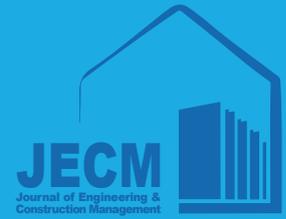


مهندسی مدیریت ساخت

شماره شاپا : ۲۵۳۸-۲۵۷۸

- ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر
ایمان حکمیان
- امکان سنجی جداسازی پایپرک از پایه برای کاهش اثرات زلزله
محمد رشوند، حمید محرمی
- بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی
سمیه چگنی
- توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی
سیدعظیم حسینی، محمدرضا همت‌آزاد
- تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی
ایمان حکمیان
- طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد
نیلوفر عزیزی فرد، صلاح الدین مولانایی
- شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد
فرزاد قادری بافتی، علیرضا افشاری
- برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی حوضه آبریز رودخانه تجن ساری
ملیحه اکبری، مجتبی فرهادزاده، پریسا ملکی
- برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز بالادست سد گرودبار با استفاده از روش های مختلف
مجتبی فرهادزاده، سید رضی انیشه، پریسا ملکی
- گرادپان بارش و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبریز چهاردانگه
مجتبی فرهادزاده، فاطمه تمجید، پریسا ملکی
- برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) در حوضه آبریز سد گرودبار
مجتبی فرهادزاده، مجتبی صفرپور، پریسا ملکی
- ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه بر محیط اطراف (مطالعه موردی: رودخانه ولمرود)
مجتبی فرهادزاده، مهدی اسدی، پریسا ملکی

Journal of Engineering & Construction Management



Volume 9, Number 2
Winter 2025

ISSN : 2538-2578

- **Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method** | Iman Hakamian
- **The feasibility of separating the pipe rack from the foundation to reduce the effects of earthquake**
Mohammad Rashvand, Hamid Moharrami
- **Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment** | Somayeh Chegeni
- **Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects** | Seyed Azim Hosseini, Mohammad Reza Hemmat Azad
- **Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift**
Iman Hakamian
- **Designing a building based on a zero-carbon architectural approach in Khorramabad city**
Niloufar Azizifard, Salahodin Molanai
- **Identification and ranking factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad**
Farzad Ghaderi Bafti, Ali Reza Afshari
- **Estimation of the water requirements of agricultural crops in the Tajan river basin, Sari**
Maliheh Akbari, Mojtaba Farhadzadeh, Parisa Maleki
- **Estimation of time of concentration in the upstream watershed of Garroodbar dam using various methods** | Mojtaba Farhadzadeh, Seyed Razi Anisheh, Parisa Maleki
- **Precipitation gradient and maximum twenty four hour rainfall in the Chahardangeh watershed**
Mojtaba Farhadzadeh, Fatemeh Tamjid, Parisa Maleki
- **Estimation of probable maximum precipitation (PMP) in the Garrudbar dam watershed**
Mojtaba Farhadzadeh, Mojtaba Safarpoor, Parisa Maleki
- **Environmental impact assessment of river rehabilitation projects on the surrounding environment Case study: Valmarud river** | Mojtaba Farhadzadeh, Mehdi Asadi, Parisa Maleki

اللَّهُ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ

فصلنامه پژوهشی مهندسی و مدیریت ساخت

شماره شاپا : ۲۵۷۸-۲۵۳۸

مهندسی و مدیریت ساخت

صاحب امتیاز و مدیر مسئول : دکتر روح اله طاهرخانی
سر دبیر : دکتر فواد کیلانه‌ئی
دبیر تخصصی : مهندس امید بامشاد
مدیر اجرایی : مهندس فائزه طاهرخانی

اعضای هیئت تحریریه :

دکتر رضا ضیائی موید	استاد دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر عباس رصافی	استاد دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر فواد کیلانه‌ئی	دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر علی عبدی کردانی	دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر مهدی روانشادنیا	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
دکتر روح اله طاهرخانی	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر مهدی مهدی خانی	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر رامین انصاری	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر محمد علی نکوئی	استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
دکتر حمیدرضا عباسیان جهرمی	استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دکتر سعید بنی‌هاشمی	استادیار دانشگاه کانبرا استرالیا
دکتر علی کیوانفر	استادیار دانشگاه ایالتی کنزاون
دکتر مرتضی فیروزی	استادیار دانشگاه البرز
دکتر جمال‌الدین سهیلی	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

همکاران اجرایی : آرش حقیقی، نجمه هاشم‌پور، امیرحسین حاجی بابایی، شادی معتمدی
صفحه‌آرایی و طراحی : مریم حدادی
ویراستار فارسی : زهرا شعربافچی‌زاده
ویراستار انگلیسی : نرگس امیراحمدی

نشانی : تهران، خیابان دماوند، میدان امامت، خیابان شهید تیموری‌فر، پلاک ۱۹۳، واحد ۳، کدپستی ۱۷۴۳۶۹۵۳۸۱
تلفن و نمابر : ۰۲۱۷۷۴۲۸۰۰۶
وبگاه : www.jecm.ir
رایانامه : info@jecm.ir

Journal of Engineering & Construction Management

ISSN : 2538-2578

Director-in-Charge : Dr. Roohollah Taherkhani
Editor-in-Chief : Dr. Fouad Kilanehei
Associate Editor : Omid Bamshad
Administration Manager : Faezeh Taherkhani



Editorial Board :

Dr. Reza Ziyae Moayed	Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Abbas Rassafi	Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Fouad Kilanehei	Assoc. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Ali Abdi Kordani	Assoc. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mehdi Ravanshadnia	Assoc. Prof. at Islamic Azad University (Tehran Branch)
Dr. Roohollah Taherkhani	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mahdi Mahdikhani	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Ramin Ansari	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mohammad Ali Nekooie	Assist. Prof. at Malek Ashtar University of Technology
Dr. Hamidreza Abbasianjahromi	Assist. Prof. at K. N. Toosi University of Technology (KNTU)
Dr. Saeed Banhashemi	Assist. Prof. at University of Canberra
Dr. Ali Keyvanfar	Assist. Prof. at Kennesaw State University
Dr. Morteza Firouzi	Assist. Prof. at Alborz University
Dr. Jamaledin Soheili	Assoc. Prof. at Islamic Azad University (Qazvin Branch)

Journal Colleagues : Arash Haghghi, Najmeh Hashempour, Amirhossein Hajibabaei, Shadi Motamedi

Layout and design : Maryam Haddadi

Persian editor : Zahra Sharbafchizadeh

English editor : Somayeh Mirzababayi

Address : Unit. 3, No. 193, Teymurifar St., Emamat Sq., Damavand St., Tehran, Iran, 1743695381

Tel & Fax : +9821-77428006

Site : www.jecm.ir

Email : info@jecm.ir

فهرست

۱-۶	ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر ایمان حکمیان
۷-۱۰	امکان سنجی جداسازی پایپرک از پایه برای کاهش اثرات زلزله محمد رشوند، حمید محرمی
۱۱-۲۳	بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی سمیه چگنی
۲۴-۳۲	توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی سیدعظیم حسینی، محمدرضا همت‌آزاد
۳۳-۴۰	تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی ایمان حکمیان
۴۱-۴۹	طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد نیلوفر عزیزی فرد، صلاح الدین مولانابی
۵۰-۵۹	شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد فرزاد قادری بافتی، علیرضا افشاری
۶۰-۶۳	برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی حوضه آبریز رودخانه تجن ساری ملیحه اکبری، مجتبی فرهادزاده، پریسا ملکی
۶۴-۶۷	برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز بالادست سد گررودبار با استفاده از روش های مختلف مجتبی فرهادزاده، سید رضی انیشه، پریسا ملکی
۶۸-۷۱	گرادیان بارش و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبریز چهاردانگه مجتبی فرهادزاده، فاطمه تمجید، پریسا ملکی
۷۲-۷۵	برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) در حوضه آبریز سد گررودبار مجتبی فرهادزاده، مجتبی صفرپور، پریسا ملکی
۷۶-۷۹	ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه بر محیط اطراف (مطالعه موردی: رودخانه ولمرود) مجتبی فرهادزاده، مهدی اسدی، پریسا ملکی



Content

Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method Iman Hakamian	1-6
The feasibility of separating the pipe rack from the foundation to reduce the effects of earthquakes Mohammad Rashvand, Hamid Moharrami	7-10
Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment Somayeh Chegeni	11-23
Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects Seyed Azim Hosseini, Mohammad Reza Hemmat Azad	24-32
Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift Iman Hakamian	33-40
Designing a building based on a zero-carbon architectural approach in Khorramabad city Niloufar Azizifard, Salahodin Molanai	41-49
Identification and ranking factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad Farzad Ghaderi Bafti, Ali Reza Afshari	50-59
Estimation of the water requirements of agricultural crops in the Tajan river basin, Sari Maliheh Akbari, Mojtaba Farhadzadeh, Parisa Maleki	60-63
Estimation of time of concentration in the upstream watershed of Garroodbar dam using various methods Mojtaba Farhadzadeh, Seyed Razi Anisheh, Parisa Maleki	64-67
Precipitation gradient and maximum 24-hour rainfall in the Chahardangeh watershed Mojtaba Farhadzadeh, Fatemeh Tamjid, Parisa Maleki	68-71
Estimation of probable maximum precipitation (PMP) in the Garrudbar dam watershed Mojtaba Farhadzadeh, Mojtaba Safarpoor, Parisa Maleki	72-75
Environmental impact assessment of river rehabilitation projects on the surrounding environment (Case study: Valmarud river) Mojtaba Farhadzadeh, Mehdi Asadi, Parisa Maleki	76-79

Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method

Iman Hakamian

M.Sc., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

*Corresponding author's email address:
imanhakamian@alumni.iust.ac.ir

How to cite this article:

Iman Hakamian, Evaluation of seismic parameters of intermediate concrete moment-resisting frames by Ibarra-Krawinkler method, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):1-6.

Abstract

The purpose of this project was to evaluate the values of the seismic parameters proposed by the codes for reinforced concrete buildings with a lateral bearing system of the intermediate moment-resisting frame. For this purpose, 3 concrete frames of 3, 6 and 9 floors with medium ductility were analyzed. These frames are also chosen to include the ranges of influencing factors in the response of the structures from the height of the structure, the ratio of lateral load to gravity, the period of the structure to represent a real system of earthquakes. The modeling of the structures was done by plastic joints so that the structure experiences a reduction in stiffness and resistance in the main vibration modes. For the nonlinear modeling of the structures by the plastic joint method, the relationships proposed by Ibarra and Krawinkler and calibrated by Haselton and Dearlin were used. Then, the models were evaluated by non-linear static analysis and the results of this analysis were used to obtain the behavior factor, overstrength coefficient, displacement amplification factor, ductility coefficient.

Keywords

Seismic parameters, intermediate concrete moment-resisting frame, Nonlinear static analysis

ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر

ایمان حکمیان

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندس عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

ارجاع به مقاله:

ایمان حکمیان، ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-کراوینکلر، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۱-۶

چکیده

هدف از انجام این پروژه، ارزیابی مقادیر پارامترهای لرزه ای پیشنهاد شده توسط آیین نامه ها برای ساختمانهای بتنی مسلح با سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط بود. بدین منظور تعداد ۳ قاب بتنی ۳ و ۶ و ۹ طبقه با شکل پذیری متوسط مورد تحلیل قرار گرفت. این قابها نیز انتخاب شده اند که بازه ها از تأثیرات تأثیرگذار در پاسخ سازه ها از ارتفاع سازه، نسبت بار جانبی به ثقلی، پیوند سازه را دربرگیرند تا نشان دهنده یک سیستم واقعی لرزه ها باشند. مدلسازی سازه ها توسط مفصل پلاستیک صورت گرفت تا سازه در مدهای ارتعشی اصلی، کاهش سختی و مقاومت را تجربه کنند. برای مدلسازی غیرخطی سازه ها به روش مفصل پلاستیک از روابطی استفاده گردید که توسط ایبارا و کراوینکلر پیشنهاد و توسط هسلتون و دیرلین کالیبره شده بودند. سپس مدل ها توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفتند و از نتایج حاصل از این تحلیل برای به دست آوردن ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت، ضریب افزایش تغییرمکان، ضریب شکل پذیری استفاده شد.

کلمات کلیدی

پارامترهای لرزه ای، قاب خمشی بتنی متوسط، آنالیز استاتیکی غیر خطی

۱- مقدمه

در حال حاضر در طراحی سازه، روش خطی مبنای محاسبات قرار داده می شود اما از آنجا که در جریان زلزله به خصوص زلزله های شدید سازه ها وارد مرحله غیرارتجاعی می شوند برای بررسی رفتار واقعی سازه باید تحلیل های غیر خطی روی سازه اعمال شود، ولی تحلیل های غیرخطی دشواری و وقت گیر هستند. یک راه حل برای در نظرگیری رفتار غیرخطی سازه ها، استفاده از پارامترهایی است که طراح را از پیچیدگی های محاسبات غیرخطی آسوده سازند و از طرفی بتوانند رفتار غیرخطی سازه را پیش بینی کنند. این پارامترها شامل ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت و ضریب بزرگنمایی تغییر مکان هستند که به ما کمک می کنند تا عملکرد سازه را در مرحله

غیرخطی بررسی کنیم [۱]. با توجه به اهمیت نیروی زلزله در طراحی سازه و ناشناخته بودن اثرات آن روی ساختمان روش های مختلفی برای تحلیل غیر خطی توسط آیین نامه، به خصوص آیین نامه فیما ارائه شده است. یکی از این روش ها تحلیل استاتیکی غیر خطی می باشد که به کمک آن می توان تقاضای لرزه ای یک سازه را بررسی کرد. این روش محاسن زیادی دارد که یکی از مزایای این روش مناسب بودن برای به دست آوردن پارامترهای لرزه ای است [۱]. در این پروژه تعدادی قاب خمشی بتنی متوسط طراحی شده و سپس مدل غیرخطی آنها مورد تحلیل قرار گرفته اند و با استفاده از نتایج تحلیل پوش آور به محاسبه ضریب رفتار و ضریب اضافه مقاومت و ضریب بزرگنمایی تغییرمکان پرداخته شده است. در سال های اخیر تلاش های گسترده ای به منظور بررسی و توسعه روش های کاربردی



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



و در عین حال با دقت قابل قبول با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی ساده شده، جهت تعیین مقادیر پارامترهای لرزه‌ای صورت گرفته است از طرفی با توجه به پیچیدگی‌های روش تحلیل دینامیکی غیرخطی، روش استاتیکی (پوش آور)، به عنوان یک ابزار کاربردی مناسب توسعه فراوانی در مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد پیدا کرده است. همین طور در دستورالعمل‌های ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها از قبیل ATC40, FEMA356 و در برخی از آیین نامه‌های طراحی اینتالیا و ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است که می‌تواند اطلاعات مفیدی از رفتار غیرخطی سازه، محل تشکیل مفصل‌های پلاستیک و نحوه باز توزیع نیروها ارائه نماید که با روش‌های استاتیکی خطی قابل دستیابی نیستند [۲].

با توجه به پیچیدگی و وقت گیر بودن روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی از یک طرف و مطرح شدن بحث مهندسی بر پایه عملکرد (طراحی سازه‌ها بر اساس سطوح مختلف عملکردی مورد نیاز در برابر سطوح متفاوت شدت زلزله) از سوی دیگر، باعث شده است که در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در خصوص ارائه روش‌های ساده تر و کاربردی تر جهت طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها بر پایه جابجایی و استفاده مستقیم از تحلیل‌های غیرخطی جهت ارزیابی واقعی تر رفتار سازه‌ها در برابر سطوح مختلف زلزله صورت گیرد. روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده به علت سرعت تحلیل و سادگی تفسیر نتایج در مقایسه با روش‌های تحلیل دینامیکی غیر خطی، به‌طور گسترده مورد استقبال مهندسان طراح واقع شده اند [۳].

در حالت کلی در روش‌های تحلیل پوش آور سنتی مشخصات مصالح و مواد غیرالاستیک به‌طور مستقیم در مدل‌سازی وارد می‌شود، سپس این مدل سازه‌ای تحت اثر یک الگوی بار جانی به‌صورت افزایشی تا رسیدن به یک تغییر مکان هدف قرار داده می‌شود و مقادیر تغییر شکل‌های داخلی و نیروها تعیین می‌شوند. ترتیب وقوع شکستگی‌ها، مفاصل پلاستیک و خرابی اعضای سازه‌ای در طول فرایند به‌راحتی قابل نمایش می‌باشند. این فرایند تا زمانی که جابجایی از جابجایی هدف تجاوز نماید و یا اینکه سازه فرو بریزد ادامه می‌یابد. سعی بر آن است که جابجایی هدف همان جابجایی محتمل تحت اثر زمین لرزه مورد انتظار باشد. در واقع در این روش جهت ارزیابی عملکرد سازه، طیف ظرفیت سازه با طیف تقاضای لرزه‌ای مقایسه می‌شود.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- آنالیز استاتیکی غیرخطی

آنالیز پوش آور یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر بارهای جانبی فزاینده است. هدف از تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده، برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییر شکل مورد نیاز، به‌وسیله انجام یک تحلیل استاتیکی غیرخطی با در نظر گرفتن زلزله‌های طراحی و پس از آن مقایسه مقادیر مورد نیاز با ظرفیت‌های موجود در سطح رفتاری یا عملکردی مورد نظر است. در واقع در این روش این فرض به کار گرفته شده است که حداکثر جابجایی (الاستیک به همراه غیرالاستیک) برای یک نوسانگر یک

درجه آزادی می‌تواند توسط پاسخ الاستیک یک نوسانگر با پریودی بیشتر و مقدار میرایی برابر کنترل گردد. این روش با استفاده از تخمین مقدار شکل‌پذیری سیستم به تعیین پریود مؤثر سازه می‌پردازد [۱]. این برآورد بر اساس شناسایی پارامترهای مهم رفتاری شامل تغییر مکان جانبی، تغییر شکل‌های نسبی اعضا و اتصالات و ... خواهد بود. روش‌های تحلیلی که در طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها مطرح می‌شوند، عمدتاً بر مبنای آنالیز استاتیکی غیرخطی می‌باشند. دلیل استفاده از این نوع آنالیز، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج و دقت قابل قبول آن است [۲]. این در حالی است که تحلیل‌های پیچیده به جز در موارد خیلی خاص و یا با فرض وجود مطالعات کافی برای نشان دادن رفتار صحیح سیکلی بار-تغییر شکل اعضای سازه‌ای از نظر اقتصادی توجیه پذیر نمی‌باشد. این روش به‌صورت یک سری تحلیل گام‌به‌گام می‌باشد. در هر گام از این تحلیل، کاهش سختی اعضا در اثر ایجاد مفاصل پلاستیک بر اثر بارگذاری بر تحلیل گام بعدی در نظر گرفته می‌شود. در این روش بار جانبی ناشی از زلزله با یک الگوی بار مشخص، استاتیک و به‌تدریج به‌صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییر مکان نقطه کنترل (مرکز جرم طبقه بام) تحت بار جانبی به مقدار مشخصی که تغییر مکان هدف نامیده می‌شود، برسد و یا اینکه سازه فرو بریزد.

سپس تغییر شکل‌ها و نیروهای ایجاد شده در اعضا با معیارهای پذیرش آنها در سطوح عملکردی مختلف مقایسه و سطح عملکرد سازه و اجزای سازه‌ای تعیین می‌شود. در واقع تغییر مکان هدف نشان دهنده تقاضای تغییر مکانی زلزله مورد انتظار می‌باشد [۳]. یکی از مهمترین نتایج این تحلیل تعیین نمودار بار-تغییر مکان یا منحنی ظرفیت است که با مشخص کردن نیروی برش پایه و تغییر مکان جانبی بالاترین سطح سازه (بام) در هر گام و رسم این دو پارامتر در مقابل هم به دست می‌آید که به منحنی پوش آور معروف می‌باشد. در اغلب پژوهش‌های به انجام رسیده، به‌منظور تخمین دقت نتایج حاصل از تحلیل استاتیک غیرخطی، از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شده است. در این پژوهشها تحلیل استاتیکی غیرخطی فقط بر مبنای مود اول نوسان سازه می‌باشد. این موضوع موجب کاهش دقت نتایج به‌دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی، به‌ویژه برای سازه‌های بلند (که اثرات مودهای بالاتر حائز اهمیت است)، می‌شود [۴].

۲-۲- مدل‌سازی سازه

جهت انجام تحلیل‌های غیرخطی که روشی برای ارزیابی سازه‌ها هستند نیاز به مدلی از سازه است که بتواند پاسخ سازه را به‌درستی ارائه نماید. یکی از موارد مهم در مدل‌سازی، دقیق بودن مدل برای شبیه سازی رفتار غیرخطی سازه‌هاست. این شبیه سازی باید به‌گونه‌ای باشد که بازه رفتاری سازه از سطح تغییر شکل کم تا تغییر شکل زیاد را پوششی دهد. با توجه به تحقیقات انجام شده، مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عامل در ارزیابی فروریزش سازه‌ها، مدل‌سازی دقیق المان‌هایی است که منطبق بر رفتار غیرخطی المان‌ها در شدت لرزه‌ای بالا می‌باشد [۵]. که در این مدل‌سازی المان باید مودهای اصلی



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



و اساسی کاهندگی را شامل شود و انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها که سازگار بر شرایط و فاصله از گسل و شرایط خاک محل و دارای شدت بالا برای قرار گرفتن سازه در شرایط واژگونی باشد.

برای ارزیابی ساختمان‌های بتن مسلح در این مطالعه، ۳ مدل دوبعدی با تعداد طبقات متفاوت (۳ و ۶ و ۹ طبقه) طراحی شده است. همه این مدل‌ها براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴) بارگذاری شده‌اند. تمامی ضرایب مربوط به بارگذاری و تحلیل، از این استانداردها استفاده شده است. برای آنکه شرایط مربوط به زلزله در این سازه‌ها یکسان باشد، مشخصات یکسانی برای سازه‌ها در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال خاک زیر فونداسیون برای همه سازه‌ها از نوع تیپ ۲ در استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. از نظر پهنه بندی لرزه‌ای نیز شهر تهران انتخاب شده است که جزء منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد با نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل ۰/۳۵ می‌باشد. شکل پذیری این سازه‌ها در حد متوسط می‌باشد. این سازه‌ها در حالت سه‌بعدی هم از نظر پلان و هم از نظر ارتفاع منظم است (که در این تحقیق یک قاب دو بعدی از آن در محاسبات وارد شده است). مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ حداکثر ارتفاع مجاز برای قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط ۳۵ متر است که در انتخاب نمونه‌ها لحاظ شده است. نوع سقف انتخاب شده برای سازه‌ها از نوع سیستم توزیع بار یکطرفه است.

