 2005, pp. 51–60.
13. Teodorovi'c, P. Lu'ci'c, G. Markovi'c, M. Dell' Orco, Bee colony optimization: principles and applications, in: B. Reljin, S. Stankovi'c (Eds.), *Proceedings of the Eight Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering– EUREL 2006*, University of Belgrade, Belgrade, 2006, pp. 151–156.
14. A.A. Zamani, E. Bijami, F. Sheikholeslam, B. Jafrasteh, Optimal fuzzy load frequency controller with simultaneous auto-tuned membership functions and fuzzy control rules, *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 22 (1) (2014) 66–86.
15. Karaboga, An Idea based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization (Technical Report-Tr06, October, 2005), Erciyes University, Engineering Faculty Computer Engineering Department, Kayseri/Türkiye, 2005.

16. D. Karaboga, B. Basturk, On the performance of Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, *Appl. Soft Comput.* 8 (2) (2008) 687–697.
17. D. Teodorović, M. Selmić, The BCO algorithm for the p median problem, in: *Proceedings of the XXXIV Serbian Operations Research Conference*, Zlatibor, Serbia, 2007 (in Serbian).
18. C.S. Chong, M.Y.H. Low, A.I. Sivakumar, K.L. Gay, A bee colony optimization algorithm to job shop scheduling simulation, in: L.F. Perrone, F.P. Wieland, J. Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol, R.M. Fujimoto (Eds.), *Proceedings of the Winter Conference*, Washington, DC, 2006, pp. 1954–1961.
- A. Baykasoglu, L. Özbakır, P. Tapkan, Artificial bee colony algorithm and its application to generalized assignment problem, in: T.S.C. Felix, K.T. Manoj (Eds.), *Swarm Intelligence: Focus on Ant and Particle Swarm Optimization*, Itech Education and Publishing, Vienna, Austria, 2007, pp. 113–143.
19. D. Karaboga, B. Akay, C. Ozturk, Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Training Feed-Forward Neural Networks, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 318–329.
20. Z. Li, C. Xu, Adaptive fuzzy logic control of dynamic balance and motion for wheeled inverted pendulums, *Fuzzy Sets Syst.* 160 (12) (2009) 1787–1803.
21. P. Lučić, D. Teodorović, Transportation modeling: an artificial life approach, in: *Proceedings of the 14th IEEE, International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Washington, DC, 2002, pp. 216–223.
22. L.P. Wong, M.Y.H. Low, C.S. Chong, Bee colony optimization with local search for traveling salesman problem, in: *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2008, pp. 1019–1025.
23. J.I. Flores Mendoza, E. Mezura Montes, Dynamic adaptation and multiobjective concepts in a particle swarm optimizer for constrained optimization, in: CEC2008 (IEEE World Congress on Computational Intelligence) IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2008, IEEE, 2008, pp. 3427–3434.
24. J.S.R. Jang, C.T. Sun, E. Mizutani, Neuro-fuzzy and soft computing – a computational approach to learning and machine intelligence, *IEEE Trans. Autom. Control* 42 (10) (1997) 1482–1484.
25. [27] P. Melin, F. Olivas, O. Castillo, F. Valdez, J. Soria, M. Valdez, Optimal design of fuzzy classification systems using PSO with dynamic parameter adaptation through fuzzy logic, *Expert Syst. Appl.* 40 (8) (2013) 3196–3206.
26. L. Amador-Angulo, O. Castillo, M. Pulido, Comparison of fuzzy controllers for the water tank with Type-1 and Type-2 fuzzy logic, in: *IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*, 2013 Joint, IEEE, 2013, pp. 1062–1067.
27. L. Amador-Angulo, O. Castillo, Comparison of the optimal design of fuzzy controllers for the water tank using ant colony optimization, in: *Recent Advances on Hybrid Approaches for Designing Intelligent Systems*, Springer International Publishing, 2014, pp. 255–273.
28. J. Mendel, *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems, Introduction and New Directions*, PH PTR, 2001.
29. A.N. Isizoh, S.O. Okide, A.E. Anazia, C.D. Ogu, Temperature control system using fuzzy logic technique, *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell. (IJARAI)* 1 (3) (2012).
30. R. Fierro, O. Castillo, Design of Fuzzy Different PSO Variants, *Recent Advances on Hybrid Intelligent Systems*, Springer, 2013, pp. 81–88.
31. B. Bhushan, S.K. Valluru, M. Singh, Takagi-Sugeno fuzzy system based stable direct adaptive control of nonlinear systems, *Int. J. Comput. Appl.* 68 (15) (2013) 30–36.

مبانی مرمت بافت‌های تاریخی شهری

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۳۰

کد مقاله: ۸۲۸۵۶

امید شاطری وایقان^۱، محمد دبدبه^۲، وحید کهیازاده^۳

چکیده

مرمت بافت‌های شهرهای تاریخی در سیر زمانی در دوره‌های مختلف با توجه به عملکرد متنوع توأمان با محوریت‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تاریخی با اهداف گوناگونی در جهت گسترش تغییرات یک پارچه در کالبد محدوده‌ها اعمال، صورت گرفته شده‌اند. مرمت بافت تاریخی شهری را می‌توان نوعی نگرشی استادانه با رویکردهای توسعه پایدار و حفاظت‌های میراث ملی در اکثر کشورهای در حال توسعه با زوایاهای موضوعی مرمتی بیان نمود همچنین در ایران این موضوع یکی از علت‌ها، مشکلات و کمبودها قابل توجه مواجه می‌باشد. بافت‌های تاریخی در شهرهای با اصالت تاریخی با قابلیت میراثی ارزشمند می‌تواند نقش تعیین‌کننده هویتی، هویت از گذشته را شامل گردد و آن را به یک سمبل جاودانه در جهان هستی به تحقق یابد طوری که بافت‌های تاریخی در مقابل عوامل طبیعی و انسانی دچار آسیب و نابودی قرار می‌گیرند که می‌توان برای جلوگیری از شدت عوامل در اجرا و تدوین برنامه‌های مدیریتی شهرهای تاریخی طرح‌های مرمت شهری را در محدوده‌های بافت‌های تاریخی امری ضروری دانست. چراکه با تبیین استراتژی تغییر سازگار با نیاز امروزی و تعیین برنامه اصالت موضوعی می‌توان علاوه بر حفاظت بافتی در محدوده‌های شهری رویکرد مؤثر در جهت مقابله از بین رفت مورد اتخاذ قرار گرفت. روش تحقیق در پژوهش حاضر براساس نوع روش تحقیقی از نوع توصیفی - تحلیلی بهره گرفته شده است همچنین در جهت تبیین و استقرار اهداف تحقیق با تجزیه و تحلیل موارد ارزیابی مبانی مرمت با استفاده از روش استنادی و مطالعه متون کتابخانه‌ای مکتوب در گردآوری اطلاعات داده‌ها استخراج گردیده را بر خوردار می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اصول به کار گرفته شده در پژوهش حاضر یک نوع راهنمایی برای محدوده‌های مرمت شهری با زمینه‌های تاریخی بر مبنای تأثیرگذاری انجام گرفته شده است.

واژگان کلیدی: مرمت، بافت تاریخی، مبانی مرمت، هویت، مرمت شهری

۱- کارشناسی ارشد معماری داخلی، پژوهشگر معماری/معماری داخلی

۲- (مسئول مکاتبات)، کارشناسی ارشد معماری داخلی، پژوهشگر/تحلیل گر و نظریه پرداز فعال مسائل حوزه تخصصی معماری/معماری داخلی

mohammaddabdabeh@yahoo.com

۳- کارشناسی مهندسی معماری

براساس مطالعات انجام گرفته شده در طی یک قرن اخیر، گرایش‌های موجود برای حفظ و حفاظت از بناهای تاریخی شاهد تغییرات بسیاری مدنظر گرفته شده است. در این زمینه اصول و دستورالعمل‌های مدونی تهیه شد تا بدین ترتیب آثار تاریخی جوامع مختلف بشری مورد حفاظت و نگهداری قرار بگیرند. از قرن بیستم بود که قطعه‌نامه‌ها، منشورها و مصوبات مهمی در مورد مرمت شهری^۱ تدوین شدند. البته لازم به ذکر است برخی از این قطعه‌نامه‌ها، ممکن است امروزه مورد انتقاد قرار گیرند و اشکالاتی به آن‌ها وارد شود، اما نکته مهم در موردشان این است که این قطعه‌نامه‌ها روندی تکاملی داشته‌اند و به تدریج به جنبه‌های بیشتری از مسائل مرمت و باززنده‌سازی مرمت شهری توجه کرده و کامل‌تر شده‌اند. حفاظت از آثار تاریخی و تأکید بر اهمیت حفاظت نسبت به بازسازی^۲ از موارد مهم و موردتوجه می‌باشد از موضوعات بسیار مهم در امر حفاظت از بناهای تاریخی، طراحی داخلی متناسب با عملکرد^۳ نوست که در طرح باززنده‌سازی^۴ به آن تخصیص کاربری داده می‌شود.

از آنجا که توزیع فعالیت‌ها به منظور بهره‌برداری متفاوت از بنای تاریخی مستلزم دخالت و معماری تغییر^۵ در آن می‌باشد، متخصصان امر حفاظت از بناهای تاریخی، اصل بازگشت‌پذیری را برای طراحی در بناهای تاریخی ارزشمند درنظر گرفته‌اند. براساس آن، دخالت در بنای تاریخی تا بدان‌جا مجاز می‌باشد که امکان بازگرداندن آن به وضعیت اولیه با کم‌ترین آسیب میسر باشد. مسیر رسیدن به برنامه و طراحی مناسب برای باززنده‌سازی یک بنای تاریخی از شناخت آن آغاز می‌شود. شناختی جامع و کامل در رابطه با بنا و نحوه ارتباط آن با بافت و محیط اطراف که دربرگیرنده پیشینه دگرگونی‌ها تا رسیدن به وضع موجود بوده است (ضیاء شهابی، آذرنوش، ۱۳۹۰، ص ۷۹-۷۶). طوری‌که شناخت، آسیب‌های وارد آمده به اثر تاریخی، کمبودها و نیازها و راهکارهای برطرف ساختن آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. درنتیجه مطالعات انجام شده طرح مرمت شهری بنا تهیه می‌شود که به کمک آن و پس از طی مراحل شناخت، معمار و گروه همکار و مرمتگر^۶ می‌توانند نسبت به ارائه طرح باززنده‌سازی و تخصیص عملکرد متناسب با اصالت^۷ بنا و روح اثر تاریخی، اقدام نمایند. ادامه مسیر، در پیشبرد برنامه‌ای جهت تهیه طرح باززنده‌سازی مناسب برای یک بنای تاریخی/ بافت شهری، بررسی و شناخت نمونه‌های مشابهی است که در مواجهه با بناهای تاریخی انجام گرفته است. نکته حائز اهمیت در بررسی نمونه‌ها این است که معرفی آن‌ها صرفاً به‌صورت یک گزارش که تقلید را به دنبال دارد، نباشد بلکه هدف از آن رسیدن به شناخت و فهم بنیان‌ها و معیارهای طراحی داخلی در بناهای تاریخی می‌باشد.

می‌توان بیان نمود با باززنده‌سازی و مرمت شهری که یکی از برنامه‌های بازآفرینی آفرینش شهری‌های تاریخی به حساب می‌آید از لحاظ ظرفیت‌ها و دسترسی‌ها با حفظ سیاست‌گذاری اصولی در طراحی و رشد توسعه مرمت شهری در موردهای زیبایی‌شناسی، هویتی، هویت^۸ و غیره مطرح گردد چراکه بازآفرینی مرمتی شهری را می‌توان یکی از تأثیرگذارترین رویکردهای معاصر در حوزه‌های مرمت شهری با رویکردهای حفاظت در محدوده‌های بافتی تاریخی به‌شمار آورد. همچنین یکی از اصلی‌ترین و بارزترین عناصر این رویکرد نگرش گسترده به واقعیت ابعاد متنوع شهری به‌طور سیستمی با درنظر گرفتن اجزاء با ساختارهای کالبدی و طبقه‌بندی کارآمد و اجرایی کردن راهبردهای بازآفرینی مرمت شهری در دستور کار برخوردار می‌گردد. مرمت شهری را می‌توان دارای اهمیت و تأکید روزافزون بر شخصیت‌های هر شهر، منطقه و جامعه با عملکردهای برنامه‌ریزی شده با ارزش‌های معماری در حفظ میراث ملی مدنظر قرار گرفت (لطفی، ۱۳۸۷؛ ۲۱۰-۱۹۵). همچنین تئوری مرمت معاصر حول روایت‌های جاری و دموکراتیک، در دو قرن اخیر توسعه یافته و امروزه به ابزار مفهومی معاصر دیگری به‌نام پایداری متوسل گردیده است طوری‌که در استفاده‌های عمومی پایداری، انعکاس اقتصادی و اکولوژیک درنظر گرفته می‌شود و در مرمت نیز فوائد آن شناخته شده و پایداری اقتصادی مرمت توسط نویسندگان متعددی گوشزد گردیده شده است. اگرچه این نوع پایداری فقط در مورد آثار با جاذبه عمومی قوی امکان‌پذیر است و نمی‌توان آن را در مورد اغلب آثار مرمتی به‌کار برد. در همین رابطه می‌توان اصول و ارتباط مرمتی را این‌گونه خلاصه کرد یکی از راه حل‌های آینده و نه تنها در مرمت، «پایداری» بوده است. توسعه پایدار با تأکید بر اهمیت بخشیدن بیشتر به نسل‌های آینده به شکلی بسیار جالب از پایداری اشاره دارد. در همین راستاء مبانی نظری مرمت معاصر عاملی را درنظر می‌گیرد که در غیر این صورت ممکن بود از آن چشم‌پوشی گردد حال آنکه این نکته (یعنی درنظر داشتن)، کاربران آینده بسیار مهم است هرگاه اثری اصلاح می‌گردد، برخی از مفاهیم آن تقویت و برخی دیگر برای همیشه محدود می‌گردند اصول پایداری در مرمت حکم می‌کند که در تصمیم‌گیری‌ها، کاربران آینده، موردنظر قرار گیرند. می‌توان بیان نمود به‌صورت گسترده‌تر هر اثر منبعی از مفاهیم است که در سطوح مختلف از آن بهره‌برداری می‌گردد، حال اگر در مرمت تنها کاربران امروزی درنظر گرفته شوند تبدیل آثار به‌طور دل‌خواه امری طبیعی خواهد بود. همان‌طور که بدون مفهوم پایداری، مبانی نظری معاصر مرمت نوعی درون‌گرایی ملی تندرو خواهد بود و بر همین اساس هرچیزی تا زمانی که دموکراتیک باشد قابل قبول است. بنابراین هر چیزی می‌تواند بارها و بارها بازسازی و احیاء و مصرف شود تا زمانی که فقط یک ذره از آن باقی بماند. اگر چنین تغییر تدریجی در روشی که تا به امروز در مرمت انجام می‌شود صورت گیرد، به یک عملیات مرمتی غیرپایدار عادی شده تبدیل می‌گردد و مفید بودنش را برای آیندگان به‌طور فاجعه آمیزی کاهش می‌دهد درحالی‌که آیندگان ممکن است مفاهیم کاربردی دیگری را ترجیح دهند. مرمت غیرپایدار تا

قرن نوزدهم امری عادی بوده مثلاً می‌شد کلیساها را به مساجد و مساجد را به کلیسا تبدیل کرد. حال اگر به این موضوع توجه کنیم یا نکنیم ما از چنین مسیری چندان دور نیستیم، اصول پایداری اختطاری برای مرمتگران، تصمیم‌گیران و کاربران است و از آن‌ها می‌خواهد که از چیزی سوءاستفاده نکرده و کاربران آینده را از قابلیت عملکرد نمادین آن محروم نکنند.

آثار معماری با دارا بودن کلیه ویژگی‌های تاریخی، فرهنگی و اجتماعی آن‌ها جهت استفاده‌های موردنیاز خلق شده در گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌اند و اکنون به سبب تغییر سریع الگوی زندگی در نحوه انجام فعالیت‌های مربوط به آن بدون استفاده مانده و عمر مفید کاربری پیشین خود را سپری کرده‌اند. حال آنکه با دو کارکرد متعارض غنی حفاظت و استفاده روبه‌رو هستند. از یک طرف بازدید و استفاده از این آثار، به عنوان ارزش‌های فکری، هنری و هویتی موردنیاز و علاقه شدید اکثر مردم بومی و غیربومی است از طرف دیگر، استفاده بی‌رویه و بی‌برنامه از آن‌ها موجب فرسایش و نابودی آن‌ها خواهد شد. از این نظر چگونگی بهره‌برداری و حفاظت از آن‌ها به یک مسئله اساسی تبدیل شده است. با نظر به آنکه بسیاری از این بناها قابلیت‌های معماری فراوانی به سبب وجوه تاریخی/ فرهنگی و هنر به کار رفته در خود دارند، ضروری است روشی مناسب جهت حفاظت و جلوگیری از روند تخریب این ابنیه اتخاذ گردد. تا همچنان به حیات فرهنگی خود ادامه دهند در این میان یکی از مهم‌ترین راه‌هایی که می‌تواند نسل حاضر را به این هدف نزدیک کرده و نسل‌های آینده را از وجود این ابنیه محروم نگرداند، استفاده مجدد در قالب انطباق کاربری سازگار با انسان امروزی در جوامع می‌باشد.

۲- پرسش‌های تحقیق

- ۱- مرمت شهری و احیاء چه مقدار می‌تواند نیاز هویتی بافت‌های تاریخی را تأمین کند؟
- ۲- با مرمت شهری و پروتکل‌های مؤثر در اصول احیاء آیا می‌توان آن را با نیاز انسان امروزی در ارتباط گذاشت؟
- ۳- مرمت شهری تا چه اندازه می‌تواند پاسخگوی ابنیه‌های تاریخی مفید واقع شود؟
- ۴- عوامل ماندگار در ارائه هویتی مرمت شهری با انسان چه عواملی بوده است؟
- ۵- عملکردهای تأثیرگذار در جهت امر پژوهش حاضر می‌تواند برای رسیدن به طراحی سازگار برای تحقق اهداف برای مرمت‌های شهری مفید واقع شود؟

۳- فرضیه‌های تحقیق

۱. بافت‌های تاریخی یکی از میراث هویتی برای هر جامعه با هر نوع فرهنگی با هر کاربری بوده است چراکه با ایجاد محیطی عملکردی در مرمت شهری این عملکرد جهانی جهت رسیدن جوامع به تحقق اهداف می‌تواند مؤثر باشد.
۲. با استفاده از مرمت‌های شهری همسو با نیاز امروزی جامعه با حفظ فرهنگ تاریخی گذشته که باعث حفظ آن در ارتباط با مرمت تاریخی گذشته در شهرهای تاریخی جهت حفظ آرامش می‌توان آن را براساس اصول رعایت تجربه با حس گذشته کرد.
۳. استفاده از متریاال‌های بومی و اصیل گذشته خود آن منطقه می‌تواند در مرمت شهری متناسب با محدوده‌های بافتی نوعی بوطیقای فضایی را منحصربه‌فرد کند.

۴- اهداف تحقیق

۱. با مرمت شهری و تغییر در کالبد بناها در معماری آن‌ها با رعایت اصالت ابنیه‌ها و حفظ هویت اصلی آن‌ها می‌توان در جهت آفرینش هرچه بیشتر میراث با گذشته و امروز به آرمان‌های شهری با رویکرد سازگار نمود پیدا کنیم.
۲. اهداف به تحقق رسیده در مرمت شهری می‌تواند با نوع طراحی یک تجربه را برای جوامع با گذشته فراهم آورد که باعث ایجاد توسعه پایداری، گردشگری و هویتی با فرهنگ تأمین گردد.
۳. با مرمت شهری و احیاء دوباره می‌توان علاوه بر حفظ تاریخ گذشته نیازهای انسانی را با هدف نظام‌مند حفظ کرد.

۵- پیشینه پژوهش

مطالعات در باب مرمت شهری طبق خاستگاه روند پژوهش مورد مطالعه با بررسی مستندات مکتوب در جهت تحقق اهداف مقاله حاضر براساس (جدول ۱)، مورد واکاوی و بررسی قرار گرفته همچنین در جهت رسیدن به اهداف پژوهش می‌توان با استناد بر موضوعات و مرمت‌های شهری صورت گرفته شده گامی مؤثر در رسیدن به آرمان‌های مرمتی در جوامع به یک ایدئولوژی سازگار نمود پیدا کرد.

جدول ۱- مستندات انجام گرفته شده براساس موضوع پژوهش حاضر (مأخذ: جمع‌آوری توسط نگارندگان)

نویسندگان	سال	عنوان	توضیحات استنتاجی
چزاره براندی ^۸ ترجمه: پیروز حناچی ^۹	۱۳۹۲	نظریه‌های مرمت (تئوری مرمت)	- بررسی اندیشه‌های نظری مرمت - مفهوم مرمت - جنبه‌های مرمت و زیبایی‌شناختی در مرمت (براندی، ۱۳۹۳: ۸۰-۱).
مریم رزقی ^{۱۰} کامبیز رزقی ^{۱۱}	۱۳۹۲	تحلیل فضاهای شهری	- بررسی سامان‌دهی و گسترش شهری - مفهوم بافت‌های فرسوده محدوده شهری - زیبایی در مفهوم شهر - سازمان‌دهی فضاهای شهری (رزقی، رزقی، ۱۳۹۲: ۱۴۵-۱۰).
اصغر محمد مرادی ^{۱۲} محمدحسن محب‌علی ^{۱۳} آس‌سا امیر کبیریان ^{۱۴}	۱۳۹۳	دوازده درس مرمت	- بررسی و مطالعه کلی شناخت بناها - اصول به‌کارگیری و روش‌های مرمت - تحلیل ریز فضاهای در مرمت - آسیب و درمان در مرمت (محمدمرادی محب‌علی، امیر کبیریان، ۱۳۹۳: ۱۸۹-۹۹).
سیدمحسن حبیبی ^{۱۵} ملیحه مقصودی ^{۱۶}	۱۳۹۵	مرمت شهری: تعاریف، نظریه‌ها، تجارب، منشورها و قطعنامه‌های جهانی، روش‌ها و اقدامات شهری،	- بررسی عوامل بر محیط شهری و تأثیرگذاری آن بر فضای شهری - ویژگی‌های کلی در مرمت شهری در بوطیقای فضای شهری (حبیبی، مقصودی، ۱۳۹۵: ۱۳-۹).
جان لنگ ^{۱۷} ترجمه: علیرضا عینی‌فر ^{۱۸}	۱۳۹۶	آفرینش نظریه معماری: نقش علوم رفتاری در طراحی محیط	- بررسی مبانی نظریه عملکردهای جدید در حوزه طراحی محیط - دیدگاه‌های نظری در ارتباط با آفرینش معماری با طرح دیدگاه‌ها (لنگ، ۱۳۹۶: ۲۸۲-۲۷۲).
فرد اسکات ^{۱۹} ترجمه: علیرضا عینی‌فر احسان مسعود ^{۲۰} نوید گلچین ^{۲۱}	۱۳۹۷	معماری تغییر: تمهیدات تغییر در معماری موجود	- بررسی تئوری‌های مداخله‌ای در تغییر - ایجاد شاخص‌های هنر مداخله در تغییر - نقش حفاظت، نگهداری و مرمت - عملکردهای تمهیدات تغییرات در پروژه‌های معماری تغییر (اسکات، ۱۳۹۷: ۲۶۳-۱۲).
ناصر فکوهی ^{۲۲}	۱۳۹۷ ۱۳۹۸	پاره‌های هنر، معماری و شهرسازی (جلد ۱ و ۲)	- بررسی حوزه‌های نظری هنر با پهنه‌ای از هنرهای تجسمی، معماری و شهرسازی - دیدگاه‌های افراد و نگرش‌های آنان - هویت محوری - اندیشه‌ها و دانش‌های نقد‌کننده‌گان حوزه هنری، معماری و شهرسازی (فکوهی، ۱۳۹۷-۱۳۹۸: ۵-۳).
محمود ارژمند ^{۲۳} احمد امین‌پور ^{۲۴}	۱۳۹۴	نقش مرمتگر در مرمت ابنیه حوزه فرهنگ و تمدن اسلامی؛ تأملی بر مبنای رویکردهای مرمتی در دانش مرمت براساس عامل انسانی مرمت	- بررسی عنصرهای مرمت (طرح، انسان) - راهبردها و رهنمودهای مداخلات در آثار تاریخی برای مرمتگران - ویژگی‌های مرمت برای مرمتگر - مقایسه فرهنگ و تمدن اسلامی (ارژمند، امین‌پور، ۱۳۹۴: ۱۰۵-۹۸).