۲-۳- الگوی توزیع بار

آنالیز استاتیکی غیرخطی می‌تواند به یکی از دو صورت کنترل نیرو و کنترل جابجایی نام گیرد که در هر یک از آن‌ها از یک الگوی توزیع نیروهای جانبی و جابجایی‌های جانبی برای اعمال به سازه استفاده می‌گردد. معمولاً در آنالیز استاتیکی غیرخطی فرض بر این است که مود اصلی و غالب سازه در ارتعاش مود اول آن است. بنابراین توزیع نیروها و جابجایی‌های جانبی مشابه مود اول سازه در نظر گرفته می‌شود. البته برای سازه‌هایی که دارای پیوند اصلی بزرگتری هستند، اثر مودهای بالاتر نیز ممکن است روی المان‌های سازه بحرانی‌تر از مود اصلی سازه باشد. به همین دلیل آنالیز پوش‌آور برای مودهای بالاتر نیز انجام می‌شود. در این حالت توزیع نیروها و جابجایی‌های جانبی روی سازه به صورتی اعمال می‌شود که سازه در مودهای دوم یا سوم خود تغییر شکل می‌دهد. در این موارد الگوی بار جانبی مختلفی برای استفاده در آنالیز استاتیکی غیرخطی به کار می‌رود که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

۲-۳-۱- الگوی بار یکنواخت

این الگو، توزیع بار یا جابجایی جانبی را به صورت یکنواخت در ارتفاع آن در نظر می‌گیرد. جرم و سختی طبقات تأثیری در این توزیع ندارند. این توزیع برای سازه‌هایی که دارای طبقه اول نرم هستند (مثل سازه‌های مجهز به جداگرهای لرزه‌ای) مناسب است.

۲-۳-۲- الگوی بار مثلثی معکوس

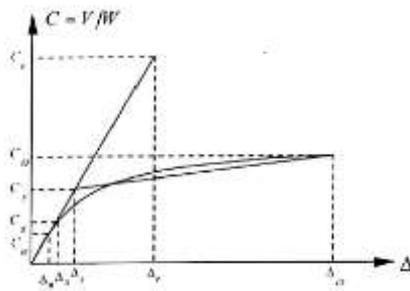
در این الگو، نیروهای جانبی متناسب با جرم‌های طبقه‌ای و شکل مود اول الاستیک سازه در ارتفاع ساختمان توزیع می‌گردد. با این فرض که شکل مود اصلی به صورت خطی در ارتفاع ساختمان تغییر کند، این الگو مانند توزیع نیروهای آیین‌نامه‌ای (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۳) بدون در نظر گرفتن نیروی شلاقی در بالای ساختمان است.

۲-۳-۴- الگوی بار سازگار با شکل مودی

در این الگو، نیروها یا جابجایی‌های اعمال شده به طبقات سازه، متناسب با جرم طبقات و اشکال مودی مدل الاستیک سازه می‌باشد. این الگو بارگذاری به‌عنوان یک روش اساسی برای استفاده در تحلیل استاتیکی غیرخطی پیشنهاد شده است. در این تحقیق نیز از این الگوی توزیع در آنالیز پوش‌آور استفاده شده است.

۳- نتایج

در شکل زیر منحنی پوش‌آور یک سازه نشان داده شده است. این منحنی با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی به دست می‌آید. در این منحنی محور افقی و عمودی به ترتیب بیان‌کننده تغییر مکان جانبی و ضریب برش پایه سازه می‌باشد (البته این منحنی به صورت برش پایه-جابجایی جانبی نیز ارائه می‌شود).



شکل ۱ نمونه منحنی پوش‌آور

در ادامه پارامترهای مختلف به‌طور کامل توضیح داده خواهد شد.

۳-۱- ضریب برش پایه الاستیک C_e

اگر در نظر داشته باشیم که سازه به‌گونه‌ای طراحی شود که بر اثر زلزله‌های بزرگ تغییر شکل‌های غیرالاستیک در آن به‌وجود نیاید و در محدوده رفتار الاستیک باقی بماند، برش پایه الاستیک مورد نیاز C_e که بسیار بزرگ خواهد بود.

۳-۲- ضریب برش پایه طراحی در روش حالت حدی و

ضرایب بار و مقاومت C_s

هنگامی که در طراحی از روش حالت حدی و ضرایب بار و مقاومت استفاده می‌کنیم، به المان‌های سازه اجازه داده می‌شود که تا حد تنش تسلیم، نیرو تحمل کنند. پس از این مرحله با افزایش نیروهای جانبی رفتار سازه از محدوده الاستیک خارج شده و وارد مرحله پلاستیک می‌شود. بنابراین در طراحی می‌توان از سطح نیروی C_s در

$$R_u = \frac{C_e}{C_s} = \frac{C_e}{C_y} \times \frac{C_y}{C_s} = R_u \Omega_0 \quad (4)$$

برآورد نیروهای جانبی حاصل از زلزله که نشان‌دهنده تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه است، استفاده کرد.

۳-۸- ضریب بزرگنمایی تغییر مکان Cd

از آنجایی که نیروهای طراحی سازه با توجه به پروسه طراحی براساس ضریب رفتار کاهش می‌یابد، بنابراین سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های بزرگ وارد محدوده تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شوند. با توجه به منحنی پوش‌آور تغییر مکان‌های جانبی نسبی واقعی طراحی از حاصل ضرب تغییر مکان جانبی نسبی به دست آمده از تحلیل الاستیک در ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به دست می‌آید. این ضریب توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_d = \frac{\Delta_s}{\Delta_y} = \frac{\Delta_s}{\Delta_y} \times \frac{\Delta_y}{\Delta_s} = \mu \Omega_0 \quad (5)$$

همانطور که قبلاً عنوان شد برای تمام سازه‌ها ابتدا تحلیل استاتیکی معادل و سپس تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام شد. برای آنالیز استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)، از الگوی بار جانبی به صورت مود اول سازه در تغییر شکل استفاده شده است. نتایج تحلیل پوش‌آور برای مدل‌های ساخته شده به ترتیب برای سازه ۳ طبقه، ۶ طبقه و ۹ طبقه در زیر آمده است. با توجه به میزان دوران مفصل پلاستیک می‌توان شکل سازه را رسم نمود و می‌توان نقطه ویا نقاطی از سازه که در آن‌ها خرابی به وجود آمده است یا به مرحله خاصی از سطح عملکرد رسیده‌اند مشاهده کرد. با توجه به آن که میزان دوران مفصل پلاستیک، تابع میزان جابجایی سازه است، بنابراین جهت نمایش این مفصل، مقدار جابجایی سازه برابر حد نهایی در تحلیل پوش‌آور قرار می‌دهیم.

۳-۳- ضریب برش پایه طراحی در روش تنش مجاز CW

اگر در طراحی از روش تنش مجاز استفاده شود المان‌های سازه تا حد تسلیم نیرو تحمل نمی‌کنند. بنابراین در طراحی از سطح نیروی CW که نشان‌دهنده رفتار الاستیک در سازه است، استفاده می‌کنیم.

۳-۴- ضریب شکل‌پذیری μ

قابلیت سازه در تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک و پلاستیک بدون اینکه سازه دچار فروریزش شود، ضریب شکل‌پذیری سازه نامیده می‌شود. این ضریب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu = \frac{\Delta_s}{\Delta_y} \quad (1)$$

Δ_y : تغییر شکل نسبی سازه در تراز مقاومت تسلیم

Δ_s : ماکزیمم تغییر شکل نسبی سازه پس از ورود به ناحیه پلاستیک

۳-۵- ضریب کاهش شکل‌پذیری $R \mu$

این ضریب باعث کاهش نیروهای لرزه‌ای در منحنی پوش‌آور می‌شود. در واقع بر اثر شکل‌پذیری، ساختمان ظرفیتی برای استهلاک انرژی هیستریزس خواهد داشت. به همین دلیل نیروی طراحی الاستیک C_e را می‌توان به تراز مقاومت تسلیم C_y کاهش داد.

$$R \mu = \frac{C_e}{C_y} \quad (2)$$

لازم به ذکر است که تراز مقاومت تسلیم به تراز ایجاد مکانیزم گسیختگی یا فروریزش سازه اطلاق می‌شود.

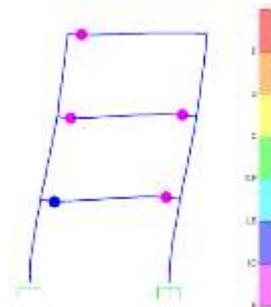
۳-۶- ضریب اضافه مقاومت Ω_0

این ضریب باعث انتقال سطح نیروی طراحی از سطح نیرویی C_y به سطح نیرویی C_s می‌شود. در واقع مقاومت ذخیره ای که بین تراز واقعی تسلیم سازه و سطح نیروی طراحی به روش حالت حدی نهایی وجود دارد برحسب ضریب اضافه مقاومت بیا می‌شود. بنابراین ضریب اضافه مقاومت به صورت زیر تعریف می‌شود:

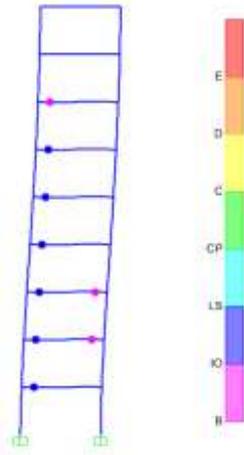
$$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{\Delta_y}{\Delta_s} \quad (3)$$

۳-۷- ضریب رفتار R_u

همانطور که قبلاً گفته شد ضریب رفتار سازه نیروهای ناشی از زلزله را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. بنابراین کافی است طراح برای محاسبه نیروهای طراحی سک آنالیز الاستیک انجام دهد. در شکل فوق منحنی پوش‌آور با یک منحنی دو خطی ایده‌آل که نمایانگر رفتار الاستیک-پلاستیک است، معادل شده است. این منحنی دو خطی نشان می‌دهد که ضریب رفتار سازه وابسته به ضرایب Ω_0 و R_u است. به طوریکه مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید:



شکل ۲ منحنی پوش‌آور و تغییر شکل سازه ۳ طبقه بعد از اعمال بار جانبی



شکل ۴ منحنی پوش آور و تغییر شکل سازه ۹ طبقه بعد از اعمال بار جانبی

جدول ۳ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۹ طبقه

$C_e = 0.492$	$\Delta_{Is} = 17.8 \text{ cm}$	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.191}{0.109} = 1.75$
$C_y = 0.191$	$\Delta_y = 6.35 \text{ cm}$	$C_d = \frac{\Delta_{Is}}{\Delta_s} = \frac{17.8}{4.5} = 3.95$
$C_s = 0.109$	$\Delta_s = 4.5 \text{ cm}$	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.4929}{0.191} = 2.58$

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح شده در فصول قبل و تحلیل‌های انجام شده می‌توان نتایج زیر را استخراج نمود:

۱. وابستگی نتایج تحلیل پوش آور به الگوی توزیع بار اهمیت بسزایی دارد. به نحوی که با تغییر الگوی بار نتایج حاصل از تحلیل تا حد زیادی دچار تغییر می‌شود.
۲. در سازه‌های با ارتفاع کمتر مقادیر به دست آمده برای پارامترهای لرزه‌ای کمتر از مقادیر ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) بود ولی با افزایش ارتفاع در مدل‌های بررسی شده مقدار عددی پارامترهای لرزه‌ای به استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) نزدیک‌تر شدند.
۳. با افزایش نسبت نیروی جانبی به ثقلی، میزان نسبت حد فروریزش کاهش یافت. در واقع ایمنی سازه با افزایش جرم لرزه‌ای سازه کاهش می‌یابد.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

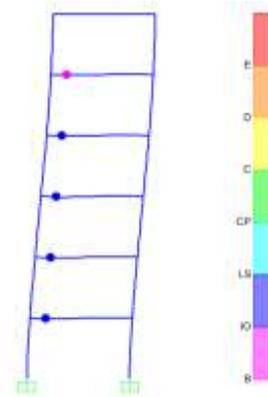
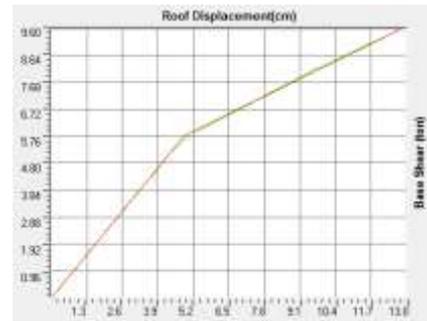
این تحقیق از هیچ‌گونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

- [1] F. FEMA, "440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures," Fed. Emerg. Manag. Agency, Washington, DC, 2005.
- [2] B. Sciences, "2003 Edition NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW

جدول ۱ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۳ طبقه

$C_e = 0.875$	$\Delta_{Is} = 4.43 \text{ cm}$	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.526}{0.415} = 1.267$
$C_y = 0.526$	$\Delta_y = 2.15 \text{ cm}$	$C_d = \frac{\Delta_{Is}}{\Delta_s} = \frac{4.43}{1.65} = 2.68$
$C_s = 0.415$	$\Delta_s = 1.65 \text{ cm}$	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.875}{0.526} = 1.66$



شکل ۳ منحنی پوش آور و تغییر شکل سازه ۶ طبقه بعد از اعمال بار جانبی

جدول ۲ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برای سازه ۶ طبقه

$C_e = 0.671$	$\Delta_{Is} = 12.75 \text{ cm}$	$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} = \frac{0.288}{0.18} = 1.6$
$C_y = 0.288$	$\Delta_y = 4.9 \text{ cm}$	$C_d = \frac{\Delta_{Is}}{\Delta_s} = \frac{12.75}{3.9} = 3.2$
$C_s = 0.18$	$\Delta_s = 3.9 \text{ cm}$	$R\mu = \frac{C_e}{C_y} = \frac{0.671}{0.288} = 2.329$



BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450),” no. Fema 450, 2006.

- [3] R. K. Goel and A. K. Chopra, “Evaluation of modal and FEMA pushover analyses: SAC buildings,” Earthq. Spectra, vol. 20, no. 1, pp. 225–254, 2004.
- [4] a. . Mwafy and a. . Elnashai, “Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings,” Eng. Struct., vol. 23, no. 5, pp. 407–424, May 2001.
- [5] P. E. ENGINEERING, “Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings,” no. maY, 2008.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



ارزیابی پارامترهای لرزه ای قاب خمشی بتنی متوسط به روش ایبارا-
کراونیکلر

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

The feasibility of separating the pipe rack from the foundation to reduce the effects of earthquakes

امکان سنجی جداسازی پایپرک از پایه برای کاهش اثرات زلزله

Mohammad Rashvand*

M.Sc., School of Civil Engineering, Iran University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran

Hamid Moharrami

School of Civil Engineering, Iran University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran

محمد رشوند *

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حمید محرمی

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*Corresponding author's email address:
m69rashvand@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

How to cite this article:

Mohammad Rashvand, Hamid Moharrami, The feasibility of separating the pipe rack from the foundation to reduce the effects of earthquakes, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):7-10.

ارجاع به مقاله:

محمد رشوند، حمید محرمی، امکان سنجی جداسازی پایپرک از پایه برای کاهش اثرات زلزله، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۷-۱۰.

Abstract

One of the most important structures are pipe racks, which are usually made from concrete, steel, or a combination of the two materials that are used to maintain pipes and other equipment at the required levels. Seismic isolation is one of the most powerful earthquake engineering tools in the field of passive control. This method can effectively protect building and non-building structures against a devastating earthquake. In other words, seismic isolation can be used to increase the performance level of pipe racks. In this article, the performance of seismic isolators in a pipe rack that consists of 4 parts, by two types of lead-rubber isolators and friction pendulum, under the effect of near and far-field earthquakes, has been studied. The results show that the use of seismic isolators in pipe racks reduces the damage to the structure and pipes after an earthquake and has a very good performance. The seismic isolator was used in three ways in this research, firstly, the isolator was used under the structures, and in the next step, the floor of the floors was isolated, and at the end, the isolators were placed under the pipes. The behavior of this type of isolators is almost the same, and according to the project conditions, it is possible to decide which part of the structure the isolators should be placed in.

Keywords

Seismic Isolator, Pipe rack, Seismic response

چکیده

یکی از مهمترین سازه‌ها، پایپرک‌ها می‌باشند که معمولاً سازه‌هایی بتنی، فولادی و یا ترکیبی از این دو هستند که جهت نگهداری لوله‌ها و سایر تجهیزات در ترازهای مورد نیاز به کار می‌روند. جداسازی لرزه‌ای یکی از قدرتمندترین ابزارهای مهندسی زلزله در زمینه کنترل غیرفعال می‌باشد. این روش می‌تواند به نحو موثری از سازه‌های ساختمانی و غیر ساختمانی در مقابل یک رویداد لرزه‌ای ویرانگر محافظت کند. به بیان دیگر جداسازی لرزه‌ای می‌تواند به منظور افزایش سطح عملکرد پایپرک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله عملکرد جداسازهای لرزه‌ای در یک پایپرک که از ۴ بخش تشکیل شده است، توسط دو نوع جداساز سرب-لاستیکی و آونگ اصطکاکی، تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل و دور از گسل مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از جداسازهای لرزه‌ای در پایپرک‌ها باعث کاهش آسیب به سازه و لوله‌ها پس از زلزله می‌شود و عملکرد بسیار مناسبی دارد. جداساز لرزه‌ای در این پژوهش به سه صورت استفاده شد، ابتدا جداساز در زیر سازه‌ها استفاده شد و در مرحله بعد کف طبقات جداسازی شد و در پایان جداسازها در زیر لوله‌ها قرار داده شد. رفتار این نوع جداسازها تقریباً یکسان بوده و با توجه به شرایط پروژه می‌توان تصمیم گرفت که جداسازها در کدام بخش از سازه قرار گیرد.

کلمات کلیدی

جداسازی لرزه‌ای، پایپرک، پاسخ لرزه‌ای

قطر زیاد به هم متصل شده اند را بررسی نموده و اثرات اندرکنش جداسازی دو بخش به وسیله لوله با قطر زیاد را بررسی کردند [۳].
اسامه روند طراحی پایپرک‌های مورد استفاده در پتروشیمی‌ها را بررسی نموده و پیشنهاداتی برای طراحی این نوع سازه‌ها ارائه داده است [۴]. میرقادری و شهیدی تبار اندرکنش لوله و پایپرک را مورد ارزیابی قرار دادند [۵]. هدف از احداث پایپرک‌ها عبور لوله‌ها و سایر تجهیزات از روی آنها می‌باشد پس باید بعد از زلزله کمترین

۱- مقدمه

در زمینه پایپرک‌ها تحقیقات کمی صورت گرفته که از جمله می‌توان به کار دراک اشاره کرد که روند کلی طراحی پایپرک‌ها را بررسی نموده است [۱]. کریمی و همکارانش ارزیابی لرزه‌ای پایپرک‌های موجود در پتروشیمی‌های ایران را مورد بررسی قرار دادند [۲].
اریک و همکاران سازه‌های غیر ساختمانی که بوسیله لوله‌های با



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



آسیب به لوله ها و تجهیزات وارد شود. به علت جدا کردن پایپ رک ها در یک طول مشخص و رفتار جداگانه هر یک از بخش ها در زلزله و نیز وارد شدن نیروی بسیار زیاد در محل جداسازی به تکیه گاه لوله ها باید تدابیری اندیشیده شود تا خسارات وارده به لوله ها کاهش داده شوند. از دلایل دیگر آسیب به لوله ها در محل انکرها طولانی بودن طول پایپ رک می باشد که موجب اختلاف فاز در نیروی ورودی زلزله خواهد شد. نداشتن دیافراگم صلب در سطوح مختلف هر قاب می تواند موجب آسیب به لوله ها در قاب های مختلف بشود. در هنگام وقوع زلزله، تغییر مکان های نسبی بزرگ طبقات سبب وارد آمدن خسارت به اجزاء غیرسازه ای و تجهیزات متصل به طبقات می شود. راه حل عملی برای کاهش اثرات زلزله بر سازه و اجزای غیر سازه ای استفاده از جداسازی پی است که سازه را از حرکات لرزه ای مخرب زمین و یا تکیه گاه جدا می کند [۶].

از آنجا که بخشی از هدف این مطالعه برآورد خطرپذیری پایپ رک ها در حوزه نزدیک زلزله می باشد، در این بخش در مورد برخی از ویژگی های این رکوردها توضیح داده شده است. آیین نامه FEMA-P695 و همین طور مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان می دهد که شتاب نگاشت های حوزه نزدیک به دو بخش با و بدون پالس تقسیم می شوند. این پالس ها به صورت پالس شتاب، سرعت و جابجایی می باشند که می توان آن ها را به تغییرات بزرگ در تاریخچه شتاب، سرعت و جابجایی تعریف کرد [۷]. در شتاب نگاشت های نزدیک گسل رکوردهای حاصل از سرعت به دلیل آن که نسبت به شتاب دارای پریودهای بالاتری هستند، دارای یک شکل پالس گونه با پریود بالا می باشند. در زلزله های حوزه نزدیک به دلیل فاصله کوتاه بین محل شکست و محل دریافت موج، فرصتی برای میرا شدن فرکانس های بالا نبوده و به همین دلیل شتاب نگاشت آنها محتوای فرکانسی بالایی دارند [۸]. زلزله های نزدیک گسل دارای خصوصیات ویژه ای هستند که آن از جمله می توان به سه خصوصیت بارز جهت گیری، تغییر مکان دائمی و محتوای فرکانسی بالا اشاره نمود. از میان سه خصوصیت فوق جهت گیری عاملی است که باعث ایجاد حرکاتی پالس گونه با دامنه نسبتاً زیاد و مدت زمان استمرار کم (پالس های ناشی از جهت گیری پیشرونده انتشار شکست) در تاریخچه زمانی نگاشت های سرعت زمین در حوزه ی نزدیک گسل گردیده و انرژی ورودی بالایی را در ابتدای شتاب نگاشت و در مدت زمان کوتاه به دلیل عدم امکان کاهیدگی مناسب، بر سازه تحمیل می نماید [۹].