منبع: کتاب

منبع: مقاله

۶- روش تحقیق

پژوهش مورد مطالعه به لحاظ نوع روش تحقیق، از نوع توصیفی - تحلیلی برخوردار بوده می‌باشد همچنین برای گردآوری اطلاعات داده‌ها از روش کتابخانه‌ای بهره گرفته شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مرمت بافت‌های تاریخی شهری نوعی ویژگی خارق‌العاده توأمان با هویت ملی و پاسخی برای انسان در سیطره تاریخ می‌باشد که با مرمت می‌توان به استدلال بوطیقای فضایی در هر شرایط به تحقق دست یافت.

۷- مبانی مرمت بافت‌های تاریخی شهری

۷-۱- بافت تاریخی^{۲۵}

می‌توان به‌طور دقیق و واضح و رسا بیان نمود بافت تاریخی در هر شهر را می‌توان بخشی از سرمایه اجتماعی/ فرهنگی آن جامعه برای آن شهر دانست که به تبیین ساختارهای معماری، شهرسازی و کالبد محمودة تاریخی باتوجه به شرایط محیطی، فرم و فضا با ویژگی‌های هر شهر توأمان با شرایطی چون اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اقتصادی در هر شهر با گذر زمان در سیطره تاریخی تکوین یافته‌اند. در ایران بافت تاریخی، آن بخش از بافت شهرها را شامل می‌گردد که تا پیش از آغاز قرن حاضر، یعنی شروع شهرنشینی جدید در ایران، شکل گرفته و در زمان حاضر در مرکز یا در محدوده بلافصل شهرها جایگاه ویژه‌ای را به‌خود اختصاص داده‌اند و سطح نسبتاً گسترده و عملکرد نیرومند آن‌ها در مقیاس منطق‌های و ملی بر اهمیت آن‌ها افزوده است. با این وجود، بافت‌های تاریخی شهرها به دلیل فرسودگی کالبدی و فقدان استانداردهای ایمنی، استحکام، و خدمات و زیرساخت‌های شهری، به‌رغم برخوردار بودن از ارزش‌های هویتی و میراثی ملی، از منزلت مکانی و سکونت پایین برخوردار شده است.

۷-۲- فضای شهری^{۲۶}

اگر بخواهیم فضای شهری را تعریف نمائیم و تحمیل معیارهای زیبایی‌شناختی و رفتارشناسی در نظر نگیریم ناچار خواهیم بود فضای مابین ساختمان‌ها، توده‌های شهری را در فضای شهری مدنظر قرار داد. فضاهای شهری از دیدگاه‌های هندسی و کالبدی با بدنه‌های گوناگون شهری محصور می‌گردند (کریر، ۱۳۸۳: ۱۴۰-۳۶). پس کیفیت فضای شهری به‌عنوان یک فضای محصور در ارتباط با کیفیت، تعریف بدنه‌های محصورکننده آن سنجیده می‌شود. همچنین می‌توان گفت از دیدگاه علوم رفتاری تنها ویژگی‌های کالبدی و هندسی فضای شهری نمی‌تواند اجازه دهد تا آگاهانه فضای باز بیرونی را در عرصه شهر یک فضای شهری مدنظر قرار دهیم، بلکه حضور انسان و تعامل اجتماعی که در عرصه شهر صورت می‌پذیرد نقشی غیرقابل‌انکار در تداعی و تداوم معنای فضای شهری در ذهن مخاطب ایفاء می‌کند. بدون شک کیفیت بهره‌برداری از فضای عمومی شهر و رفتار اجتماعی ارتباط مستقیمی با کیفیت شکل‌گیری تصویر ذهنی فرد از شهر و فضای شهری خواهد داشت. بنابراین تعریف فضای شهری زمانی می‌توان فضای مابین ساختمان‌های شهر را فضای شهری مدنظر قلمداد نمود که شکل‌گیری و تکامل گونه‌های مختلف و متنوعی از عملکرد و رفتار اجتماعی در آن عرصه در ذهن مخاطب درک شود. و یا به بیان دیگر فضای شهری بستر شکل‌گیری فعالیت، رفتار و تعامل اجتماعی شهروندان در عرصه عملکردی شهر خواهد بود. سیمای شهر، به کالبد شهر در نظر قرار نمی‌گیرد بلکه به‌تصویر شکل گرفته از شهر در ذهن انسان اطلاق می‌گردد (لینچ، ۱۳۸۱: ۵۲۰-۲۸۹). تصویر ذهنی یا سیمای شهر، کلیه برداشت‌ها، دانسته‌ها، باورها، حدس‌ها و انتظاراتی است که فرد از محیط پیرامون خود داشته و ارزش‌ها، کیفیات، عملکردها و اولویت‌های متفاوت را در ذهن وی ایجاد می‌نماید که این ذهنیات تابعی از کلیه اطلاعاتی است که فرد تا آن برهه از زمان دریافت و در ذهن خود انباشته است (بحرینی، ۱۳۸۴: ۲۴۰-۲۶). در فرایند مرمت شهری انسان اطلاعات دریافتی از محیط را در ذهن منظم کرده و علاوه‌بر اجزای محیط، نظم یا رابطه حاکم میان آنان را نیز در ذهن خود به‌تصویر کشیده و به آن معنا می‌بخشد این نوع از تصویر پایه و اساس هرگونه کنش و واکنش فرد با محیط می‌گردد انسان در هر مقطع زمانی تنها بخشی از اطلاعات محیط خود را در ذهن ثبت می‌نماید. آنچه از شهر و فضای شهری در ذهن مخاطب شکل می‌بندد، همان سیمای شهر است که به شکل یک جریان پویا و زنده در حال تکامل و تصحیح خویش می‌باشد و تصور فرد از فضای شهری را به سان یک نقش مایه سیال و پویا شکل می‌دهد. در نتیجه تصویر ذهنی برای فرد فقط مربوط به زمان حال نبوده بلکه با تصورات ذهنی وی از گذشته و آینده ترکیب شده و ایجاد خاطراتی از گذشته و توقعاتی از آینده با هویت‌ساختاری برخوردار می‌گردد.

۷-۳- معماری شهری^{۲۷}

معماری شهری از عواملی چون درکی از ساختار عملکردی خیابان‌ها، گذرگاه‌ها و ساختار کالبدی نیز بسیار تأثیرگذار در معماری شهری بوده است. ترکیب ساختار واجد بار معنایی خاصی در طراحی می‌شود که می‌توان آن را معماری شهری خواند. طوری که معماری شهری، معماری است که به بستر و زمینه اطرافش پاسخ می‌دهد و همچنین به تعریف حوزه عمومی اطراف لذا

در واقع خود کمک مؤثری می‌کند این‌گونه معماری، به معنای تعریف و نام‌گذاری کارکردهای کالبدی حد واسط بین معماری و طراحی شهری است (Carmona et al., 2003: 149-160).

۷-۴- مرمت شهری

مرمت شهری در اندیشه نوین به این واقعیت دست یافته که باززنده‌سازی و مرمت کالبدی، پاسخگویی برای حل بحران شهری نیست و به‌طور توأمان بایستی مرمت فرهنگی و اجتماعی را نیز در دستور کار (مرمت شهری)، قرار داد به بیان دیگر، همان‌گونه که مرمت شهری از مداخله در ساخت کالبدی فضایی شهر و بافت‌های تاریخی شهری آغاز شده است، بایستی به مداخله در ساخت فرهنگی و اجتماعی جامعه نیز منجر شود (حاجی‌پور، ۱۳۸۶: ۲۵-۱۶). مرمت شهری در سیرتاریخی، تحولات و دگرگونی خود را در دوران معاصر و به ویژه از دهه ۱۹۵۰ میلادی تا به امروز، دوره‌ها و مراحل مختلفی را سپری کرده است. که در هر دوره این‌ها با شرایط زمانی خود دارای معنا و مفهومی روشن بوده و از خود به‌جای گذاشته‌اند که در طول چندین دهه، مرمت شهری از فرم‌پذیری تا طراحی‌های ساده و گاه پیچیده باززنده‌سازی و آمیخته با هویت بافت‌های تاریخی فرسوده شهری به مرمت فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و مرمت آرایش شهری متحول شده‌اند. دهه ۱۹۵۰ میلادی، دهه‌ای که عمدتاً با باززنده‌سازی پس از جنگ جهانی دوم چشمگیر شده است. در مفهوم اصلی می‌توان مرمت شهری را به سه معنا عنوان کرد: «باززنده‌سازی موبه‌مو»، «باززنده‌سازی نوگرایانه در قطع کامل با گذشته» و «باززنده‌سازی نوپردازانه با نگاه به گذشته و با تأکید بر آینده» بیان می‌شود را لحاظ کرد. همچنین دهه ۱۹۶۰ میلادی، عمدتاً با بازخوانی اقدامات نوگرایانه و نوپردازانه دهه پیشین شکل می‌گرفت، نبود و یا کمبود حیات مدنی و اجتماعی در اقدامات باززنده‌سازی شهری (مرمت شهری)، سبب متمرکز شدن و نگاهی دقیق‌تر به نوسازی فرهنگی و اجتماعی بازگردانده شود. و می‌توان دهه ۱۹۷۰ میلادی، را با شناخت موقعیت‌ها و ارزش‌های نهفته در بافت‌های تاریخی شهری، با به‌دست آوردن دوباره این بافت‌ها از سوی مراکز سازمانی در دستور کار قرار داد.

۷-۵- معاصر سازی ۲۸ - مرمت شهری

باززنده‌سازی و نوسازی بافت‌های فرسوده شهری یکی از برنامه‌های بازآفرینی شهری از ظرفیت‌ها و دسترسی‌ها با حفظ سیاست‌گذاری اصولی در طراحی و رشد توسعه شهری محسوب می‌شود. بازآفرینی شهری را می‌توان یکی از تأثیرگذارترین رویکردهای معاصر در حوزه مرمت شهری به‌شمار آورد. لذا یکی از اصلی‌ترین عناصر این رویکرد نگرش به واقعیت ابعاد متنوع شهری به‌طور ساماندهی و سیستماتیک کردن اجزاء با ساختارهای کالبدی و طبقه‌بندی کارآمد و اجرایی کردن راهبردهای بازآفرینی مرمت شهری در دستور کار قرار داد. رویکرد معاصر مرمت شهری را می‌توان دارای اهمیت و تأکید روزافزون بر شخصیت‌های هر شهر و منطقه با عملکردهای برنامه‌ریزی شده با ارزش‌های معماری در حفظ میراث در نظر گرفت (لطفی، ۱۳۸۷: ۲۰۱-۱۹۷).

۷-۶- سابقه مرمت شهری

سابقه مرمت شهری، به‌صورت تعمیر بنا با شکل‌گیری خانه و سرپناه و لزوم تعمیر و نگهداری توأمان با باززنده‌سازی آن بوده است. حضور مرمت در فرهنگ معماری گذشته ایران از فناوری ساخت سنتی ابنیه و عناصر معماری آن قابل تشخیص می‌باشد استفاده گسترده از کاشی و آجر برای مصارف مختلف و از جمله پوشش سقف‌ها، به‌طوری‌که قابل تعویض و جایگزینی باشد یا کاهگل نشان از نقش تعمیر و نگهداری بوده است. بازسازی ساختار مرمت شهر توسط حکومت در گذشته، به علی چون زلزله یا جنگ را می‌توان جزو سابقه مرمت شهری محسوب نمود. تاریخچه مدون مرمت در غرب به تمدن روم باستان باز می‌گردد که عناصری از فرهنگ یونان و مصر به‌کار برده شده‌اند. در دوره رنسانس نیز آثار بازمانده از تمدن‌های یونان و روم به‌جا مانده اما شکل‌گیری مرمت علمی مربوط به بعد از انقلاب صنعتی در اروپا می‌باشد.

۸- مفهوم مرمت (شهر، باززنده‌سازی) - (از دیدگاه‌ها نظریه‌پردازان داخلی و خارجی)

بی‌شک مسئله مرمت نوعی مسئله هویتی برای حضور انسان در سیطره تاریخ می‌باشد آن زمان که انسان در نزد خود از چیستی و کیستی در برابر اصالت خود نقش می‌بندد باید هویت خود را با پابرجا کردن گذشته در زمان آینده حفظ کند. درحقیقت مفهوم مرمت شهری پاسخی به سؤالات و شناسایی در جهت کشف حقایق هویتی برای انسان در محدوده‌های بافت‌های تاریخی ارزشمند می‌باشد. که در پژوهش حاضر دیدگاه‌های نظریه‌پردازان حوزه مرمتی براساس (جدول ۲)، در زیر پرداخته گردیده شده است.

جدول ۲- دیدگاه‌های نظریه‌پردازان در حوزهٔ مرمت (مأخذ: جمع‌آوری توسط نگارندگان)

حوزه	نظریه‌پردازان	دیدگاه‌های مرمت در مجموعه‌های مرمتی	
		دیدگاه نظریه‌پرداز	استنتاج نویسنده‌گان
مجموعهٔ بافت تاریخی در رابطه با مرمت - (شهر، احیاء، باززنده‌سازی، بازسازی، بهسازی، نوسازی)	۱	محمد دب‌دبه ^{۳۹} وی معتقد است: - با مرمت می‌توان هویت گذشته انسان را حفظ و با احیاء و دادن جان تازه، با انطباق کاربری به مجموعه‌های بناهای ارزشمند میراث ملی را در زمان متجلی نمود.	هویت گذشته درک هویت
	۲	شب‌نم دب‌دبه ^{۴۰} وی معتقد است: - از نظر حوزهٔ هنری مرمت یک نوع پتانسیل کارگردانی بوده که با احیاء آن را به‌نمایش عموم می‌توان مدنظر قرار گرفت.	احیاء
	۳	مجید رضوان‌پناه ^{۴۱} وی معتقد است: - مرمت نوعی باززنده‌سازی هویتی در اصالت گذشتهٔ انسان با آیندهٔ آن بوده است که منجر به هویت انسان در هر زمان توأمان با فضا و بوطیقای آن بوده است.	اصالت
	۴	امیرحسین فرحی‌نیا ^{۴۲} وی معتقد است: - مرمت روح تازهٔ بناهای معماری با اصول ساخت و عملکرد گذشته می‌تواند موردی تأثیرپذیر در حفظ آن قرار گیرد.	اصول عملکردی در ساخت
	۵	امید شاطری وایقان ^{۴۳} وی معتقد است: - مرمت و احیاء و جان دادن به بناها می‌تواند یک نوع استراتژی عملکردی در نگرش احیاء قرار گیرد.	احیاء
	۶	محمدمنصور فلامکی ^{۴۴} وی معتقد است: - مرمت بافت‌های تاریخی شهری هویت میراث ملی آن جامعه بوده چراکه این هویت می‌تواند نوع فرهنگ را تعیین کند.	هویت
	۷	اوژن ویوله لودوک ^{۴۵} وی معتقد است: - در مرمت شهری باید بناهای تاریخی از بناهای اطراف پاک و رها شوند تا بتوان به آن‌ها اهمیت و احترام بیشتری قائل شد.	اهمیت
	۸	کامیلو بویی‌تو ^{۴۶} وی معتقد است: - مرمت شهری از دیدگاه او دارای مفاهیم معماری به‌جای ویژگی‌های شکلی و سبکی بوده و همچنین مرمت فراتر از زمان بودن بناها و مجموعه‌های تاریخی می‌توان درنظر گرفت.	درک مفاهیم
	۹	کامیلو سیت ^{۴۷} وی معتقد است: - در مرمت شهری باید توجه به نکات الفبای شهرسازی کهن به منظور کاربری در شهرسازی جدید توجه شود، ارزش بناهای تاریخی در ارتباط و هماهنگی فضای موجود بین بنا و محیط اطراف تلقی گردد، دارای تداوم و هویت نیز منجر گردد.	الفبای شهرسازی تداوم هویت
	۱۰	لودویکو کوآرونی ^{۴۸} وی معتقد است: - مرمت شهری امری چندوجهی با وجوه اقتصادی، کالبدی و غیره بوده است. همچنین احیاء بافت‌های تاریخی از وجوه مختلف نظیر هماهنگی و پویایی مدنظر بوده است.	چندوجهی هماهنگی پویایی
	۱۱	گوستاو جیووانی ^{۴۹} وی معتقد است: - در مرمت شهری توجه به تفکیک شهری و فضایی لحاظ شود.	بهبود عملکرد

۹- انواع مداخله در مرمت بافت‌های تاریخی شهری

در مداخلات مرمتی جهت بهسازی بافت‌های تاریخی شهری اصل هدف بر وفاداری به تاریخ گذشته و حفظ آثار میراث ملی هویتی در محدوده‌های بافت‌های تاریخی ارزشمند بوده است. تلاش در بهسازی باید با هدف استفاده از نوع امکانات بالقوه و بالفعل موجود و نیز تقویت جنبه‌های مثبت با ایجاد هدف سازگار و تضعیف جنبه‌های منفی با ایجاد عدم ناسازگاری برخوردار گردد. مداخلهٔ بهسازی با ایجاد زمینهٔ نوسازی میزان عملکرد با انعطاف‌پذیری سازگار با نیاز امروزی و تلقیق آن با گذشته براساس نوع نیاز انسان شامل می‌شود. تلاش نوسازی باید با هدف افزایش، رونق رشد کارایی، بهره‌وری/ بهره‌برداری و بازگرداندن حیات شهری به

مجموعه‌های بافتی تاریخی ارزشمند است. امر مداخلات در بازسازی/ بهسازی/ نوسازی امری الزامی برای حفظ گذشته بوده به بیان دیگر حفظ شرایط فضایی (کلانتری خلیل‌آباد، پوراحمد، ۱۳۸۴: ۲۲۴). همچنین می‌توان برای به‌تحقق رسیدن امر پژوهش در امر مداخله، مداخلات شهری را به چهار دسته تقسیم نمود که براساس (جدول ۳)، می‌توان به درک کامل موضوع و شفاف‌سازی در حیطهٔ مرمت شهری به تبیینی سازگار برخوردار شد.

جدول ۳- مداخلات در مرمت شهری (مأخذ: جمع‌آوری توسط نگارندگان)

انواع مداخله در مرمت شهری
مداخلهٔ نوگرایانه
می‌توان گفت این نوع از مداخله متأثر از نظریه‌های صاحب‌نظران شهرسازان قرن نوزدهم میلادی نظیر آوئن، فوریه، ریچاردسون، کابه و پرودون بوده است هدف از این نوع مداخله، می‌توان گفت ارتقای سطح بهداشت و سلامت، افزایش کارایی و بالا بردن زیبایی در سطح شهر برخوردار می‌باشد. مداخلات نوگرایانه برای حل مسائل و مشکلات و مواجهه با آن، انقطاع فرهنگی را مطرح می‌نماید و نگاهی به آینده و فعالیت‌های انسانی در شهری مطرح می‌گردد همچنین با چهار عملکرد مهم در منطقه‌بندی فعالیت‌ها نظیر کاربری‌های اصلی، سکونت، رفت و آمد همه‌وهمه به‌دنبال نظام در نظام‌مندی به شهر می‌باشد.
مداخلهٔ فرهنگ‌گرایانه
می‌توان گفت این نوع از مداخله متأثر از نظریه‌های صاحب‌نظران پیش‌شهرسازان قرن نوزدهم میلادی چون راسکین، موریس، سیت و ریمون آنون بوده است. هدف از این نوع مداخله، یعنی زنده کردن ارزش‌های فرهنگی گذشته در شهر، تکیه بر رشد شهر براساس اشکال هویتی کهن، توجه به ارزش‌های زیبایی‌شناسی/ زیبایی‌شناختی شهرهای کهن دارای هویت، به حداقل رسیدن دخل‌وتصرف در بافت‌های باارزش تاریخی، و بالا بردن آرامش و جذابیت شهری می‌توان مدنظر قرار گرفت.
مداخلهٔ فرانوگرایانه
می‌توان گفت این نوع از مداخله متأثر از نظریه‌های صاحب‌نظران شهرسازی دههٔ شصت قرن بیستم میلادی به بعد بوده است. همچنین مداخلهٔ فرانوگرایانه می‌تواند تلفیقی از مداخلهٔ نوگرایانه و مداخلهٔ فرهنگ‌گرایانه باشد که از افراط و تفریط دو نوع مداخله فوق بکاهد. طوری که محور اصلی این مداخله، حفظ تاروپود بافت محدودهٔ کهن در کنار دگرگونی‌های کالبدی فضایی شهر است.
مداخلهٔ مردم‌گرایانه
می‌توان گفت این نوع از مداخله متأثر از نظریه‌های صاحب‌نظران شهرسازی مشارکتی دهه‌های آخر قرن بیستم میلادی است که هدف آن بالا بردن میزان مشارکت مردم در تغییرات سازمان فضایی شهر می‌باشد.

۹-۱- روش‌شناسی مداخله^{۴۰} در مرمت بافت‌های تاریخی شهری

می‌توان بیان نمود روش‌شناسی مداخله‌ای در مداخلهٔ مرمت شهری به پنج دستهٔ کلی تقسیم می‌گردند که در زیر به آن‌ها اشاره گردیده شده و برای به‌تحقق رسیدن اهمیت هرچه بیشتر موضوع براساس (جدول ۴)، نگاهی کلی به آن‌ها انجام گردیده شده است.

- ۱- روش حفاظتی/ بهداشتی
- ۲- روش حفاظتی/ تزئینی
- ۳- روش بازسازی شهری
- ۴- روش مداخلهٔ موضعی/ موضوعی
- ۵- روش جامع مرمت شهری

جدول ۴- روش‌شناسی مداخله در مرمت شهری/ بافت تاریخی (مأخذ: جمع‌آوری توسط نگارندگان)

روش‌های مداخله در مرمت شهری/ بافت تاریخی
روش حفاظتی/ بهداشتی
می‌توان گفت روش حفاظتی/ بهداشتی دربرگیرندهٔ مجموعه اقدامات برای ارتقای شرایط کمی یا کیفی در محیط بوده است. این اقدامات علی‌الاصول در پی تبدیل ناپایداری‌های شهری به مجموعه اقداماتی که شهرداری‌های شهرهای بزرگ شهرهایی که به پایداری صورت می‌پذیرد بهره‌مند می‌باشند. بنابراین دلایل اقتصادی، جهانگردی، مذهبی و غیره بیشتر به رفع معضلات برای حصول به بهبودهای نوع طرح مرمت شهری به‌حساب می‌آید. عامل اصلی در استفاده از این روش، عدم انطباق میان بافت کهن با شرایط نو و معاصر زندگی شهری است، که در آن تحولات اجتماعی، اقتصادی باعث تغییر و افزایش خواستهٔ عموم شده است. بنابراین این روش، با استفاده از امکانات و دستاوردهای جدید و برای پاسخگویی به نیازهای معاصر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور مثال اقدامات هوسمان در پاریس، اقدامات مرمت شهری موردنظر نوگرایان و

اقدامات مرمت شهری صورت گرفته در کشورهای جنوب جهان در حال توسعه و اروپای شرقی، نمونه‌های بارزی از روش حفاظتی/بهداشتی می‌باشند.

روش حفاظتی/تزیینی

می‌توان گفت روش حفاظتی/تزیینی دربرگیرنده مجموعه اقداماتی برای حفظ، نگهداری و یا ارتقای زیبایی‌شناسی/زیبایی‌شناختی فضایی در پیکره‌ها، سیماها، و چهره معماری شهری بافت بناهای تاریخی می‌باشد طوری که گسستن از آن‌ها پیوندهای کالبدی با بافت‌های مسکونی اطراف، از بین بردن محله‌های غیربهداشتی و فقیرنشین داخل شهر، احداث فضاهای باز در شهرها و محلات قدیمی به پیروی از معیارهای نو مربوط به روحیه‌ای هماهنگ و مشابه با شهرهای مدرن طرح‌های نوسازی شهری و به‌وجود آوردن چهره‌های بزرگ جهانی مترداف با هدف زیباسازی در این روش برخورداری بوده است. بنابراین روش حفاظتی/تزیینی، نوعی تفکر فرهنگ‌گرا قرار گرفته است. از این ره، اقدامات مربوط به این روش عمدتاً با احیاء، ابقاء و نه تخریب مواجه است. پایه‌های نظری این روش را می‌توان به صاحب‌نظران چون راسکین، موریس و سیت در قرن نوزدهم منسوب کرد. اگرچه نکات پایه‌ای آن، سر در عصر رنسانس نیز دارد در قرن بیستم و به‌خصوص در دهه‌های آخر قرن، روش حفاظتی/تزیینی، پژواکی شدید، تحت عنوان آینده‌ای برای گذشته و یا گذشته‌ای بر آینده، در مرمت شهری یافته است.

روش بازسازی شهری

می‌توان گفت روش بازسازی شهری ابتدا پس از جنگ جهانی دوم، به‌دنبال تخریب‌های وسیع گسترده شهری موردتوجه قرار گرفت طوری که برای مناطق آسیب‌دیده از جنگ مطرح شد و سپس به‌منظور نمایان ساختن غرور ملی دامنه آن به سایر مناطق شهری نیز صورت گرفت. هدف از این روش، بازگرداندن فعالیت به فضا، برگشت به حالت عادی، زنده کردن حیات شهری و در یک کلام، باززنده‌سازی فضای شهری است. همچنین روش بازسازی شهری دربرگیرنده دو وجه اساسی در مرمت شهری بوده است:

الف: بازسازی موبه‌مو: بازسازی مطابق با وضعیت گذشته بافت.

ب: بازسازی در انقطاع با گذشته: چهره و تصویر جدیدی از شهر عرضه می‌شود، به‌طوری که چهره گذشته بافت پاک شده و چهره جدیدی جایگزین آن برخورداری می‌گردد.

روش مداخله موضعی/موضوعی

می‌توان گفت روش مداخله موضعی/موضوعی را نوعی رابطه مستقیم با مسئولان شهر و شهرسازی مایه اصلی مرمت شهری می‌توان مدنظر قرار داد برخورداری می‌گردد. تفکر غالب در این روش، تفکر معماری شهری بوده است به بیان دیگر در تفکر معماری شهری، به دخالت‌های موضعی، بهبود شرایط محیطی ارتقای فضای معماری و سلطه معماری با یک محدوده منحصربه‌فرد موردتوجه می‌شود. بنابراین این تفکر، به ایجاد فضاهایی که برخوردهای اجتماعی را تسهیل کند توجه داشته و سعی در ایجاد هماهنگی میان شکل با فعالیت و فضا به‌صورت موضعی و کاملاً اجرایی دارد. این تفکر، بر آن است که از بافت‌های باارزش، حداکثر استفاده صورت پذیرد و مورد استفاده قرار گیرند.

روش جامع مرمت شهری

می‌توان گفت روش جامع مرمت شهری نوعی هدفی موردتوجه به مسائل بافت‌هاب کهن باتوجه به مسائل کل شهر در قالب ارائه و تدوین روش جامع نوسازی برای کل شهر می‌باشد. بنابراین در این روش، اعتقاد بر آن است که با برخوردها و مداخلات موضعی نمی‌توان به باززنده‌سازی بافت‌های کهن شهر پرداخت.

با درنظر گرفتن چنین روش‌های در مداخله مرمت شهری می‌توان علاوه بر آشنایی با روش‌ها، تأثیر مؤثری بر باززنده‌سازی ابنیه‌های بافت‌های محدوده تاریخی مدنظر قرار گرفت همچنین با چنین عملکردی در حفظ روند اهداف پژوهش نوعی ساماندهی در محیط شهری با بهبود کیفیات می‌توان به تحقق اهداف در رونق هویت‌مندی ابنیه‌های بافتی و گردشگری به تحقق معنوی و مادی رسید.

نتیجه‌گیری

مرمت بافت‌های تاریخی شهری و باززنده‌سازی مرمت شهری در محدوده‌های بافت‌های تاریخی ارزشمند نوعی تبیین هویتی برای جوامع می‌باشد که مرمتگر آن یعنی انسان امر تحقیقی آن بوده است به بیان دیگر مرمتگر احیاء کننده دوباره باززنده‌سازی عوامر و عامل هویتی و شناسنامه برای جوامع به‌حساب می‌آید. می‌توان گفت مرمت شهری یک امری عملکردی برای انسان از گذشته به آینده بوده که هم باعث اصالت او در سیطره تاریخ برخورداری می‌گردد هم باعث رشد رونق صنعت گردشگری می‌شود. احیاء و مرمت می‌تواند یک نظام هویت شهری با رویکردهای فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی را دربر گیرد و ارزش‌های زیبایی‌شناسی/زیبایی‌شناختی را به تحقق رساند و نوعی خاطره زیبایی در تاریخ جهان هستی شامل گردد. بنابراین مرمت بافت‌های تاریخی شهری علاوه بر حفظ تاریخ، هویت انسان نوعی پیوستگی گسترده در آفرینش مرمتگر برای مرمت در بازآفرینی شهری به‌وجود می‌آورد که تنها با معنا می‌توان آن را احساس نمود. کلام آخر در این پژوهش این است که می‌توان با درنظر گرفتن مبانی

مرمت با ویژگی‌ها و خصوصیات منحصر به فرد از گذشته به آینده با حفظ هویت گذشته می‌توان نیاز امروزی و پاسخ انسان امروزی را با باززنده‌سازی، احیاء، انطباق سازگار با محوریت عدم ناسازگاری و غیره با مرمت شهری به صورت جامع می‌توان به تداعی و متجلی کردن امر تحقق اهداف به سرانجام رسید و اختصاری خارق‌العاده برای آدمی پدید گردید.

پی‌نوشت‌ها

- | | | |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Urban Renovation | 13. Mohammad Hassan | 27. Urban Architecture |
| 2. Reconstruction | Moheb-Ali | 28. Contemporary |
| 3. Revivalism | 14. Atssa Amirkabirian | 29. Mohammad Dabdabeh |
| 4. Altering Architecture | 15. Seyed Mohsen Habibi | 30. Shabnam Dabdabeh |
| 5. Refurbishing | 16. Maliha Maghsoudi | 31. Majid Rezvanpanah |
| 6. Authenticity | 17. Jon Lang | 32. Amir Hossein Farahinia |
| 7. Identity | 18. Alireza Einifar | 33. Omid Shaterivaighan |
| 8. Gesare Brandi | 19. Fred Scott | 34. Mohammad Mansour |
| 9. Pirouz Hanachi | 20. Ehsan Masoud | Falamaki |
| 10. Maryam Rezghi | 21. Navid Golchin | 35. Eugene Viollet-Ie- Duc |
| 11. Kambiz Rezghi | 22. Nasser Fakouhi | 36. Camillo Boito |
| 12. Asgharmohammad Moradi | 23. Mahmoud Arjomand | 37. Camillo Sitte |
| | 24. Ahmad Aminpour | 38. Ludvico Quaroni |
| | 25. Historical Context | 39. Gustavo Giovanni |
| | 26. Urban Space | 40. Methodology of Intervention |

منابع

۱. ارژمند، محمود، امین‌پور، احمد، (۱۳۹۴)، نقش مرمتگر در مرمت ابنیه حوزه فرهنگ و تمدن اسلامی؛ تأملی بر مبنای رویکردهای مرمتی در دانش مرمت براساس عامل انسانی مرمت، فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی، شماره نهم، سال سوم، ۹۸-۱۰۵.
۲. اسکات، فرد، (۱۳۹۷)، معماری تغییر: تمهیدات تغییر در معماری موجود، ترجمه: علیرضا عینی‌فر، احسان مسعود، نوید گلچین، چاپ اول، تهران: انتشارات فکر نو.
۳. بحرینی، سیدحسین، (۱۳۸۴)، «تحلیل فضاهای شهری: در رابطه با الگوهای رفتاری استفاده‌کنندگان و ضوابطی برای طراحی»، چاپ چهارم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۴. براندی، چزاره، (۱۳۹۲)، نظریه‌های مرمت (تئوری مرمت)، ترجمه پیروز حناچی، چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۵. حاجی‌پور، خلیل، (۱۳۸۶)، «مقدمه‌ای بر سیر تحول و تکوین رویکردهای مرمت شهری (دوره زمانی بعد از جنگ جهانی اول تا آغاز هزاره سوم)»، فصلنامه اندیشه ایران‌شهر، دوره ۲، شماره ۱۰-۹، صص ۲۵-۱۶.
۶. حبیبی، سیدمحسن، مقصودی، ملیحه، (۱۳۹۵)، مرمت شهری: تعاریف، نظریه‌ها، تجارب، منشورها و قطعنامه‌های جهانی، روش‌ها و اقدامات شهری، چاپ هشتم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۷. رزقی، مریم، رزقی، کامبیز، (۱۳۹۲)، تحلیل فضاهای شهری، چاپ اول، تهران: انتشارات اول و آخر.
۸. ضیاءشهبانی، نوشین، آذرنوش، منا، (۱۳۹۰)، «معماری داخلی در بناهای تاریخی»، فصلنامه جلوه نقش، شماره ۵، پیاپی ۶ صص ۷۶-۷۹.
۹. فکوهی، ناصر، (۱۳۹۷-۱۳۹۸)، پاره‌های هنر، معماری و شهرسازی (جلد ۱ و ۲)، چاپ اول، تهران: انتشارات فکر نو.
۱۰. کریر، راب، (۱۳۸۳)، «فضاهای شهری»، ترجمه خسرو هاشمی نژاد، چاپ اول، اصفهان: نشر خاک.
۱۱. کلاتنری خلیل‌آباد، حسین، پوراحمد، احمد (۱۳۸۴)، «فنون و تجارب برنامه‌ریزی مرمت بافت تاریخی شهرها»، چاپ اول، تهران: جهاد دانشگاهی، پژوهشکده علوم انسانی و اجتماعی.
۱۲. لطفی، سهند، (۱۳۷۸)، حفاظت و بازآفرینی شهری: مفاهیم و شرایط (با تأکید بر سال‌های دهه ۱۹۹۰ میلادی تاکنون)، رساله دکتری شهرسازی، دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران.
۱۳. لنگ، جان، (۱۳۹۶)، آفرینش نظریه معماری: نقش علوم رفتاری در طراحی محیط، ترجمه علیرضا عینی‌فر، چاپ دهم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۱۴. لینچ، کوین، (۱۳۸۱)، «تئوری شکل شهر»، ترجمه سید حسین بحرینی، چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۱۵. محمدمرادی، اصغر، محب‌علی، محمدحسین، امیرکبیریان، آتس‌سا، (۱۳۹۳)، دوازده درس مرمت، چاپ چهارم، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
16. Carmona, Matthew, Heath, Tim, Oc, Taner, Tiesdell, Steve. (2003). Public places, urban spaces: The dimensions of urban design. Architectural Press.

مطالعات بتن الیافی در سازه‌های شهری مورد مطالعه طول به قطر الیاف فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی

کبری الهیاری^۱، رضا الهیاری^۲، زهرا کارگر^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۴

کد مقاله: ۹۹۴۰۸

چکیده

مقاله حاضر برگرفته از تحقیقات آزمایشگاهی دیگر پژوهشگران می‌باشد که اثر درصد و نسبت طول به قطر الیاف فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. ویژگی‌هایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ عبارتند از: طاقت و ضریب طاقت بتن الیافی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت برشی، مقاومت فشاری، مقاومت دینامیکی، مقاومت خستگی، مقاومت پیچشی، مقاومت ترک خوردگی، خزش، پوسیدگی و زنگ زدگی الیاف، قابلیت هدایت حرارتی، مقاومت سائیدگی و مقاومت اصطکاکی و لغزشی.

واژگان کلیدی: بتن الیافی، الیاف فولادی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن، نسبت طول به قطر الیاف

۱- کارشناسی ارشد مدیریت منابع طبیعی

۲- کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران

در اجرای یک پروژه به کارگیری مصالح مناسب مقاوم و ارزان از مهم‌ترین برگ خریدها به حساب می‌آید. یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین مصالح موجود که در دنیا کاربرد وسیعی دارد بتن است. از عمده‌ترین مزایای بتن امکان استفاده در اغلب مناطق جغرافیایی، به کارگیری مصالح طبیعی و ارزان در ساخت آن، هزینه کم در مقایسه با حجم زیاد عملیات، شکل‌پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح، امکان مکانیزه کردن عملیات، عدم نیاز به نگهداری پرخرج بنا در طول عمر بهره‌برداری است. [۱] به کارگیری بتن غیرمسلح به علت تردی آن به‌غیراز سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. [۲] این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن به‌وسیله میله‌های فولادی با آرماتور برطرف می‌گردد. اما از آنجایی که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزوتوپ و هم‌ژن است چندان صحیح نخواهد بود به‌منظور ایجاد شرایط ایزوتوپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک و نسبتاً درازی که در تمام حجم بتن به‌طور همگن و درهم پراکنده می‌گردد استفاده می‌شود. [۳] تا این مشکل بتن که یک ماده ترد با مقاومت کششی پایین است را حل کرده و باعث کنترل ترک‌خوردگی بتن شود. [۴] در سالیان اخیر نسل جدیدی از بتن‌های الیافی شکل‌پذیر تحت عنوان " مواد مرکب مهندسی بر پایه مصالح سیمانی توسط آقای Li ابداع شده است. [۵]

بتن الیافی نوعی بتن است که ساخت آن از الیاف استفاده می‌کند و سیمان، آب، سنگدانه و مواد افزودنی را همراه با الیاف مخلوط می‌کنند، الیاف باعث افزایش پیوستگی، مقاومت کششی، کاهش ترک‌های بتن و افزایش نرمی بتن می‌گردد. [۶] می‌توان در بتن الیافی از ژل سیلیکافیوم که یک ژل الیاف دار بتن است، استفاده می‌شود به عبارت دیگر برای ایجاد الیاف پلی پروپیلن از این ژل در بتن استفاده می‌گردد. [۷]

اولین تلاش اصلی برای مسلح کردن بتن به‌وسیله جاگذاری الیاف‌های فولادی توسط Ramualdi و Baston در کشور آمریکا صورت گرفت. بعد از آن، تحقیقات و کاربردهای صنعتی بسیار زیادی درباره بتن مسلح با الیاف فولادی انجام گرفته است. [۸] استفاده از بتن مسلح به الیاف از چهار دهه پیش آغاز گردیده است. الیاف در بتن سبب کاهش شکنندگی بتن و تأمین رفتار شکل‌پذیر آن می‌شوند. [۹] الیاف ممکن است از جنس‌های گیاهی، مصنوعی و فلزی باشند که خواص مکانیکی بتن، تحت بارهای فشاری، کششی، خمشی، برشی، دینامیکی و ضربه‌ای، همچنین خزش، مقاومت در برابر یخ زدن، سایش، و فرسایش را بهبود بخشیده و ماده یکپارچه‌ای به وجود می‌آورند. [۱۰]

در زمان‌های گذشته، از الیاف جهت تقویت ملات‌های ترد و شکننده استفاده می‌شد که مشهورترین و پرطرفدارترین آن که به علت ارزانی و در دسترس بودن گاه می‌باشد که برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک‌خوردگی که بعد از خشک شدن به وجود می‌آید، بکار رفته و در حال حاضر نیز ارزان‌ترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است. [۱۱] استفاده از کاه و مخصوصاً موی دم‌اسب و یا بز در بناهای قدیمی ایران بخصوص گنبدها سابقه طولانی و تاریخی دارد که بصیرت و اطلاع صاحبان فن را در مورد خواص الیاف نشان می‌دهد. [۱۲] و در حال حاضر از رشته‌های پنبه کوهی (آزبست) برای تقویت سیمان پرتلند استفاده می‌شود. [۱۱]

Joseph Lambot در سال ۱۸۴۷ پیشنهاد کرد که با اضافه کردن الیاف پیوسته به شکل سیم به بتن یک ماده ساختمانی جدیدی می‌توان تولید کرد. [۱۳] در سال ۱۹۱۱ یک سری آزمایش‌ها برای مقاومت بتن به‌وسیله الیاف‌های کوتاه توسط Porter انجام شد. او با اضافه کردن گل‌میخ به بتن، افزایش مقاومت کششی و خردشدگی بتن را به دست آورد. [۱۴] L A Qureshi و همکاران خواص بتن با مقاومت بالا را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش الیاف فولادی، مقاومت کششی به‌صورت خطی افزایش می‌یابد و سرعت افزایش در ۷ روز اول بیشتر می‌باشد. [۱۵] M N Hadi آزمایشی را جهت مقایسه رفتار دال بتنی مسلح با استفاده از الیاف فولادی و پلی پروپیلن انجام داد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که افزایش ۱٪ حجمی الیاف فولادی بهترین تأثیر را در شکل‌پذیری دال‌ها دارد. [۱۶] امیر پور مقدم و همکارانش در مقاله‌ای پخش و جهت‌گیری الیاف فلزی در بتن مسلح الیافی را مورد بررسی قرار دادند [۱۷] نیما وظیفه خواه و همکارانش در مقاله‌ای مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی را مورد بررسی قرار دادند. [۱۸] Sandesh D. Deshmukh و همکارانش مطالعه تجربی بر روی خواص بتن با الیاف مصنوعی با خاکستر پوسته برنج و الیاف فولادی انجام دادند که نتایج، بهبود بیشتر خواص بتن را گزارش کردند. [۱۹]

کاربرد الیاف فولادی از اواسط قرن اخیر آغاز گردیده و تاریخ دقیقی در مورد استفاده از این روش در دسترس نیست و لکن افراد مختلف با استفاده از روش‌های متفاوتی نظیر کاربرد تکه‌های سیم یا بریده‌های فلز در داخل بتن، امتیاز این نوع روش را به نام خود به ثبت رسانده‌اند. [۱۲] کاربرد گسترده بتن با الیاف فولادی از اواسط سال ۱۹۶۰ برای روسازی جاده‌ها، کف سالن‌های صنعتی، جداره کوره‌ها و... انجام گرفته است. [۲] از جمله تجربیات به‌دست‌آمده از بتن الیافی، با استفاده از الیاف فولادی با مصالح سنگی معمولی و سیمان پرتلند، عمدتاً در ایالات متحده بوده است. تنها مورد کاربرد بتن الیافی در ایران در سر ریز سد امیر کبیر است که آن هم توسط شرکت‌های خارجی در حد محدودی اجرا شده است. [۲۱]

بتن معمولی یک ماده نسبتاً ترد و شکننده است، درحالی که بتن الیافی چون دارای مقاومت زیادتر و خاصیت جلوگیری از ترک خوردگی را داراست، لذا نسبت به بتن معمولی برتری دارد. [۹] اثرات مثبت کاربرد الیاف فولادی در بتن شامل: افزایش مقاومت خمشی، افزایش مقاومت برشی، افزایش مقاومت کششی، افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی به ویژه بارهای ضربه‌ای، افزایش مقاومت مقطع در قبال ترک خوردگی، افزایش در میزان جذب انرژی، کاهش در میزان انقباض، خزش و سایش سطحی می‌باشد. [۲۲]

استفاده از الیاف طبیعی نیز باعث بهتر شدن خواص مکانیکی بتن می‌شود. [۲۳] اگرچه بتن الیافی دارای مزایای متعددی است ولی دارای نگرانی‌های خاصی هستند که هنوز به طور کامل حل و فصل نشده است. [۲۴] وجود الیاف فولادی بر نفوذپذیری بتن نیز تأثیر دارد که در تحقیقات انجام شده وجود الیاف نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهد. [۲۵]

با الیاف مصنوعی می‌توان ترک خوردگی بتن را کنترل و دوام طولانی مدت را برای بتن داشته باشیم. استفاده از الیاف نقش مهمی را در طراحی و ساخت بسیاری از انواع مختلف از پروژه‌ها، از جمله فرودگاه‌ها، زمین تنیس، استخر شنا، انبارها و مدارس دولتی ایفا کرده است. [۲۶]

نتایج بررسی‌ها و تحقیقات آزمایشگاهی که در دانشکده فنی دانشگاه تبریز در بررسی مقاومت‌های خمشی، فشاری، کششی، برشی و شکستگی در طول مدت بیش از یک سال انجام گرفت، نشان می‌دهد که تأثیر این نوع الیاف فولادی در بالا بردن مقاومت بتن بسیار چشمگیر و شایان توجه است. به کارگیری ضایعات و تراشه‌های فولادی به عنوان الیاف فولادی نه تنها از بعد افزایش خواص بتن خالص حائز اهمیت است بلکه از بعد اقتصادی و کاهش آلودگی محیط زیست نیز اثرات بسیار مثبت و رضایت بخشی را در بر خواهد داشت. طبق آمار ارائه شده توسط یکی از کارشناسان کارخانه ماشین سازی تبریز، تنها در ظرف ۶-۷ سال زمینی به مساحت 500×400 متر مربع و عمق ۴ متر توسط این گونه تراشه‌های فولادی پر شده است. [۲۷]

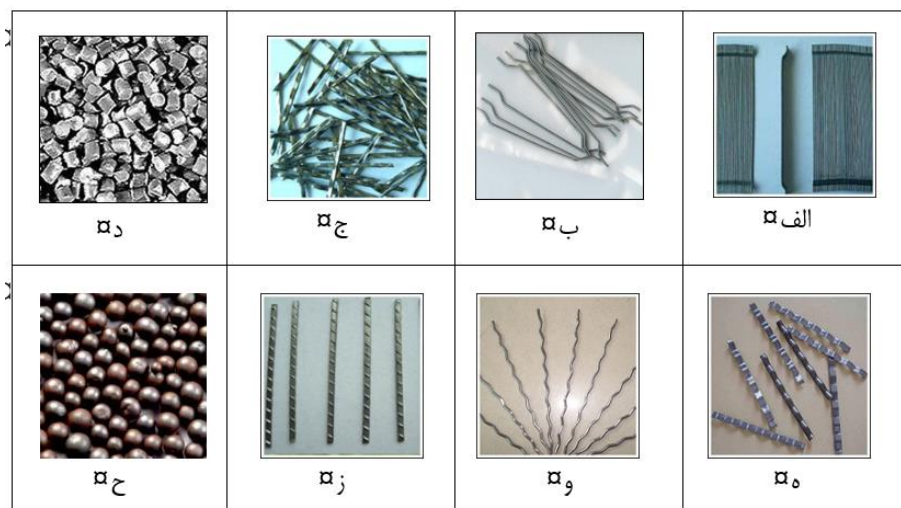
مصلح اصلی بتن مسلح با الیاف فولادی (بتن الیافی) همانند بتن معمولی است. مصلحی که کیفیت آن‌ها بالاست در بتن الیافی نیز قابل استفاده است و خواص بتن سخت شده تابعی از روش‌های بتن ریزی و متراکم کردن خمیر بتن خواهد بود.

بتن الیافی (الیاف فولادی) ترکیبی است که شامل یک کالبد بتنی مرکب از سیمان، مصلح سنگی و آب و همچنین درصدی از الیاف فولادی کوتاه که به طور درهم و کاملاً اتفاقی و در جهات مختلف در مخلوط پراکنده شده که وجود الیاف فولادی مشخصات بتن را نسبت به حالت خاص بهبود می‌بخشد. [۲] قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد، همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف فولادی در جسم بتن به طور سه بعدی و به بیانی بهتر چندبعدی پراکنده می‌شود، در صورت تشکیل یک ترک که معمولاً انتظار تغییر شکل می‌رود، در جهات مختلف، الیاف اتصالانی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک‌ها وارد عمل شده و با تشکیل ریزترک‌های زیاد همکاری می‌نماید و در نتیجه قابلیت بهره‌برداری بتن افزایش می‌یابد [۲۸]. از انواع الیاف که در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان الیاف پلاستیکی، شیشه‌ای، طبیعی، پلی اتیلن، آربست، نایلونی و فولادی را نام برد که در اشکال و اندازه‌های مختلف تولید می‌شود. [۲۹] در جدول ۱ مشخصات برخی از الیاف آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات الیاف مورد استفاده در بتن الیافی [۲۷]

نوع الیاف	مقاومت کششی	مدول یانگ	حداکثر تغییر طول	وزن مخصوص	نوع الیاف
آزبست	80-140 Ksi	12-20×10 ⁻³ ksi	0.6 ~ %	3.2 gr/cm ³	Asbestos
شیشه	150-550 Ksi	10×10 ⁻³ ksi	1.5-3.5 %	2.5 gr/cm ³	Glass
پلی اتیلن	~ 100 Ksi	0.02-0.06×10 ⁻³ ksi	0~1 %	.95 gr/cm ³	Polyethylene
فولاد	40-400 Ksi	29 ×10 ⁻³ ksi	0.5-35 %	7.8 gr/cm ³	Steel

الیاف فولادی با جنس‌های مختلف، از لحاظ مقاومت کششی و همچنین به صورت ساده و راست و یا با قلاب انتهایی - به منظور افزایش تنش چسبندگی با بتن - ساخته می‌شود [۳]. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب ترین و اقتصادی ترین نوع الیاف به حساب می‌آید. [۳۱] انواع الیاف فولادی در شکل ۱ مشاهده می‌شود و در جدول ۲ مشخصات آن‌ها آورده شده است.