جداساز لرزه ای یکی از قدرتمندترین ابزارهای مهندسی زلزله در زمینه فن آوری کنترل غیرفعال ارتعاشات سازه ها می باشد. این روش می تواند از سازه های ساختمانی و غیر ساختمانی در مقابل یک رویداد لرزه ای ویرانگر، خواه از طریق انجام ک طراحی اولیه صحیح یا از طریق اعمال اصلاحات بعد از ساخت، محافظت کند [۱۰]. با این وجود، ابهاماتی در مورد عملکرد این سیستم در زلزله های پریود بلند و زلزله های نزدیک گسل وجود دارد. این موضوع توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این قسمت مروری بر تحقیقات انجام شده آورده می شود. جانگید و کلی در سال ۲۰۰۱ به بررسی اثر رکوردهای نزدیک گسل بر روی سازه های جداساز شده پرداختند. آن ها یک مدل دوجرمی از یک ساختمان چند طبقه با فرض رفتار نیرو-تغییرمکان طی با میراگر ویسکوز در نظر گرفته و

مدل را تحت اثر یک مؤلفه عمود بر گسل قرار دادند. براساس این مطالعه با افزایش میرایی جداساز، شتاب مطلق سازه ابتدا کاهش یافته و به یک مقدار مینیمم می رسد و پس از آن افزایش می یابد. این موضوع نشان دهنده وجود یک مقدار مشخص میرایی در سیستم جداساز است که در آن شتاب روسازه یک سیستم سازه ای داده شده حداقل می باشد. آن ها همچنین رفتار غیرخطی چهار سیستم جداساز مختل، شامل: تکیه گاه لاستیکی خطی، تکیه گاه لاستیکی با میرایی بالا، تکیه گاه سربی-لاستیکی و سیستم EDF را تحت اثر مؤلفه شمال شش حرکت نزدیک به گسل انتخابی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که سیستم EDF می تواند به عنوان گزینه بهتری برای طراحی سازه های جداسازی شده در مناطق نزدیک گسل مورد توجه قرار گیرد [۱۱]. ویتزمن و همکاران در سال ۲۰۰۶ اثر افزایش میرایی در ناحیه پریود بلند را بر طیف پاسخ شتاب مورد بررسی قرار دادند. براساس مطالعه آن ها میرایی بالای معرفی به جداساز به منظور کنترل جابجایی در سیستم های دارای پریود بلند اختلاف بین شبه شتاب و شتاب در ناحیه پریودهای بلند را به صورت قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. بنابراین روش های معمول طراحی سازه های جدا شده برای سیستم های جداساز دارای زمان تناوب بزرگ و میرایی بالا با خطا همراه خواهد بود و لازم است مدلی که برای تحلیل و طراحی مورد استفاده قرار می گیرد این اختلافات را منعکس نماید. آن ها بر این اساس یک روش وابسته به پریود برای کاهش طیف پاسخ شع شتاب و برای تبدیل آن به طیف شتاب ارائه دادند [۱۲].

۲- مدل سازی

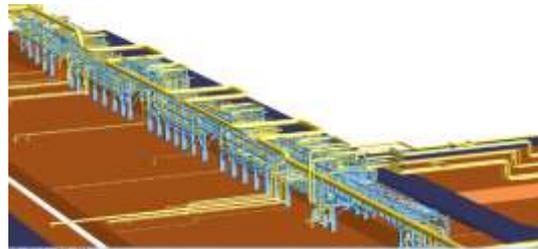
در این فصل روند مدلسازی به اختصار مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا نرم افزار مورد استفاده معرفی و صحت سنجی می شود. سپس طراحی مدل های سازه ای و جداسازها مورد بحث قرار می گیرد و نکاتی در مورد طراحی جداسازهای لرزه ای مطرح می شود و در نهایت رکوردهای مورد استفاده در تحلیل معرفی و مشخصات آنها ارائه می گردد.

طراحی سازه ها با استفاده از نرم افزار SAP انجام شده است. به منظور تحلیل دینامیکی و ارزیابی رفتار مدل ها از نرم افزار SAP و OPENSEES استفاده شده است. این برنامه ها با قابلیت تحلیل دینامیکی غیرخطی سیستم های چند درجه آزادی جداسازی شده را دارا می باشند. امکان مدلسازی انواع مختلف جداسازهای غیرخطی شامل جداساز سربی-لاستیکی، آونگ اصطکاکی، جداساز اصطکاکی خالص و همچنین جداسازهای لاستیکی با میرایی بالا در این برنامه وجود دارد.

پایپرک مورد بررسی در این مقاله شامل یک پایپ رک طولی به طول حدود ۲۵۰ متر می باشد که به جهت طول زیاد آن در طول های مشخص از یکدیگر جدا شده تا عملکرد بهتری داشته باشند و به ۴ بخش تقسیم شده اند. پایپرک مورد اشاره از یکی از پایپرک های موجود در یکی از پالایشگاه های ایران می باشد که از این نظر، ما با یک سازه کاملاً واقعی و موجود سرکار داریم و نتایج این پژوهش می تواند برای پایپرک اشاره شده مورد استفاده قرار گیرد. هندسه پایپرک با توجه به نیازهای بخش پایپینگ مبنی بر عبور لوله ها از روی آن، توسط این بخش مشخص گردید. باید توجه گردد که محل



قرارگیری بادبندهای افقی و قائم با بخش پایپینگ هماهنگ گردد تا با لوله‌های عبوری همپوشانی نداشته باشد. بارهای گسترده و متمرکز لوله‌ها و تجهیزات و محل قرارگیری و نیروهای انکر و گاید لوله‌ها نیز توسط بخش مکانیک ارائه است. سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی برای پایپرک‌های فولادی، از نوع قاب خمشی متوسط در راستای عرضی و مهاربند هم‌مرکز معمولی در جهت طولی در نظر گرفته شد. در راستای عرضی در صورتی که امکان تعبیه مهاربند وجود داشته باشد، بعد از هماهنگی با بخش پایپینگ استفاده از مهاربند هم‌مرکز توصیه می‌گردد، که در یکی دو بخش به علت جوابگو نبودن دررفت‌ها از این نوع مهاربند استفاده شد. به علت نبود سقف در این نوع سازه‌ها از مهاربندهای افقی جهت یکپارچه‌سازی و عملکرد بهتر این نوع سازه‌ها در زلزله استفاده شد.



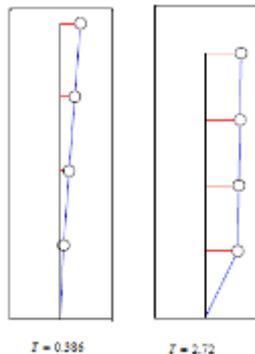
شکل ۱ نمای سه بعدی از پایپرک مورد مطالعه به همراه لوله‌های عبوری

بارهای وارد بر سازه اصولاً قابل تفکیک به بارهای ناشی از خود سازه و تجهیزات مستقر بر روی آن می‌باشد. در این قسمت، بارهای ناشی از خود سازه و لوله‌ها و تجهیزات به طور جداگانه معرفی می‌گردد. این بخش شامل بارهای مرده و زنده سازه می‌باشد که تفاوت خاصی با سازه‌های معمولی ندارد. نیروی زلزله ناشی از سازه با استفاده از آئین‌نامه UBC97 محاسبه شده و به سازه وارد می‌گردد. باید به این نکته توجه نمود که نیروی زلزله استخراجی از آئین‌نامه UBC97 در ترکیبات بارگذاری به علت تفاوت سطح زلزله باید اصلاح گردد. لازم است نیروی زلزله استخراج شده از آئین‌نامه، بر ضریب $1/4$ تقسیم گردد. نیروی قائم زلزله، مطابق آنچه در آئین‌نامه تصریح گردیده، در روش تنش مجاز قابل نظر نمودن می‌باشد. در این تحقیق نیز چون طراحی با روش تنش مجاز انجام پذیرفته، از نیروی قائم زلزله صرف نظر شده است. بار ناشی از تغییرات درجه حرارت به علت طول زیاد سازه باید در نظر گرفته شود. که در این پایپرک‌ها برابر 30 درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. جهت رعایت مسائل ایمنی، تا ارتفاع مشخصی از سطح زمین، اعضای سازه در مقابل آتش‌سوزی ایمن می‌گردند. ایمن‌سازی بدین صورت می‌باشد که المان‌های فولادی با استفاده از بتن به ضخامت مشخصی پوشانده می‌شوند که البته بار ناشی از ایمن‌سازی در برابر حریق نیز باید در طراحی در نظر گرفته شود. جزئیات بارگذاری در پیوست نمایش داده می‌شود. عمده تفاوت قابل ملاحظه که نسبت به سایر سازه‌ها می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، بارهای اعلامی از سوی بخش پایپینگ مربوط به لوله‌ها، بار تجهیزات واقع بر روی پایپرک و همچنین شرایط مربوط به بارهای ناشی از زلزله می‌باشد. نکته مهم دیگر این است که زلزله مربوط به سازه پایپرک و زلزله مربوط به لوله‌ها، به‌طور جداگانه باید محاسبه گردد. بار مرده لوله‌ها عمده‌تاً مربوط به لوله‌های خالی می‌باشد

که از بخش پایپینگ دریافت می‌گردد. بار مرده لوله‌ها و محتویات آن‌ها در حالت بهره برداری نیز باری است که توسط بخش پایپینگ ارائه شده و بر سازه اعمال می‌گردد. بار افقی لوله‌ها وارد بر سازه در محل تکیه‌گاه‌های انکر و گاید در جهت‌های x و y در حالت بهره برداری ناشی از حرکت سیال داخل لوله‌ها، انبساط و انقباض و سایر عوامل نیز باید در نظر گرفته شده و بر سازه اعمال گردد. همچنین باید به این نکته توجه نمود که در محل تکیه‌گاه‌های انکر و گاید نیروی اصطکاک وجود نداشته و در نظر گرفته نمی‌شود. بار اصطکاکی ناشی از عبور لوله‌ها از روی سازه، باید در جهت‌های x و y در نقاطی که انکر و گاید وجود ندارد، وارد گردد. این بار برابر حداقل 30 درصد نیروی قائم زلزله در حالت منفرد می‌باشد. نیروی زلزله لوله‌ها مستقیماً توسط انکر و گاید به پایپرک اعمال می‌گردد. در نظر گرفتن بار مرده لوله‌ها جهت محاسبه وزن موثر سازه در بارگذاری زلزله، جزء موارد اختلافی در طراحی معمول پایپرک‌ها می‌باشد. توصیه می‌گردد که وزن لوله‌ها در نظر گرفته شود، زیرا نیروی زلزله در روش استاتیکی معادل، متناسب با وزن در ارتفاع توزیع می‌گردد و در ضمن، در نظر گرفتن این وزن لوله‌ها باعث می‌شود به خود سازه هم نیروی بیشتری وارد گردد. همچنین نیروی زلزله‌ای که بخش پایپینگ می‌دهد فقط در نقاط انکر و گاید وارد می‌شود، در حالی که نیروی وزن لوله‌ها باعث افزایش نیروی زلزله به کل سازه می‌گردد. معمولاً چون ضریب لرزه‌خیزی منطقه‌ای که سازه پایپرک در آن قرار داشت، زیاد بود، بار باد در طراحی غالب نشد.

۳- تفسیر نتایج

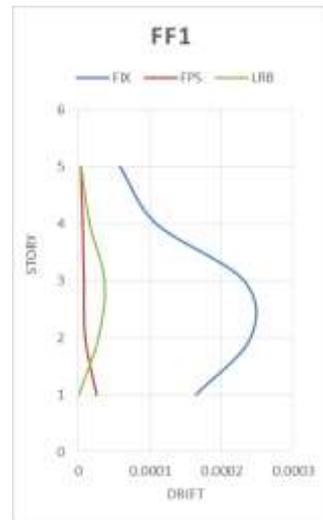
در این قسمت عملکرد پایپرک‌های جداسازی شده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامترهایی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: حداکثر جابه‌جایی جداساز، بیشینه دررفت بین طبقات. با توجه به اینکه نسبت زمان تناوب روسازه به زمان تناوب سیستم جداساز به مقدار کافی بزرگ انتخاب شده است انتظار می‌رود که کاهش قابل ملاحظه‌ای در دررفت روسازه به علت تغییر شکل مود اول حاصل شود. شکل مد اول پایه-ثابت و جداساز در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲ مقایسه شکل مود اول با و بدون جداساز

تقریباً در اکثر موارد جداسازی منجر به کاهش قابل توجه در دررفت روسازه در جداسازی شده نسبت به سازه پایه-ثابت شده است. کاهش

دریفت کل طبقات از این نظر نیز حائز اهمیت می باشد که در بعضی قسمت های سازه لوله های عبوری از یک طبقه وارد طبقه دیگر می شوند و به نوعی ارتفاع آنها تغییر می کند و دریفت طبقات در این لوله ها باعث آسیب جدی به لوله ها و تکیه گاه های آنها می شود. در این قسمت در شکل (۳) دریفت سازه جداسازی شده و پایه-ثابت نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود جداسازی باعث کاهش دریف پایپرک ها شده است



شکل ۳ مقایسه دریفت حداکثر سازه جداسازی شده و پایه-ثابت

۴- نتیجه گیری

در این مقاله رفتار یک پایپرک جداسازی شده تحت اثر زلزله های نزدیک گسل و دور از گسل مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی جداگرها در این نوع سیستم از دو نوع جداساز LRB و FPS استفاده گردید و نیز جداسازی هم در تراز پی و هم در زیر لوله ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- پایپرک ها با توجه به زمان تناوب کوتاهی که دارند و اهمیت آن ها برای جداسازی بسیار مطلوب می باشند و مخصوصا در پایپرک ها تشکیل شده از بخش های نامتقارن امری ضروری می باشد به این دلیل که این پایپرک ها دارای زمان تناوب مختلف و سختی های مختلف و بالطبع رفتار مختلف در طول زلزله خواهند بود.
- جداسازی پایپرک از پایه و یا جداسازی لوله ها باید با توجه به نوع پایپرک و اهمیت لوله های عبوری انتخاب گردد و هنوز نتایج قابل اطمینان آزمایشگاهی جهت صحت سنجی عملکرد جداسازی لوله ها در دسترس نمی باشد.
- جداسازی پایپرک باعث کاهش دریفت به مقدار قابل ملاحظه ای شد، کاهش دریفت از این نظر حائز اهمیت است

که در مواقعی که مسیر خط لوله از تراز موجود تغییر کرده و به تراز دیگری می رود، کاهش شتاب روسازه باعث وارد شدن نیروی کمتری به لوله ها در حین زلزله می شود و مانع از آسیب دیدن لوله ها و سازه می شود.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

- [1] Richard M. Drake, Robert J. Walter, 2010. "Design of structural steel pipe racks". Engineering Journal/fourth quarter, pp. 241
- [2] MKarimi, N Hosseinzadeh, 2011 "Seismic evaluation of pipe rack supporting structures in a petrochemical complex in iran". International Journal of advanced Structural engineering/vol.3,1,pages 111-120
- [3] Eric Wey,Dawar Naqvi, David Glasscock, Ankur Sepaha, 2011. "Analysis of Nonbuilding Structure Connected by Large diameter pipe while subjected to seismic". ASCE
- [4] Osama Bedair, 2015. "Rational Design of pipe racks used for oil sands and petrochemical facilities"-04014029. ASCE
- [5] A.shahiditabar, S.R.Mirghaderi, 2013 "Pipe and pipe rack Interaction". International Journal of applied science and Technology/vol.3,No.5,May 2013
- [6] Naeim, F. and Kelly,J.M., "Design of seismic isolated structure from theory to practice". John Wiley & Sons, Inc., 1999
- [7] Malhotra,p,k.,(1999),"response of buildings to near-field pulse-like ground motions",earthquake engineering and structural dynamics,vol.28,pp.1309-1326.
- [8] CHAI J.,Teng T.,LIAO W.,(2004), Numerical simulation of near-fault Ground motion and induced structural Response ,13th world conf, on earthquake Engineering . paper No.3309.
- [9] Alavi,B., and Krawinkler,H.,(2002)," Consideration of Near-Fault ground motion effect in seismic design",12th world conference of earthquake Engineering.
- [10] Islam, A., M. Jameel, and M.Z. Jumaat, Seismic isolation in buildings to be a practical reality: behavior of structure and installation technique. Journal of Engineering and Technology Research, 2011. 3(4): 99-117.
- [11] Jangid, R.S. and J.M. Kelly, Base isolation for near-fault motions. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2001. 30(5): 691-707.
- [12] Weitzmann, R., M. Ohsaki, and M. Nakashima, Simplified methods for design of base-isolated structures in the long-period high-damping range. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2006. 35(4): 497-515.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment

Somayeh Chegeni

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ale Taha University, Tehran, Iran

*Corresponding author's email address:
chegini_ss@yahoo.com

How to cite this article:

Somayeh Chegeni, Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):11-23.

بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی

سمیه چگنی

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آل طاها، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

ارجاع به مقاله:

سمیه چگنی، بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۱۱-۲۳.

Abstract

Construction accidents, particularly falls from scaffolding, are a major issue in developing countries, leading to serious economic, social, and environmental consequences. This study examines the impact of modern RLS scaffolding on reducing construction accident risks using a fuzzy risk assessment approach. The evaluation utilized the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) combined with Intuitionistic Fuzzy Sets (IFS). Potential failures in two scaffolding systems were identified through field surveys and expert opinions. FMEA parameters, including failure occurrence probability, detection likelihood, and consequence severity, were redefined using a seven-point linguistic scale. The Risk Priority Number (RPN) for each identified failure was calculated and statistically compared. Experts identified 36 potential failures for 15 components in classic TCS scaffolding and 23 potential failures for 10 components in modern RLS scaffolding. Results indicated that replacing classic TCS scaffolding with modern RLS scaffolding could significantly reduce the average likelihood of failure occurrence, increase detection probability, and decrease consequence severity (p -value < 0.05). The average RPN decreased from 36.81 to 19.67; however, this reduction was not statistically significant (p -value = 0.524). Overall, the findings suggest that modern RLS scaffolding can be a suitable alternative to traditional TCS scaffolding in construction projects due to its lower risk criteria and fewer potential failures.

Keywords

Construction Projects, Risk Assessment, Fuzzy FMEA, Classic Tube-Coupler Scaffolding, Modular Ring-Lock Scaffolding

چکیده

حوادث ساختمانی، به‌ویژه سقوط از داربست، یکی از مشکلات مهم در کشورهای در حال توسعه است که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جدی به همراه دارد. این مطالعه تأثیر استفاده از داربست‌های نوین RLS بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی را با استفاده از رویکرد ارزیابی ریسک فازی بررسی می‌کند. برای ارزیابی ریسک، از روش تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات آن (FMEA) به همراه تئوری مجموعه‌های فازی شهودی (IFS) استفاده شد. نقص‌های بالقوه دو سیستم داربست با استفاده از بررسی‌های میدانی و نظرات کارشناسان شناسایی شدند. پارامترهای FMEA شامل احتمال وقوع نقص، احتمال کشف نقص و شدت پیامدها بر اساس یک مقیاس زبانی هفت نقطه‌ای دوباره تعریف شدند. عدد اولویت ریسک (RPN) برای هر نقص محاسبه و با روش‌های آماری مقایسه شد. کارشناسان ۳۶ نقص بالقوه برای ۱۵ جزء در داربست کلاسیک TCS و ۲۳ نقص بالقوه برای ۱۰ جزء در داربست نوین RLS شناسایی کردند. نتایج نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS به جای داربست کلاسیک TCS می‌تواند به‌طور معناداری میانگین احتمال وقوع نقص را کاهش دهد، احتمال کشف نقص را افزایش دهد و شدت پیامدها را کاهش دهد (p -value < 0.05). همچنین میانگین RPN از ۳۶.۸۱ به ۱۹.۶۷ کاهش یافت؛ اما این کاهش از نظر آماری معنادار نبود (p -value = 0.524). در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که داربست نوین RLS می‌تواند جایگزین مناسبی برای داربست‌های کلاسیک TCS در پروژه‌های ساختمانی باشد.

کلمات کلیدی

پروژه‌های ساختمانی، ارزیابی ریسک، Fuzzy FMEA، داربست کلاسیک لوله-گیره، داربست مدولار

۱- مقدمه

امروزه حوادث شغلی یکی از مهمترین مشکلات کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه محسوب می‌شوند. این حوادث دارای پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نامطلوب زیادی هستند. حادثه یک رویداد برنامه ریزی نشده، نامطلوب و کنترل نشده است که منجر به خسارت مالی،

جراحت به افراد یا سایر خسارات شده است یا می‌تواند منجر شود. برای پیشگیری از حوادث، اولین قدم این است که بدانیم تصادفات چگونه رخ می‌دهند [۱]. با وجود تلاش‌های زیادی که در حیطه‌های مختلف صنعت برای کاهش حوادث و آسیب‌های شغلی انجام شده است، اما همچنان آمارهایی که از مطالعات و گزارش‌های مختلف استخراج و ارائه می‌شوند فاجعه‌بار بوده، به‌طوری‌که سازمان جهانی بهداشت (WHO) حوادث و



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



آسیب‌های شغلی را به‌عنوان یک اپیدمی در حوزه بهداشت عمومی معرفی نموده است [۲].

طبق گزارش‌های مختلف سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان بین‌المللی کار (ILO)، هر ۱۵ ثانیه یک کارگر در اثر حوادث شغلی جان خود را از دست داده و ۱۵۳ کارگر دچار آسیب‌های ناشی از این حوادث می‌شوند. همچنین سالانه ۲ میلیون حادثه منجر به مرگ و حدود ۲۶۸ میلیون حادثه منجر به آسیب در محیط‌های کاری و صنعتی به وقوع می‌پیوندد [۲]. برآوردها نشان می‌دهد که تنها پیامدها و آثار اقتصادی حوادث شغلی معادل ۴ درصد تولید ناخالص ملی "میباشند" [۳]. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهند که در کشورهای مختلف ۳۰ تا ۶۰ درصد حوادث گزارش نمی‌شوند. میزان حوادث گزارش نشده در کشورهای در حال توسعه به علت نبود سیستم جامع برای ثبت حوادث ضعف قوانین و مقررات و همچنین عدم وجود یک سیستم نظارتی قوی، بیش از کشورهای توسعه یافته می‌باشد [۴]. در نتیجه میتوان بیان کرد که هزینه‌های تحمیل شده به جامعه ناشی از حوادث فراتر از حد تصور بوده و نیاز به توجهات خاصی دارد بنابراین لازم است حوادث به دقت شده و با تعیین علل ریشه‌ای آنها از بروز مجدد آنها پیشگیری شود [۲]. در همین راستا بررسی حوادث رویکردی است که اطلاعات لازم در زمینه علل بروز حوادث در گروه خاصی از صنایع را فراهم می‌آورد. دانستن علل حوادث و همچنین شرایطی که در آن این حوادث به وقوع پیوسته، مدیران را قادر می‌سازد تا اقدامات کنترلی و پیشگیرانه را جهت کنترل این حوادث اتخاذ نمایند [۵].

صنعت ساخت‌وساز یکی از صنایعی است که از لحاظ عملکرد ایمنی و بهداشت با چالش روبرو بوده است. مطالعات انجام‌شده در چندین کشور از جمله کره، چین، ترکیه، فنلاند، بریتانیا و ایالات متحده آمریکا تعداد بالایی از عوارض و پیامدهای نامطلوب ایمنی و بهداشتی را به صنعت ساخت‌وساز نسبت داده است [۶-۸]. تنها در دو دهه گذشته بیش از 26000 نفر از کارگران صنایع ساخت‌وساز در ایالات متحده در محل کار فوت نموده‌اند. این مقدار برابر با مرگ پنج کارگر ساختمانی در هر روز است [۹]. بررسی‌ها در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که درصد بالایی از حوادث و مرگ و میرها در حوزه ساخت و ساز مربوط به کارگاه‌های ساختمانی میباشد [۱۰، ۱۱]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد در بین پروژه‌های ساخت و ساز، بیشترین تعداد مرگ و میر مربوط به کارگران ساختمانی است [۱۲]. بر اساس گزارش سازمان تأمین اجتماعی در سال ۱۳۹۵، تقریباً ۴۰ درصد از کل حوادث رخ داده در ایران، مربوط به پروژه‌های ساختمانی و فعالیت‌های مختلف ساخت و ساز می‌باشد. با توجه به آمارهای ارائه شده در مجموع در سال ۱۳۹۵ تعداد ۳۲۵۴ حادثه ثبت شده رخ داده است که از بین آنها ۱۴۰۰ حادثه مربوط به لغزش و سکندری، ۶۵۱ حادثه سقوط از ارتفاع، ۷۴۸ حادثه هنگام کار با ماشین‌آلات، ۳۲۵ حادثه برخورد و گرفتار شدن و ۱۳۰ حادثه مربوط به برق‌گرفتگی می‌باشد [۱۳].