شکل ۱: انواع الیاف فولادی [۳۲] [۳۳] [۳۴] [۳۵]

جدول ۲: انواع الیاف فولادی [۳۲] [۳۳] [۳۴] [۳۵]

ردیف	نام	توضیحات	توصیه مقدار مصرف
الف	چسبی	پس از اختلاط چسب ها در آب حل شده و به طور مساوی توزیع می شود.	$15 - 20 \text{ kg/m}^3$
ب	قلاب دار تک	ℓ/d بیشتر باعث پدیده تراکم می شود	$15 - 20 \text{ kg/m}^3$
ج	چین چین موجدار	دارای درجه بالایی از پراکندگی می باشد و به آسانی مخلوط می گردد.	$35 - 40 \text{ kg/m}^3$
د-ح	شات فولاد	برای بتن شات قابل کاربرد است.	$20 - 30 \text{ kg/m}^3$
ه	مواج تسمه ای	برای آسفالت بتنی عرشه پل استفاده می شود.	$30 - 40 \text{ kg/m}^3$
و	مواج لوله ای	دارای استحکام کششی بالا می باشد.	$20 - 25 \text{ kg/m}^3$
ز	کبریتی	تولید آن مثل فولاد نورد سرد می باشد.	$20 - 25 \text{ kg/m}^3$

از الیاف حلقوی که تأثیر بسیاری در مقاومت بتن الیافی دارد و همچنین از الیاف دم پهن، موجدار درشت و ریز، دندانه دار با سطح مقاطع مستطیلی، مثلثی و دایره ای نیز در بتن الیافی استفاده می شود. [۳۶] برای طراحی بهترین نوع الیاف باید تعادلی بین قطر، طول، مقاومت کششی و شکل آنها برقرار باشد چون این پارامترها در کارکرد الیاف تأثیر دارند. [۲۷] پارامتر مناسبی که یک رشته از الیاف را تعریف می کند، نسبت ظاهری می باشد که نسبت طول الیاف به قطر معادل الیاف است. مقدار نسبت های ظاهری (ℓ/d) معمولاً بین ۳۰ تا ۱۵۰، به طول های ۰/۶ تا ۷/۵ سانتی متر است. [۳۷]

به طور کلی کیفیت بتن الیافی می تواند به نسبت های مخلوط بتن، مشخصات هندسی الیاف فولادی شامل نسبت طول به قطر و مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف [۳۸]، مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی بستگی دارد. [۲۷] از دیگر عوامل موثر در مقاومت بتن الیافی زاویه قرار گیری الیاف می باشد. [۳۹] مدول الاستیسیته الیاف و.. نیز بر مقاومت بتن الیافی تأثیر دارد. [۳۸]

ب: کاربرد بتن مسلح به الیاف فولادی

کاربردهای بتن الیافی به استعداد، خلاقیت و ابتکار طراح و مجری در استفاده از مزیت مقاومت های استاتیکی، دینامیکی، خاصیت جذب انرژی، مقاومت خستگی و... بستگی دارد. توزیع یکنواخت الیاف در جسم بتن، مقطع ایزوتراپی را به وجود می آورد که مشابه با بتن آرمه معمولی نیز نمی باشد.

بتن مسلح به الیاف فولادی را می توان به تنهایی و یا به همراه بتن آرمه معمولی بکار برد. مواردی که می توان بتن الیافی را به تنهایی بکار گرفت، عبارتند از:

- روسازی بتنی بزرگراه ها، جاده ها و فرودگاه ها
- لوله های بتنی
- گاراژهای پیش ساخته
- فنداسیون ها

- دیواره و کف کانال ها

- قطعات پیش ساخته

- دریچه های بازدید و دیواره آنها

- در ساختمان تونل ها یا معابر معادن بصورت بتن پاشی

- تثبیت شیب ها و همچنین تثبیت ترانشه های سنگی و ریزشی با بتن پرتابی

- کف سالن های صنعتی [۴]

به منظور بهبود در معیارهای تکنولوژیکی بتن، الیاف را می توان با بتن آرمه معمولی و یا بتن پیش تنیده نیز بکار گرفت. این موارد عبارتند از:

-فنداسیون موتورها و ماشین آلات صنعتی بزرگ (توربین ها، پرس های بزرگ، ژنراتورهای دیزلی و ...)

- دیوارهای حفاظتی، پناهگاه ها و آشیان هواپیماها

- ساختمان راکتورهای اتمی

- قطعات مربوط به تونل سازی و حفاری معادن

- تیرهای پیش تنیده بتنی

- شمع های ضربه گیر

- قطعات نسوز با الیاف فولادی اعلاء

از بتن الیافی جهت مقاوم سازی ساختمان های بتن آرمه نیز قابل استفاده است. [۴۱]

به طوری کلی هدف از کاربرد الیاف فولادی در بتن را می توان به شرح زیر بیان داشت:

- الف- تسلیح اضافی، جهت افزایش مقاومت بتن مسلح یا بتن پیش تنیده به منظور کاهش ترک خوردگی و افزایش قدرت جذب انرژی تحت اثر: بارهای ضربه ای، موج های انفجاری، وضعیت های پیچیده تنش
- ب- جانشین شدن به جای بتن آرمه معمولی به منظور: کاهش هزینه دستمزد قطعات پیش ساخته بتنی، تثبیت و پایدارسازی شیب های سنگی و دیوارهای ریزشی خاکبرداری ها در مناطق مهم

ج- تسلیح منحصر به فرد و خاصیت یکنواخت و ایزوتروپ در نتیجه توزیع همگن الیاف در جسم بتن.

همانطوری که سازه های بتن آرمه ای و فولادی در اجرای طرح های مهم، تحول بزرگی را به وجود آورده است، استفاده از بتن الیافی نیز می تواند تحول چشمگیری در کم و کیف سازه های در دست اجرا یا طرح های آینده کشور داشته باشد. غفلت از برتری های بتن الیافی و عدم کاربرد آن در طرح های عمرانی کشور، نه تنها صدمات جبران ناپذیری را به کیفیت و عمر مفید سازه های ملی وارد خواهد آورد، بلکه الیاف فولادی که از زائدات خط تولید کارخانجات می تواند از این طریق مورد استفاده قرار گیرد، بلا استفاده مانده و این تفاله های صنعتی دست و پا گیر، محیط زیست را روز به روز آلوده تر خواهد نمود.

نگاهی گذرا به محوطه های دفن زباله در قطب های صنعتی و جوار جاده های کشور، حجم زیاد این تراشه های فولادی را نشان می دهد که چگونه این تراشه ها- که از بابت آنها ارز هنگفتی از کشور خارج شده است- در حال پوسیدگی و آلوده کردن محیط زیست می باشد و با توجه به حجم زیاد آنها زمین های مفید بازی اشغال شده است. لازم است نظر علاقمندان را به این نکته معطوف کنیم که تنها مشکل در کاربرد زائدات فولادی به عنوان الیاف، نحوه تبدیل آنها می باشد که در این مورد نیز دستگاه خاصی توسط مؤلف در دست طراحی و ساخت می باشد.

ج: برنامه آزمایشگاهی

شن و ماسه مصرفی در تهیه بتن الیافی با حداکثر قطر شن ۹/۵ میلی متر بوده است. شن و ماسه از نوع کنکا سوری و سیمان مصرفی نیز از نوع پرتلند معمولی بوده است. مقدار مصالح سنگی، سیمان و آب در تهیه نمونه های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. وزن مخصوص شن ۱۵۱۰ و ماسه ۱۴۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

جدول ۳: مقدار مصالح و آب در نمونه های بتنی الیافی

نوع نمونه	سیمان kg/m^3	شن kg/m^3	ماسه kg/m^3	نسبت آب به سیمان
خمشی	۳۵۰	۱۰۵۷	۶۸۶	۰/۴
کششی	۳۵۰	۹۰۶	۸۵۸	۰/۴
شکافتگی	۳۵۰	۱۰۵۷	۷۱۵	۰/۴
فشاری	۳۵۰	۱۰۵۷	۷۱۵	۰/۴

برای تهیه بتن نخست شن و ماسه و سیمان با توجه به نسبت های مربوطه توزین شده و سپس با هم مخلوط می‌شد و آنگاه الیاف مورد نیاز نیز با توجه به درصد مربوطه توزین و بر روی مخلوط مصالح سنگی و سیمان پاشیده می‌شد. بعد از اختلاط کامل و مجدد مخلوط، 4/5 آب مورد نیاز به مخلوط اضافه شده و بعد از بهم زدن 1/5 آب باقیمانده بر روی مخلوط پاشیده می‌شد و دوباره مخلوط بهم زده می‌شد تا مخلوط از لحاظ رطوبت کاملاً یکنواخت باشد. روش اختلاط در تمامی نمونه ها بصورت دستی است. عمل ویریه بتن در کلیه نمونه ها در روی میز ویریه انجام گرفته و تنها نمونه های خمشی ۱۵×۱۵×۴۵ سانتی متر با ویراتورهای میله ای متراکم می‌شدند. به موازات تهیه هر سری از نمونه های آزمایشگاهی، ۳ نمونه فشاری از بتن خالص در قالب های مکعبی ۱۵ سانتی متری نمونه گیری می‌شد تا مشخصات بتن با توجه به تغییرات درصد مصالح سنگی تعیین شود.

الیاف فولادی مورد استفاده در تحقیقات این مجموعه از تراشه های فولادی زائد می‌باشد که حداکثر قطر معادل این نوع الیاف ۱/۰ میلیمتر می‌باشد و طول الیاف با توجه به نیاز می تواند تهیه شود. از آنجا که قطر این نوع الیاف متفاوت و عملاً قابل تفکیک نیست لذا بصورت در هم مورد تحقیق و آزمایش قرار گرفته است و لکن طول آن قابل تغییر و انتخاب است. در این بررسی شبکه های آرماتور، تورهای بافته شده و یا آمارتورهای نازک و دراز نمی تواند بعنوان الیاف های پراکنده و منفرد در بتن تلقی گردد. نتایج مقاومت نمونه های فشاری مکعبی بتن خالص در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: نتایج مقاومت نمونه های فشاری مکعبی بتن خالص

مبناء نمونه	مقاومت فشاری kg/cm^2	مقاومت فشاری متوسط kg/cm^2
خمشی	۴۳۶/۷ و ۴۵۱/۷ و ۴۴۷/۴	۴۵۵/۳
کششی	۲۵۴/۳ و ۲۴۴/۳ و ۲۸۴/۵	۳۶۱/۰
فشاری و شکافتگی	۴۳۵/۱ و ۴۲۰/۶ و ۴۴۸/۷	۴۳۴/۸

بعد از ۲۴ ساعت بتن ریزی، قالب نمونه های خمشی، فشاری، شکافتگی و بعد از ۴۸ ساعت قالب نمونه های کششی باز شده و بعد تمام نمونه ها بجز نمونه های کششی که در داخل آب قرار گرفته است بقیه در در حمام بخار قرار گرفتند. نمونه های کششی بلافاصله بعد از خارج کردن از آب، تحت آزمایش قرار می گرفت، اما نمونه های خمشی، فشاری و شکافتگی یک روز قبل از آزمایش از حمام بخار خارج و بعد از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در درجه حرارت محیط آزمایشگاه آزمایش می‌شدند.

دستگاه آزمایش نمونه های کششی به ظرفیت نهائی ۶ تن بود. نمونه های فشاری و شکافتگی هم به ظرفیت نهایی ۴۰۰ هزار پوند مورد آزمایش قرار گرفتند. دو گروه از نمونه های خمشی در دستگاه فشاری به ظرفیت نهایی ۳۰ تن و گروه سوم (۱۵×۱۵×۳۵ سانتی متر) در دستگاه آزمایش C.B.R در مکانیک خاک مورد آزمایش قرار گرفت.

در انجام آزمایشات، فک های کششی، تکیه گاه ها، فک های برشی، فک های بارگذاری ۱/۳ دهانه و وسط دهانه مخصوص دستگاه C.B.R و صفحه نگهدارنده تکیه گاه در هر سه گروه از نمونه های خمشی، در رابطه با این تحقیقات طراحی و ساخته شده اند. همچنین قالب های فلزی چهار تایی، مخصوص نمونه های خمشی با کیفیت بالا نیز، به تعداد ۱۲ عدد در رابطه با این موضوع طراحی و ساخته شدند.

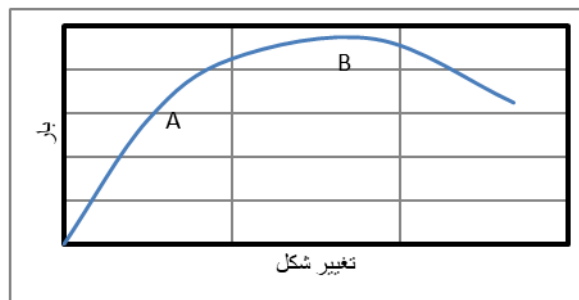
در آزمایشات خمشی به منظور محاسبه طاقت خمشی بتن از اندازه گیری های مکانیکی با دقت ۰,۰۰۱ اینچ برای این امر استفاده شد. تغییر شکل نمونه های فشاری هم با استفاده از حلقه مخصوص و بر اساس استاندارد ASTM, C-496 اندازه گیری شد که دقت وسیله اندازه گیری تغییر شکل نمونه استوانه ای، برابر ۰,۰۰۱ اینچ بود.

د: تحقیقات و بررسی ها

د-۱: منحنی بار-تغییر شکل

منحنی بار - تغییر شکل بتن الیافی که تحت خمشی قرار گرفته در نمودار ۱ قابل مشاهده است. وقتی نمونه های بتن الیافی تحت خمشی قرار می گیرند، به طور کلی دو رفتار متمایز در نمودار بار- تغییر شکل قابل مشاهده است. منحنی بار- تغییر شکل را می توان تا نقطه A کم و بیش خطی تلقی کرد. بعد از نقطه A منحنی کاملاً غیر خطی شده و به ماکزیمم مقدار خود در نقطه B می رسد. بار یا تنش نقطه A بعنوان مقاومت نخستین ترک، حد الاستیک یا حد جاری شدن است، درحالی که تنش نقطه B بعنوان مقاومت نهائی به حساب می آید. در مورد یک مخلوط مشخص، مقدار الیاف، مشخصات هندسی الیاف و توزیع الیاف در خواص بتن الیافی حائز اهمیت است. پارامترهایی که در مقاومت، دوام و کارائی بتن خالص (نسبت آب به سیمان، مقدار هوا، چگالی و...) اهمیت دارند، بر خواص بتن الیافی نیز تأثیر مهم دارد.

دو مکانیزم برای پیش بینی مقاومت نخستین ترک حد جاری شدن بتن الیافی پیشنهاد شده است. مکانیزم اول مقاومت نخستین ترک را به فواصل الیاف تقویتی مرتبط می داند، درحالی که مکانیزم دوم حد جاری شدن یا مقاومت نخستین ترک را به حجم، جهت و نسبت ℓ/d (نسبت طول به قطر) الیاف نسبت می دهد. مکانیزم فواصل الیاف، با توجه به عمل محدود کنندگی ترک توسط رشته های الیاف، همان روابط مکانیک گسیختگی الاستیک خطی می باشد [۴۲] به طور کلی این نظریه وجود دارد که مقاومت نهائی به طور نسبی به فواصل الیاف ارتباطی نداشته و به طور کلی به حجم، نسبت ℓ/d و مشخصات چسبندگی الیاف بستگی دارد.



نمودار ۱: منحنی بار - تغییر شکل بتن الیافی [۲۷]

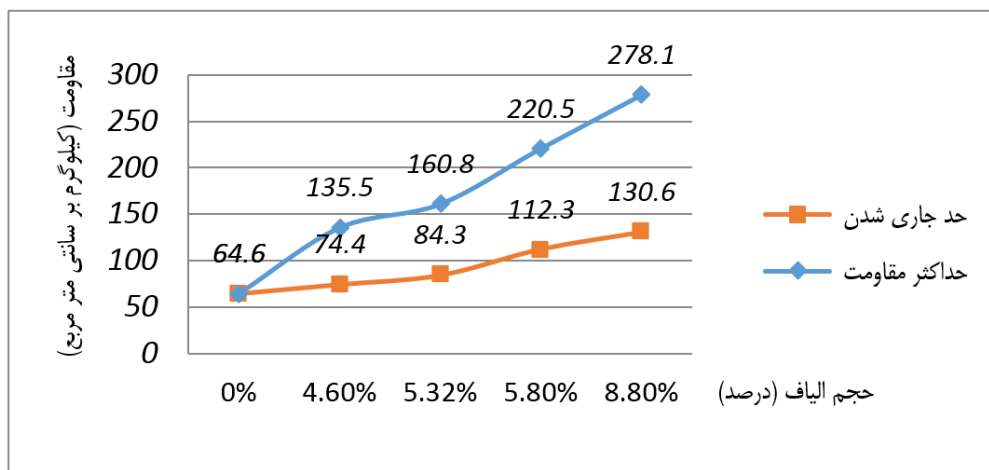
Mandel و Romualdi نشان دادند که با اختلاط مستقیم رشته های کوتاه الیاف در داخل ملات می توان به نتایج سیم هایی با فواصل نزدیک دست یافت. Snyder و Lankard رابطه ۱ را که تغییرات فواصل الیاف با تغییرات قطر الیاف را بیان میکند پیشنهاد دادند. [۳۴]

$$S = 13.8d\sqrt{1/\rho} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این فرمول S فاصله بین مرکز رشته های الیاف، d قطر الیاف و ρ درصد الیاف در حجم می باشد. Mckee معادله ای برای فاصله الیاف ارائه داده است که کاملاً با رابطه ۱ متفاوت است [۴۳]. فاصله الیاف در معادله Mckee از رابطه ۲ به دست می آید. که در آن V_F حجم یک رشته از الیاف و ρ درصد حجمی الیاف در ملات است.

$$S = \sqrt[3]{V_F/\rho} \quad \text{رابطه (۲)}$$

وجود الیاف در بتن باعث انحراف نمودار بار - تغییر شکل از حالت خطی خواهد شد، لذا افزایش حجم الیاف افزایش بار را به دنبال خواهد داشت. تأثیر درصد الیاف در مقدار مقاومت در نمودار ۲ نشان داده شده است. این نتایج در مورد تیرهای $5 \times 15 \times 55$ سانتی متر است که الیاف مصرفی 0.43 میلی متر قطر و 38 میلی متر طول داشته است به دست آمده است. [۲۹]



نمودار ۲: درصد الیاف در مقدار مقاومت [۲۷] و [نگارنده]

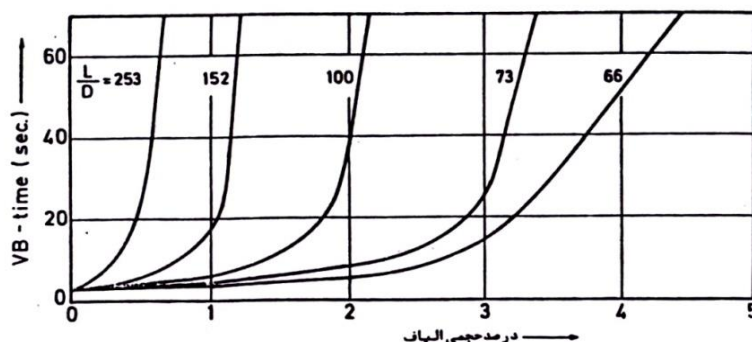
معیار تقریبی تأثیر الیاف بر روی خواص الاستیک مخلوط را می‌توان با استفاده از رابطه ۳ به دست آورد [۲]:

$$E_{CF} = E_F V_1 + E_C V_2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

E_C ، E_F ، E_{CF} به ترتیب مدول الاستیسیته مخلوط، رشته‌های الیاف و بتن است. V_2 بخشی از حجم بتن و V_1 بخشی از حجم الیاف است که بصورت کاملاً اتفاقی و در هم در مخلوط قرار گرفته اند. (۱) الیاف به خاطر آسانی پخش باید بصورت خشک وارد مخلوط شود. [۱] اختلاط و افزودن الیاف به مخلوط تر بتن، کارایی بتن را کاهش می‌دهد. وقتی مقدار الیاف فولادی افزایش می‌یابد، نهایتاً مخلوط در یک حد بحرانی، کاربردش خیلی مشکل می‌شود [۴۵] که این موضوع بستگی به مشخصات الیاف (نسبت ℓ/d) و درصد الیاف مصرفی دارد. در شکل ۲ رابطه V_F و نسبت ℓ/d الیاف فولادی بر کارایی بتن نشان داده شده است. [۲۷] تأثیر الیاف فولادی در مقاومت خمشی بتن الیافی را می‌توان طبق رابطه ۴ بیان نمود [۴۶] که در آن σ_{CF} : مقاومت خمشی بتن الیایی، σ_C : مقاومت مربوط به بتن، β : ضریبی که به کیفیت فولاد و شکل الیاف بستگی دارد $2.93 \leq \beta \leq 3.41$ ، ρ : درصد حجمی الیاف فولادی، ℓ/d : نسبت طول به قطر الیاف فولادی

$$\sigma_{CF} = \sigma_C + \beta \rho \frac{\ell}{d} \quad \text{رابطه (۴)}$$

با توجه به رابطه ۴ واضح است که با زیاد شدن نسبت ℓ/d و با ثابت ماندن مقادیر σ_C و β و ρ در مقاومت خمشی افزایش چشمگیری به وجود خواهد آمد، لکن با توجه به شکل ۲ زیاد شدن نسبت ℓ/d الیاف فولادی کارایی کمتری را در مخلوط کردن بتن الیافی به همراه خواهد داشت. تحت اثر حداکثر بار خمشی، بخشی از سطح مقطع بتن ترک خورده و بعضی از رشته‌های الیاف ممکن است تا حدی از جسم بتن رها شوند. در نتیجه، امکان پیش بینی قبلی مقاومت نهایی، به‌طور منطقی برای بتن الیافی وجود ندارد.



شکل ۲: رابطه حجم الیاف و کارایی بتن [۲۷]

دو عامل بسیار مهم که در حداکثر بار مؤثر است، درصد حجمی و نسبت ℓ/d الیاف می‌باشد. علاوه بر این، مشاهده شده است که اگر از رها شدگی رشته‌های الیاف جلوگیری شود، افزایش درصد حجمی الیاف (ρ) کم و بیش مقاومت مقطع مرکب را افزایش می‌دهد. همچنین مشاهده شده است که ازدیاد نسبت ℓ/d تا نسبت $\ell/d \leq 150$ ، مقدار حداکثر بار را به‌طور خطی افزایش می‌دهد [۴۷]. بر اساس این مشاهدات، برای مقاومت نهایی مقطع مرکب رابطه زیر پیشنهاد شده است:

$$\sigma_{CF} = \alpha \sigma_C (1 - \rho) + \beta \rho \frac{\ell}{d} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن، σ_C و σ_{CF} به ترتیب تنش مقطع مرکب بتن الیافی و جسم بتن یا ملات است و ℓ طول الیاف و d قطر الیاف می‌باشد. α و β ضرایبی هستند که می‌توان مقادیر آنها را، با ترسیم مقاومت مقطع بتن الیافی نسبت به ℓ/d و ρ در یک مختصات متعامد به دست آورد.

تحقیقاتی در دانشگاه Sheffield انگلستان انجام گرفته است که مقدار ضرایب α و β برای مقاومت نهایی مقطع بتن الیافی به ترتیب ۰/۹۷ و ۳/۴۱ می‌باشد. این مقادیر با ۰/۸۴۳ و ۲/۹۳ برای مقاومت نخستین ترک بتن الیافی قابل مقایسه است [۴۸]

باید خاطر نشان کرد که اولین عبارت سمت راست رابطه ۴ بیانگر شرکت جسم بتن در حداکثر بار است، حداکثر مقدار ضریب α برابر یک است و ضریب β به مقاومت چسبندگی الیاف و چگونگی توزیع الیاف در داخل بتن بستگی دارد. مقاومت چسبندگی زیاد الیاف و در یک ردیف قرار گرفتن رشته ها (در امتداد بار) مقدار ضریب β را افزایش می دهد. باید توجه داشت که واحد ضریب β همان واحد σ_{CF} و σ_C است. البته کاربرد این معادله زمانی است که گسیختگی بتن الیافی ناشی از رها شدگی و جدا شدن الیاف باشد.

Johnston نیز در آزمایشاتی که انجام داده، به وضوح نشان داده است که وقتی منحنی ها در مختصات مقاومت و $W_F \cdot \ell / d$ ترسیم می شوند (W_F درصد وزنی الیاف است) روابط بین ترک خوردگی و مقاومت نهایی به ندرت غیر خطی است [۴۹].