در کارگاه‌های ساختمانی، همه افراد به‌صورت مستقیم در معرض ریسک‌های ایمنی قرار گرفته و ماهیت ذاتی نوع کار و فعالیت‌ها در پروژه‌های ساختمانی منجر به افزایش ریسک حوادث در این شاغلین شده است. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌هایی که در سطحی گسترده در پروژه‌های ساختمانی در حال انجام است فعالیت کار در ارتفاع می‌باشد [۱۴]. کار در ارتفاع با اهداف متنوعی از جمله ساخت، تخریب، تعمیرات، نصب تجهیزات و غیره انجام می‌شود. کار در ارتفاع یکی از فعالیت‌های با ریسک بالا از

دیدگاه ایمنی ساختمان است که منجر به پیامدهای متنوعی می‌گردد که مهم‌ترین پیامد کار در ارتفاع، سقوط از ارتفاع است [۱۵]. سقوط از ارتفاع مهم‌ترین علت مرگ کارگران ساختمانی است [۱۶]. سقوط از ارتفاع دلایل متعددی دارد که مهم‌ترین عامل آن جایگاه‌های کار نایمن بیان شده است [۱۷].

یکی از مهم‌ترین تجهیزاتی که بمنظور صعود و کار به ارتفاع در پروژه‌های ساختمانی استفاده می‌شود داربست است [۱۸]. داربست ابزار مهمی در سایت‌های ساختمانی میباشد و یک چارچوب موقتی است که برای حمایت از افراد و مصالح در ساخت و ساز یا تعمیر ساختمان‌ها و سایر سازه‌های بزرگ استفاده می‌شود [۱۹]. اداره ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (OSHA) تخمین زده است که بیش از ۲ میلیون یا ۶۵ درصد از سایت‌های ساختمانی از داربست استفاده می‌کنند [۱۶]. نقش اصلی داربست پشتیبانی از کار ساخت و ساز ساختمان در ارتفاعات و مکان‌هایی با دسترسی ضعیف است. داربست نه تنها در کارگاه‌های ساختمانی، بلکه در زمینه‌های دیگر مانند کارهای نوسازی خطوط فرآوری، در کارخانه‌های کشتی‌سازی، به عنوان پشتیبان ساخت تابلوهای تبلیغاتی، صحنه، سالن و همچنین به عنوان عنصر تزئینی کاربرد فراوانی دارد [۲۰]. داربست امکاناتی را برای کارگران فراهم می‌کند که هم مکانی برای کار دارند و هم وسایلی برای رسیدن به مناطقی که به تنهایی نمی‌توانند به آنها دسترسی پیدا کنند [۲۱]. کارگران می‌توانند به راحتی با استفاده از داربست به ایستگاه‌های کاری خود دسترسی داشته باشند [۲۲]. مطالعات نشان می‌دهد که سقوط‌های مرتبط با داربست - با فروریختن یا افتادن از داربست - دومین عامل اصلی سقوط است که به طور متوسط ۵۲ مرگ در سال (۱۸٪ از کل سقوط‌ها) را شامل می‌شود. برآورد دیگری نشان می‌دهد که سالانه بیش از ۹۵۰۰ کارگر در ایالات متحده در حوادث ناگوار داربست مجروح و ۸۰ نفر کشته می‌شوند. در سال ۲۰۰۰، تقریباً ۱۲٪ (۷۳۴) از ۵۹۱۵ از آسیب‌های شغلی منجر به مرگ، سقوط بود. از این تعداد، ۱۲٪ (۸۵) شامل سقوط از داربست بودند [۱۶].

علاوه بر نقش مهم داربست به عنوان یک سازه موقت، حوادث ناشی از داربست باعث تعداد زیادی جراحات و مرگ و میر در محل ساخت و ساز می‌شود. در نتیجه توجه به ایمنی داربست و ارتقاء این سازه با هدف کاهش ریسک حوادث امری ضروری می‌باشد. در ایران تا کنون مطالعات متعددی در زمینه ارتقاء سطح ایمنی پروژه‌های ساختمانی انجام شده است. اکثر مطالعات بصورت توصیفی و تحلیلی به بررسی متغیرهای متعدد ایمنی ساختمان پرداخته‌اند. بر برخی مطالعات علل حوادث مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن، بررسی فرهنگ ایمنی، شاخص‌های ایمنی و عملکرد ایمنی و همچنین اثر آموزش ایمنی بر ارتقاء سطح ایمنی پروژه‌های ساختمانی در سطح گسترده‌ای انجام شده است [۱۳، ۲۳-۲۸]. با این وجود، بررسی وضعیت ایمنی داربست‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی و انجام مداخله در این سازه‌های برای کاهش سطح ریسک حوادث شغلی، بویژه حوادث سقوط از ارتفاع تا کنون در ایران انجام نشده است. در نتیجه هدف از مطالعه حاضر استفاده از فرآیند ارزیابی ریسک برای تعیین سطح ریسک داربست‌های سنتی مورد استفاده در پروژه‌های ساختمانی بوده و در وهله بعدی در نظر داریم تا اثر داربست‌های نوین را بر کاهش سطح ریسک حوادث ساختمانی مورد بررسی قرار دهیم. همچنین بمنظور کاهش عدم قطعیت در فرآیند ارزیابی ریسک، از یک رویکرد فازی برای این منظور استفاده شد.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

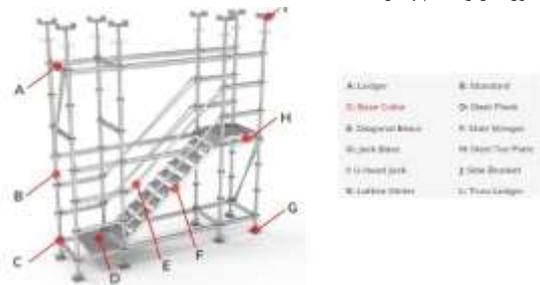
دوفصلنامه پژوهشی

مجله علمی پژوهشی

بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی

۲- روش کار

یک اتصال قوی ساختاری سفت تبدیل می‌کند. همانطور که گوه رانده می‌شود، به طور ایمن از هر حرکتی قفل می‌شود. نمایی شماتیک از این نوع داربست در شکل ۲ ارائه شده است. مطالعه حاضر در ۵ مرحله و بصورت زیر انجام پذیرفت.



شکل ۲- شماتیک از سیستم داربست‌بندی RLS و اجزاء تشکیل دهنده آن

۴-۱- مرحله اول - انتخاب محل اجرای مطالعه

اولین بخش از مطالعه حاضر تعیین محل مناسب برای اجرای مطالعه بود. برای این منظور محلی انتخاب شد که در آن یک سیستم داربست کلاسیک TCS متداول نصب شده باشد و امکان انجام مطالعه و تجزیه و تحلیل این سازه توسط محققین امکان پذیر باشد. محل مورد مطالعه یکی از پروژه‌های بزرگ شهر تهران بود که کار در ارتفاع یکی از متداولترین فعالیت‌ها در آن می‌باشد. در این پروژه، بمنظور دسترسی به ارتفاع از دو نوع داربست کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS استفاده می‌شد. در این مطالعه، ابتدا متغیرهای مورد بررسی برای داربست کلاسیک TCS جمع‌آوری شد و سپس کلیه متغیرها مجدداً در داربست نوین RLS تعیین و جمع‌آوری شد و این اطلاعات با یکدیگر مقایسه گردید تا اثربخشی استفاده از داربست نوین مدولار در کاهش سطح ریسک حوادث احتمالی تعیین گردد.

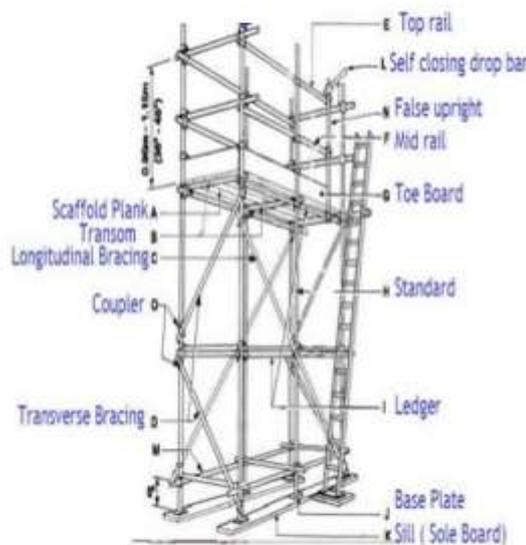
۴-۲- مرحله دوم - انتخاب اعضای تیم پنل خبرگان

در این تحقیق، جامعه آماری شامل متخصصین شاغل در فرآیند بوده و افراد مورد نظر با توجه به معیارهای ورود به مطالعه انتخاب شدند. معیارهای انتخاب خبرگان در این مطالعه سابقه کار بیش از ۱۰ سال در پروژه‌های عمرانی و ساخت و ساز، آشنایی با داربست‌های کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS و همچنین تخصص علمی مرتبط با ایمنی و ارزیابی ریسک بود. در نتیجه افراد مناسب با توجه به این معیارها انتخاب شدند. با توجه به توصیه‌های انجام شده توسط دیگر مطالعات، تعداد مطلوب افراد تیم FMEA بین ۴ الی ۶ نفر می‌باشد [۲۹]. در نتیجه ۶ نفر از افراد خیره از صنعت مورد بررسی برای انجام فرآیند ارزیابی ریسک با روش FMEA فازی انتخاب شدند. از کلیه افراد شرکت کننده در این مطالعه رضایت نامه کتبی دریافت شد و پس از مطالعه و امضاء رضایت نامه شرکت در مطالعه، افراد مورد نظر وارد مطالعه شدند. تخصص خبرگان شرکت کننده در مطالعه عبارت بود از: ۳ نفر کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، ۱ نفر کارشناس ارشد مهندسی عمران و ۲ نفر کارشناس ارشد HSE. سابقه کار خبرگان نیز در محدود ۸ تا ۱۹ سال بود.

مطالعه حاضر بصورت توصیفی - تحلیلی در یکی از پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز در شهر تهران در زمستان ۱۴۰۲ انجام شد. در این مطالعه اثر استفاده از داربست‌های نوین در کاهش ریسک حوادث مورد تحلیل قرار گرفت. ارزیابی‌ها در مطالعه حاضر روی دونوع داربست انجام پذیرفت. این داربست‌ها عبارت بودند از: ۱) داربست کلاسیک گیره- لوله (TCS) ۲) داربست مدولار قفل حلقه‌ای (RLS). در ادامه معرفی این سیستم‌ها انجام خواهد شد.

۳- داربست کلاسیک گیره- لوله (TCS)

سیستم داربست‌بندی TCS (که «داربست لوله و گیره» نیز نامیده می‌شود) نوعی داربست است که از لوله‌ها و کوپلرها تشکیل شده است. مزیت اصلی داربست لوله و کوپلر این است که لوله‌های افقی زیر جایگاه کار (لدر و ترازومها) را می‌توان در هر ارتفاعی از لوله‌های عمودی (استاندارد) قرار داد. در عین حال لوله‌های عمودی را می‌توان در هر فاصله‌ای از هم قرار داد. این عوامل می‌تواند انعطاف‌پذیری داربست را در تطابق با نوع سازه افزایش دهد اما ممکن است اثر منفی بر ایمنی داشته باشد. نمایی شماتیک از این نوع داربست در شکل ۱ ارائه شده است.



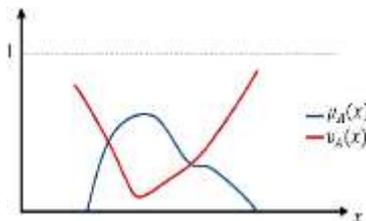
شکل ۱ نمایی شماتیک از سیستم داربست‌بندی TCS و اجزاء تشکیل دهنده آن

۴- داربست مدولار قفل حلقه‌ای (RLS)

سیستم RLS پیشرفته‌ترین سیستم داربست موجود در بازار است. به سرعت و به راحتی مونتاژ می‌شود و در عین حال تطبیق پذیری کافی را برای هر پیکربندی ساختمانی فراهم می‌کند. بخش مرکزی داربست قفل- حلقه‌ای خود Ring-Lock است که به آن اتصال‌دهنده گلبیری شکل^۶ نیز می‌گویند. لوله‌های افقی یا لدر^۷ و مورب یا بریس^۸ دارای هدهای مخصوص برای قرارگیری داخل روزه‌های اتصال‌دهنده گلبیری شکل و در نهایت با استفاده از یک گوه به داربست فیکس می‌شوند. چکش تنها ابزار مورد نیاز برای مونتاژ کامل است. یک ضربه چکش به گوه اتصال شل را به

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (۶)$$

جاییکه $\pi_A(x)$ تابع تردید یا عدم تعیین x به A است. همچنین به عنوان یک شاخص شهودی x در A تعریف شده است [۳۴]. شکل ۳ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی (IFS)

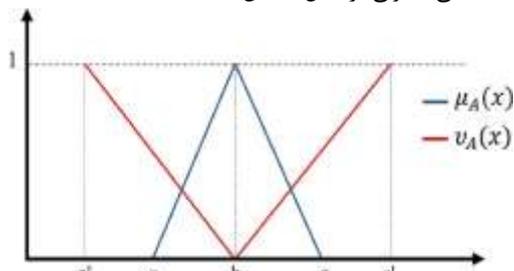
یک IFS مثلثی (TIFS) یک IFS با توابع عضویت و غیرعضویت زیر است (معادلات (۷) و (۸)):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۷)$$

$$\nu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a'}{b'-a'} & a' \leq x < b' \\ \frac{c'-x}{c'-b'} & b' \leq x \leq c' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۸)$$

جایی که، $a' \leq a \leq b \leq c \leq c'$

یک IFS مثلثی به صورت $A = (a, b, c; a', b', c')$ نشان داده می‌شود. یک IFS مثلثی معمولی در شکل ۴ نشان داده شده است [۳۵].



شکل ۴ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی مثلثی (TIFS)

با توجه به آنچه در بالا ارائه شد، ارزیابی ریسک با روش IFS-FMEA بصورت زیر اجرا گردید:

۵-۱- ایجاد چارچوبی برای رتبه‌بندی پارامترهای FMEA با استفاده از اعداد فازی شهودی

انجام FMEA با استفاده از اعداد فازی شهودی نیازمند چارچوبی برای رتبه‌بندی پارامترهای آن، یعنی احتمال وقوع نقص (P^1)، احتمال کشف نقص (D^1) و شدت پیامد ناشی از نقص (S^1) است. بر این اساس، یک مقیاس ۷ درجه‌ای از اصطلاحات زبانی (بسیار کم (VL)، کم (L)، نسبتاً کم (ML)، متوسط (M)، نسبتاً زیاد (MH)، زیاد (H)، بسیار زیاد (VH)) برای اندازه‌گیری پارامترهای FMEA تعریف شد. اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها

یکی از روش‌های معروف شناسایی خطر و ارزیابی ریسک، روش FMEA است [۲۹]. در چارچوب این روش ابتدا به شناسایی حالات نقص در سیستم پرداخته و سپس دلایل مختلف بروز این نقایص و اثرات آنها بر روی سیستم، تعیین و در نهایت، RPN محاسبه می‌شود. استفاده از منطق فازی برای اجرای FMEA راهکاری مناسب برای رفع محدودیتهای این روش است، زیرا که منطق فازی مناسبترین گزینه برای مدلسازی در سیستم‌هایی است که دارای پیچیدگی زیادی بوده یا همچنین اطلاعاتی که در مورد آنها در اختیار می‌باشد، مبهم و غیر صریح است. عبارتی استفاده از منطق فازی و استفاده از نظر خبرگان می‌تواند عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند ارزیابی ریسک را تا حد زیادی کاهش دهد. در صنعت ساخت و ساز و از جمله استفاده از داربست برای فعالیت‌های کار در ارتفاع عموماً دسترسی محدود به اطلاعات وجود داشته یا مشکل و حتی غیر ممکن است. در این حالت عملیات ریاضیاتی فازی که از نظر محاسباتی نیازی به اطلاعات مفصل تجربی ندارند می‌تواند بعنوان ابزاری مفید واقع شوند [۳۰]. در چارچوب روش FMEA تحلیل ریسک از مرحله جزئی سیستم شروع و یک لیست از حالات نقص مرتب شده و تأثیر آن حالات نقص با محاسبه RPN مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر روش FMEA در تلفیق با روش فازی IFS مورد استفاده قرار گرفت.

۵- مجموعه‌های فازی شهودی (IFS)

یک مجموعه فازی کلاسیک توسعه یافته توسط Zadeh [۳۱] دارای ویژگی‌های زیر است:

با در نظر گرفتن B به عنوان یک مجموعه فازی کلاسیک و γ به عنوان یک شی در جهان گفتمان γ ، می‌توان B را با استفاده از رابطه (۱) بیان کرد:

$$B = \{(y, \mu_B(y)) | y \in Y\} \quad (۱)$$

که در آن، $\mu_B(y)$ تابع عضویت y در B با مقداری بین صفر و یک است. چندین دهه بعد، آتاناسوف [۳۲] مفهوم IFS را به عنوان بسط مجموعه‌های فازی کلاسیک با ویژگی‌های زیر توسعه داد:

با در نظر گرفتن A به عنوان یک IFS و x به عنوان یک شی در جهان گفتمان X ، A با استفاده از رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\} \quad (۲)$$

که در آن، $\mu_A(x)$ تابع عضویت و $\nu_A(x)$ تابع غیر عضویت x در A است [۳۳]. برای این منظور، روابط زیر (معادلات (۳) - (۵)) نیز باید برآورده شوند:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1 \quad (۳)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (۴)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (۵)$$

علاوه بر این، برای هر x ، یک تابع تردید با استفاده از رابطه (۶) تعریف شده است:

و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مربوط به این پارامترها در جدول ۱، جدول ۲ و جدول ۳ ارائه شده است. این جداول در دیگر مطالعات نیز بخوبی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله در مطالعات یزدی و همکاران [۳۶]، جیانگ و همکاران [۳۷] و عربیان حسین آبادی و همکاران [۳۸]. این جداول به متخصصان و محققان کمک می‌کند تا اصطلاحات زبانی را به شیوه‌های عینی‌تر تعیین کنند.

۵-۲- شناسایی حالت‌های نقص در داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS

برای انجام این مرحله، ابتدا داربست‌ها به اجزاء کوچکتر تجزیه شد و از بین آنها، اجزاء مستعد نقص شناسایی گردید و بعنوان اجزاء اصلی انتخاب شد. سپس با مصاحبه با کارکنان مجرب، نظرات خبرگان و همچنین تولیدکنندگان و واردکنندگان این داربست‌ها، حالت‌های مختلف نقص هر یک از اجزاء مستعد نقص شناسایی و لیست شد.

جدول ۱ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی

رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (شدت پیامد)	اعداد مجموعه فازی شهودی مثلثی
۱	خیلی پایین (VL)	بسیار کم یا بدون تأثیر و آسیب بر سلامتی	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	پایین (L)	سیستم می‌تواند عملکرد بهینه خود را حفظ کند، عوارض و صدمات جزئی فقط به کمک‌های اولیه نیاز دارد، عملکرد سیستم ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	اندکی پایین (ML)	صدمات و اثرات سلامتی منجر به کمتر از سه روز کاری از دست رفته، سیستم قابل اجراست اما برخی عملکردهای خود را برای مدت کوتاهی از دست می‌دهد.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	صدمات برگشت پذیر و اثرات سلامتی منجر به از دست دادن بیش از سه روز کاری، سیستم قابل اجراست اما ممکن است کاهش جزئی در عملکرد آن رخ دهد.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	کمی بالا (MH)	صدمات جریان ناپذیر شدید و اثرات سلامتی ممکن است سیستم قابل اجراست اما ممکن است کاهش زیادی در عملکرد آن رخ دهد.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	بالا (H)	نقص می‌تواند منجر به مرگ شود، سیستم غیر قابل اجراست و عملکرد اصلی خود را از دست می‌دهد.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی بالا (VH)	نقص قطعا منجر به حداقل یک مرگ می‌شود، سیستم غیر قابل اجراست و بر تجهیزات پایین دستی تأثیر منفی می‌گذارد.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

جدول ۲ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مرتبط با احتمال وقوع نقص (P)

رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (احتمال وقوع نقص)	اعداد فازی مجموعه شهودی مثلثی
۱	خیلی پایین (VL)	شکست بعید است.	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	پایین (L)	میزان شکست پایین است.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	اندکی پایین (ML)	میزان شکست نسبتاً کم است.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	شکست‌های گاه به گاه ممکن است.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	کمی بالا (MH)	میزان شکست نسبتاً بالا است.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	بالا (H)	میزان شکست بالاست.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی بالا (VH)	شکست تقریباً قطعی و اجتناب ناپذیر است.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

جدول ۳ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مرتبط با احتمال کشف نقص (D)

رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (احتمال کشف)	مجموعه اعداد فازی شهودی مثلثی
۱	خیلی بالا (VH)	نقص قطعاً توسط هر کاربری شناسایی می‌شود.	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	بالا (H)	احتمال دارد هر کاربری این نقص را شناسایی کند.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	کمی بالا (MH)	نقص فقط توسط یک کاربر با تجربه با تجربه قابل تشخیص است.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	تشخیص نقص کار آسانی نیست، اما یک کاربر با تجربه هنوز فرصتی برای تشخیص آن دارد.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	اندکی پایین (ML)	بعید است که نقص توسط یک کاربر عادی شناسایی شود.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	پایین (L)	حتی توسط یک کاربر با تجربه نیز بعید است این نقص شناسایی شود.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی پایین (VL)	هیچ راهی برای تشخیص نقص وجود ندارد.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

۵-۳- رتبه‌بندی پارامترهای FMEA با استفاده از چارچوب تعیین‌شده

مرحله ۳-۳-۱- جمع‌آوری نظرات خبرگان: برای رتبه‌بندی پارامترهای FMEA، نظرات خبرگان انتخابی از طریق سوالات زیر جمع‌آوری شد: سوال ۱ (احتمال وقوع نقص): هر چند وقت یکبار این قسمت از داربست دچار نقص می‌شود؟ سوال ۲ (احتمال کشف نقص): چقدر محتمل است که این نقص در طی یک بازرسی معمولی پیدا شود؟



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



سوال ۳ (شدت پیامد ناشی از نقص): در صورت تحقق و بالفعل شدن این نقص، شدت عواقب آن چقدر است؟

مرحله ۳-۳-۲- محاسبه درجه شباهت بین نظرات خبرگان: با در نظر گرفتن Ru و Rv دو خبرگان Eu و Ev، درجه شباهت Suv(Ru, Rv) با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$S_{uv}(R_u, R_v) = \begin{cases} \frac{EV_u}{EV_v} & \text{if } EV_u \leq EV_v \\ \frac{EV_v}{EV_u} & \text{if } EV_u \geq EV_v \end{cases} \quad (9)$$

جایی که، EV مقدار انتظار است و برای TIFS R (a', b, c; a, b, c) با معادله (۱۰) محاسبه می‌شود [۳۹، ۳۵].

$$EV(R) = \frac{(a+a') + 4 \times b + (c+c')}{8} \quad (10)$$

مرحله ۳-۳-۳- محاسبه میانگین توافق (AA) برای هر خبره: در این مرحله، AA برای هر یک از خبرگان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$AA(E_u) = \frac{1}{m-1} \sum_{u \neq v} S_{uv}(R_u, R_v) \quad (11)$$

جایی که m تعداد کل خبرگان شرکت کننده در مطالعه است.