تنظیم و در یک امتداد قرار دادن الیاف فولادی با استفاده از میدان مغناطیس و یا لرزاندن نمونه ها موقعی که بتن هنوز شل است، امکان پذیر بوده و در این شرایط مقاومت خمشی از حالتی که رشته های الیاف دارای امتدادهای تصادفی و در هم هستند، بیشتر خواهد بود.

در یک سری از تحقیقات مقاومت خمشی بتن با ۱/۲ درصد حجمی الیاف فولادی خمیده که در یک امتداد قرار گرفته بودند، برابر ۲۶۴/۷ کیلو گرم بر سانتی متر مربع بود، درحالی که همان مقدار الیاف که به طور در هم در بتن قرار گرفته بودند، مقاومت خمشی ۹۱/۳ کیلو گرم بر سانتی متر مربع را برای بتن نشان داد. عمده ترین عوامل افزایش دهنده مقاومت بتن الیافی را می توان به دلایل سختی و مقاومت زیاد الیاف فولادی، نسبت مناسب ℓ / d و کیفیت خوب مصالح و اجزاء تشکیل دهنده بتن الیافی بیان داشت. در رابطه با هر کدام از موارد فوق می توان گفت که در حال حاضر:

الف) مقاومت کششی انواع الیاف موجود بین ۴۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ kg/cm^2 می باشد.

ب) الیاف فولادی ساخته شده از سیم یا ورق را به آسانی می توان بدون هیچ مشکلی در مخلوط بتن بکار برد که بستگی به نسبت ℓ / d آنها دارد. با افزایش نسبت ℓ / d و مقدار الیاف، تجمع الیاف، باعث گیر کردن آنها در یکدیگر شده و در نتیجه تحت این شرایط الیاف در داخل جسم بتن به طور همگن و یکنواخت توزیع نخواهد شد. برای حل این مشکل، لازم است که مقدار الیاف کاهش یابد تا گلوله شدن و گیر کردن آنها مرتفع گردد.

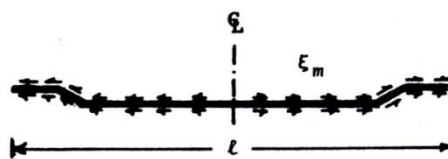
بالاترین حد ℓ / d جهت کارایی بهتر $\ell / d \leq 70$ پیشنهاد شده است که تا این مقدار، الیاف می تواند عملاً، بدون هیچ مشکلی در جسم بتن توزیع گردد. (شکل ۲)

ج) استفاده از مصالح سنگی شکسته و مرغوب باعث افزایش مقاومت بتن می شود. همچنین واضح است که الیاف فولادی با سطح زبر به طور قابل ملاحظه ای، بیش از الیاف با سطح صاف در افزایش تنش چسبندگی و در نتیجه افزایش مقاومت بتن الیافی نقش دارد.

هدف اصلی در تولید رشته های الیاف اینست که چسبندگی بیشتری را الیاف با بتن داشته باشد تا گسیختگی بتن الیافی تحت اثر نیروهای کششی، خمشی و... به بریدن الیاف باشد نه در رفتن و رها شدن آنها از بتن. از این رو نه تنها در تولید و ساخت الیاف سعی می گردد که سطح الیاف زبر باشد بلکه بعضی شرکت ها به ساخت و تولید الیاف با انتهای خمیده اقدام کرده اند تا تنش چسبندگی بین الیاف و بتن تا حد امکان افزایش یابد. در واقع انتهای خمیده الیاف تأثیر بسزایی، در چسبندگی الیاف به بتن و افزایش تنش چسبندگی دارد. با توجه به شکل ۳ تعادل نیروها در مرکز یک رشته الیاف عبارت است از:

$$\frac{\ell}{2} \cdot \xi_m \cdot \pi \cdot d = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_F \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه: ξ_m : تنش متوسط چسبندگی الیاف فولادی، σ_F : تنش کششی الیاف فولادی، ℓ : طول الیاف فولادی، d : قطر الیاف فولادی



شکل ۳: نحوه تأثیر تنش های چسبندگی یک رشته از الیاف [۲۷]

پس داریم:
رابطه (۶)

$$\frac{\ell}{d} = \frac{\sigma_F}{2\xi_m}$$

با توجه به اینکه گسیختگی در بتن الیافی باید نسبت به الیاف باشد، لازم است با در نظر گرفتن رابطه ۶ نسبت ℓ/d با توجه به مقدار تنش کششی و تنش چسبندگی الیاف فولادی تعیین شود که این نسبت ℓ/d یک نسبت بحرانی است که در حالت گسیختگی الیاف می‌باشد و لذا محاسبه آن نیز بر اساس σ_F نهایی خواهد بود.

پروفسور S.P.Shah اظهار می‌دارد که نسبت های ℓ/d بیشتر از ۱۰۰ به دلیل تجمع و گلوله شدن الیاف در قسمتی از بتن حین مخلوط کردن و یا حمل مخلوط، مفید و مؤثر نمی‌باشد [۵]. در نتیجه با توجه به خواص الیاف گسیختگی نسبت به الیاف نبوده بلکه در نتیجه در رفتن و رها شدن الیاف از بتن خواهد بود. به‌طور کلی مد گسیختگی بتن الیافی در نتیجه از بین رفتن تنش چسبندگی بین الیاف و بتن است. در تحقیقاتی که انجام گرفته است در هیچ حالتی به گسیختگی ناشی از الیاف (چه ساده و چه خمیده) اشاره ای نشده است [۲]. تنش ناشی از چسبندگی الیاف به بتن خیلی کمتر از تنش کشش نهایی الیاف فولادی است. انتهای خمیده الیاف، به طریقه مکانیکی مقدار ξ_m را افزایش می‌دهد.

به‌منظور اینکه از ظرفیت کششی الیاف فولادی تا حداکثر ممکن استفاده کنیم، لازمست بیشترین مقدار تنش چسبندگی را بدون اینکه به مقاومت کششی نهایی الیاف برسیم، داشته باشیم. بدین منظور می‌توانیم تنش چسبندگی را به دو طریق افزایش دهیم:

۱- با افزایش مقدار ξ_m که با شکل دادن به انتهای الیاف می‌تواند عملی شود.

۲- با استفاده از نسبت های زیاد ℓ/d که با استفاده از الیاف چسبی میسر است.

تنش چسبندگی الیاف فولادی تحقیقات این مجموعه که از تراشه های فولادی زائد می‌باشد، از طریق زبری یک طرف سطح الیاف تامین می‌شود.

د-۲: اندر کنش الیاف و مصالح سنگی

شکل ۴، مقدار بحرانی درصد حجمی الیاف در مخلوط بتن با یک ترکیب مشخص که بستگی به نسبت ℓ/d الیاف دارد را نشان می‌دهد. زمان VEBE-time برای کارایی با حد بالا ۱۲/۰ ثانیه تشخیص داده شده است. کاهش کارایی نسبت مستقیم با حجم مصالح سنگی دارد. تأثیر مصالح سنگی درشت دانه در مقام مقایسه با مصالح سنگی ریز دانه خیلی بیشتر است. J.E.C.Moens [۲۵] رابطه ای را ارائه داده است که بر اساس آن، مشخصات الیاف برای یک مخلوط بتن الیافی با کارایی مشخص باید از رابطه زیر تبعیت کند که در آن C ضریب تأثیر مقدار مصالح سنگی و دانه بندی است.

$$\rho\left(\frac{\ell}{d}\right)^{4/3} \leq C \quad \text{رابطه (۷)}$$

با توجه به رابطه مقاومت خمشی بتن الیافی (رابطه ۴) $\sigma_{CF} = \sigma_C + \beta\rho.\ell/d$ مزیت بارزی که با استفاده از عامل $\rho.\ell/d$ به دست می‌آید، اینست که با استفاده از این عامل هم مقاومت و هم کارایی مورد نظر تأمین می‌شود. البته این مورد برای نسبت های ℓ/d از ۷۵ تا ۱۲۵ امکان پذیر است. چرا که می‌توان رابطه ۷ را بصورت رابطه ۸ نوشت.

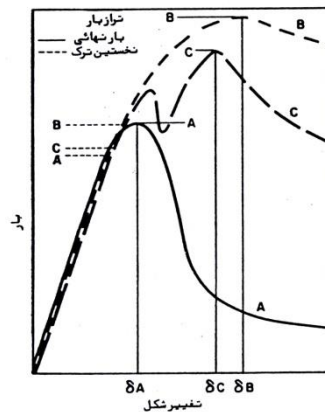
$$\rho\frac{\ell}{d} \leq C_m \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در این رابطه C_m به عنوان ضریب اندر کنش الیاف و مصالح سنگی مخلوط بتن تعریف شده و از رابطه ۹ به دست می‌آید [۱۵ و ۱]: که در آن V_{ij} : وزن حجمی بخشی از مصالح سنگی (اندازه $d_i - d_j$)، C_{dij} : ضریب تأثیر بخشی از مصالح سنگی (اندازه $d_i - d_j$) و مقدار C_{dij} از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. لازم به توضیح است، مقادیر V_{ij} ، d_i و d_j از آزمایش دانه بندی مصالح سنگی به دست می‌آید.

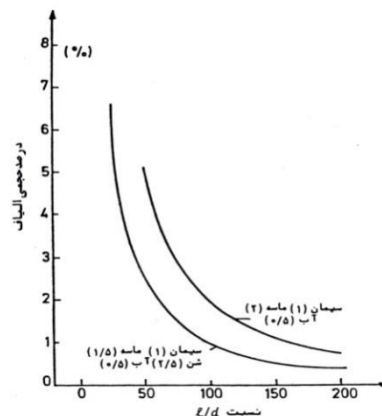
$$C_m = \sum_{i=d}^m V_{ij} C_{dij} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$C_{dij} = 1.72 - \ln(d_i - d_j)^{1/3}$$

رابطه (۱۰)



شکل ۵: انواع منحنی بار - تغییر شکل بتن الیافی [۲۷]



شکل ۴: تأثیر نسبت ظاهری در اندازه مصالح سنگی بتن الیافی [۲۷]

د- ۳: عوامل مؤثر در مقاومت نهایی خمشی

بر خلاف بتن خالص، بتن الیافی ترد و شکننده نبوده و تحت اثر حداکثر بار مشخص، به‌طور ناگهانی گسیخته نمی‌شود. به همین جهت نیز قبل از اینکه علایم اساسی ضعف مصالح در بتن الیافی مشاهده شود، منحنی بار- تغییر شکل غیر خطی شده و تنها آزمایش میکروسکوپی می‌تواند که ترک‌های ریز را آشکار سازد. تنش مربوط به مقاومت نخستین ترک در این مرحله قابل تعیین است، لکن مقدار تنش نخستین ترک، به میزان و دقت تکنیک مورد استفاده در کشف ترک‌ها بستگی دارد. با توجه به نوع،

تراکم و نسبت ℓ/d الیاف، تنش مربوط به حداکثر بار ممکن است در یکی از سه حالت زیر قرار گیرد:

(الف) تنش نهایی کمی بیشتر از مقاومت نخستین ترک باشد. (منحنی A شکل ۵).

(ب) تنش نهایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقاومت نخستین ترک است. (منحنی B شکل ۵).

(ج) و یا از آنجا که الیاف به‌طور مؤثری از گسترش ترک‌ها جلوگیری می‌کنند ممکن است بیش از یک اوج روی منحنی، قبل از اینکه منحنی به حداکثر مقدار برسد، به وجود آید. (منحنی C؛ شکل ۵).

از نتایج آزمایشات چنین مشاهده شده است که رفتار ترک نهایی بتن الیافی بستگی به چندین پارامتر از جمله پارامترهای تقویتی الیاف دارد. این پارامترهای تقویتی به‌طور کلی پارامترهای معلومی هستند و لذا حداکثر تنش ترک نهایی بر حسب ضریب

تقویتی الیافی $(\rho \cdot \ell/d)$ برابر است با:

$$\bar{\sigma} = \alpha \cdot \tau \cdot \rho \cdot \ell/d$$

رابطه (۱۱)

در این رابطه τ مقاومت چسبندگی داخلی و α ضریب کیفی الیاف منقطع و منفصل است که به امتداد و طول متوسط رها شده الیاف بعد از ترک خوردگی بتن، بستگی دارد. [۲۷] الیاف فولادی که به‌طور کاملاً در هم توزیع و پراکنده می‌شوند، تنش

مقاومی بیش از مقدار پیش بینی شده از تحلیل مکانیکی، در برابر رها شدگی دارند. [۵۲] و [۵۳] مقدار $\alpha.\tau$ که از تحلیل برگشتی نتایج توسط Naaman و Visalvanich [۵۴] به دست آمده، برابر است با:

$$\alpha.\tau = 46.34 \frac{kg}{cm^2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

با استفاده از حداکثر تنش ترک نهایی ($\bar{\sigma}$) و نصف طول الیاف ($\ell/2$) به عنوان ضریب نرمالیزه به ترتیب برای محورهای تنش و تغییر مکان، یک رابطه (رابطه ۱۳) تحلیلی که نمایش قانون $\sigma - \delta$ است، به دست می‌آید که σ تنش ترک نهایی و δ تغییر مکان مربوطه است.

$$\frac{\sigma}{\alpha.\tau.\rho.\ell/d} = \left[0.1\left(\frac{2\delta}{\ell}\right) + 1 \right] \left[\left(\frac{2\delta}{\ell}\right) - 1 \right]^2 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

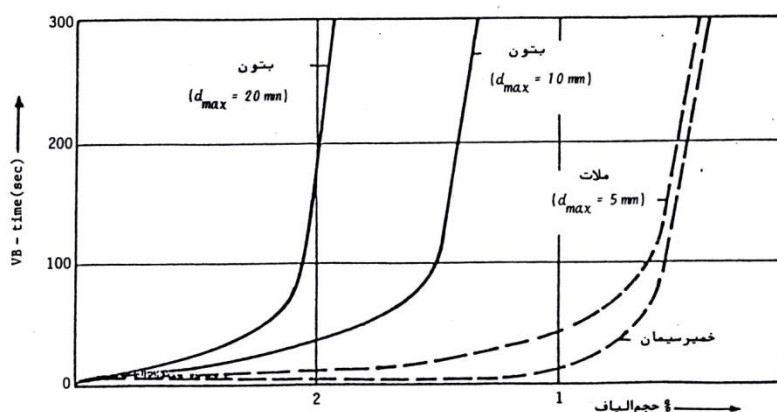
با توجه به قانون $\sigma - \delta$ بتن الیافی (معادله ۱۳) انرژی بحرانی گسیختگی ظاهری مربوطه (انرژی در واحد طول ترک در مرحله رشد آهسته و ثابت ترک) را می‌توان از رابطه ۱۴ به دست آورد که در آن G_{cn} انرژی گسیختگی حالت یکنواخت است که از رابطه ۱۵ زیر به دست می‌آید.

$$G_a = \alpha.\tau.\rho.\frac{\ell}{d}.\beta.c^n \left[1 - 1.9\left(\frac{\beta.c^n}{\ell}\right) + 1.067\left(\frac{\beta.c^n}{\ell}\right)^2 + 0.2\left(\frac{\beta.c^n}{\ell}\right)^3 \right] \leq G_{cn} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$G_{cn} = 0.171\alpha.\tau.\rho.\frac{\ell^2}{d} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

د-۴: کارایی بتن الیافی

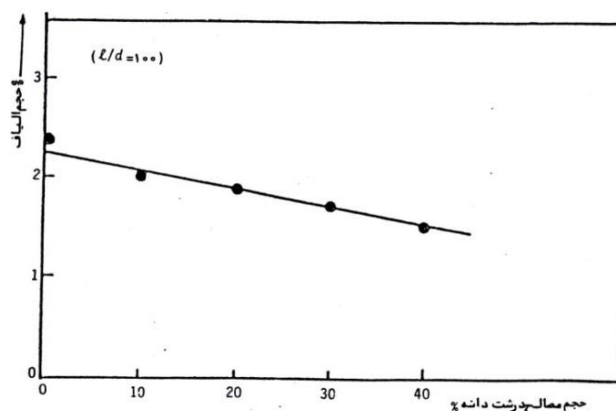
الیاف فولادی را می‌توان با ایستگاه‌های ساخت بتن، مخلوط آماده بتن یا اختلاط دستی در مقدار کم در آزمایشگاه مخلوط کرد. در تمامی روش‌های فوق لازم است که توزیع و پراکندگی الیاف در مخلوط به‌طور یکنواخت باشد و حین اختلاط، باید از تجمع یا جدا شدگی الیاف جلوگیری گردد [۲]. تجمع یا جدا شدگی الیاف حین اختلاط به یکسری عوامل مربوط می‌شود. مهمترین عامل نسبت ظاهری (ℓ/d) الیاف می‌باشد و عوامل دیگری که ممکن است در توزیع الیاف تأثیر داشته باشند عبارتند از: درصد حجمی الیاف، اندازه دانه بندی و مقدار مصالح سنگی درشت دانه، نسبت آب به سیمان و روش اختلاط.



شکل ۶: تأثیر الیاف فولادی در طاق‌ت خمشی

افزایش در نسبت ظاهری (ℓ/d) و درصد حجمی الیاف و اندازه و مقدار مصالح درشت دانه، به تجمع و درگیری رشته‌های الیاف در یکدیگر کمک می‌کند. بیشترین تجمع الیاف در مرحله افزودن آنها به مخلوط به وجود می‌آید و این مشکل را می‌توان با مراقبت لازم و با افزودن تدریجی رشته‌های الیاف به مخلوط و یا با استفاده از الیاف چسبی [۴۶] برطرف نمود. Edgington [۹] رابطه‌ای را ارائه داده است که در این رابطه تأثیر مصالح درشت دانه (دانه‌های بزرگتر از ۵ میلی‌متر و نسبت ℓ/d الیاف در کارایی بتن، نشان داده شده است. به ازاء یک مقدار ثابت $(\ell/d = 100)$ ، با افزایش درصد الیاف و همچنین قطر دانه‌ها

افزایش زمان Vebe-time، تأثیر مصالح درشت دانه را در کارایی بتن نشان می‌دهد (شکل ۶). همچنین تأثیر حجم مصالح سنگی، به ازاء یک مقدار ثابت ℓ/d در رابطه با درصد حجم الیاف در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: تأثیر حجم مصالح سنگی و درصد حجمی الیاف به ازاء نسبت ظاهری ۱۰۰ [۲۷]

د-۵: مقاومت خمشی

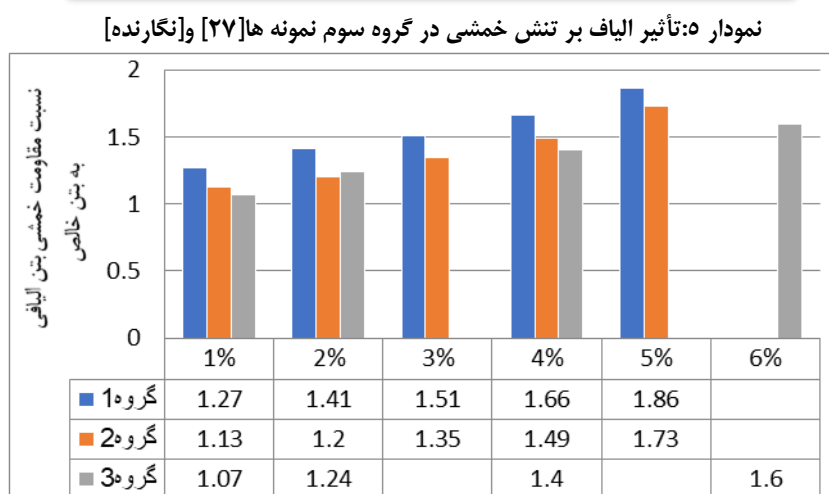
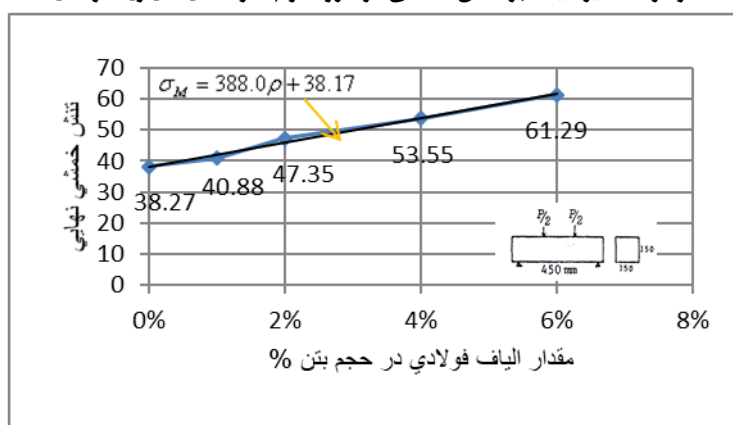
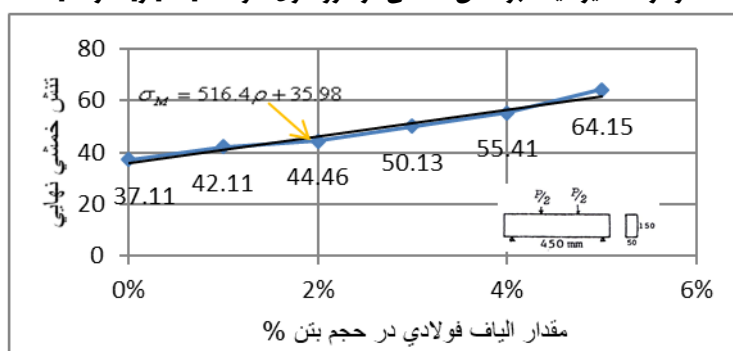
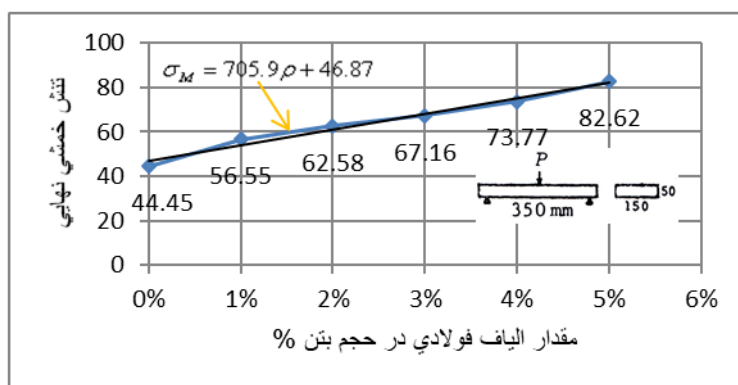
خاصیت مهم بتن الیافی در مقاومت خمشی زیاد و مقاومت در مقابل ترک‌خوردگی است که این خاصیت راه حل مناسبی برای کاهش خاصیت تردی و شکنندگی بتن خالص است. مقاومت خمشی بتن الیافی عمدتاً به شکل ظاهری، نسبت ℓ/d و جنس الیاف بستگی دارد، لذا با وجود ثابت بودن تمامی پارامترهای دیگر، مقاومت‌های خمشی متفاوتی به دست می‌آید. مقاومت خمشی تیرهای بتن مسلح به الیاف فولادی، که با استفاده از تراشه‌های فولادی زائد کارخانجات صنعتی ایران، به عنوان الیاف ساخته شده اند، کلاً در سه گروه می‌باشد که هر گروه و شامل ۵ سری و هر سری شامل ۴ نمونه بوده است. مقدار ۱٪ الیاف برابر با ۲۵ کیلوگرم الیاف در متر مکعب بتن می‌باشد و در تمام نمونه‌ها از الیاف فولادی با نسبت $\ell/d = 35$ استفاده شده است. ابعاد نمونه‌ها عمدتاً بر اساس استاندارد ACI آمریکا و JSCE ژاپن بوده است.

گروه اول نمونه‌های خمشی با ابعاد $L = 350mm, b = 150mm, h = 50mm$ تهیه شدند که بارگذاری در این گروه از نمونه‌ها بصورت بار متمرکز و در وسط دهانه اعمال می‌شد.

گروه دوم نمونه‌های خمشی با ابعاد $L = 450mm, b = 50mm, h = 150mm$ تهیه شدند که بارگذاری در این گروه از نمونه‌ها به صورت دو بار متمرکز و در $1/3$ دهانه تیر و به صورت متقارن بود.

گروه سوم نمونه‌های خمشی با ابعاد $L = 450mm, b = 150mm, h = 150mm$ بر اساس استاندارد JSCE ژاپن تهیه شدند که بارگذاری در این گروه از نمونه‌ها به صورت دو بار متمرکز و در $1/3$ دهانه تیر و به صورت متقارن بود. در این گروه از نمونه‌ها علاوه بر بررسی مقاومت خمشی نهائی، طاقت و ضریب طاقت بتن الیافی نیز مورد بررسی بوده است.