مرحله ۳-۳-۴- محاسبه توافق نسبی (RA) برای هر یک از خبرگان: در این مرحله RA برای هر یک از خبرگان با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$RA(E_u) = \frac{AA(E_u)}{\sum_{u=1}^m AA(E_u)} \quad (12)$$

مرحله ۳-۳-۵- محاسبه درجه اجماع خبرگان (CD) مقدار CD برای هر خبره با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$CC(E_u) = \beta \cdot W(E_u) + (1 - \beta) \cdot RA(E_u) \quad (13)$$

جایی که W وزن خبره بر اساس تجربه، رشته تحصیلی و سطح تحصیلات او محاسبه می‌شود و β یک عامل آرامش است که از ۰ تا ۱ متغیر است و اهمیت نسبی W(Eu) را نسبت به RA(Eu) نشان می‌دهد. مرحله ۳-۳-۶- تجمیع نظرات خبرگان: در این مرحله نظرات خبرگان با استفاده از معادله (۱۴) [۳۹، ۳۵] تجمیع شد:

$$R_{AG} = \sum_{i=1}^m CC(E_i) \cdot R_i \quad (14)$$

جایی که، Ri یک TIFS است که توسط متخصص Ei بیان شده است. مرحله ۳-۳-۷- فازی زدایی (دیفازی سازی) RAG: خروجی قبلی یک TIFS است که باید به یک مقدار واضح تبدیل شود. راه‌های مختلفی برای دیفازی

کردن یک TIFS وجود دارد. در این تحقیق از معادله (۱۵) برای این منظور استفاده شد [۳۹، ۳۵].

$$X' = \frac{1}{3} \left(\frac{(c'-a')(b-2c'-2a') + (c-a)(a+b+c) + 3(c'^2 - a'^2)}{c' - a' + c - a} \right) \quad (15)$$

مرحله ۴- محاسبه RPN: در مرحله آخر مطالعه، RPN برای هر حالت نقص شناسایی شده محاسبه شد. مقادیر واضح به دست آمده از رابطه (۷) در محدوده ۰ تا ۱ هستند، اما پارامترهای FMEA، یعنی شدت، وقوع و تشخیص، در محدوده ۱ تا ۱۰ قرار دارند. برای حل این مشکل، مقادیر به دست آمده از رابطه (۱۵) در ۱۰ ضرب شد [۳۶]. سپس، RPN با ضرب S، D و P، همانطور که در رابطه (۱۶) نشان داده شده است، محاسبه شد:

$$RPN = (X'_S \times 10) \cdot (X'_D \times 10) \cdot (X'_O \times 10) \quad (16)$$

مرحله چهارم- تکرار ارزیابی ریسک فازی برای داربست نوین RLS با روش IFS-FMEA: کلیه مراحل انجام شده در مرحله سوم مطالعه برای داربست-های کلاسیک TCS، برای داربست‌های نوین RLS نیز تکرار شد. عبارتی پس از شناسایی نقایص داربست‌های نوین RLS، نمره RPN با استفاده از IFS-FMEA برای این نوع از داربست نیز تعیین شد.

مرحله پنجم- تعیین اثربخشی از طریق مقایسه نتایج: پس از تعیین نمره ریسک برای داربست‌های کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS، مقایسه نتایج برای تعیین اثربخشی استفاده از داربست‌های نوین بعنوان یک جایگزین برای داربست‌های کلاسیک TCS برای کاهش نمره ریسک حوادث شغلی علی‌الخصوص ریسک سقوط و واژگونی داربست انجام شد. مقایسه نمره RPN و معیارهای ریسک شامل شدت پیامد ناشی از نقص، احتمال وقوع نقص و احتمال کشف نقص با استفاده از روش‌های آماری انجام شد. برای تعیین اثربخشی نیز از سطح ریسک قابل قبول و غیرقابل قبول استفاده شد. در روش FMEA سنتی معمولاً معیار ریسک قابل قبول و غیرقابل قبول عدد ۱۲۵ در نظر گرفته می‌شود (ضرب نمرات احتمال وقوع نقص، احتمال کشف خطر و شدت پیامد زمانی که هر سه پارامتر عدد ۵ را به خود اختصاص دهد) [۴۰]. با توجه به اینکه در این مطالعه از رویکرد فازی IFS-FMEA استفاده گردیده است، در جدول تعیین احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد، ترکیبی از اعداد ۴ و ۵ و ۶ را بعنوان حد ریسک متوسط در نظر می‌گیرند. در نتیجه ما از حاصلضرب احتمال وقوع نقص، احتمال کشف نقص و شدت پیامد در ۳ حالت با نمرات ۴، ۵ و ۶ استفاده کردیم و مقادیر حاصلضرب را برای هر ۳ عدد محاسبه کردیم (۴×۴×۴=۶۴ و ۵×۵×۵=۱۲۵ و ۶×۶×۶=۲۱۶) و در نهایت مقادیر به دست آمده را با یکدیگر جمع و بر عدد ۳ تقسیم نمودیم و از این طریق معیار ریسک غیرقابل قبول با توجه به اعداد فازی عدد ۱۳۵ محاسبه شد ($135 = \frac{64+125+216}{3}$). عبارتی، عدد اولویت ریسک بالاتر از ۱۳۵ بعنوان ریسک بالا در نظر گرفته شد.

برای محاسبه سطح ریسک متوسط نیز همین فرآیند محاسباتی برای اعداد ۳، ۴ و ۵ استفاده شد. در نتیجه عدد ۷۲ بعنوان معیاری برای ریسک متوسط در نظر گرفته شد ($72 = \frac{64+125+216}{3}$). همچنین کمتر از این عدد نیز بعنوان ریسک پایین در نظر گرفته شد. سطوح ریسک محاسبه‌شده



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



جهت ارزشیابی ریسک نهایی نقایص شناسایی شده در داربست‌های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

بعبارتی، پس از محاسبه ریسک برای نقص‌های شناسایی شده، عدد RPN بالاتر از ۱۳۵ بعنوان ریسک بالا، عدد RPN بین ۷۴-۱۳۵ بعنوان ریسک متوسط و عدد RPN کمتر- مساوی ۷۴ ریسک پایین در نظر گرفته شدند.

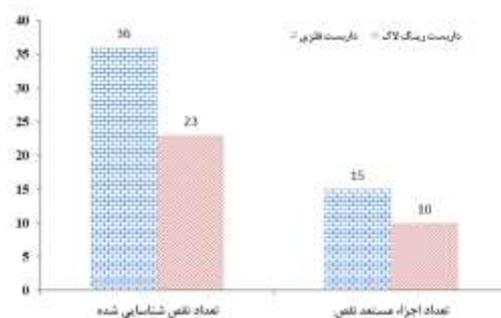
ردیف	سطح ریسک	نمره ریسک
۱	سطح ریسک بالا	$RPN > 135$
۲	سطح ریسک متوسط	$135 \geq RPN > 74$
۳	سطح ریسک پایین	$RPN \leq 74$

۶- تجزیه و تحلیل آماری

بمنظور تعیین نمرات ارزیابی ریسک و نمره نهایی ریسک روش فازی، از نرم افزار Excel 2016 استفاده شد و محاسبات با استفاده از آن انجام پذیرفت. بمنظور رسم جداول نیز از نرم افزار office word 2016 استفاده شد و نمودارها نیز با استفاده از Excel 2016 رسم گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از Shapiro-Wilk test تعیین شد. بمنظور مقایسه میانگین نمره RPN و معیارهای ریسک شامل احتمال وقوع نقص، احتمال کشف نقص و شدت پیامد از بین داربست کلاسیک TCS و داربست RLS از آزمون ناپارامتری Mann-Whitney U test استفاده شد. سطح معناداری $\alpha = 0.05$ برای آزمون‌ها در نظر گرفته شد.

۷- نتایج

نتایج مقایسه‌ای مربوط به حالات نقص شناسایی شده برای سیستم TCS و سیستم RLS در شکل ۵ ارائه شده است. در داربست TCS ۱۵ جزء مستعد نقص و ۳۶ نقص توسط خبرگان تعیین شد. اجزاء مستعد نقص عبارت بود از: صفحه پایه^{۱۶}، پایه‌های عمودی^{۱۷}، صفحه زیر داربست^{۱۸}، لدر، ترازوم^{۱۹}، لوله مهاری داخلی^{۲۰}، لوله مهاری خارجی^{۲۱}، بست‌ها^{۲۲}، پین اتصال^{۲۳}، لوله اتصال^{۲۴}، لوله‌های حفاظتی^{۲۵}، پاخور حفاظتی^{۲۶}، لنگرگاه^{۲۷}، تخته داربست، راه دسترسی. در داربست RLS ۱۰ جزء مستعد نقص و ۲۳ نقص توسط خبرگان شناسایی و لیست شد. اجزاء مستعد نقص در این سازه عبارت بود از: جک پایه^{۲۸}، طوقه پایه^{۲۹}، پایه‌های عمودی، لدر، لوله مهاری مورب^{۳۰}، پین گوه‌ای^{۳۱}، پین اتصال، لوله‌های حفاظتی، صفحه زیرپایی^{۳۲}، پله‌های دسترسی^{۳۳}.



شکل ۵ مقایسه حالات نقص شناسایی شده برای داربست‌های TCS و RLS

نمرات احتمال وقوع نقص، شدت پیامد ناشی از نقص و احتمال کشف نقص‌های شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS در جدول ۵ ارائه شده است. کد هر نقص با کاراکترهای FMTC^{۳۴} نشان داده شده است که به معناری حالات نقص در داربست لوله-گیره می‌باشد. بالاترین نمره احتمال وقوع مربوط به نقص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست بود ($FMTC27 = 7.4$). کمترین نمره احتمال وقوع نیز برای نقص ترک برداشتن لوله مهار داخلی تعیین شد ($FMTC16 = 2.4$). بدترین نمره احتمال کشف نقص بطور مشترک مربوط به نقص برشی^{۳۵} پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست و نقص شکستگی^{۳۶} هوک لنگرگاه بود ($FMTC27 = 3.9$ و $FMTC28 = 3.9$). بهترین نمره احتمال کشف نقص نیز بطور مشترک و یکسان برای خوردگی و فرسودگی لوله عمودی و لدر تعیین شد ($FMTC9 = 1.2$ و $FMTC6 = 1.2$). بالاترین نمره شدت پیامدهای بالقوه نقص‌های شناسایی شده بطور مشترک مربوط به نقص ترک برداشتن صفحه زیرداربست، لغزش و خزش^{۳۷} صفحه زیرداربست، لغزش و خزش صفحه پایه، ترک برداشتن لوله عمودی، نقص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست و نقص شکستگی هوک لنگرگاه و نقص بهره‌برداری^{۳۸} راه دسترسی بود ($FMTC1$, $FMTC2$, $FMTC4$, $FMTC7$, $FMTC27$, $FMTC28$, $FMTC35 = 9.6$). کمترین نمره شدت پیامدهای بالقوه نقص‌های شناسایی شده نیز برای نقص ابعادی (پهنای کم) پاخور داربست تعیین شد ($FMTC31 = 4.5$). نهایتاً، نتایج نهایی ریسک نقایص بالقوه شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS نشان داد بالاترین نمره عدد اولویت ریسک به ترتیب برای نقص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه ($RPN = 277.1$)، نقص شکستگی هوک لنگرگاه ($RPN = 213.4$)، نقص برشی پیچ و مهره گیره ($RPN = 181.5$)، نقص شکستگی بدنه گیره ($RPN = 148.5$) و لغزش و خزش صفحه زیرداربست ($RPN = 137.3$) می‌باشد. کمترین نمره عدد اولویت ریسک نیز برای نقص خوردگی و فرسودگی لوله‌های مهاری داخلی به دست آمد ($RPN = 20.8$).

جدول ۵ نتایج نمرات معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک نقص‌های TCS شناسایی شده داربست کلاسیک

کد	حالت نقص	احتمال وقوع	احتمال کشف	شدت پیامد	RPN
FMTC1	ترک برداشتن صفحه زیرداربست	5.9	1.7	9.6	96.3
FMTC2	لغزش و خزش صفحه زیرداربست	5.5	2.6	9.6	137.3
FMTC3	(Deformation) تغییر شکل صفحه پایه	4.3	1.8	7.4	57.3
FMTC4	لغزش و خزش صفحه پایه	5.3	2.5	9.6	127.2
FMTC5	تغییر شکل و خمش لوله عمودی	4.2	1.8	5.9	44.6
FMTC6	خوردگی و فرسودگی لوله عمودی	3.8	1.2	8.7	39.7
FMTC7	ترک برداشتن لوله عمودی	5.8	1.6	9.6	89.1
FMTC8	تغییر شکل و خمش لدر	4.5	1.8	5.9	47.8

TCS ۱۳٪/۹ (نقص ۵) و در داربست RLS ۴٪/۳ (نقص ۱) می‌باشد. با این وجود، درصد نقص‌های قرار گرفته در سطح ریسک متوسط و پایین در داربست نوین RLS بالاتر از نقص‌های کلاسیک TCS است.

جدول ۷ مقایسه معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک در ۲ سیستم داربست مورد بررسی

معیارهای ریسک	نوع داربست	تعداد میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین رتبه	p-value
احتمال وقوع	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۴/۸۷	۲/۴۰	۷/۴۰	۳۴/۸۵	۰/۰۰۷
	داربست نوین RLS	۲۳	۳/۹۰	۰/۹۲	۲/۴۰	۵۲/۴۱	
احتمال کشف	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۲/۰۱	۰/۷۲	۳/۹۰	۲۴/۱۴	۰/۰۰۱
	داربست نوین RLS	۲۳	۲/۵۶	۰/۷۵	۱/۶۰	۳۹/۱۷	
شدت پیامد	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۷/۵۷	۱/۵۴	۴/۵۰	۳۴/۶۵	۰/۰۰۹
	داربست نوین RLS	۲۳	۶/۳۴	۰/۹۹	۴/۲۰	۲۲/۷۲	
عدد اولویت ریسک	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۸۱/۳۶	۵۷/۲۲	۲۰/۸۰	۲۷۷/۱۰	۰/۵۲۴
	داربست نوین RLS	۲۳	۶۷/۱۹	۳۵/۹۱	۲۶/۲۰	۱۴۶/۰۰	۲۸/۲۲

FMRL8	ترک برداشتن لوله عمودی	3.2	1.6	7.2	36.9
FMRL9	تغییر شکل و خمشی لوله لدر	3.2	1.8	5.7	32.8
FMRL10	ترک برداشتن هد لدر	3	3.1	6.6	61.4
FMRL11	نقص شکستگی هد لدر	3.8	3.3	7.2	90.3
FMRL12	تغییر شکل و خمشی لوله لوله مهاری مورب	2.6	1.9	5.3	26.2
FMRL13	ترک برداشتن هد لوله مهاری مورب	2.4	3.3	6.6	52.3
FMRL14	نقص شکستگی هد لوله مهاری مورب	3.5	3.3	6.6	76.2
FMRL15	خوردگی در بدنه بین گوه‌های	2.4	2.6	5.3	33.1
FMRL16	نقص شکستگی یا برش در بدنه بین گوه‌های	5.2	3.9	7.2	146
FMRL17	نقص بهره‌برداری و نصب نادرست بین گوه‌های	5.2	3.3	7.2	123.5
FMRL18	نقص برشی پیچ و مهره پین اتصال	4.6	3.9	7.2	129.2
FMRL19	نقص بهره برداری و نصب نادرست پین اتصال	4.5	3.3	6.6	98
FMRL20	تغییر شکل و خمشی لوله حفاظتی	3.2	1.9	5.1	31.1
FMRL21	نقص شکستگی هوکهای اتصال صفحه زیرپایی	3.8	2.8	5.1	54.2
FMRL22	کمانش پله‌های دسترسی	3.5	1.8	4.2	26.5
FMRL23	نقص اتصال (Connection) پله - های دسترسی	3.2	1.9	4.5	27.3

این نتایج بیانگر این است که درصد بیشتری از نقص‌های شناسایی شده در کلاسیک TCS در سطوح ریسک بالاتر نسبت به داربست نوین RLS قرار دارند.



شکل ۶ فراوانی عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده در سطوح ریسک

۸- بحث

صنعت ساختمان به دلیل ماهیت کاری و ریسک ذاتی خود به عنوان یکی از خطرناک‌ترین صنایع شناخته می‌شود. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌هایی که منجر به حوادث خطرناکی مانند سقوط و مرگ می‌شود کار در ارتفاع با استفاده از داربست است. داربست‌های جزء تجهیزات اصلی و بنیادی پروژه‌های ساختمانی بوده و توسعه این تجهیزات در راستای ارتقاء عملکرد کار و بخصوص افزایش ایمنی بسیار ضروری و مفید می‌باشد. در مطالعه حاضر اثر استفاده از داربست‌های نوین RLS در کاهش سطح ریسک حوادث در پروژه‌های ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از روش IFS-FMEA اقدام به ارزیابی نقص‌های بالقوه موجود در ۲ نوع داربست کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS گردید.

نتایج مقایسه آماری بین معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک داربست کلاسیک TCS با داربست نوین RLS در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS می‌تواند بطور معناداری منجر به کاهش میانگین احتمال وقوع نقص، افزایش احتمال کشف نقص و کاهش شدت پیامدهای ناشی از نقص شود ($p\text{-value} < 0.05$). نتایج نمره ریسک محاسبه شده نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS منجر به کاهش میانگین نمره عدد اولویت ریسک از ۸۱/۳۶ به ۶۷/۱۹ می‌شود. اما این کاهش از نظر آماری معنادار نبود ($p\text{-value} = 0.524$).

نتایج سطح بندی ریسک عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS در شکل ۶ و جدول ۸ ارائه شده است. همانگونه که مشخص است نقص‌های قرار گرفته در سطح ریسک بالا در کلاسیک TCS بطور فزاینده‌ای بیشتر از داربست RLS است. بگونه‌ای که درصد نقص‌های قرار گرفته در سطح ریسک بالا در کلاسیک

بطور کلی نتایج نشان داد جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS می‌تواند بطور معناداری منجر به کاهش میانگین احتمال وقوع نقص، افزایش احتمال کشف نقص و کاهش شدت پیامدهای ناشی از نقص شود. نتایج ریسک محاسبه شده نیز نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS منجر به کاهش میانگین نمره RPN از ۸۱/۳۶ به ۶۷/۱۹ می‌شود.

جدول ۸ مقایسه توزیع نقص‌ها در سطوح مختلف ریسک

نوع داربست	سطح ریسک	تعداد	درصد	درصد صحیح	درصد تجمعی
داربست کلاسیک TCS	پایین	۱۴	۶۰/۹	۶۰/۹	۶۰/۹
	متوسط	۸	۳۴/۸	۳۴/۸	۹۵/۷
	بالا	۱	۴/۳	۴/۳	۱۰۰
داربست نوین RLS	پایین	۲۰	۵۵/۶	۵۵/۶	۵۵/۶
	متوسط	۱۱	۳۰/۶	۳۰/۶	۸۶/۱
	بالا	۵	۱۳/۹	۱۳/۹	۱۰۰

در ابتدای مطالعه حاضر با استفاده از نظرات خبرگان نقص‌های بالقوه دو نوع داربست مورد بررسی شناسایی و با استفاده از روش FMEA عوامل علی ایجادکننده نقص و پیامدهای نقص‌ها شناسایی و لیست گردید. خبرگان تعداد ۳۶ نقص بالقوه را برای ۱۵ جزء مستعد نقص در داربست کلاسیک TCS شناسایی کردند. اما تعداد نقص‌های بالقوه شناسایی شده و اجزاء مستعد نقص در داربست نوین RLS ۲۳ و ۱۰ عدد تعیین شد. عبارتی تعداد اجزاء مستعد نقص در داربست نوین RLS ۵ جزء کمتر از داربست کلاسیک TCS تعیین شد و ۱۳ نقص نیز تفاوت بین این ۲ نوع داربست بود. عبارتی، خبرگان حاضر در مطالعه اجزاء مستعد نقص و تعداد نقص در داربست نوین را کمتر از داربست‌های کلاسیک TCS بیان کردند. مهم‌ترین دلیل برای این نتایج ساختار مدولار داربست RLS است. داربست مدولار دارای تطبیق‌پذیری بالایی بوده و زمان مونتاژ را در مقایسه با سیستم‌های غیر مدولار (مانند داربست‌های کلاسیک TCS کاهش می‌دهد. سیستم‌های مدولار مانند داربست‌های RLS از استانداردهایی با نقاط اتصال ثابت تشکیل شده‌اند که با کمترین اجزاء، بالاترین کارایی را ایجاد می‌کنند. تمام اجزای اصلی داربست مدولار مانند استانداردها، دفترها، تراشه‌ها، عرشه‌ها و مورب‌ها دارای طول و عرض یکنواخت هستند و همین موضوع منجر به کاهش اجزاء مستعد نقص نسبت به داربست‌های کلاسیک TCS می‌گردد [۴۱]. در یک مطالعه Fang و همکاران نشان دادند که افزایش اجزاء و اتصالات در داربست می‌تواند منجر به افزایش نقص‌های بالقوه در آن شود. در مطالعه آنان مشخص شد که داربست کلاسیک TCS نسبت به داربست‌های سنتی بامبو (ساختارهای چوبی و اجزاء گسترده) عملکرد بهتری داشته و ایمن‌تر هستند [۴۲]. این نتایج منطبق با نتایج مطالعه حاضر است.