در نمودار ۳ تا ۵ تغییرات مقدار الیاف فولادی بر حسب درصد در مقابل متوسط ۴ نمونه تنش خمشی نهایی بر حسب kg/cm^2 در سه گروه یاد شده نشان داده شده است. در نمودار ۶ نسبت تغییرات مقاومت خمشی بتن الیافی به بتن خالص در مقابل درصد حجمی الیاف فولادی نشان داده شده است.



نمودار ۶: نسبت مقاومت خمشی بتن الیافی به بتن خالص در مقابل درصد حجمی الیاف فولادی [۲۷] و [نگارنده]

د-۶: مقاومت کششی

یکی از مهمترین نقش های الیاف فلزی در بتن افزایش مقاومت کششی بتن بوسیله کاهش ریزترکهای حاصله از بار گذاری خارجی است. [۵۵] و [۵۶] مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف، بعد از ترک خوردن افزایش میابد اما این افزایش نمیتواند با افزایشی که آرماتور معمولی میکند مقایسه شود. [۵۷]

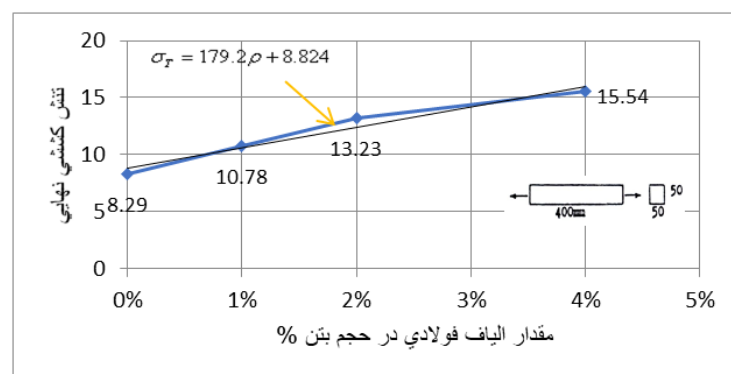
دو روش برای تعیین مقاومت کششی بتن الیافی مورد آزمایش قرار گرفت. روش اول تعیین مقاومت کششی بتن الیافی به طریقه مستقیم و با استفاده از نمونه های منشوری بود. در روش دوم مقاومت کششی به طور غیر مستقیم و با استفاده از نمونه های استوانه ای (آزمایش شکافتگی) انجام گرفته است.

د-۶-۱: آزمایش تعیین مقاومت کششی بتن الیافی به طور مستقیم

در این آزمایش نمونه های سگدستی با مقطع 5×5 سانتی متر مربع تحت کشش مستقیم قرار گرفت. درصد الیاف برای بررسی تغییرات مقاومت کششی بتن الیافی به ترتیب صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد بود که مقدار ۱٪ الیاف برابر با ۲۵ کیلوگرم الیاف در متر مکعب بتن می باشد. نسبت $\ell/d = 35$ برای تمامی نمونه ها یکسان بوده است.

نحوه آزمایش نمونه ها بدین ترتیب بود که فک های خاصی طراحی و ساخته شد که نمونه های مورد نظر در داخل این دو فک قرار گرفته، سپس در دستگاه کشش به ظرفیت ۶ تن با دقت اندازه گیری ۲۰ کیلو گرم، مورد آزمایش قرار می گرفت. در جریان آزمایش کشش به طریقه مستقیم، نمونه های بتن خالص به محض ترک خوردگی، از محل ترک، دو تکه می شدند. درحالی که نمونه های الیاف دار بعد از ترک خوردگی، علاوه بر عدم جدا شدگی نمونه از محل ترک، مجدداً توانایی جذب نیرو را داشتند، بطوری که قادر به تحمل ۵۰ الی ۷۰ درصد کل نیروی گسیختگی بعد از ترک خوردگی بودند.

در نمودار ۷ رشد متوسط کششی بتن بر حسب kg/cm^2 در مقابل درصد الیاف فولادی در حجم بتن بر اساس آزمایش تعیین مقاومت کششی بتن الیافی به طور مستقیم مشاهده می شود.



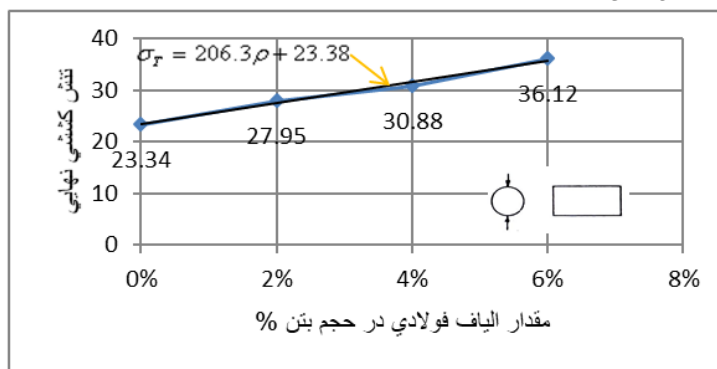
نمودار ۷: تنش کششی نهایی در مقابل درصد الیاف فولادی [۲۷] و [نگارنده]

د-۶-۲: آزمایش تعیین مقاومت کششی بتن الیاف به طریقه شکافتگی

در این روش، نمونه های مورد استفاده استوانه های استاندارد $\phi 152 \times 305mm$ بود. درصد الیاف مورد استفاده در این آزمایشات به ترتیب ۰٪، ۲٪، ۴٪ و ۶٪ و به تعداد سه نمونه از هر درصد در نظر گرفته شده بود. مقدار ۱٪ الیاف برابر با ۲۵ کیلوگرم الیاف در متر مکعب بتن می باشد. نسبت $\ell/d = 35$ برای تمامی نمونه ها یکسان بوده است. آزمایش نمونه های Splitting در دستگاه آزمایش فشار بتن بود که بر اساس استاندارد ASTM C-496 است، آزمایش شکافتگی جهت تعیین مقاومت کششی به طور غیر مستقیم انجام می گرفت. تنش کششی ناشی از شکافتگی بتن از رابطه ۱۶ محاسبه می شود [۵۸] که در آن σ_{sp} : تنش کششی ناشی از شکافتگی بتن بر حسب kg/cm^2 ؛ P : حداکثر نیروی گسیختگی بر حسب kg ؛ L : طول نمونه استوانه ای بر حسب cm ؛ D : قطر نمونه استوانه ای بر حسب cm می باشد.

$$\sigma_{sp} = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

در نمودار ۸ رشد متوسط کششی بتن بر حسب kg/cm^2 در مقابل درصد الیاف فولادی در حجم بتن بر اساس آزمایش تعیین مقاومت کششی بتن الیاف به طریقه شکافتگی مشاهده می‌شود. و در نمودار ۹ نسبت مقاومت کششی بتن الیافی به بتن خالص با هر دو روش آزمایش نشان داده شده است.

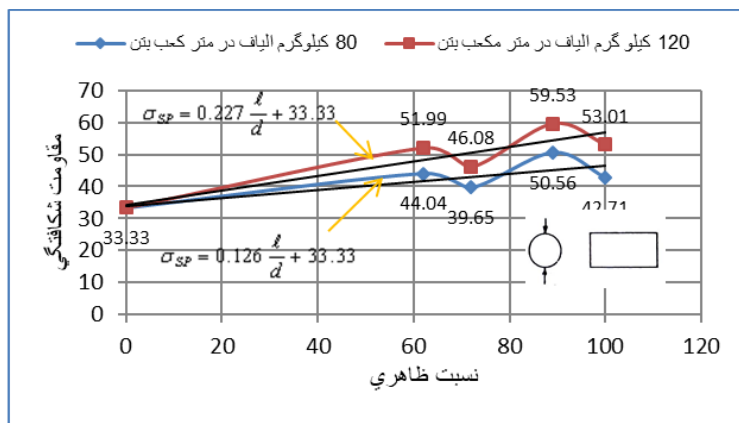


نمودار ۸: تنش کششی نهایی در مقابل درصد الیاف فولادی [۲۷] و [نگارنده]

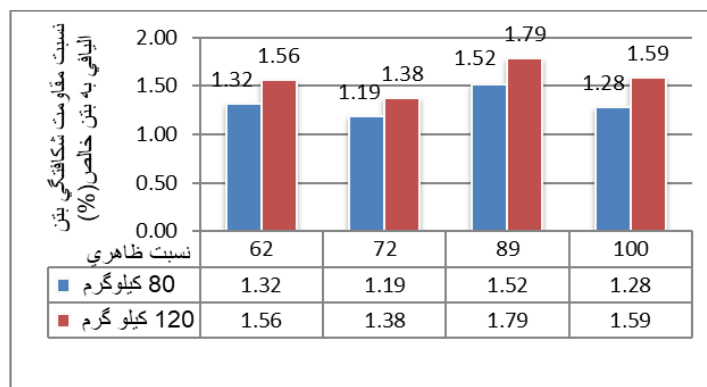


نمودار ۹: نسبت مقاومت کششی بتن الیافی به بتن خالص به دو روش آزمایش [۲۷] و [نگارنده]

در نمودار ۱۰ نتایج آزمایشات Splitting بتن الیافی Ghalib [۵۹] که با استفاده از نمونه های $\phi 150 \times 305mm$ آورده شده است. در این نمودار نسبت ظاهری الیاف ℓ/d در مقابل مقاومت شکافتگی بر حسب kg/cm^2 برای دو مقدار ۸۰ و ۱۲۰ kg/cm^3 بتن مشاهده می‌شود. در نمودار ۱۱ نسبت مقاومت شکافتگی بتن الیافی به بتن خالص بر اساس نتایج آزمایش‌ها Splitting بتن الیافی Ghalib برای ۸۰ و ۱۲۰ کیلو گرم الیاف در متر مکعب بتن در مقابل نسب ظاهری الیاف ℓ/d آورده شده است.



نمودار ۱۰: نتایج آزمایشات Splitting بتن الیافی Ghalib [۲۷] و [۵۹] و [نگارنده]



نمودار ۱۱: نسبت مقاومت شکافتگی بتن الیافی به بتن خالص بر اساس نتایج *Ghalib* [۲۷] و [۵۹] و [نگارنده]

نکته مهمی که در آزمایش شکافتگی شایان ذکر است، ظرفیت شکل‌پذیری بعد از گسیختگی نمونه می‌باشد. این خاصیت شکل‌پذیری و نرمی بتن الیافی به علت وجود و تأثیر الیاف فولادی در جسم بتن است، به‌طوری که نمونه بعد از گسیختگی نهایی بدون دو نیم شدن استوانه آنچنان توان باربری دارد که سطح مقطع استوانه تحت اثر بار به شکل بیضی درمی‌آید و لکن نمونه دو نیم می‌شود.

نتیجه گیری

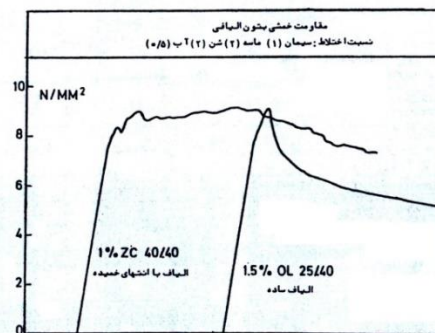
با توجه به نمودار ۲ چنانچه درصد بسیار کمی از الیاف فولادی در بتن بکار رود، تأثیر الیاف در حد جاری شدن یا مقاومت نخستین ترک بتن الیافی خیلی ناچیز خواهد بود و افزودن الیاف به مقدار ۴/۶ درصد حجم مخلوط، حد الاستیک را تنها از ۶۴/۶ به ۷۴/۴ کیلو گرم بر سانتی متر مربع افزایش می‌دهد و این در حالیتی که حداکثر مقاومت بیش از دو برابر شده است. همچنین مقاومت نخستین ترک تا ۴٪ حجم الیاف تحت اثر خمش، کشش و فشار کم بوده و تغییرات آن خطی می‌باشد. با توجه به رابطه ۴ مهار مکانیکی بیشتر و نسبت زیاد ℓ/d الیاف مقاومت بیشتری را در بتن الیافی ایجاد کرده و در نتیجه از لحاظ اقتصادی هر کدام نقش مؤثری را در بتن الیافی دارند که اثر هر کدام در سایر مشخصه‌ها به شرح ذیل است:
الف- نسبت زیاد ℓ/d الیاف، صرفه جویی قابل توجهی در مقدار الیاف مصنوعی با مقاومت مکانیکی مشخص خواهد داشت.

$$\sigma_{CF} = \sigma_C + \beta \uparrow \frac{\ell}{d} \uparrow \rho \downarrow$$

ب- مهار مکانیکی بیشتر الیاف از لحاظ چسبندگی، با یک مقدار مشخص الیاف، مقاومت بتن را افزایش می‌دهد.

$$\beta \uparrow \frac{\ell}{d} \uparrow \rho + \sigma_C = \sigma_{CF} \uparrow$$

بر اساس آزمایش انجام‌شده در شکل ۱۳ ثابت می‌شود که یک مقاومت خمشی مشخص را می‌توان با افزودن ۱٪ (۸۰ کیلو گرم در متر مکعب) الیاف با انتهای خمیده در مقایسه با اختلاط ۱/۵٪ (۱۲۰ کیلو گرم در متر مکعب) الیاف ساده به دست آورد که حدود ۵۰٪ در مقدار الیاف صرفه جویی می‌شود. به علاوه سطح زیر نمودار بار - تغییر شکل الیاف با انتهای خمیده شده در مقایسه با الیاف ساده خیلی بیشتر می‌باشد که نشانه جذب انرژی بیشتر است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که نشانه جذب انرژی بیشتر است.



شکل ۱۳: تأثیر الیاف با انتهای خمیده و الیاف ساده در مقاومت خمشی و جذب انرژی [۲۷]

با توجه به شکل ۱۳ بهبود مشخصات هندسی و فیزیکی الیاف فولادی علاوه بر افزایش مقاومت باربری و جذب انرژی کاهش چشمگیری را در مصرف الیاف و سایر هزینه ها بدنبال خواهد داشت.

با توجه به شکل ۷ واضح است که برای کارایی مشخص، با افزایش مقدار مصالح سنگی درشت دانه، لازم است درصد الیاف کاهش یابد. بطوری که در شکل ۷ مشاهده می شود، یک رابطه خطی بین حداکثر مقدار الیاف و حجم مصالح بستگی وجود دارد. با توجه به این رابطه خطی، می توان مقدار بحرانی الیاف را که کاربرد بیش از آن مقدار، گلوله شدگی در مخلوط را به همراه خواهد داشت، به دست آورد.

نتایج حاصله از آزمایشات انجام شده نشان می دهد که تأثیر این نوع الیاف فولادی در مقاومت خمشی و مقاومت نخستین ترک بتن، کاملاً مفید و مؤثر می باشد. بتن خالص با به وجود آمدن نخستین ترک در نمونه، گسیخته شده و دو تکه می شود. در حالیکه نمونه های الیاف دار بعد از نخستین ترک و حتی با چندین میلی متر خیز بعد از حد بار نهائی، نه تنها گسیخته نمی شوند بلکه همچنان قابلیت جذب انرژی و تحمل بار را دارا هستند. این رفتار بتن الیافی نشانگر نقش الیاف بعد از گسیختگی نمونه بتن است که علاوه بر افزایش مقاومت خمشی بتن، طاقت بتن را نیز افزایش می دهد.

نتایج حاصل از این تحقیقات در مورد مقامت خمشی بتن الیافی که در نمودارهای ۳ تا ۵ بیان شد، نشان می دهد که الیاف فولادی حاصل از تراشه های فولادی نیز، تأثیر فزاینده ای در مقاومت خمشی بتن الیافی دارد. واضح است که با افزایش درصد الیاف، مقاومت خمشی نیز افزایش می یابد، لکن از لحاظ کارایی و مشکلات تجمع الیاف، حداکثر درصد الیاف مصرفی به ۶٪ (150 kg/m^3) محدود می شود.

با توجه به نمودارهای ۱۲ و ۱۳ ملاحظه می شود که الیاف فولادی می تواند جایگزین تنگ ها (خاموت ها) در تیرهای بتنی شود، بدون اینکه در ظرفیت نهایی برشی، کاهش به وجود آید. الیاف فولادی علاوه بر اینکه مقاومت برشی بتن را افزایش می دهد، تیرهای تحت خمش بتن آرمه را در مقابل گسیختگی ناگهانی در ناحیه کششی تقویت می کند. این مزیت عمده الیاف فولادی در افزایش مقاومت برشی بتن است که باعث می شود از کاربرد خاموت بعنوان آرماتور برشی صرف نظر گردد. در نتیجه در اجراء اینگونه تیرها به علت افزایش مقاومت برشی و عدم کاربرد خاموت از لحاظ دستمزد، صرفه جویی زیادی را الیاف فولادی به بار می آورد.

چنانچه بخواهیم از اصول آئین نامه های بتن مسلح در طراحی اینگونه تیرها استفاده کنیم، می توانیم بدون هیچ تغییری در آئین نامه- مخصوصاً آئین نامه ACI با استفاده از الیاف فولادی به عنوان آرماتور برشی، تیرهای بتن مسلح را طراحی کنیم. باید توجه داشت که درصد حجمی کم الیاف فولادی تأثیری در سفتی برشی تیرهای واقعی ندارد. لذا توصیه می شود در صورت کاربرد الیاف فولادی به منظور افزایش مقاومت برشی تیرها، از درصدهای بالا (بیشتر از ۷۵ کیلو گرم در متر مکعب) استفاده شود.

تحقیقات انجام یافته در ۴۱ نمونه تیر مسلح به آرماتور و الیاف فولادی توسط *Ghalib.Batson, Sharma* [۵۹] [۶۰] [۶۹] نشان می دهد که نسبت تنش برشی نمونه های آزمایش شده به تنش برشی محاسبه شده از رابطه ۱۷ برابر ۱/۰۳ و با انحراف معیار متوسط ۷/۶ درصد است، لذا رابطه فوق را می توان در محاسبه مقاومت برشی بتن الیافی با دقت کافی بکار گرفت.

نتایج به دست آمده از آزمایش فشاری که در نمودارهای ۱۴ تا ۱۷ همانطوری که مشهود است، مقاومت فشاری بتن الیافی در اثر وجود الیاف نه تنها بهبود چندانی ندارد بلکه در مواردی کاهش مقاومت را نیز به همراه دارد. اگر چه مقاومت فشاری بتن الیافی در بعضی منابع [۵۹] به موازات ازدیاد درصد الیاف، افزایش نشان می دهد، لکن با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده در دانشگاه تبریز و مراجع [۲۸] و [۶۹] با ازدیاد درصد الیاف، مقاومت فشاری بتن الیافی ممکن است با افزایش و یا کاهش مقاومت همراه باشد، لذا نمی توان به طور یقین برای درصد بخصوصی از حجم الیاف اظهار نظر کرد که به ازاء چه درصدی از الیاف فولادی، افزایش مقاومت و به ازاء چه درصدی کاهش مقاومت به وجود خواهد آمد. تنها تأثیر الیاف فولادی در نمونه های فشاری بتن

الیافی، می تواند افزایش نسبی در مقاومت ترک خوردگی باشد. در رابطه با نقش الیاف فولادی در مقاومت فشاری بتن و نتایج حاصل از تحقیقات انجام یافته شاید بتوان گفت که بهتر است از کاربرد الیاف فولادی در مقاطع فشاری پرهیز گردد چرا که با توجه به کاهش اتفاقی مقاومت فشاری، ضرورتی بر این کاربرد نیست، مگر اینکه هدف خاصی از کاربرد الیاف فولادی نظیر تولید قطعات ضد ضربه، استفاده در جداره های کوره ها و... مد نظر باشد.

Saeed Ahmed و همکارانش در مقاله ای اثرات الیاف پلی پروپیلن را شامل مقاومت فشاری، کششی، ترک خوردگی، جمع شدگی و ... را بررسی کردند و هیچ گونه تغییری در مقاومت فشاری مشاهده نکردند [۷]

با توجه به نمودار های ۱۸ و ۱۹ تأثیر الیاف فولادی در بالا بردن میزان طاقت خمشی بتن الیافی، واقعا چشمگیر و درخور تحسین است و این رفتار الیاف، می تواند اثرات فنی و اقتصادی مثبتی را در کارهای بتنی داشته باشد. نظر به نتایج مقایسه ای ضریب طاقت فشاری بتن الیافی نسبت به بتن خالص در نمودار ۲۰ و ۲۱، واضح است که وجود الیاف فولادی در بتن الیافی، در مقایسه با بتن خالص، تأثیر چندانی در طاقت فشاری ندارد. از این رو با توجه به نتایج تحقیقات می توان صریحا اعلام داشت همچنان که کاربرد الیاف فولادی در مقاطع فشاری، افزایش ناچیز و گاه کاهش در مقاومت فشاری را به دنبال دارد، لذا از کاربرد الیاف فولادی به منظور افزایش طاقت فشاری بتن با توجه به اثرات منفی و ناچیز نیز، می توان صرف نظر کرد.

در آخر استفاده از بتن الیاف بدلیل اثرات مثبت کاربرد الیاف فولادی در بتن مثل افزایش مقاومت خمشی، افزایش مقاومت برشی، افزایش مقاومت کششی، افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی به ویژه بارهای ضربه ای، افزایش مقاومت مقطع در قبال ترک خوردگی، افزایش در میزان جذب انرژی، کاهش در میزان انقباض، خزش و سایش سطحی توصیه می شود.