از جمله نتایج مطالعه حاضر تفاوت معنادار آماری بین میانگین نمره احتمال وقوع نقص و شدت پیامد نقص بین داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS بود. نتایج این بخش نشان داد که میانگین نمره این پارامترها در نقص‌های داربست کلاسیک TCS بطور معناداری بالاتر از داربست نوین است. عبارتی احتمال وقوع نقص و شدت پیامد در داربست نوین پایین‌تر از داربست فلز کلاسیک TCS ی بود و همین تفاوت نیز منجر

به پایین‌تر شدن میانگین نمره RPN نقص‌های داربست نوین نسبت به داربست کلاسیک TCS گردید. یکی از مهمترین دلایل در پایین‌تر بودن احتمال وقوع نقص در داربست‌های نوین RLS عدم استفاده از جوشکاری در اجزاء مختلف این سیستم است. مطالعات نشان داده است که چنین اتصالی سفتی و پایداری بیشتری را در مقایسه با سیستم‌های داربست با ساختارهای جوشکاری شده دارد [۴۱]. همچنین ساختار مدولار داربست‌های نوین نیز اثر مثبتی در افزایش سطح ایمنی داربست دارد. داربست‌های مدولار به دلیل ساختار منظم، شبکه‌ای و استاندارد که نسبت به داربست‌های غیرمدولار مانند داربست کلاسیک TCS دارند عموماً پایداری بسیار بالاتری داشته و تحمل بار آنها به حد مطلوبی افزایش یافته است. در این داربست‌ها با توجه به ساختار از پیش طراحی و ساخته شده، احتمال مونتاژ غیر ایمن و ایجاد ساختاری با تحمل بار پایین‌تر از حد طراحی اندک می‌باشد [۴۳]. اما در داربست‌های کلاسیک TCS، لوله‌های عمودی را می‌توان در هر فاصله‌ای از هم قرار داد. این سیستم‌ها دارای کوپلرهای متحرک می‌باشد که باعث می‌شود بتوان سیستم را در هر شرایطی تنظیم کرد و فواصل متفاوتی بین عناصر ایجاد کرد. اما در داربست RLS نصب کننده مجاز به استفاده از فواصل از پیش طراحی شده بوده و نمی‌تواند فواصل را بین لوله‌های عمودی و افقی تغییر دهد [۴۳، ۴۱]. با توجه به اینکه حداکثر فاصله بین لوله‌های استاندارد و لدر و ترازوم‌ها فقط با محدودیت‌های مهندسی محدود می‌شود، در بسیاری از موارد عدم رعایت این محاسبات مهندسی و استانداردهای فواصل نصب رعایت نشده و همین نکته بطور اساسی می‌تواند احتمال وقوع نقص و شدت پیامدهای ناشی از نقص‌ها را به شدت افزایش دهد. در یک مطالعه Borowa و همکاران نشان دادند که یکی از مهم‌ترین موارد در ایمنی داربست رعایت طرح‌های مهندسی هنگام برپایی داربست می‌باشد که عموماً در اکثریت پروژه‌های ساختمانی رعایت نمی‌گردد [۲۰].

بالاترین نمره عدد اولویت ریسک در داربست کلاسیک TCS به ترتیب برای نقص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه، نقص شکستگی هوک لنگرگاه، نقص پیچ و مهره کوپلر، نقص شکستگی بدنه کوپلر (RPN = 148.5) و لغزش و خزش صفحه زیرداربست تعیین شد. در داربست نوین نیز بالاترین نمره عدد اولویت ریسک به ترتیب برای نقص شکستگی یا برش در بدنه پین‌گوه‌ای، نقص برشی پیچ و مهره پین اتصال، نقص بهره‌برداری و نصب نادرست پین‌گوه‌ای، نقص شکستگی روزت طوقه پایه و ترک برداشتن روزت طوقه پایه تعیین شد. توجه به این نتایج نشان می‌دهد که بالاترین ریسک مربوط به اجزائی از داربست است که یا بعنوان پایه و محل قرارگیری پایه داربست مطرح هستند (مانند صفحه زیرداربست در داربست TCS و طوقه پایه در داربست RLS) و یا محل اتصالات لوله‌های افقی و عمودی داربست‌ها به یکدیگر یا محل اتصال داربست به سازه هستند (مانند هوک و پیچ چشمی لنگرگاه، پیچ و مهره و بدنه کوپلر یا بست‌ها در داربست کلاسیک TCS و بدنه و ساختار روزت‌ها و پین‌های گوه‌ای در داربست RLS). این نتایج هم راستا با دیگر مطالعات است. در مطالعه‌ای توسط Ibrahim و همکاران روی اجزاء مختلف داربست‌ها نشان داده شد که استفاده نادرست از گیره‌ها و اتصال دهنده‌ها مهم‌ترین عامل مؤثر در حوادث داربست‌ها بوده و این اجزاء از عناصر حیاتی داربست‌ها هستند [۴۴]. در دیگر مطالعه، Borowa و همکاران نشان دادند که با توجه به اتصال سری پایه‌های داربست ایجاد نقص در یکی از آنها منجر به تنش در کل ساختار داربست شده و یکی از مهم‌ترین وقایع در ایجاد



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



۹- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیانگر کارایی بالای داربست‌های نوین RLS در کاهش ریسک حوادث بویژه حوادث سقوط از ارتفاع و واژگونی داربست می‌باشد. علاوه بر اینکه تعداد نقص‌های بالقوه و اجزاء مستعد نقص در این داربست‌ها نسبت به داربست‌های کلاسیک TCS کمتر است، استفاده از این داربست‌ها به دلیل مزایایی که دارد می‌تواند منجر به کاهش احتمال وقوع نقص و شدت پیامد حوادث و متعاقباً کاهش عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده شود. بطور کلی می‌توان استنباط کرد که داربست نوین RLS به دلیل مزایایی همچون سهولت در مونتاژ و جداسازی، استحکام و پایداری، سازگاری بالا با انواع نیازها و کاربردها، کارایی فضا، سازگاری با محیط زیست، ویژگی‌های ایمنی بهتر و مقرون به صرفه بودن می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای داربست‌های کلاسیک TCS متداول در پروژه‌های ساختمانی باشد.

۱۰- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۱۱- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۱۲- مراجع

- [1] Darshi De Saram D, Tang S. Pain and suffering costs of persons in construction accidents: Hong Kong experience. *Construction management and economics*. 2005;23(6):645-58.
- [2] Hämäläinen P, Takala J, Saarela KL. Global estimates of occupational accidents. *Safety science*. 2006;44(2):137-56.
- [3] Anderson RD, Vastag G. Causal modeling alternatives in operations research: Overview and application. *European Journal of Operational Research*. 2004;156(1):92-109.
- [4] Elvik R. How much do road accidents cost the national economy? *Accident Analysis & Prevention*. 2000;32(6):849-51.
- [5] Shafique M, Rafiq M. An overview of construction occupational accidents in Hong Kong: A recent trend and future perspectives. *Applied Sciences*. 2019;9(10):2069.
- [6] Donaghy R. One death is too many: inquiry into the underlying causes of construction fatal accidents, Rita Donaghy's report to the Secretary of State for Work and Pensions: DERECHO INTERNACIONAL; 2009.
- [7] Im H-J, Kwon Y-J, Kim S-G, Kim Y-K, Ju Y-S, Lee H-P. The characteristics of fatal occupational injuries in Korea's construction industry, 1997-2004. *Safety Science*. 2009;47(8):1159-62.
- [8] Manu P, Ankrah N, Proverbs D, Suresh S. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation. *Safety Science*. 2010;48(6):687-92.
- [9] Hinze JW, Teizer J. Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety science*. 2011;49(5):709-18.
- [10] Azadeh A, Fam IM, Nouri J, Azadeh MA. Integrated health, safety, environment and ergonomics management system (HSEE-MS): An efficient substitution for conventional HSE-MS. 2008.
- [11] DANESHVAR M, SOLTANZADEH A, MOHAMMADI H, SOLTANZADEH A, AHMADIYAN N. Analysis of Construction Safety Risk in House Power of a Power Plant Based on Bow-Tie Technique. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2018;10(2):87-93.
- [12] Waehrer GM, Dong XS, Miller T, Haile E, Men Y. Costs of occupational injuries in construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention*. 2007;39(6):1258-66.

حوادث واژگونی داربست‌ها هستند. همچنین نشان دادند که نقص لنگرگاه داربست نیز بعنوان مهم‌ترین وقایع در ایجاد واژگونی داربست محسوب می‌شود و باید به آن توجه ویژه‌ای داشت [۴۵].

روش FMEA یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌ها برای ارزیابی ریسک سیستم‌های مهندسی است. با این حال، این روش بر اساس قضاوت کارشناسان است که به طور کلی حاوی عدم قطعیت قابل توجهی است. نظریه مجموعه‌های فازی^{۴۰} راه حلی برای کاهش چنین عدم قطعیتی است. تاکنون چندین مطالعه سعی کرده‌اند FMEA را با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی به روش‌های مختلف بهبود بخشند. به عنوان مثال، Kutlu و Ekmekçioglu از روش TOPSIS^{۴۱} فازی و AHP^{۴۲} فازی استفاده کردند [۴۶]. در دیگر مطالعه، Boral و همکاران از AHP فازی و MAIRCA^{۴۳} فازی استفاده کردند [۴۷]. همچنین Song و همکاران عدم قطعیت را با استفاده از TOPSIS فازی یکپارچه مبتنی بر وزن مدیریت استفاده کردند [۴۸]. با این حال، همه این مطالعات از نظریه کلاسیک مجموعه‌های فازی استفاده کردند، در حالی که در مطالعه حاضر از IFS استفاده شد. تحقیقات نشان داده است که IFS نسبت به نظریه مجموعه‌های فازی سنتی در مدیریت عدم قطعیت و ابهام قوی‌تر بوده و خروجی بهتری دارد [۳۹]. به نظر می‌رسد IFS گزینه بهتری برای حل مشکلاتی است که بر اساس تخصص و قضاوت انسانی صورت می‌گیرد [۴۹]. این روش فازی نه تنها توابع عضویت و غیرعضویت را در نظر می‌گیرد، بلکه تابع تردید را نیز در نظر می‌گیرد، که باعث می‌شود کمبود دانش در مورد درجه عضویت را درک کند [۴۳]. اکثر مطالعات از یک سری روش‌های MCDM^{۴۴} در کنار ابزارهای دیگر برای شناسایی عدم قطعیت‌ها در استفاده و اجرای FMEA استفاده کرده‌اند که روش‌شناسی آن‌ها را پیچیده و تا حدودی سخت می‌کند. این مطالعه از IFS برای جمع‌آوری و کمی‌سازی نظرات خبرگان استفاده کرد، بنابراین این روش می‌تواند با عدم قطعیت‌ها در فرآیند ارزیابی ریسک مقابله کند. علاوه بر این، مطالعات قبلی از روش‌های مختلفی، معمولاً TOPSIS یا Fuzzy TOPSIS، برای محاسبه RPN استفاده کرده‌اند. بر خلاف این مطالعات، ما از معادله اصلی برای محاسبه RPN استفاده کردیم تا روش‌شناسی پیچیده‌تر و زمان برتر نشود. در این مطالعه بجای استفاده از FMEA سنتی در تعیین ریسک نقص‌های بالقوه شناسایی شده در ۲ سیستم داربست‌بندی مورد بررسی، از روش IFS-FMEA استفاده شد که خود می‌تواند با کاهش عدم قطعیت منجر به خروجی واقع بینانه و دقیق‌تری گردد. ما از IFS در ادغام با FMEA برای ارزیابی ریسک داربست‌ها و تعیین اثر استفاده از داربست‌های نوین بر ریسک حوادث استفاده کردیم. با این حال، نسخه‌های جدیدتر توسعه‌یافته مجموعه‌های فازی مانند مجموعه فازی فیثاغورث (PFS)^{۴۵} نیز می‌توانند در این رابطه به کار گرفته شوند. به علت محدودیات زمانی در اجرای مطالعه، در این مطالعه نظرات تنها شش نفر از خبرگان شاغل در پروژه‌های عمرانی و ساختمان‌سازی جمع‌آوری شد. با توجه به اینکه داده‌های معتبری در مورد احتمال نقص قطعات داربست وجود ندارد، استفاده از کارشناسان ایمنی بیشتر از بخش‌های مختلف صنعت ساخت و ساز مانند معدن، پل‌سازی، جاده‌سازی و غیره می‌تواند به خروجی‌های قابل اعتمادتری منجر شود.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



- application for aircraft landing system. Safety science. 20۹۸:۱۱۳-۲۳:۱۷
- [37] Jiang W, Xie C, Wei B, Zhou D. A modified method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft turbine rotor blades. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016;8(4):1687814016644579.
- [38] Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. *International journal of electrical power & energy systems*. 2010;32(7):817-24.
- [39] Kabir S, Geok TK, Kumar M, Yazdi M, Hossain F. A method for temporal fault tree analysis using intuitionistic fuzzy set and expert elicitation. *IEEE access*. 2019;8:980-96.
- [40] Kolahdouzi M, Halvani GH, Abdehghah EN, Shendi MRA, Aval MY. Use of failure mode and effects analysis in improving safety: a case study in an oil company. 2017.
- [41] Viunov V. Comparison of scaffolding systems in Finland and in Russia [Bachelor's Thesis]. Russia: Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta; 2011.
- [42] Fang D, Shen Q, Wu S, Liu G. A comprehensive framework for assessing and selecting appropriate scaffolding based on analytic hierarchy process. *Journal of Safety Research*. 2003;34(5):589-96.
- [43] Pieńko M, Błazik-Borowa E. Experimental studies of ringlock scaffolding joint. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020;173:106265.
- [44] Quadri AI, Fadugba OG. Risk assessment and safety precautions for construction site scaffolding. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*. 2022;10(4):1-13.
- [45] Ewa B, Gery R, Wielgos P. The probability of a scaffolding failure on a construction site. January. 2021.
- [46] Kutlu AC, Ekmekçioglu M. Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert systems with applications*. 2012;39(1):61-7.
- [47] Boral S, Howard I, Chaturvedi SK, McKee K, Naikan VNA. An integrated approach for fuzzy failure modes and effects analysis using fuzzy AHP and fuzzy MAIRCA. *Engineering Failure Analysis*. 2020;108:104195.
- [48] Song W, Ming X, Wu Z, Zhu B. Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2013;26(12):1172-86.
- [49] Burillo P, Bustince H, Mohedano V, editors. Some definitions of intuitionistic fuzzy number. *First properties*1994: Sofia Bulgaria.
- [13] Ahmadi K, Rafieizonooz M. Investigation of safety factors through frequency and severity importance index in Iranian construction project. *Journal of Energy and Environmental Pollution*. 2020;1(1):18-28.
- [14] Nadhim EA, Hon C, Xia B, Stewart I, Fang D. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. *International journal of environmental research and public health*. 2016;13(7):638.
- [15] Newaz MT, Ershadi M, Carothers L, Jefferies M, Davis P. A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. *Safety science*. 2022;147:105618.
- [16] Hamdan N, Awang H. Safety scaffolding in the construction site. *Jurnal Teknologi*. 2015;75(5):26-31.
- [17] Min S-N, Subramaniam M, Park SJ, Lee K-S. Development of the fall prevention index on the movable scaffold for construction workers. *Work*. 2020;65(1):167-73.
- [18] Khan M, Khalid R, Anjum S, Tran SV-T, Park C. Fall prevention from scaffolding using computer vision and IoT-based monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2022;148(7):04022051.
- [19] Azizdin RA. *Safety of Scaffolding in Construction Site* [BSc]. Tronoh, Perak: Universiti Teknologi Petronas; 2006.
- [20] Błazik-Borowa E, Szer J. The analysis of the stages of scaffolding "life" with regard to the decrease in the hazard at building works. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2015;15(2):516-24.
- [21] Herber HL, Herber JN. *Teaching in Content Areas with Reading, Writing, and Reasoning*: ERIC; 1993.
- [22] Ismail HB, Ab Ghani KD. Potential hazards at the construction workplace due to temporary structures. *Procedia-Social and behavioral sciences*. 2012;49:168-74.
- [23] Chan DW, Cristofaro M, Nassereddine H, Yiu NS, Sarvari H. Perceptions of safety climate in construction projects between workers and managers/supervisors in the developing country of Iran. *Sustainability*. 2021;13(18):10398.
- [24] Ghasemi F, Mohammadfam I, Soltanian AR, Mahmoudi S, Zarei E. Surprising incentive: an instrument for promoting safety performance of construction employees. *Safety and health at work*. 2015;6(3):227-32.
- [25] Ishwarya GA, Rajkumar D. Analysis of ergonomic risk factors in construction industry. *Materials Today: Proceedings*. 2021;37:2415-8.
- [26] Jafari MJ, Gharari M, Ghafari M, Omid L, Kalantari S, Asadolah-Fardi G. The influence of safety training on safety climate factors in a construction site. *International journal of occupational hygiene*. 2014;6(2):81-7.
- [27] Mahmoudi S, Ghasemi F, Mohammadfam I, Soleimani E. Framework for continuous assessment and improvement of occupational health and safety issues in construction companies. *Safety and health at work*. 2014;5(3):125-30.
- [28] Mohammadian F, Sadeghi M, Hanifi SM, Noorzadeh N, Abedi K, Fazli Z. Modeling important factors on occupational accident severity factor in the construction industry using a combination of artificial neural network and genetic algorithm. *Work*. 2022;73(1):189-202.
- [29] Press D. *Guidelines for failure mode and effects analysis (FMEA), for automotive, aerospace, and general manufacturing industries*: CRC Press; 2003.
- [30] ul Hassan F, Nguyen T, Le T, Le C. Automated prioritization of construction project requirements using machine learning and fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *Automation in Construction*. 2023;154:105013.
- [31] Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and control*. 1965;8(3):338-53.
- [32] Atanassov KT. *On intuitionistic fuzzy sets theory*: Springer; 2012.
- [33] Xu Z, Liao H. Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process. *IEEE transactions on fuzzy systems*. 2013;22(4):749-61.
- [34] Szmidt E, Kacprzyk J. Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*. 2000;114(3):505-18.
- [35] Aliabadi MM. Human error analysis in furnace start-up operation using HEART under intuitionistic fuzzy environment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021;69:104372.
- [36] Yazdi M, Daneshvar S, Setareh H. An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA)

-
- ²⁴ Sleeve Coupler
²⁵ guardrail
²⁶ Toebord
²⁷ Anchoring
²⁸ base jack
²⁹ base collar
³⁰ Diagonal Brace
³¹ wedge pin
³² Steel Plank
³³ steel stair
³⁴ Failure Mode in Tube-Coupler Scaffolding
³⁵ Shearing failure
³⁶ fracture failure
³⁷ sliding and creep
³⁸ Failure to operate
³⁹ Failure Mode in Ring-Louck Scaffolding
⁴⁰ Fuzzy sets theory
⁴¹ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
⁴² Analytical Hierarchy Process
⁴³ Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis
⁴⁴ Multi-criteria decision-making
⁴⁵ Pythagorean fuzzy set
- ¹ World Health Organization
² International Labour Organization
³ Occupational Safety and Health Administration
⁴ Tube and clamp scaffold
⁵ Ring Lock Scaffolding
⁶ Rosette Connector
⁷ Ledger
⁸ Brace
⁹ Triangular Intuitionistic Fuzzy Sets
¹⁰ Probability
¹¹ Detectability
¹² Severity
¹³ Average Agreement
¹⁴ Relative Agreement
¹⁵ Consensus Degree
¹⁶ base plate
¹⁷ Standard
¹⁸ sole board/plate
¹⁹ Transom/putlog
²⁰ Internal Brace
²¹ External Brace
²² Coupler
²³ Joint Pin



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با
 استفاده از ارزیابی ریسک فازی

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects

Seyed Azim Hosseini

Associate Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran branch, Tehran, Iran

Mohammad Reza Hemmat Azad,

M.Sc., Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran branch, Tehran, Iran

*Corresponding author's email address:

s.az.hosseini.t@gmail.com

How to cite this article:

Seyed Azim Hosseini, Mohammad Reza Hemmat Azad, Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):24-32.

Abstract

Following communities development, the growth of construction industry has been very impressive. About one billion tons of waste produced annually by the European Union countries is related to the construction industry, and this industry has consumed more than 40% of global energy. Also, the construction industry is responsible for the production and emission of 40-50% of greenhouse gases. Therefore, the material and energy consumption, the production of waste materials and the pollutants emission should be identified and controlled. Today, life cycle assessment is accepted as one of the most reliable methods in investigating environmental effects and can introduce solutions in order to reduce the harmful effects of the environment by comparing different ways of producing or providing services. The main goal of this research is to review the important findings of the most reliable studies in the field of life cycle assessment knowledge in different sectors of the construction industry, which can be useful in organizing and describing the current conditions. Expressing the advantages, challenges and examining possible possibilities to solve them and providing suggestions for determining the implementation framework of life cycle assessment in the construction industry are other goals of this research. The results of this study show the positive effects of life cycle assessment in the sustainable development of the construction industry. Also, the exploitation stage has the greatest impact on the environment due to its longer duration. The dominant building materials also have a significant effect on energy consumption and global warming potentials of buildings.

Keywords

life cycle assessment, construction management, cost, energy, sustainable development

توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی

سید عظیم حسینی

دانشیار، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

محمد رضا همت آزاد

کارشناس ارشد، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

ارجاع به مقاله:

سید عظیم حسینی، محمد رضا همت آزاد، توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۲۴-۳۲.

چکیده

به دنبال توسعه جوامع، رشد صنعت ساختمان بسیار چشم‌گیر بوده است. مطابق گزارش‌ها، حدود یک میلیارد تن زباله تولیدی سالانه کشورهای اتحادیه اروپا، مربوط به صنعت ساختمان بوده و این صنعت بیش از ۴۰ درصد انرژی جهانی را مصرف کرده است. همچنین، صنعت ساختمان مسئول تولید و انتشار ۴۰-۵۰ درصد گازهای گلخانه‌ای است. بنابراین میزان مصرف ماده و انرژی، تولید مواد زائد و انتشار آلاینده‌ها از این صنعت بایستی شناسایی و کنترل شود. امروزه، ارزیابی چرخه حیات به عنوان یکی از قابل اعتمادترین روش‌ها در بررسی اثرات زیست‌محیطی پذیرفته شده و می‌تواند راه‌حلی را در راستای کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی با مقایسه راهکارهای مختلف تولید یا ارائه خدمات معرفی کند. هدف اصلی این تحقیق بررسی یافته‌های مهم معتبرترین مطالعات در زمینه نقش و تأثیر دانش ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت ساختمان است که می‌تواند در سازماندهی و توصیف شرایط فعلی مفید باشد. بیان مزیت‌ها، چالش‌ها و بررسی احتمالات ممکن برای حل آن‌ها و ارائه پیشنهاداتی برای تعیین چارچوب پیاده‌سازی ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان از دیگر اهداف این تحقیق است. نتایج این مطالعه اثرات مثبت ارزیابی چرخه حیات در توسعه پایدار صنعت ساختمان را نشان می‌دهد. همچنین، مرحله بهره‌برداری به دلیل طولانی‌تر بودن، بیشترین تأثیرات را بر محیط‌زیست دارد. مصالح غالب ساختمان نیز، تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی و پتانسیل‌های گرمایش جهانی ساختمان‌ها دارد.