منابع

1. <http://www.sakhtemoon.com:80/Handlers/HGetArticle/441.ashx>
2. ACI 544.1R-96, State-of-the-art report on fiber rein-forced concrete, Farmington Hills, Michigan: American Concrete, Institute, 1996.
۳. بررسی رفتار بتن الیافی مسلح شده به الیاف فولادی، محمدحسین تقی زاده همایش ملی سازه، راه، معماری، ۱۳۹۰
4. Modern Concrete Technology Series, Arnon Bentur, Department of Civil Engineering University of British Columbia, Canada
۵. معرفی ویژگی های بتن های توانمند الیافی شکل پذیر، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، رسول احمدی و مهدی شریفی، ۱۳۸۷
6. <http://fa.wikipedia.org/wiki>
7. <http://www.fabirco.com>
8. Darwish et al, (2008), "Influence of fiber ratio in the size effect", Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee. UK, PP 123-130
9. <http://amir-pic.persianblog.ir>
10. <http://tawan.vii.at>
11. Mehta, P.k, (1986), "Concrete: structure, properties, and materials", prentice-hall inc., Englewood cliffs, New Jersey
12. <http://tebyan-zn.ir>
13. Antoine, E.N., (1985), "Fiber reinforced for concrete", Concrete international, March 1985, PP 21-25
14. Beddar, M, (2008), "Development of steel fiber reinforced concrete from antiquity until the present day", Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee, UK, PP 35-44
15. Quresh L A et al, (2008), "Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete", Proceedings .Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee. UK, PP 173-185
16. Hadi M et al, (2008), "An investigation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete slabs", Proceedings. Int Conference Concrete Constructions sustainable option, Dundee. UK, PP 233-244
۱۷. بررسی پخش و جهت گیری الیاف فلزی در بتن مسلح الیافی، امیر پورمقدم، حسین تقدس، فتح اله محمودزاده، محمد شکرچی زاده، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۹، شماره ۳، شهریورماه ۱۳۸۴، از صفحه ۳۱۱ تا ۳۱۸
۱۸. بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی، نیما وظیفه خواه و علیرضا مناف پور، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

19. Experimental Study on Strength of Concrete by Using, Sandesh D. Deshmukh, Pravin V.Domke, Satish D. Kene, R.S.Deotale/ International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 1, Issue 3, pp.571-581
20. state-of-the-art report on fiber reinforced concrete, reported by ACI committee 544, ACI journal/November
21. <http://tebyan-zn.ir>
22. <http://www.brighthubengineering.com/>
23. Natural Fiber Reinforced Concrete, Ben Davis CEE8813, Dr. Kurtis 4/2/2007
24. <http://www.civilengineeringgroup.com>
25. Permeability of Cracked Steel Fiber-Reinforced Concrete, Julie Rapoport, 1 Corina-Maria Aldea, 2 Surendra P. Shah, 1 Bruce Ankenman, 3 and Alan F. Karr 4
26. <http://www.forta-ferro.com/>
۲۷. کیوانی، عبدالله. اصول و تکنولوژی بتن مسلح به الیاف فولادی. تهران: رودکی، ۱۳۶۹
28. HAREX-stahlfasertechnik Information GmbH & Co.KG 1986.
29. <http://www.sakhtbetongharb.com>
30. www.bekaert.com/building
۳۱. خالو، علیرضا، "رفتار و کاربردهای بتن الیافی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۷۸
32. <http://www.qrsteelfiber.com/index.htm>
33. <http://www.indiamart.com>
34. www.bikudo.com
35. infobuilding@bekaert.com
۳۶. بررسی بتن مسلح به الیاف فولادی، علیرضا زمانی فرادینه، بهداد عقیلی زاده مقدم، یازدهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران، ۱۳۸۳
37. Introduction to Composite Materials, Structural Composite Materials Copyright © 2010, ASM International®, F.C. Campbell All rights reserved. www.asminternational.org
38. Performance of Hybrid Fiber Reinforced Concrete with Steel Fibers and Polypropylene Fibers, Pu Wang; Zhen Huang; Jing Jiang; Yongjun Wu, International Conference On Civil Engineering And Urban Planning 2012 Yantai, China
39. Effect of inclination angle on fiber rupture load in fiber reinforced cementitious composites, Jun Zhang*, Victor C. Lib, Ann Arbor, MI 48109, USA. 2001
40. Steel fibre reinforced concrete (SFRC) – Quality, performance and specification, Alan Ross MIPENZ CPeng (Aust), BOSFA (Bekaert OneSteel Fibres Australasia)
41. <http://www.omran-mb.com>
42. Moens, J.E.C., steel Fiber concrete Mix proportioning, paper presented at the American concrete Institute, Annual convention, Philadelphia, March 1976.
43. McKee, D.C., the properties of an Expansive cement Mortar Reinforced with Random wire Fibers, ph.D Thesis, university of Illinois, Urbana, 1969.
44. ACI Committee 544, (1998) "Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fiber reinforced concrete", American Concrete Institute (ACI), report No. ACI 544.3R-93
45. FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF-CONSOLIDATING FIBER REINFORCED CONCRETE, Hemant B. Dhonde, Y.L. Mo, Thomas T.C. Hsu and John Vogel Published in ACI MATERIALS JOURNAL VOL. 104, ISSUE-5, PP. 491 – 500, SEPTEMBER 1, 2007
46. DRAMIX-Bekaert steel Fiber for concrete Reinforcement 1987
47. Shah, Surendra P., and Rangan, B. Vijaya, Fiber Reinforced concrete properties, ACI journal, proceedings v.68, No.2, Feb. 1971, pp.126-132.
48. Swamy, R.N.; Mangt, P.S.; and Rao, C.V.S.K., the Mechanics of Fiber Reinforcement of cement Matrices, Fiber –Reinforced Concrete, SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp. 1-28
49. Johnston, Colin D., steel Fiber Reinforced Mortar and Concrete: A Review of Mechanical Properties, Fiber Reinforced Concrete, SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp. 127-142
50. Shah, Surendra P., and Rangan, B. Vijaya, Effects of Reinforcements on Ductility of concrete, proceedings, ASCE, V.96 ST6, June 1970, PP. 1167-1184
51. Visalvanich, Kitisak and Naaman, Antoine E., Fracture Model for Fiber Reinforced Concrete, ACI journal/March-April 1983 pp 129-139

52. Argon, A.S.; Hawkins, G.W.; and Kuo, H.Y., Reinforcement of Mortar with Metglas Fibers, Report no.12-75-78, Department of Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1979, p.34
53. Fanelaa, D.A. and Naaman, A.E., Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Mortar in Compression, ACI Journal/July-August 1985 pp.475-484.
54. Visalvanich, Kitisak and Naaman, Antoine E., Fracture Model for Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal/march-April 1983 pp.129-139
55. Shah, S.H. and Batson, G. B. (1987). Fiber Reinforced Concrete: Properties and Applications, Detroit, Michigan: American Concrete Institute.
56. Debicki, G., Shekarchi M. et and Houari, H. (1994). "Contribution à la caractérisation du béton armé de fibres métalliques- résultats d'étude rhéologique. les bétons renforcés de fibres métalliques." Centre de

۵۷. تأثیر الیاف غیر فولادی بر رفتار بتن با مقاومت بالا، اشرف ذکری،

58. Measurement of properties of Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committee 544 No. 75-30, ACI Journal/July 1978, pp. 283-289
59. Ghalib, Mudhafar A., Moment Capacity of Steel Fiber Reinforced Small Concrete Slabs, ACI Journal/July-August 1980 pp. 247-257
60. Sharma, A.K., Shear Strength of steel Fiber Reinforcement Concrete Beams, ACI Journal/July-August 1986 pp. 624-629
61. Zollo, Ronald F., Wire Fiber Reinforced Concrete Overlays for Orthotropic Bridge Deck Type Loadings, ACI Journal, Proceedings V.72 No.10, Oct.1975 pp. 576-582
62. Kormeling, H.A.; Reinhardt, H.W.; and Shah, S.P., Static and Fatigue Properties of Concrete Beams Reinforced with Continuous Bar and with Fibers, ACI Journal Proceedings V.77, No. 1, Jan-Feb. 1980, pp. 36-43
63. Batson, G.; Ball, C.; Bailey, L.; Landers, E.; and Hooks, J., Flexural Fatigue Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, Proceedings V.69, No.11, Nov, 1972, pp. 673-677
64. Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete, Reported by ACI Committee 544
65. Lankard, D.R., and Walker, A.J., Laboratory and Field Investigations of the Durability of Wire Reinforced Concrete Exposed to Various Service Environments, Battelle Development Corporation, June 1978, 26pp
66. FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES, R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan, University of Rhode Island, September 2002, URITC PROJECT NO. 536101
67. Houghton, D.L.; Borge, O.E.; and Paxton, J.A., Cavitation Resistance of Some Special Concretes, ACI Journal Proceedings V.75, No. 12, Dec. 1978, pp. 664-667
68. Schader, Ernest K., and Munch, Anthony V., Fibrous Concrete Repair of Cavitation Damage, Proceedings, ASCE, V.102, CO2, June 1976, pp. 385-399
69. Batson, G.; Jenkins, E. and Spatnev, R., Steel Fibers as Shear Reinforcement in Beams, ACI Journal/October 1972 pp. 640-644
70. A STUDY ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE, Saeed Ahmed, Imran A Bukhari, Javed Iqbal Siddiqui, Shahzad Ali Qureshi, Article Online Id: 100031008 The online version of this article can be found at: <http://cipremier.com/100031008>

۷۱. بتن‌های الیافی و کاربردهای آن، سجاد صنعتی منفرد و سید حسین جاهد، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی

عمران، ۱۳۸۲

72. HARTMANN T, Steel Fiber Reinforced Concrete, www.gerberdarmstadt.de/download/sfro.pdf, 1999

بررسی تأثیر سرعت جوشکاری به روش SMAW و استحکام کششی و سختی فلز پایه (کربن استیل گرید B) در منطقه HAZ

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۳۱

کد مقاله: ۲۷۵۷۹

امین جمال پور^۱، علی حیدری مقدم^{۲*}

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی عددی (نرم‌افزار آباکوس)، تغییر خواص فلز پایه (کربن استیل گرید B) در منطقه HAZ ناشی از جوشکاری و سرعت جوشکاری بر خواص ناحیه‌ی مذکور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج حاصل از پژوهش بدین‌صورت می‌باشد؛ که با افزایش سرعت مقدار تنش در اطراف فلز پایه (کربن استیل گرید B) افزایش پیدا می‌کند و از طرفی با کاهش سرعت جوشکاری استحکام کششی افزایش می‌یابد، علاوه بر آن با افزایش سرعت سختی و انرژی ناشی از جوشکاری به روش SMAW به‌وجود آمده رو به کاهش است. باتوجه به حداقل بودن سرعت (یعنی سرعت $mm/s2$) با تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی $84/78$ درصد تأثیرگذار می‌باشد و با بررسی بالاترین سرعت (یعنی سرعت $mm/s15$) با تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی $43/63$ درصد تأثیرگذار می‌باشد در نتیجه بررسی‌های صورت گرفته با توجه به تغییر سرعت تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی $61/12$ درصد تأثیرگذار می‌باشد از طرف دیگر با توجه به جنس ماده و حداقل بود مدول الاستیسیته در این تحقیق (مدول الاستیسیته 150 مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در تنش $291/87$ درصد تأثیرگذار و با به حداقل رساندن مدول الاستیسیته با انتخاب نوع ماده (در این تحقیق مدول الاستیسیته 300 مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در تنش $267/36$ درصد تأثیرگذار می‌باشد در نهایت می‌توان گفت که با بررسی‌های صورت گرفته با توجه به تغییر سرعت تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین در تنش $274/85$ درصد تأثیرگذار می‌باشد و در مرحله بعد با بررسی‌های صورت گرفته بر روی فلز پایه با توجه به مدول الاستیسیته حداقل (150 مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در انرژی $70/4$ درصد تأثیرگذار می‌باشد و با بررسی‌های صورت گرفته بر روی فلز پایه با توجه به مدول الاستیسیته حداکثر (300 مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در انرژی $64/17$ درصد تأثیرگذار می‌باشد و در نهایت بررسی تأثیر سرعت جوش بر روی دما با بررسی‌های صورت گرفته و باتغییر سرعت جوشکاری $35/82$ درصد در افزایش دما قطعه تأثیرگذار است.

واژگان کلیدی: استحکام کششی و سختی، ناحیه متأثر از حرارت، سرعت جوشکاری، نوع فلز، نوع خواص، نرم‌افزار آباکوس

۱- گروه مهندسی ساخت و تولید، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۲* - گروه مهندسی مواد و متالورژی، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
(عهده‌دار مکاتبات) alheidarym@yahoo.com

۱- مقدمه

طی فرآیند جوشکاری، تغییرات متالورژیکی (تغییر در ساختار و فاز، تغییر در اندازه دانه‌بندی و تغییر در ترکیب شیمیایی) در اثر حرارت بالا در مواد به وجود آمده که این تغییرات باعث بروز عیوب متالورژیکی خواهند شد [۱]. تغییرات میکروساختاری باعث ایجاد نواحی مختلف جوش می‌شود. این نواحی شامل فلز پایه، ناحیه تحت عملیات ترمومکانیکی، ناحیه اغتشاش، ناحیه متأثر از جوش و ناحیه متأثر از حرارت می‌باشد [۲]. ناحیه‌ی متأثر از حرارت^۱، از مهم‌ترین نواحی جوش بوده که تحت تأثیر تغییرات متالورژیکی گفته شده قرار دارد [۳]. ناحیه متأثر از حرارت، قسمتی از فلز جوش بوده که در آن اگرچه فلز پایه ذوب نشده، اما ساختار و دانه‌بندی آن در اثر حرارت ناشی از جوشکاری تغییر یافته است. حرارت ناشی از جوشکاری، شدیداً روی خواص منطقه متأثر از حرارت تأثیر می‌گذارد. به‌ویژه اینکه حرارت ورودی جوشکاری، رشد دانه در منطقه نزدیک خط ذوب را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد. از طرفی ساختار دانه‌ها بر استحکام، چقرمگی، انعطاف‌پذیری و مقاومت خوردگی آلیاژها تأثیر می‌گذارد. در پایان فرآیندهای جوشکاری، به دلیل سرعت بالای سرد شدن، ساختارهای مارتنزیتی تشکیل می‌گردد. این نواحی مستعد ایجاد ترک در قطعه جوشکاری شده هستند [۴]. وقتی فلزات و آلیاژهایی که استحاله چندشکلی ندارند مانند مس، نیکل، آلومینیوم، جوش داده می‌شوند، ریزساختار در HAZ تغییر نمی‌کند. با این وجود که ممکن است تبلور مجدد یا رشد دانه در آن اتفاق بیفتد. این در حالی است که در فلزات و آلیاژهایی که استحاله چندشکلی دارند (مانند فولادها)، تغییرات ریزساختاری قابل ملاحظه‌ای در ناحیه متأثر از حرارت رخ داده که این تغییرات خواص مکانیکی و رفتار عملی اتصال جوش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو درک صحیح تغییر خواص فلز پایه در منطقه HAZ، اهمیت خود را نشان می‌دهد [۵].

رادفر در سال ۱۳۹۵، در تحقیقی، اتصال دو فولاد آستنیتی ۳۰۴ و فریتی ۴۳۰ به یکدیگر را با استفاده از دو فلز پرکننده آستنیتی L 308 L 316 با روش جوشکاری قوس- تنگستن با گاز محافظ منجر به تغییرات ریزساختاری در فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت HAZ داد. نتایج حاصل نشان داد که فلز جوش حاصل از فاز پرکننده L ۳۱۶ سختی و مقاومت به ترک گرم بالاتری نسبت به جوش حاصل از فلز پرکننده L ۳۰۸ دارد [۶]. وی^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۵، خواص ناحیه متأثر از حرارت ناشی از جوشکاری لیزری را مورد مطالعه قرار دادند. به این منظور تاریخچه حرارتی نواحی مختلف در HAZ ناشی از جوش لیزر به‌وسیله ترموکوپل اندازه‌گیری شده و سپس برای شبیه‌سازی گرمایی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاریخچه‌ی گرمایی در نواحی مختلف HAZ بسیار به فاصله از خط مرکزی جوش حساس هستند [۷]. سارکار^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵، مطالعه‌ای روی تأثیرات حرارت ورودی جوش بر ابعاد منطقه‌ی متأثر از جوش و خواص مکانیکی فولاد AISI 1518 انجام دادند. نتایج حاکی از این است که افزایش حرارت ورودی جوش می‌تواند موجب افزایش ابعاد HAZ و کاهش نرخ سرمایش در منطقه‌ی جوش شود. [۸]. وی^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۶، تأثیر جنس فلز پایه و سرعت جوشکاری را روی ریزساختار منطقه نفوذ و منطقه متأثر از حرارت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند تبدیل شکل جوش از یک بطری بدون گردنه به یک سر ناخن با افزایش اندازه دانه‌های فلز پایه تغییر می‌کند و کمترین سختی و بیشترین مقدار کشیدگی در مرکز حوضچه‌ی جوش رخ می‌دهد. همچنین دیده شد که وقوع ترک خوردگی HAZ با شکاف مرز دانه‌ای رابطه‌ی مستقیم دارد [۹].

در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی عددی (نرم‌افزار آباکوس)، تغییر خواص فلز پایه در منطقه HAZ ناشی از جوشکاری و سرعت جوشکاری به روش SMAW بر خواص ناحیه‌ی مذکور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بدین منظور در این پژوهش، ابتدا انواع تغییرات متالورژیکی ناشی از جوشکاری بر روی فلز پایه تشریح شده و نواحی به وجود آمده در فلز پایه ناشی از جوشکاری معرفی می‌شوند. سپس به‌طور خاص، منطقه‌ی متأثر از حرارت ناشی از جوشکاری در فلز پایه مورد توجه قرار گرفته و تغییر خواص این ناحیه تحلیل خواهد شد. در هر بخش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با نتایج بیان شده در مرجع [۲]، مقایسه و اعتبار سنجی خواهند شد. در تحقیق حاضر، شبیه‌سازی به‌صورت کوپل غیرمستقیم حرارتی- تنش انجام شده است که شامل یک تحلیل حرارتی و یک تحلیل تنش است که از نتایج تحلیل حرارتی به‌عنوان ورودی تحلیل تنش استفاده می‌گردد. مش‌بندی اجزاء محدود نمونه شامل 12600 المان است. با در نظر گرفتن بیشینه دمای مربوط به نقاط روی نمونه به‌عنوان شاخص سنجش همگرایی جواب، این تعداد المان با اختلاف حدود 2% با تعداد المان بیشتر، پاسخ قابل قبولی را ارائه می‌نمایند. دقت می‌شود که نحوه مش‌بندی در هر دو تحلیل حرارتی و مکانیکی یکسان باشد تا نتایج تحلیل حرارتی به‌عنوان ورودی برای تحلیل مکانیکی قابل اعمال باشند. هدف ارائه این تحقیق از این جهت اهمیت دارد که راه‌های کاهش امکان ترک در منطقه HAZ را بررسی می‌کند و مورفولوژی انجماد و اندازه دانه فلز جوش را پیش‌بینی می‌کند.

1 Heat Affected Zone

2 Wei

3 Sarkar

4 Mei

۲- روش کار

پارامترهایی که در تحلیل حرارتی به عنوان داده‌های اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارت‌اند از گرمای ویژه، گرمای نهان، ضریب هدایت حرارتی، ضریب هدایت همرفت، ضریب صدور تابشی و چگالی. از این شش پارامتر، گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب هدایت همرفت، وابسته به درجه حرارت می‌باشند. ضریب هدایت همرفت و ضریب صدور تابشی جزء شرایط مرزی مسئله بوده و گرمای ویژه، گرمای نهان و چگالی برای به دست آوردن آنتالپی جسم، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با افزایش دما، خواص مواد نظیر فولاد نرمه معمولی (فولاد نرمه در رده فولاد با کربن ملایم قرار دارد) تغییر می‌کند. بعد از TMAZ منطقه تحت تأثیر حرارت (HAZ) وجود دارد. این منطقه تحت تأثیر سیکل حرارتی قرار می‌گیرد ولی تغییر شکل پلاستیکی در آن رخ نمی‌دهد. ماهونی و همکارانش منطقه HAZ در آلیاژهای آلومینیم عملیات حرارتی‌پذیر را این گونه تعریف کرده‌اند که مواد در آن باید دمایی بالا را تجربه کنند. HAZ ساختار دانه‌ای همانند فلزات پایه را حفظ می‌کند. به هر صورت، اعمال دمای بالا تأثیر مهمی را روی ساختار رسوبات می‌گذارد رابطه همگن انتقال حرارت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_x(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] + Q(\phi) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه $K(\phi)$ ، $Q(\phi)$ و ϕ به ترتیب ضریب هدایت گرمایی، نرخ تولید گرمای داخلی و دما می‌باشند. در مسئله‌هایی نظیر انتقال حرارت و جریان سیال می‌بایست اثرهای گذرا بودن در نظر گرفته شود. به عنوان مثال ممکن است در یک تحلیل حرارتی، جریان حرارت ورودی وابسته به زمان باشد که در این صورت بایستی نرخ ذخیره شدن حرارت لحاظ شود. رابطه هدایت حرارتی گذرا با در نظر گرفتن ظرفیت حرارتی به صورت زیر درمی‌آید.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_x(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] + Q(\phi) = \rho c(\phi) \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

در این رابطه، c گرمای ویژه و ρ چگالی است.

شرط مرزی روی سطح‌های جسم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$K_x(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} L_x + K_y(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial y} L_y + K_z(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial z} L_z = q + q_c(\phi) + q_r(\phi) \quad (3)$$

در این رابطه L_x ، L_y و L_z کسینوس‌های هادی بردار عمود بر سطح می‌باشند. q شار حرارتی اعمال شده، q_c شار حرارتی ناشی از جابجایی و q_r شار حرارتی ناشی از تشعشع است. شارهای حرارتی جابجایی و تشعشعی به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$q_c = h_c(\phi)(\phi - \phi_e) \quad (4)$$

$$q_r = h_r(\phi)(\phi^4 - \phi_e^4) \quad (5)$$

h_c و h_r به ترتیب ضریب‌های انتقال حرارت جابجایی و تشعشعی بوده و ϕ_e دمای محیط خارج است. اگر خواص ماده مستقل از دما باشد مسئله یکنواخت خطی و اگر خواص مواد یا جریان حرارت مرزی وابسته به دما باشد مسئله ناخطی است. فرم اجزای محدود رابطه (۶) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$C\dot{\Phi} + K\Phi + R = 0 \quad (6)$$

در این رابطه، C ماتریس گرمای ویژه، K ماتریس هدایت گرمایی و R بردار شار حرارتی است که به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$C = \int_V N^T \rho C(\phi) N dV \quad (7)$$

$$K = \int_V B^T k B dV \quad (8)$$

$$R = \int_V N^T Q dV \quad (9)$$

در روابط فوق N و B به ترتیب تابع‌های شکل و مشتق تابع‌های شکل می‌باشند. در رابطه هدایت حرارتی گذرا C ، K و Q به ϕ بستگی دارند و شرط‌های مرزی نیز تابعی از ϕ و t است. در نتیجه، حل رابطه مذکور نیاز به یک روش تکراری دارد. بنابراین به جای $\phi_{t+\Delta t}$ عبارت $\phi_{t+\Delta t}^i$ قرار داده می‌شود.

$$\Phi_{t+\Delta t}^i = \Phi_{t+\Delta t}^{i-1} + \Delta \Phi^i \quad (10)$$

$$C_{t+\Delta t}^i \dot{\Phi}_{t+\Delta t}^i + K_{t+\Delta t}^{i-1} \Delta \Phi^i = R_{t+\Delta t}^{i-1} - F_{t+\Delta t}^{i-1} \quad (11)$$

انتگرال‌گیری از نرخ دما، با استفاده از روش اولر پسرو انجام می‌گیرد و نرخ دما به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$\dot{\Phi}_{t+\Delta t}^i = \frac{1}{\Delta t} [(\Phi_{t+\Delta t}^{i-1} + \Delta \Phi^i) - \Phi_t^i] \quad (12)$$

برای حل این رابطه روش‌های تکراری نیوتن-رافسون یا نیوتن-رافسون اصلاح‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه‌های نهایی متناظر با این دو روش به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\left[\frac{1}{\Delta t} C_{t+\Delta t}^i + K_{t+\Delta t}^{i-1} \right] \Delta \Phi^i = R_{t+\Delta t}^{i-1} - F_{t+\Delta t}^{i-1} - \frac{1}{\Delta t} C_{t+\Delta t}^i [\Phi_{t+\Delta t}^{i-1} - \Phi_t^i] \quad (13)$$

$$\left[\frac{1}{\Delta t} C_t^i + K_t^i \right] \Delta \Phi^i = R_{t+\Delta t}^{i-1} - F_{t+\Delta t}^{i-1} - \frac{1}{\Delta t} C_{t+\Delta t}^i [\Phi_{t+\Delta t}^{i-1} - \Phi_t^i] \quad (14)$$

برای حل رابطه حرارت مرتبط با فرآیند جوشکاری لازم است که منبع حرارتی (Q) و خواص مواد مورد نیاز در تحلیل حرارتی به نحوی مشخص گردد.