کلمات کلیدی

ارزیابی چرخه حیات، مدیریت ساخت، هزینه، انرژی، توسعه پایدار

طی سال‌های اخیر، بسیار قابل توجه بوده است [۱، ۲]. این فعالیت‌ها شامل فازهای مختلف استخراج مواد اولیه از معادن، تولید مصالح، ساخت، استفاده، نگهداری و تخریب می‌شود. برای هر فاز مقدار زیادی ماده و انرژی مصرف شده و حجم قابل توجهی آلاینده تولید می‌شود

۱- مقدمه

یکی از اثرات مهم توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع، رشد صنعت ساخت است. از این رو، حجم فعالیت‌های صورت گرفته در این صنعت



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



[۳]. مطابق گزارش ارائه شده از سوی اتحادیه اروپا، حدود یک میلیارد تن زباله تولیدی سالانه کشورهای این اتحادیه، مربوط به صنعت ساخت است [۴]. همچنین، این صنعت بیش از ۴۰ درصد انرژی جهانی را مصرف کرده [۵] و مسئول تولید و انتشار ۵۰-۴۰ درصد گازهای گلخانه‌ای و گازهای مؤثر در باران‌های اسیدی در سراسر جهان است [۶]. سالانه حدود ۴۰ درصد مواد ورودی به اقتصاد جهانی و سه میلیون ماده خام در در این صنعت مصرف می‌شود [۷].

با این حجم مصرف بالای مواد و انرژی، تولید زباله و انتشار آلاینده‌ها، صنعت ساخت بیش از هر زمان دیگری نیازمند بهبود شاخص‌های پایداری (اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) خود به منظور کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی حاصل از آن است [۸]. بنابراین ضروری است تا مشخص شود چطور این میزان مصرف ماده و انرژی، تولید مواد زائد و انتشار آلاینده‌ها از این صنعت موجب بروز آسیب‌های محیط‌زیستی شده و می‌توانند کنترل شوند [۹]. به دلیل افزایش آگاهی از معضلات محیط‌زیستی و فشارهای وارده از سوی دولت‌ها و فعالان حوزه محیط‌زیست، تاکنون تحقیقات گسترده‌ای با هدف کاهش مصرف انرژی و تأثیرات محیط‌زیستی در صنعت ساخت انجام گرفته‌است [۱۰].

برای ارزیابی کاملی از تأثیرات مخرب محیط‌زیستی صنعت ساخت و بهینه‌سازی جنبه‌های مختلف پایداری در آن، از روش مؤثر ارزیابی چرخه حیات (LCA) استفاده شده و در سال‌های اخیر سهم قابل توجهی از تحقیقات در این حوزه را به خود اختصاص داده‌است [۱۱-۱۷]. ارزیابی چرخه حیات، ابزاری مفید و پذیرفته شده در بین محققین برای ارزیابی کمی تأثیرات محیط‌زیستی محصولات یا خدمات، طراحی اکولوژیکی و محاسبه مواد و انرژی مصرف شده در کل چرخه حیات آنها از استخراج مواد خام تا پردازش و تولید، استفاده و دورریز زائدات است [۱۸-۲۰]. ارزیابی چرخه حیات می‌تواند راه‌حلی را در راستای کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی با مقایسه راهکارهای مختلف تولید یا ارائه خدمات معرفی کند [۲۱]. بکارگیری LCA در کل چرخه حیات ساختمان می‌تواند ارزیابی سیستماتیک و هدفمندی از انواع تأثیرات اکولوژیکی این صنعت داشته باشد [۲۲]. در دهه‌های اخیر، سرعت رشد تحقیقات و مطالعات صورت گرفته در این حوزه بسیار قابل توجه بوده و از آغاز قرن ۲۱ این شیوه ارزیابی در کشورهای توسعه یافته در قالب چارچوب و استانداردهایی بکار گرفته شده‌است [۳، ۲۳]. با این وجود، برای دستیابی به مزایای LCA لازم است تا از این زمینه دانش به درستی استفاده کرد. بکارگیری LCA به همراه یک ارزیابی تحلیلی - محیط‌زیستی می‌تواند به طراحان، مهندسان و تصمیم‌گیرندگان در راستای کاهش مصرف انرژی و ماده و تأثیرات مخرب محیط‌زیستی کمک کند. بدون LCA، تمرکز اصلی احتمالاً بر روی هزینه‌های اولیه به جای مزایای کلی محیط‌زیستی خواهد بود [۲۴].

علی‌رغم تأثیر بالای ارزیابی چرخه حیات و نقش آن در اصلاح صنعت ساخت، هنوز مشکلاتی جدی در این مسیر وجود دارد که گسترش بکارگیری آن را در صنعت ساخت، با چالش‌های جدی روبرو کرده‌است [۲۵، ۲۶]. برای روشن کردن این چالش‌ها و شیوه‌های مقابله با آن‌ها، بررسی عمیقی در مطالعات انجام گرفته در این حوزه نیاز است؛ چراکه روش‌های ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها بسته به

نوع کاربری [۲۷]، مصالح بکاررفته [۲۸]، اندازه و محل ساخت [۲۹] تفاوت دارد. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی عمیقی از بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان است. بنابراین، این مطالعه به بیان وضعیت فعلی کاربرد LCA در انواع ساختمان‌ها (مسکونی و غیرمسکونی) با مصالح مختلف (بتنی، چوبی و فلزی) و در مراحل مختلف چرخه حیات آن‌ها (ساخت، بهره‌برداری و تخریب) می‌پردازد. بیان مزیت‌های بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌ها، چالش‌های موجود و بررسی احتمالات ممکن برای حل این معضلات از دیگر اهداف این مطالعه است.

در این مطالعه، به ارزیابی مطالعات مختلف انجام گرفته در بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در زیربخش‌های ساختمانی؛ مسکونی و غیرمسکونی، فازهای مختلف، مصالح بکاررفته (بتنی، چوبی و فلزی) و مراحل مختلف چرخه حیات (ساخت، بهره‌برداری و تخریب) پرداخته خواهد شد. سپس، چالش‌های موجود و بررسی احتمالات ممکن برای حل این معضلات در حوزه LCA در ساختمان‌ها بررسی خواهد شد. در نهایت، چارچوبی برای تصمیم‌گیرندگان و سرمایه‌گذاران در حوزه بکارگیری LCA در صنعت ساخت و پیشنهاداتی برای کارهای تحقیقاتی آینده با توجه به خلأ موجود، ارائه خواهد شد.

۱-۱ ارزیابی چرخه حیات (LCA)

ارزیابی چرخه حیات (LCA) روشی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیندها و محصولات (کالاها و خدمات) در طول چرخه زندگی آنها از گهواره تا گور است [۱۵]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی چرخه حیات به دلیل روش یکپارچه آن برای موضوعاتی مانند ارزیابی تأثیر و کیفیت داده‌ها به یک روش پرکاربرد تبدیل شده است. شرح روش ارزیابی چرخه حیات بر اساس استانداردهای بین‌المللی سری ISO 14040 است و شامل چهار مرحله تحلیلی متمایز شامل تعریف هدف و دامنه، ایجاد موجودی، ارزیابی تأثیر و در نهایت تفسیر نتایج است [۲۱]. در شکل ۱ ارتباط بین مراحل مختلف یک ارزیابی چرخه حیات آورده شده است.



شکل ۱- مراحل انجام ارزیابی چرخه حیات

۲- مواد و روش‌ها

ارزیابی انجام گرفته در این مطالعه بر مبنای مطالعات مرتبط، استانداردها و چارچوب‌های موجود انجام خواهد شد. در ابتدا مفاهیم اولیه ارزیابی چرخه حیات بررسی می‌شود. سپس امکان استفاده از

ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت ساخت و تأثیر آن در هر بخش ارزیابی می‌شود. دلیل تمرکز این مطالعه بر بکارگیری LCA در صنعت ساخت، پذیرش گسترده جامعه علمی و تحقیقاتی از LCA به عنوان ابزاری برای بهبود پایداری فرایندها و خدمات و نیز، ممانعت از تأثیرات منفی محیط‌زیستی و در نتیجه افزایش کیفیت زندگی و حفظ سلامتی بشر است.

از آنجاکه بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت، نیازمند اثبات مزایا و کاربردها و شناسایی چالش‌های عملیاتی است، این مطالعه با استفاده از یک بررسی عمیق و سیستماتیک به ارزیابی مقایسه‌ای رویکردهای مختلف بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف ساخت از مسیر نوع کاربری ساختمان، مصالح بکاررفته و مراحل مختلف طراحی تا تخریب آن می‌پردازد. در مسیر انجام تحقیق، ابتدا مطالعات مختلف مرور می‌شود تا مشخص شود مدیران و تصمیم‌گیرندگان این صنعت چگونه حاضر به پذیرش دانش LCA می‌شوند و چه عواملی در تحقق این کاربرد نقش خواهند داشت.

این مطالعه مروری بر اساس بررسی سیستماتیک مطالعات پیشین تا سال ۲۰۲۳ انجام گرفته است. علت انتخاب این روش، پیش‌روی براساس معیارهای خاصی است که در نتیجه مقالات مرتبط راز میان بسیاری مقالات منتشر شده در حوزه صنعت ساخت، فیلتر می‌کند. به همین منظور در ابتدا دستورالعمل تحقیقاتی برای تعیین ساختار و معیارهای انجام بررسی سیستماتیک مطالعات مطابق جدول ۱ تهیه شد. پایگاه داده Science of Direct، به دلیل انتشار مقالات متعدد با گستردگی مناسب برای این مطالعه در نظر گرفته شد. گزینش مقالات در دو دور انجام شد. در مرحله اول، جست و جوی کلمات کلیدی ارزیابی چرخه حیات (LCA) و صنعت ساخت یک نمای کلی از تحقیقات در حوزه مطالعاتی را مشخص کرد. سپس در مرحله دوم، مقالات مرتبط با ادغام دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت جهت شناسایی تغییرات سطح دانش در این حوزه، وضعیت فعلی، امکان توسعه LCA در صنعت ساخت، مراحل و فاکتورهای مؤثر در این مسیر گزینش نهایی شدند. یافته‌های گزارش شده در این مقاله مبتنی بر تحلیل کیفی است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی چرخه حیات انواع ساختمان‌ها

در این بخش به بررسی مهم‌ترین مطالعات ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱- ساختمان‌های مسکونی

آدالبرث و همکاران [۲۹] در مطالعه خود به بررسی مراحل مختلف چرخه حیات چهار ساختمان با طول عمر ۵۰ سال، یافتن مرحله‌ای از چرخه حیات که بیشترین تأثیر زیست‌محیطی را دارد و ارزیابی وجود تفاوت در تأثیرات زیست‌محیطی به دلیل انتخاب نوع ساخت‌وساز پرداختند. براساس بررسی‌های انجام‌شده، مقدار انرژی مصرفی ۶۴۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در طول ۵۰ سال محاسبه

شده است. فاز تجهیز به تنهایی حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از کل اثرات زیست‌محیطی یک ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین انتخاب گزینه‌های ساخت‌وساز و تأسیساتی که اثرات زیست‌محیطی کمتری در مرحله تجهیز آن دارند، بسیار مهم است.

آرپک و هاتزلر [۳۰] از تکنیک‌های ارزیابی چرخه حیات و تحلیل هزینه چرخه حیات (LCC) برای مطالعه مصرف آب در ساختمان‌های مسکونی در کلمبیا و آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان داد، استفاده از گاز طبیعی به جای برق برای گرمایش آب باید انجام شود، زیرا با استفاده از گاز طبیعی برای گرم کردن آب به عنوان جایگزین برق، ۸۰۰۰۰ دلار صرفه‌جویی در هزینه‌ها صورت می‌گیرد.

نورمن و همکاران [۳۱] ساختمان‌های پرجمعیت و کم‌جمعیت را از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تورنتو (کانادا) مقایسه کردند. در این مطالعه، دو واحد عملکردی مساحت زندگی (به ازای هر مترمربع) و تعداد نفر در یک خانه (بر اساس سرانه) انتخاب شد. تنظیم فهرست چرخه حیات در این مطالعه، بر اساس ورودی- خروجی اقتصادی برای برآورد اثرات زیست‌محیطی تولید مواد لازم برای ساخت، انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انتشار انرژی و گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید مواد در سراسر زنجیره تأمین برای مطالعه موردی با چگالی پایین، تقریباً ۱/۵ برابر بیشتر از مطالعه موردی با چگالی بالا بر اساس سرانه بود. همچنین، سناریوی توسعه با چگالی بالا اگر برای واحد مسکونی در نظر گرفته شود، ۱/۲۵ برابر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، فشرده‌تر از چگالی کم می‌شود. همچنین، آجر و بتن در مجموع ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل انرژی و اثرات GHG مربوط به تولید را برای مطالعات موردی چگالی کم و بالا تشکیل می‌دهند.

گوگموس و هوروات [۳۲] اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌های اسکلت فلزی و بتنی را با استفاده از LCA مقایسه کردند. در این مطالعه، دو ساختمان پنج طبقه با مساحت ۴۴۰۰ متر مربع و طول عمر مفید ۵۰ سال در نظر گرفته شد. در این مطالعه از دو روش LCA مبتنی بر فرآیند و EIO-LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات هر ساختمان در مراحل مختلف ساخت مصالح، ساخت، استفاده، نگهداری و تخریب استفاده شد. نتایج نشان داد که اسکلت بتنی به دلیل فرآیند نصب طولانی‌تر، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری دارد.

بلینگینی [۳۳] ارزیابی چرخه حیات ساختمانی در تورین (ایتالیا) را انجام داد که در سال ۲۰۰۴ توسط انفجار کنترل‌شده، تخریب شد. واحد عملکردی در این مطالعه یک مترمربع مساحت خالص کف، در یک دوره ۱ ساله در نظر گرفته شد. در این مطالعه فاز تخریب و پتانسیل بازیافت آن بررسی شد. نتایج نشان داد که بازیافت زباله‌های ساختمانی نه تنها از نظر اقتصادی امکان‌پذیر و سودآور است، بلکه از نظر انرژی و محیط‌زیست نیز پایدار است.

۳-۱-۲- ساختمان‌های غیرمسکونی

جانایلا و هورواس [۳۴] جنبه‌های زیست‌محیطی مهم یک ساختمان اداری جدید را در جنوب فنلاند با طول عمر بیش از ۵۰ سال و واحد عملکردی یک کیلووات ساعت بر مترمربع در سال مطالعه کردند.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



ارزیابی چرخه حیات در این مطالعه دارای سه مرحله اصلی بود که عبارتند از تجزیه و تحلیل موجودی برای کمی‌سازی انتشار و ضایعات، ارزیابی تأثیر برای بررسی اثرات بالقوه زیست‌محیطی حاصل از انتشار آلاینده‌ها و ضایعات تولیدی، و مرحله تفسیر برای معرفی مهم‌ترین اثرات. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تأثیرات مربوط به مصرف برق و ساخت مصالح ساختمانی بوده است. به ویژه، برق مورد استفاده در روشنایی، سیستم‌های HVAC، انتقال حرارت از طریق سازه‌ها، تعمیر و نگهداری فولاد، بتن و رنگ و مدیریت ضایعات اداری به عنوان مهم‌ترین جنبه‌ها شناسایی شدند. انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز ۴۸۰۰۰ تن CO2 معادل به ازای هر مترمربع در ۵۰ سال در برآورد شد.

جدول ۱ دستورالعمل روش تحقیق کاربردی

هدف	هدف اصلی
ارزیابی عمیقی از بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت	مفاهیم ارزیابی چرخه حیات و روش‌های انجام آن ارائه تصویری مشخص از وضعیت فعلی بکارگیری LCA در صنعت ساخت و بیان چالش‌ها امکان استفاده از ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت و بررسی تأثیر آن در هر بخش تعیین شکاف مطالعاتی موجود به عنوان نقطه آغازین توسعه LCA در صنعت ساخت معرفی پتانسیل‌های تحقیقاتی آینده در حوزه LCA
سوالات تحقیق	چگونه می‌توان کاربرد دانش ارزیابی چرخه حیات را در صنعت ساخت توسعه داد؟ وضعیت فعلی بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت چگونه است؟ چه مراحل برای توسعه بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت بایستی طی شود؟ چه فاکتورهایی در مسیر این توسعه مؤثر است؟
منابع تحقیق	Scopus; Web of Science; Science of Direct
معیارهای انتخاب	کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه حیات (LCA); صنعت ساخت
سال انتشار	تا سال ۲۰۲۳
نوع انتشار	مقالات تحقیقاتی؛ مقالات مروری
زبان مقالات	انگلیسی، فارسی
روش تحقیق	استخراج داده‌ها
نوع آنالیز	دسته بندی مطالعات یافت‌شده به منظور ردیابی مقالات و بررسی وضعیت بر اساس پروتکل ارزیابی کیفی و طبقه بندی معتبرترین مقالات و استانداردهای منتشرشده تا سال ۲۰۲۳ تحلیل کتاب‌سنجی: موقعیت جغرافیایی مطالعات، سال انتشار، محدوده مطالعاتی، روش‌شناسی بکاررفته تحلیل موضوعی: نوع ساختمان، تمرکز تحقیق، افراد، فرآیند یا فناوری اطلاعات، شرح یافته‌ها، نتایج و روابط

ریچمان و همکاران [۳۵] ارزیابی چرخه حیات را برای ساختمان‌های سردخانه در آمریکای شمالی انجام دادند. آنها مقدار عایق RSI را به عنوان واحد عملکردی در نظر گرفتند. این تحقیق برآورد میانگین نیاز به عایق سقف در ساختمان‌های سردخانه مدرن را بررسی کرده و هر دو جنبه زیست‌محیطی و اقتصادی را در نظر گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نیاز به بهبود سطح عایق وجود دارد. بسته به شرایط آب و هوایی، عایق RSI-8.45 تا RSI-9.86 در آب و هوای سرد و عایق RSI-9.86 تا RSI-11.27 در آب و هوای گرم استفاده شود.

اسچوئر و همکاران [۳۶] ارزیابی چرخه حیات را در یک ساختمان شش طبقه به مساحت ۷۲۰۰ متر مربع در میشیگان، ایالات متحده انجام دادند که عمر پیش‌بینی شده آن ۷۵ سال در نظر گرفته شد. فرایند ارزیابی مطابق با EPA (اژانس حفاظت از محیط‌زیست)، SETAC (انجمن سمیت محیطی و شیمی)، و استانداردهای ISO انجام شد. بیشتر داده‌ها از پایگاه داده DEAMTM و سایر داده‌های تولید مواد از پایگاه داده‌های آژانس محیط‌زیست، جنگل‌ها و چشم‌انداز سوئیس، نرم‌افزار SimaPro و گزارشات اتحادیه‌های فرانکلین گرفته شد. نتایج نشان داد، شدت انرژی اولیه در ساختمان‌ها، مطابق ارزیابی چرخه حیات ۳۱۶ گیگاژول به ازای هر مترمربع برآورد می‌شود. همچنین، تهویه مطبوع و برق به تنهایی ۹۴/۴ درصد از مصرف انرژی اولیه را تشکیل می‌دهند. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی عملکرد فاز ساخت باید تأکید اولیه برای طراحی باشد، زیرا در تمام معیارها، فاز عملیات به تنهایی بیش از ۸۳ درصد از کل بار محیطی را به خود اختصاص داده است.

کفورالا و ژبوولا [۳۷] ارزیابی چرخه حیات را برای یک ساختمان اداری ۳۸ طبقه در منطقه تجاری مرکزی بانکوک تایلند با برآورد عمر مفید آن ۵۰ سال انجام دادند. واحد عملکردی برای این مطالعه ۶۰۰۰۰ مترمربع زیربنای ناخالص ساختمان در نظر گرفته شد. دو روش ارزیابی چرخه حیات مبتنی بر فرآیند و EIO-LCA در این مطالعه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که فولاد و بتن مهم‌ترین مواد، هم از نظر مقادیر مورد استفاده و هم از نظر اثرات زیست‌محیطی مرتبط در مرحله ساخت بودند. همچنین تأثیرات زیست‌محیطی چرخه حیات ساختمان‌های تجاری تحت تأثیر مرحله بهره‌برداری قرار می‌گیرد که به ترتیب ۵۲ درصد از کل گرمایش کره زمین، ۶۶ درصد از اسیدی‌شدن و ۷۱ درصد از کل پتانسیل تشکیل فوتواکسیدان را تشکیل می‌دهد.

آرنا و روزا [۳۸] ارزیابی چرخه حیات را برای ساختمان مدرسه روستایی در آرژانتین با طول عمر ساختمان ۵۰ سال، در نظر گرفتند و به مقایسه فناوری‌های مختلف ساختمانی برای دستیابی به آسایش حرارتی با حداقل مصرف انرژی فسیلی، انجام دادند. در این مطالعه یک روش ساده ارزیابی استفاده و تنها مراحل ساخت‌وساز و بهره‌برداری در نظر گرفته شد. برای تمام محاسبات مربوط به موجودی، ارزیابی تأثیر و مراحل عادی‌سازی از پایگاه داده SBID (انجمن طراحی داخلی بریتانیا) استفاده شد. صرفه‌جویی انرژی سالانه و صرفه‌جویی انرژی جهانی (برای ۵۰ سال) محاسبه و نشان داد که صرفه‌جویی انرژی سالانه در مرحله استفاده ۵۳۰۷/۵ مگا ژول در سال



و صرفه‌جویی انرژی جهانی برای طول عمر ۵۰ سال ۲۶۵۳۷۴/۵ مگا ژول در سال است.

نیکلسون و اوگرسال [۳۹] مطالعه‌ای را با هدف ارائه توجیه کمی اثرات زیست‌محیطی چرخه عمر ساخت خانه‌های سنتی در مقایسه با خانه‌های با مصرف انرژی کارآمد انجام دادند. هدف این مطالعه ارائه توصیه‌هایی جهت مصرف انرژی در طول بهره‌برداری، انتخاب مصالح و شیوه‌های بهره‌برداری بود. از طریق این فرآیند، اثرات زیست‌محیطی هر خانه کمی‌سازی شده و از نظر مراحل چرخه حیات و مصالح مقایسه می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از ارتقاء انرژی است. کارآمدترین خانه ارزیابی‌شده، خانه انرژی خالص صفر است که با استفاده از ماژول‌های PV برق تولید می‌کند و به طور متوسط ۹۶ درصد اثرات زیست‌محیطی کمتری نسبت به خانه سنتی در بین همه ۹ گروه تأثیر زیست‌محیطی دارد.