در عملیات جوشکاری، باید منبع حرارتی مدل‌سازی شود. منظور از مدل‌سازی منبع حرارتی، پیدا کردن راهی برای نشان دادن مقدار گرمای تولیدشده در روند جوشکاری است. در تمام روش‌های جوشکاری، بخشی از گرمای ناشی از منبع حرارتی تلف می‌گردد و تمام انرژی به صورت کامل به ماده پرکننده انتقال داده نمی‌شود. بازده حرارتی نیز با توجه به روش‌های مختلف جوشکاری متفاوت است. بازده منبع حرارتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{nom.}} = \frac{Q}{EI} \quad (15)$$

بخشی از توان منبع حرارتی به قطعه کار منتقل می‌شود و قسمتی از آن توسط محیط اطراف هدر می‌رود. در رابطه (۱۵)، Q گرمای ورودی $[W]$ ، E اختلاف پتانسیل الکتریکی قوس الکتریکی $[V]$ ، I شدت جریان و η بازده منبع حرارتی است که مقدار آن بستگی به روش جوشکاری دارد. برای توزیع شار حرارتی ناشی از جوشکاری، گولداک^۱ یک توزیع گوسی را به صورت زیر معرفی نمود:

$$Q(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3} f Q}{abc\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a^2}} e^{\frac{-3y^2}{b^2}} e^{\frac{-3z^2}{c^2}} \quad (16)$$

در رابطه (۱۶) با فرض این که در قسمت جلوی الکتروود شیب گرمایی بیشتر است، از یک ضریب اصلاحی (f) استفاده می‌شود. با استفاده از این ضریب، رابطه بالا به دو رابطه برای قسمت‌های جلو و عقب محل قرارگیری الکتروود تبدیل می‌گردد.

$$Q_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3} f_f Q}{a_1 bc\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a_1^2}} e^{\frac{-3y^2}{b^2}} e^{\frac{-3z^2}{c^2}} \quad (17)$$

$$Q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3} f_r Q}{a_2 bc\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a_2^2}} e^{\frac{-3y^2}{b^2}} e^{\frac{-3z^2}{c^2}} \quad (18)$$

در روابط (۱۷) و (۱۸)، Q از رابطه (۱۹) به دست می‌آید. مقادیر ضرایب a_1 ، a_2 و b و c در شکل ۱ مشخص شده‌اند. ضرایب f به صورت زیر بیان می‌شوند.

$$f_f + f_r = 2 \quad f_r = \frac{2a_1}{a_1 + a_2} \quad f_f = \frac{2a_2}{a_1 + a_2} \quad (19)$$

در تمام فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترو، قسمتی از حرارت ایجاد شده توسط قوس صرف ذوب کردن سیم جوش می‌شود. با معلوم بودن نرخ تغذیه سیم جوش و دمای قطرات سیم جوش ذوب شده به هنگام ورود به حوضچه مذاب، گرمای جذب شده از قوس الکتریکی توسط سیم جوش قابل محاسبه است. این گرما برابر با سطح زیر منحنی گرمای ویژه $(C_p - T)$ میان دمای اتاق و دمای قطرات مذاب الکترو است به اضافه گرمای نهان ذوب که به خاطر رسیدن دما به مرحله تغییر فاز به آن اضافه می‌گردد. مقدار انرژی گرمایی گرفته شده از قوس الکتریکی توسط سیم جوش برابر است با:

$$Q_{EL} = \dot{m} (C_p \Delta T + L_f) \quad (20)$$

که در آن C_p گرمای ویژه، ΔT اختلاف دما، L_f گرمای نهان ذوب و $\dot{m}$ نرخ ذوب شدن سیم جوش است که با معلوم بودن قطر سیم جوش و سرعت ذوب شدن آن از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$m = \rho \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) V \quad (21)$$

در این رابطه، d قطر سطح مقطع سیم جوش و V سرعت ذوب شدن آن است. در صورت بکار بردن سیستم واحد SI مقدار Q_{EL} برحسب (W) خواهد بود. انرژی خالصی که به صورت شار حرارتی به ورق و حوضچه مذاب داده می‌شود با کم کردن این مقدار از کل انرژی قوس الکتریکی، تعیین می‌گردد.

$$Q_{net} = Q_{Ar} - Q_{EL} \quad (22)$$

در اینجا Q_{Ar} گرمای تولیدی توسط قوس در یک روش جوشکاری خاص است که با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Q_{Ar} = 60 EI \quad (23)$$

که در آن E اختلاف پتانسیل الکتریکی قوس برحسب ولت و I شدت جریان جوشکاری برحسب آمپر است. مقدار انرژی به دست آمده از رابطه (24) به صورت شار حرارتی با توزیع گوسی به سطح فوقانی ورق که در معرض قوس الکتریکی است داده می‌شود. توزیع گوسی را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$q(x, y, t) = q_0 \cdot \exp \left\{ \frac{-3 \left[(x - vt)^2 + y^2 \right]}{r_b^2} \right\} \quad (24)$$

که در آن:

$$q_0 = \frac{3Q_{net}}{\pi r_b^2} \quad (25)$$

در این رابطه‌ها r_b شعاع قوس الکتریکی است. r_b مشخصه تمرکز شدت قوس الکتریکی است و در تعیین توزیع گرمای ورودی، پارامتر بسیار حساسی است. تغییر مقدار شعاع قوس الکتریکی می‌تواند نتایج توزیع دمایی جوش را به مقدار زیادی تغییر دهد. باین حال اندازه‌گیری دقیق آن به صورت تجربی مشکل است.

V سرعت حرکت و در واقع همان سرعت جوشکاری است و vt مسافتی است که پروفیل گوسی از آغاز جوشکاری تا لحظه t در روی محور x جابجا شده است. اگر از سیستم واحد SI استفاده شود، مقدار شار حرارتی به دست آمده از رابطه (25) برحسب $(\frac{W}{m^2})$ خواهد بود.

مشکل اصلی این روش بارگذاری در این است که در اینجا فرض می‌شود که همه گرما به صورت شار حرارتی از روی سطح منطقه جوش داده شده و اطراف آن وارد جسم قطعه می‌گردد، باینکه در عمل بخش زیادی از گرما از داخل شیار جوش و به وسیله ماده پرکننده جوش (فیلر) که در حالت مذاب است وارد جسم می‌گردد.

برای در نظر گرفتن نقش ماده پرکننده جوش در انتقال گرما از دستگاه جوشکاری به قطعه می‌توان از این روش استفاده کرد. در این روش فرض می‌شود که تمام گرمای ناشی از جوشکاری در داخل ماده پرکننده جوش تولید شده و به قطعه منتقل می‌گردد.

یعنی بارگذاری حرارتی به صورت گرمای حجمی در نظر گرفته می‌شود. اگر از سیستم واحد SI استفاده شود مقدار گرمای حجمی برحسب $(\frac{W}{m^3})$ خواهد بود. گرمای تولید شده، گذرا بوده و مقدار آن همراه با حرکت الکتروود بر روی خط جوش تغییر می‌کند. مقدار گرمای تولید شده به نوع جوشکاری بستگی دارد و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$j = \frac{Q}{V} \times d \quad (26)$$

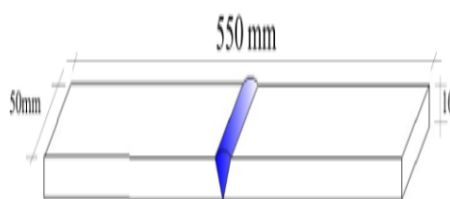
در این رابطه، J مقدار گرمای تولید شده برحسب ژول، d طول هر پاس جوشکاری و V سرعت جوشکاری است. مقدار Q از رابطه (۲۶) به دست می‌آید. J به دست آمده از رابطه (۲۷) را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تبدیل به نرخ تولید گرما نمود.

$$H = \frac{J}{V_p \cdot t} \quad (27)$$

در این رابطه، H نرخ تولید گرما است که برحسب $(\frac{W}{m^3})$ است، V_p حجم ماده پرکننده جوش، که در هر پاس روی قطعه کار گذاشته می‌شود و t زمان یک پاس جوشکاری است. در حین جوشکاری انرژی حرارتی به منطقه‌ای شامل جسم جوش و قسمتی از قطعه کار اعمال می‌شود. مشکل اساسی این روش این است که در آن از انرژی حرارتی اعمال شده به قسمت‌های مجاور جسم جوش صرف نظر شده است.

۳- نتایج و بحث

به منظور اطمینان از مدل سازی در برنامه آباکوس و صحت نتایج جهت مطالعه پارامتریک با توجه به پژوهش انجام شده توسط کاظمی در سال ۱۳۹۵ [۲] که به صورت آزمایشگاهی به بررسی استحکام کششی قطعات جوشی که هدف از این پژوهش بررسی استحکام کششی می‌باشد.

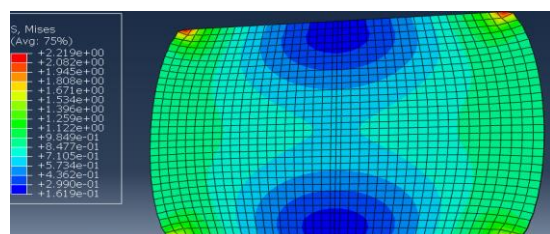


شکل ۱- نمونه طراحی انجام شده در نرم افزار

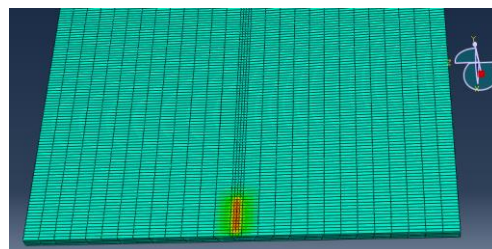
در این قسمت به مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی جهت اعتبارسنجی با پژوهش مورد نظر می‌پردازیم که با توجه به پژوهش آزمایشگاهی مقدار استحکام کششی در شکل (۱) نشان داده شده است.

۴- خروجی‌های گرافیکی

پس از بارگذاری و تحلیل سازه‌ها مورد بررسی به صورتی تحلیل حرارتی و مکانیکی که در فصل قبل بیان گردید، نمونه‌ای از تغییر تنش را در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.



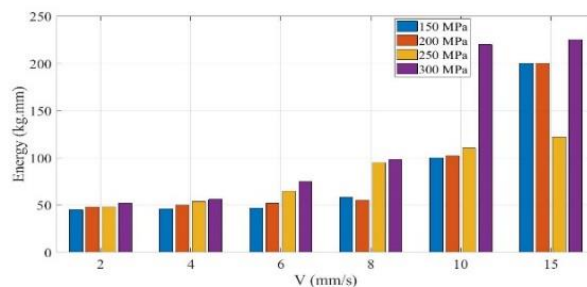
شکل ۳- تنش حاصل از تحلیل مکانیکی



شکل ۲- تنش حاصل از تحلیل حرارتی اطراف فلز پایه

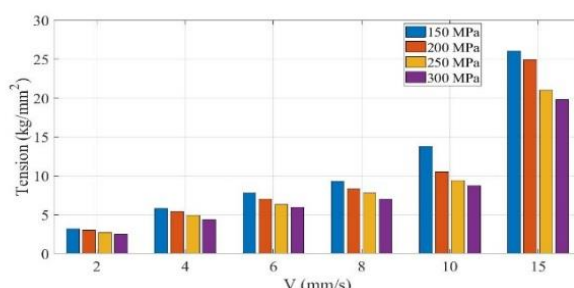
۵- نتایج شبیه سازی در نرم افزار

بدین منظور با توجه به اهداف پژوهش با تغییر سرعت جوش کاری از 2 mm/s تا 15 mm/s با تغییر جنس فلز پایه از ۱۵۰ مگاپاسکال تا ۳۰۰ مگاپاسکال پرداخته شده است، که با توجه به تحلیل حرارتی و مکانیکی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم در شکل ۴ نمودار میله‌ای مقایسه‌ای انرژی برای ۶ سرعت جوشکاری مختلف شامل سرعت‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر ثانیه در ۴ مدول الاستیسیته از ۱۵۰ مگاپاسکال تا ۳۰۰ مگاپاسکال نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که با افزایش سرعت جوشکاری از ۲ تا ۱۵ میلی‌متر بر ثانیه در هر مدول الاستیسیته، انرژی مورد نیاز بیشتر شده است. این موضوع نشان دهنده آن است که در حالت کلی سرعت جوشکاری بالاتر نیاز به انرژی بیشتری برای جوشکاری دارد.



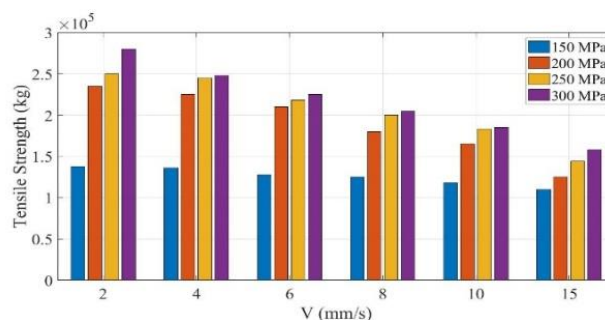
نمودار ۴: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای انرژی

در شکل ۵ نمودار میله‌ای مقایسه‌ای تنش برای ۶ سرعت جوشکاری مختلف در ۴ مدول الاستیسیته نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که در تمامی سرعت‌های جوشکاری با افزایش سرعت جوشکاری میزان تنش بیشتر شده است. همچنین با افزایش مدول الاستیسیته در تمامی سرعت‌ها مقدار تنش کاهش پیدا کرده است. بنابراین کمترین میزان تنش مربوط به سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه با مدول الاستیسیته ۳۰۰ مگاپاسکال و بیشترین میزان مربوط به سرعت جوشکاری ۱۵ میلی‌متر بر ثانیه با مدول الاستیسیته ۱۵۰ مگاپاسکال است.



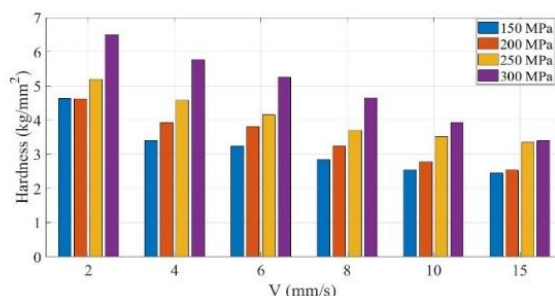
نمودار ۵: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای تنش

در شکل ۶ نمودار میله‌ای مقایسه‌ای استحکام کششی برای ۶ سرعت جوشکاری مختلف نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که با افزایش سرعت جوشکاری در تمامی حالت‌ها، میزان استحکام کششی جوش کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مدول الاستیسیته از ۱۵۰ به ۳۰۰ مگاپاسکال میزان استحکام کششی افزایش می‌یابد. بنابراین بیشترین میزان استحکام کششی مربوط به سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه با مدول الاستیسیته ۳۰۰ مگاپاسکال و کمترین میزان استحکام کششی مربوط به بالاترین سرعت جوش (۱۵ میلی‌متر بر ثانیه) با کمترین مدول الاستیسیته (۱۵۰ مگاپاسکال) است.



نمودار ۶: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای استحکام کششی

در شکل ۷ نمودار میله‌ای مقایسه‌ای سختی جوش نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که مشابه نمودار استحکام کششی جوش با یک روند کلی با افزایش سرعت جوشکاری در تمامی حالت‌ها، میزان سختی جوش کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مدول الاستیسیته از ۱۵۰ به ۳۰۰ مگاپاسکال میزان سختی افزایش می‌یابد. بنابراین مشابه بررسی استحکام جوش، بیشترین میزان سختی مربوط به سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه با مدول الاستیسیته ۳۰۰ مگاپاسکال و کمترین میزان استحکام کششی مربوط به بالاترین سرعت جوش (۱۵ میلی‌متر بر ثانیه) با کمترین مدول الاستیسیته (۱۵۰ مگاپاسکال) است.



نمودار ۷: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای سختی جوش

بدین صورت که باتوجه به حداقل بودن سرعت (یعنی سرعت ۲mm/s) با تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی ۸۴/۷۸ درصد تأثیرگذار می‌باشد و با بررسی بالاترین سرعت (یعنی سرعت ۱۵mm/s) با تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی ۴۳/۶۳ درصد تأثیرگذار می‌باشد در نتیجه بررسی‌های صورت گرفته با توجه به تغییر سرعت تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین استحکام کششی ۶۱/۱۲ درصد تأثیرگذار می‌باشد از طرف دیگر با توجه به جنس ماده و حداقل بود مدول الاستیسیته در این تحقیق (مدول الاستیسیته ۱۵۰ مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در تنش ۲۹۱/۸۷ درصد تأثیرگذار و با به حداقل رساندن مدول الاستیسیته با انتخاب نوع ماده (در این تحقیق مدول الاستیسیته ۳۰۰ مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در تنش ۲۶۷/۳۶ درصد تأثیرگذار می‌باشد در نهایت می‌توان گفت که با بررسی‌های صورت گرفته با توجه به تغییر سرعت تغییر جنس فلز پایه به‌طور میانگین در تنش ۲۷۴/۸۵ درصد تأثیرگذار می‌باشد و در مرحله بعد با بررسی‌های صورت گرفته بر روی فلز پایه با توجه به مدول الاستیسیته حداقل (۱۵۰ مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در انرژی ۷۰/۴ درصد تأثیرگذار می‌باشد و با بررسی‌های صورت گرفته بر روی فلز پایه با توجه به مدول الاستیسیته حداکثر (۳۰۰ مگاپاسکال) با تغییر سرعت به‌طور میانگین در انرژی ۶۴/۱۷ درصد تأثیرگذار می‌باشد و در نهایت بررسی تأثیر سرعت جوش بر روی دما با بررسی‌های صورت گرفته و باتغییر سرعت جوشکاری ۳۵/۸۲ درصد در افزایش دما قطعه تأثیرگذار است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش بدین صورت می‌باشد، با افزایش سرعت مقدار تنش در اطراف فلز پایه افزایش پیدا می‌کند و از طرفی با کاهش سرعت جوشکاری استحکام کششی افزایش می‌یابد، علاوه بر آن با افزایش سرعت سختی و انرژی به وجود آمده رو به کاهش است.

منابع

1. Y.D. Hana, H.Y. Jing, "Welding Heat input Effect on the Hydrogen permeation in the X80 steel Welded joints", Materials Chemistry and Physics, Vol. 132, 2012, pp. 216-222.
2. کاظمی، س. ع. و میرزاآقایی، م.، (۱۳۹۵)، بررسی آزمایشگاهی تعداد دفعات جوشکاری تعمیری در محل اتصال بر روی استحکام کششی قطعه فولادی، فصلنامه آنالیز سازه- زلزله، دوره ۱۳، شماره ۳.
3. رضوانی توکل، مهدی و روح اله محمدی، ۱۳۹۵، بررسی ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) در جوشکاری و تأثیرات آن در ریز ساختار مواد جوشکاری شده، چهارمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌هایی کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک، تهران
4. شمعیان، م.، ۱۳۸۹. متالورژی جوشکاری و جوشپذیری فولادهای زنگ‌زن، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.

۵. خبازنوری، آر.ش. ۱۳۸۹. تاثیر حرارت ورودی جوشکاری بر روی خواص مکانیکی و ریز ساختار فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت جوش (HAZ) در جوشکاری زیرپودری فولاد کم آلیاژ استحکام بالا، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد- جوشکاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۶. رادفر، ح.، (۱۳۹۵)، بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی در منطقه اتصال غیرهمجنس فولادهای زنگ‌نزن، پنجمین همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری.
7. Wei, C., Zhang, J., Yang, S., Tao, W., Wu, F., & Xia, W. (2015). Experiment-based regional characterization of HAZ mechanical properties for laser welding. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 78(9-12), 1629-1640.
8. Sarkar, A., Dey, P., Kar, P., Rai, R. N., & Saha, S. C. (2015). A Study on the Effects of Heat Input on Size of Heat-Affected Zone (HAZ) and Mechanical Properties of AISI 1518 Grade Steel in Submerged Arc-Welding Process. RIET-IJSET: International Journal of Science, Engineering and Technology, 2(2), 158-170.
9. XU W.W., WANG Q. E8, PAN T.8, SU H.8, YANG C. (1972). E8 Effect of Welding Heat Input on Simulated HAZ Microstructure and Toughness of a V-N Microalloyed Steel. Proceedings of Sino-Swedish Structural Materials Symposium 8220 [3] M.B. Bever, P.F. Duwez, Mater. Sci. Eng. 10:1-8.
10. Barbaro, F. J., Zhu, Z., Kuzmikova, L., Li, H., & Gray, J. M. (2013). Towards improved steel alloy designs for control of weld heat affected zone properties.
11. Barbaro, F., Kuzmikova, L., Zhu, Z., & Li, H. (2014). Control of Weld HAZ Properties in Modern High Strength Pipeline Steels. In 2014 10th International Pipeline Conference (pp. V003T07A029-V003T07A029). American Society of Mechanical Engineers.
12. Esmailzadeh, M., Shamanian, M., Kermanpur, A., and Saeid, T., (2013). "Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Lean Duplex Stainless Steel", Materials Science & Engineering A, Vol. 561, pp. 486-491.
۱۳. اهل‌سرمدی، س. م.، شمعانیان، م.، ادریس، ح.، عطاپور، م. و بهجت، ا.، (۱۳۹۶)، جوشکاری فولاد زنگ نزن سوپر دو فاز S32750 UNS به روش اصطکاکی اغتشاشی و ارزیابی ریزساختار، خواص مکانیکی و خوردگی آن، فصلنامه علمی پژوهشی مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شماره ۱، صص ۹۷-۱۲۰.
۱۴. رضوانی‌توکل، م. و محمدی، ر.، (۱۳۹۵)، بررسی ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) در جوشکاری و تاثیرات آن در ریزساختار مواد جوشکاری شده، چهارمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌هایی کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک، تهران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
۱۵. رنجبرنوده، ا.، کوکی، س. و سراج‌زاده، (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری بر منطقه متأثر از حرارت فولاد زنگ نزن AISI ۴۰۹ به روش EBSD، نشریه علم مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، سال دوم، شماره ۱.
۱۶. شرفی، ش.، دهکردی، ا. و سرمست، غ. ر.، (۱۳۸۳)، بررسی و مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی فلز جوش آلیاژ مونل ۴۰۰ جوشکاری شده با روش‌های GTAW و SMAW، هشتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، تهران، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد.
۱۷. شکوهی، م. ح. و فرزادی، ع.، (۱۳۹۲)، شبیه‌سازی اثر سرعت و شدت جریان جوشکاری بر اندازه دانه و پهنای ناحیه متأثر از حرارت آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ به روش جوشکاری GTAW، اولین همایش ملی فلزات و آلیاژهای غیرآهنی (مواد و فناوری‌های نوین کاربردی).
۱۸. عامریان‌نژاد فلاحیه، م. و دهملایی، ر.، (۱۳۹۲)، بررسی تأثیر حرارت ورودی و فرآیند جوشکاری بر گسترش ناحیه متأثر از حرارت در اتصال غیرمشابه هستلوی به فولاد مقاوم به حرارت، سومین همایش ملی نفت، گاز و پتروشیمی.
۱۹. غلامی، ع.، خلیج، غ. ر. و قاسمی، د.، (۱۳۹۴)، بررسی تأثیر سیکل عملیات حرارتی پس از جوش روی ریزساختار و خواص مکانیکی در منطقه متأثر از حرارت در فرآیند جوشکاری القایی فرکانس بالا فولاد API X60، مجله ریخته‌گری، سال ۴۴، شماره ۱۰۷، صص ۴۷-۵۴.
۲۰. محمودیان، ع. ر. و یعقوبی‌نژاد، ی.، (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی ریزساختار منطقه متأثر از حرارت (HAZ) و پروفیل دمایی در جوشکاری GTAW فولاد زنگ نزن ۳۱۶، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال دوم، شماره هفتم.

Investigating the effect of welding speed and tensile strength and hardness of base metal (carbon steel grade B) in HAZ region

Amin Jamalpour, Ali Heidary moghadam

Abstract

Therefore, in this study, using numerical simulation (abacus software), the change of base metal properties (Carbon Steel Grade B) in HAZ region due to welding and welding speed on the properties of the area will be investigated. The results show that as the velocity increases, the amount of stress around the base metal (Carbon Steel Grade B) increases and at the same time increases as the welding speed decreases with increasing tensile strength and decreases, it is declining with increasing speed of hardness and energy due to SMAW welding.. Due to the minimum speed (ie mm / s2 speed) with changing the base metal material as an average tensile strength of 84.78% is effective and by examining the highest speed (ie mm15 mm / s speed) with changing the base metal material as the average tensile strength 63/63. 43% is effective as a result of studies based on changes in the rate of change of base metal as an average tensile strength is 61.12% effective. On the other hand, due to the material and minimum elasticity in this study (150 MPa modulus of elasticity) By changing the average speed in 291.87% stress and minimizing the modulus of elasticity by selecting the type of material (in this study the modulus of elasticity of 300 megapascals) by changing the average speed in 267.36% of the stress is effective, we can finally say According to the studies, due to the change in the rate of change of the base metal, it is effective on average in the stress of 274.85%, and in the next step, according to the studies performed on the base metal, according to the elastic modulus of minimum (150 MPa) with the change of speed Average energy is 70.4% It is effective and according to the studies performed on the base metal according to the maximum modulus of elasticity (300 MPa) with the change of speed, on average, it is effective in energy of 64.17% and finally the study of the effect of welding speed on temperature with the changes made and changed. Welding speed of 35.82% is effective in increasing the temperature of the part.

Keywords: Stretch strength and stiffness, Heat Affected Area, Welding Speed, Type of metal, type of properties, Abacus Software

بهینه سازی طراحی کنترل کننده فازی با
استفاده از یک الگوریتم کرم شب تاب جدید با
انطباق پارامتر فازی پویا
نوید مشتاقی یزدانی، محمدحسن علیانی طرقله

مبانی مرمت بافت های تاریخی شهری
امید شاطری وایقان، محمد دبدبه، وحید کهیازاده

مطالعات بتن الیافی در سازه های شهری مورد
مطالعه طول به قطر الیاف فولادی بر ویژگی های
فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی
کبری الهیاری، رضا الهیاری، زهرا کارگر

بررسی تأثیر سرعت جوشکاری به روش SMAW
و استحکام کششی و سختی فلز پایه (کربن
استیل گرید B) در منطقه HAZB
امین جمال پور، علی حیدری مقدم

پژوهش های نوین مهندسی

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم،
کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج، بلوار باغستان، بین خیابان ۵ و
۶، روبروی مجموعه ورزشی انقلاب،
پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱
۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴ ۳۴۷۶ ۷۸
۰۹۹۰ ۵۹۸۰ ۲۰۶
www.NRES.ir