۳-۲ ارزیابی چرخه حیات فازهای مختلف ساختمانی

فازهای مختلف یک ساختمان می‌توانند بر اساس فرآیندی که در طول چرخه حیات آن دخیل هستند، مجزا از هم بررسی شوند. مطابق نتایج اکثر مطالعات، فاز بهره‌برداری ساختمان‌ها به دلیل طولانی بودن مدت‌زمان آن، در بروز بیشترین تأثیرات زیست‌محیطی نقش داشته است. کفورالا و ژبوالا [۴۰] بیان کردند که فاز بهره‌برداری یک ساختمان اداری ۶۰۰۰۰ مترمربعی در تایلند در طول ۵۰ سال، ۸۱ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. میتراواتنه و واله [۴۱] مقایسه‌ای از سه نوع ساخت‌وساز ساختمان مسکونی در نیوزیلند شامل ساخت سبک، ساخت بتنی و ساخت عایق انجام دادند و بیان کردند که فاز استفاده از آن‌ها به ترتیب ۷۴، ۷۱ و ۵۷ درصد سهم انتشار برای یک چرخه حیات ۱۰۰ ساله داشته است. یک تحقیق مقایسه‌ای بر روی خانه‌ای با مصرف انرژی کم و خانه‌ای با مصرف انرژی استاندارد در ایتالیا انجام شد. تحقیقات نشان می‌دهد که فاز بهره‌برداری در خانه‌های استاندارد بیش از ۸۰ درصد، و در خانه‌های کم انرژی کمتر از ۵۰ درصد مصرف کل انرژی، سهم داشته است.

تحقیقی که توسط اسپوئر و همکاران [۳۶] بر روی ساختمان جدید دانشگاهی در میشیگان، ایالات متحده انجام شد، مشخص کرد که فاز بهره‌برداری ساختمان ۹۴/۴ درصد از کل مصرف انرژی را تشکیل می‌دهد. Ding [42] تجزیه و تحلیل انرژی چرخه حیات ۲۰ مدرسه متوسطه در استرالیا را به مدت ۶۰ سال انجام داد و پیشنهاد کرد که انرژی مصرفی در فاز استفاده از ساختمان ۶۲ درصد در مقایسه با ۳۸ درصد در مرحله ساخت است.

وان و ژو [۴۳] ارزیابی چرخه حیات را در پنج ساختمان یک طبقه در کانادا به مدت ۵۰ سال انجام دادند و نتیجه گرفتند که گرمایش فضا بیشترین انرژی را در مرحله بهره‌برداری ساختمان مصرف می‌کند (۴۲ درصد) و پس از آن روشنایی (۳۷ درصد) و فن‌های تهویه (۷ درصد)، سرمایش فضا (۶ درصد) و تجهیزات متفرقه (۶ درصد). همچنین مطالعات دیگری وجود دارد که بیان می‌کنند گرمایش بزرگترین مصرف‌کننده انرژی است.

۳-۳ ارزیابی چرخه حیات انتخاب نوع مصالح

انتخاب مصالح ساختمانی ارتباط نزدیکی با کل انرژی مصرفی ساختمان در طول ساخت، بهره‌برداری و پتانسیل بازیافت یا استفاده مجدد دارد. پتانسیل بازیافت مصالح ساختمانی می‌تواند انرژی مصرفی آن را کاهش دهد. به عنوان نمونه، یک ساختمان آپارتمانی در سوئد برای طول عمر ۵۰ سال [۴۴] به لحاظ مصرف انرژی تجزیه و تحلیل شد و نشان داد که پتانسیل بازیافت می‌تواند تا ۱۵ درصد از کل انرژی مصرف شده را بازیابی کند.

آسیف و همکاران [۴۵] مشخص کردند که بتن ۶۱ درصد از مصرف انرژی اولیه را تشکیل می‌دهد و پس از آن چوب (۱۳ درصد) و سرامیک (۱۴ درصد) برای یک ساختمان مسکونی در اسکاتلند قرار دارند. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که بتن خود انرژی مصرفی اولیه کمتری دارد، اما میزان بتن مورد استفاده در ساختمان بسیار زیاد است و بنابراین بالاترین سهم مصرف انرژی را در اختیار خواهد داشت. با این حال این تحقیق فقط برای مرحله قبل از استفاده و نه چرخه حیات ساختمان انجام شده است. برخی از مطالعات نشان دادند که مصالح ساختمانی با انرژی مصرفی اولیه کم لزوماً مصرف انرژی کمتری در کل چرخه حیات ندارند [۴۶، ۴۷].

در مطالعه [۴۱] سه ساختمان مسکونی با طراحی یکسان با استفاده از ارزیابی چرخه حیات با مواد اصلی مختلف یعنی چوب، بتن و عایق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ساختمان‌های بتنی و فوق عایق شده به ترتیب ۸ و ۱۴ درصد انرژی مصرفی اولیه بالاتری نسبت به ساختمان‌های سبک دارند. هر دو ساختمان بتنی و فوق عایق نشان می‌دهند که انرژی چرخه حیات آن‌ها به ترتیب ۵٪ و ۳۱٪ کمتر از ساختمان‌های سبک هستند.

تحقیقات اخیر همچنین نشان می‌دهد که ساختمان‌های مسکونی با استفاده از فرم بتن عایق (ICF) در ایالات متحده در طول چرخه حیات خود در مقایسه با خانه‌های چوبی سبک با طراحی مشابه کارآمدتر هستند [۴۸]. از سوی دیگر، ساختمان‌ها در مناطق اقلیم گرمسیری یافته‌های متفاوتی دارند. محصولات مبتنی بر خاک رس به عنوان جایگزین بهتری برای محصولات مبتنی بر سیمان شناخته شده‌اند. Gheewala و Utama [46] به این نتیجه رسیدند که یک ساختمان مسکونی منتخب در اندونزی با کاشی‌های سقف شنی با آجر سفالی، مصرف انرژی چرخه حیات بهتری نسبت به آجرهای پایه سیمانی و کاشی‌های سقف دارد، زیرا انتقال حرارتی کمتری داشته و در نتیجه اثر خنک‌کنندگی هوا حفظ می‌شود. تحقیق دیگری ادعا می‌کند که آپارتمان مسکونی بلندمرتبه با دیوارهای آجری خارجی، دیوارهای گچی در داخل و شکاف هوا در بین آنها انرژی چرخه زندگی کمتری در مقایسه با دیوار آجری تک سفالی تا ۵۹ درصد دارند. لویز و همکاران [۵۲] یک تحقیق ارزیابی چرخه حیات برای دو ساختمان مسکونی هفت طبقه با مصالح بتنی مشابه، اما روش‌های ساخت متفاوت انجام دادند. مزیت سیستم بتنی پیش‌ساخته این است که دارای دهانه طولانی‌تر بین تیرها است و بنابراین پایه‌های شنی ستون را کاهش می‌دهد که همچنین کل بتن مصرفی در ساختمان را کاهش می‌دهد.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



لی و همکاران [۴۹] مطالعه ای را در زمینه امکان‌سنجی کاربرد الوار و مزایای بالقوه آن به عنوان مصالح ساختمانی در بخش‌هایی از ساختمان بلندمرتبه واقع در استرالیا انجام دادند. برای این منظور یک ساختمان ۴۳ طبقه فرضی در نظر گرفته شد تا با مطالعات موجود قابل مقایسه باشد. در این مطالعه، سه سناریو با نسبت متفاوت چوب در نظر گرفته شد. مطالعات پارامتریک متعاقباً بر روی تأثیر مصالح، اندازه و شکل عناصر سازه ای بر عملکرد ساختمان انجام شد. مشخص شد که در سایت انتخاب شده، استفاده از الوار برای ساخت بخش‌های داخلی ساختمان‌های بلند، بهترین راه‌حل را از نظر مزایای ساختاری و زیست‌محیطی ارائه می‌کند.

کونگ و همکاران [۵۰] مطالعه‌ای را برای تعیین چگونگی استفاده از مواد بازیافتی به جای مواد بکر برای انتقال انرژی ساختمان‌ها انجام دادند. در این مطالعه، LCA برای تخمین مصرف انرژی چرخه حیات و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان‌ها با و بدون استفاده از مواد بازیافتی استفاده شد. برای مطالعه موردی، یک ساختمان عمومی و چهار سیستم فتوولتائیک (PV) انتخاب شد. به دلیل شدت کربن بالای انرژی عملیاتی و مصالح ساختمانی، استفاده از مواد بازیافتی باعث کاهش مصرف انرژی در چرخه زندگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان به میزان ۴/۹ درصد و ۳/۳ درصد شد.

در میان چهار سیستم PV، استفاده از مواد بازیافتی در سیستم PV تک کریستالی-سیلیکون (sc-Si)، کاهش ۴۴٫۵ درصدی مصرف انرژی و ۴۱٫۳ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشترین اهمیت را داشت. بنابراین، هنگامی که از مواد بازیافتی برای دستیابی به انتقال انرژی ساختمان مورد با سیستم sc-Si استفاده می‌شود، نیازهای سیستم PV را می‌توان حداکثر تا ۹/۶ درصد برای بازپرداخت انرژی و ۴/۹ درصد برای انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش داد. این مطالعه نشان داد که استفاده از مواد بازیافتی در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای سیستم‌های PV و همچنین ساختمان‌ها مؤثر است.

۳-۴-۳ ارزیابی چرخه حیات بخش‌های مختلف صنعت ساختمان

در ادامه نتایج مهم‌ترین بخش‌های تأثیرگذار در صنعت ساختمان که ارزیابی چرخه حیات در آنها انجام گرفته، شامل مباحث انرژی و کربن، مصالح ساختمانی، پایداری، تکنولوژی و هزینه آورده شده است.

۳-۴-۱ انرژی و کربن

انرژی در کلیه مراحل از استخراج مواد اولیه تا بهره‌برداری و تخریب ساختمان‌ها، ورودی ضروری در طول عمر ساختمان است و نقش حیاتی در عملکرد آن ایفا می‌کند. انتشار آلاینده‌های مختلف به آب، خاک و هوا در مراحل تولید و مصرف انرژی اثراتی بر محیط‌زیست وارد می‌کند [۳۷]. با این توضیحات، بدون شک مصرف انرژی مهم‌ترین موضوع در بحث ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها است که لزوم بحث بیشتر در مورد آن وجود دارد. تغییرات رشد موضوعات تحقیقاتی مربوط به ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌ها در طول

سال‌های اخیر نشان می‌دهد، بحث انرژی با سریع‌ترین نرخ رشد بین سایر موضوعات پیش‌تاز بوده است. نتایج مطالعات نشان داده است، بهبود بهره‌وری انرژی و جایگزینی انرژی اولیه با انرژی‌های تجدیدپذیر به کاهش انتشار کربن، تشدید اثر گلخانه‌ای و در نهایت گرمایش جهانی کمک می‌کند.

۳-۴-۲ مواد و مصالح ساختمانی

از نظر حجم استفاده، عمده مصالح ساختمانی شامل ماسه، سیمان، بتن، الوار، آجر و فولاد هستند [۵۱]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که مصرف مصالح اثرات قابل توجهی بر محیط‌زیست دارد و بنابراین، انتخاب مصالح مناسب و مصرف بهینه آن‌ها می‌تواند این اثرات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. مطابق نتایج تحقیقات، مصرف بتنی بیشترین افزایش را داشته است.

مصالح ساختمانی ارتباط نزدیکی با انرژی مصرفی در ساختمان‌ها دارند که شامل انرژی مصرف‌شده در ساخت مصالح ساختمانی، انرژی مصرفی جهت حمل‌ونقل مواد و تأثیر آن‌ها بر ایجاد تعادل در گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌شود. از طرف دیگر، می‌توان تلاش‌هایی برای کاهش حجم بتن مصرفی با استفاده از بتن با مقاومت بالا انجام داد. با افزایش عمر بهره‌برداری ساختمان، انتشار CO2 ساختمان‌های بتنی با استحکام بالا کمتر از ساختمان‌های بتنی با مقاومت عمومی است [۵۲].

۳-۴-۳ پایداری

ساختمان‌های پایدار باید رویکردی سه‌گانه داشته باشد که در آن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در طول کل چرخه حیات ساختمان‌ها در نظر گرفته شود [۵۳]. دستیابی به یک ساختمان پایدار با کارایی بالا و تأثیر کم زیست‌محیطی را می‌توان از جنبه‌های بسیاری از جمله مصالح پایدار، عملیات پایدار، خدمات پایدار و مصرف پایدار به معنای گنجاندن اصول پایداری در هر قسمت از ساختمان محقق کرد.

کوران [۵۴] بیان کرد که مناسب‌ترین روش برای ارزیابی کل‌نگر، مطالعه سیستماتیک چرخه حیات (تولید مواد، فرآیندهای ساخت‌وساز، استفاده، نگهداری، نوسازی و پایان عمر ساختمان) و اثرات زیست‌محیطی زنجیره تأمین آن است. محصولات، فرآیندها و خدمات در نتیجه انجام ارزیابی چرخه حیات ملزم به ترویج بهترین روش‌های عملی برای ارزیابی، تجزیه و تحلیل و بررسی چرخه حیات ساخت‌وساز برای جلوگیری از اثرات زیست‌محیطی و کمک به اجرای تکنیک‌های مهندسی ساختمان‌ها است.

۳-۴-۴ تکنولوژی

فناوری ابزار مهمی برای دستیابی به ساختمان پایدار است. فناوری حرارتی از نظر روند رشد فناوری‌های اصلی پیش‌تاز شده است. عایق حرارتی یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها است [۵۵]. کاربرد عایق حرارتی مناسب در ساختمان‌ها به کاهش مصرف انرژی و نتیجه مطلوب صرفه‌جویی در سوخت



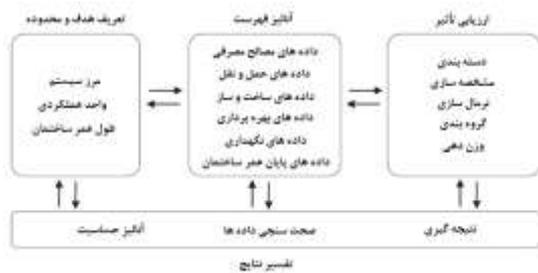
9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی





شکل ۲- چارچوب ارزیابی چرخه حیات برای صنعت ساختمان

۴- نتیجه گیری

در این بخش، مهم ترین نتایج بدست آمده در این مطالعه بیان می شود: - بررسی ها نشان می دهد، دانش ارزیابی چرخه حیات به عنوان قابل اعتمادترین تکنیک در ارزیابی اثرات زیست محیطی صنعت ساختمان پذیرفته شده و کاربرد آن در ساختمان های جدید برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار بسیار ارزشمند است.

- بررسی مطالعات مختلف نشان داد که فاز بهره برداری ساختمان در مقایسه با سایر فازهای چرخه حیات ساختمان، بیشترین مصرف انرژی را دارد. برای چرخه حیات کلی یک ساختمان، اثرات فاز ساخت و ساز نسبتاً کمتر است و به میزان ۱۱ - ۰/۴ درصد برآورد می شود. در طول فاز عملیاتی، حداکثر انرژی مصرف شده و همچنین انتشار گازهای گلخانه ای نیز حداکثر است که میزان آن ۸۵ - ۸۰ درصد از کل مصرف انرژی و انتشار برآورد می شود.

- بررسی مطالعات نشان می دهد که مصالح غالب ساختمان نیز تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی و پتانسیل های گرمایش جهانی ساختمان ها دارد. به عنوان مثال، سازه های بتنی و فولادی در مقایسه با سازه های چوبی تمایل بیشتری به مصرف انرژی دارند. در حالی که سازه های بتنی پیش ساخته دارای پتانسیل قابل توجهی در کاهش انرژی مورد نیاز عملیاتی در مقایسه با سازه های بتنی متداول هستند، سازه های چوبی پیش ساخته از نظر پتانسیل صرفه جویی در انرژی و کاهش انتشار، مطلوب ترین گزینه به نظر می رسد. همچنین، مصالح ساختمانی با انرژی مصرفی اولیه کم لزوماً انرژی چرخه حیات پایینی ندارند.

- نتایج بررسی های انجام شده در این مطالعه نشان داد که ساختمان های تجاری در مقایسه با ساختمان های مسکونی تأثیر بیشتری بر محیط زیست دارند. همچنین مصرف انرژی ساختمان های تجاری نسبت به ساختمان های مسکونی بیشتر است.

- در حالی که مطالعات گسترده و جامعی در این زمینه صورت گرفته است، نبود یکنواختی در روش تحقیق متناسب با اهداف، دامنه و محدودیت های خاص و تنوع گسترده در پارامترهای قابل بررسی، رسیدن به نتایج قطعی و قابلیت قیاس بین نتایج را دشوار می کند. بنابراین، نیاز به روش استاندارد به منظور ایجاد یک پایگاه داده قوی وجود دارد.

- فقدان داده های اولیه محلی برای ساختمان ها در مناطق مختلف، پتانسیل عدم قطعیت قابل توجهی را در نتایج کمی روشن می کند، که این جنبه در اکثر مطالعات به اندازه کافی در نظر گرفته نشده است. بنابراین، مطالعات ارزیابی چرخه حیات در ساختمان ها بایستی

فسیلی و همچنین مزایای دیگری مانند رفع مشکلات تراکم و تشکیل قالب در سطوح داخلی دیوارها کمک می کند [۵۶]. علاوه بر این، بر اساس انتخاب مواد عایق مناسب و همچنین تفکیک ضخامت عایق بهینه، نقطه بهینه برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در کل طول عمر و حفظ حداقل سرمایه گذاری برای عایق در همان زمان وجود دارد.

۳-۴-۵ هزینه

انواع مختلفی از هزینه های ساختمان در مراحل چرخه حیات آن، یعنی ساخت مصالح ساختمانی، ساخت، بهره برداری و تخریب وجود دارد. در رویکرد هزینه یابی چرخه حیات، تمام هزینه های مربوط به حال و آینده مرتبط با سیستم بر حسب ارزش فعلی محاسبه می شود [۲۶]. در مطالعه هزینه ها و مصرف انرژی از رویکرد چرخه حیات برای مقایسه اثرات محیط زیستی گزینه های مختلفی شامل انواع مصالح، تجهیزات مختلف، روش های ساخت متنوع و ... استفاده می شود [۲۷]. تعداد فزاینده ای از مطالعات ارزیابی چرخه حیات از رویکرد هزینه یابی برای شناسایی یک طرح بهینه با کیفیت خوب و عملکرد با کمترین هزینه کلی استفاده می کنند. بهینه سازی در مطالعات سال های اخیر بسیار برجسته شده و این روش در زمینه هایی همچون: طراحی سازه، هزینه چرخه حیات، وزن کل مواد، صرفه جویی در انرژی و غیره در ساختمان استفاده شده اند [۲۸].

هزینه چرخه حیات (LCC) ممکن است برای تعیین چگونگی کاهش هزینه مالکیت یا مقایسه سرمایه گذاری های جایگزین در کل ساختمان ها یا عناصر ساختمان استفاده شود. هزینه چرخه حیات یک ابزار تصمیم گیری مفید در هنگام مقایسه گزینه هایی است که هزینه های اولیه و همچنین پیامدهایی برای هزینه های عملیاتی بعدی دارند [۵۷]. تعداد فزاینده ای از مطالعات در مورد ساخت LCA از رویکرد هزینه یابی چرخه حیات برای شناسایی یک طرح بهینه برای کیفیت خوب و عملکرد با کمترین هزینه کلی استفاده می کنند.

۳-۵ چارچوب ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان

از آنجایی که ارزیابی چرخه حیات به صورت گسترده در ساختمان ها اعمال شده است، نیاز به تعیین معیار مشخصی برای ارزیابی عملکرد زیست محیطی ساختمان ها وجود دارد [۵۸، ۵۹]. مطالعات مختلف، هفت توصیه را برای تعیین چارچوب ارزیابی چرخه حیات ساختمان ها به شکل زیر ارائه می کنند:

- تعریف روشن از روش ارزیابی
 - تعریف واضح معادل عملکردی
 - ترکیب رویکردهای بالا به پایین و پایین به بالا
 - سطوح مختلف عملکرد (از حد مجاز تا مقادیر هدف)
 - انعطاف پذیری دامنه از نظر مراحل چرخه و شاخص های محیطی
 - پوشش انواع ساختمان ها
 - شفاف و کاربر پسند بودن معیارها
- در شکل ۲، چارچوب مناسب برای ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان ارائه شده است.

۶- سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان به صورت مساوی در نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

۷- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۸- مراجع

- [1] I. Sartori, A.G. Hestnes, Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, *Energy and buildings*, 39(3) (2007) 249-257.
- [2] S. Manfredi, R. Pant, Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C & D) Waste Management: A Practical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA), Publications Office, 2011.
- [3] D. Ghosh, World Environment Day 2015, *Current Science*, 109(6) (2015) 1015.
- [4] V.J. Gan, C.M. Chan, K. Tse, I.M. Lo, J.C. Cheng, A comparative analysis of embodied carbon in high-rise buildings regarding different design parameters, *Journal of Cleaner Production*, 161 (2017) 663-675.
- [5] B. Dean, J. Dulac, K. Petrichenko, P. Graham, Towards zero-emission efficient and resilient buildings.: Global Status Report, (2016).
- [6] A. Odoemene, Climate change and land grabbing, in: *Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law*, Edward Elgar Publishing, 2017, pp. 423-448.
- [7] C. Dossche, V. Boel, W. De Corte, Use of life cycle assessments in the construction sector: critical review, *Procedia Engineering*, 171 (2017) 302-311.
- [8] A.F. Abd Rashid, S. Yusoff, A review of life cycle assessment method for building industry, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45 (2015) 244-248.
- [9] V. Weiler, H. Harter, U. Eicker, Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment, *Energy and buildings*, 134 (2017) 319-328.
- [10] A. Atmaca, Life cycle assessment and cost analysis of residential buildings in south east of Turkey: part 1—review and methodology, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21 (2016) 831-846.
- [11] C.K. Anand, B. Amor, Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 67 (2017) 408-416.
- [12] J.-G. Wu, X.-Y. Meng, X.-M. Liu, X.-W. Liu, Z.-X. Zheng, D.-Q. Xu, G.-P. Sheng, H.-Q. Yu, Life cycle assessment of a wastewater treatment plant focused on material and energy flows, *Environmental management*, 46 (2010) 610-617.
- [13] M. Buyle, J. Braet, A. Audenaert, Life cycle assessment in the construction sector: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 26 (2013) 379-388.
- [14] G. Han, J. Srebric, Life-cycle assessment tools for building analysis, *Engr. Psu. Edu*, (2011) 7.
- [15] S. Hellweg, L. Milà i Canals, Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment, *Science*, 344(6188) (2014) 1109-1113.
- [16] Y. Dong, S.T. Ng, P. Liu, A comprehensive analysis towards benchmarking of life cycle assessment of buildings based on systematic review, *Building and Environment*, 204 (2021) 108162.
- [17] M.N. Nwodo, C.J. Anumba, A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach, *Building and Environment*, 162 (2019) 106290.
- [18] A. Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree, Life cycle assessment of buildings: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1) (2011) 871-875.
- [19] B.V. Reddy, K. Jagadish, Embodied energy of common and alternative building materials and technologies, *Energy and buildings*, 35(2) (2003) 129-137.
- [20] M. Lotteau, P. Loubet, M. Pousse, E. Dufresnes, G. Sonnemann, Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale, *Building and Environment*, 93 (2015) 165-178.
- [21] I.O.f. Standardization, *Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework*, ISO, 2006.
- [22] X. Gao, P. Pishdad-Bozorgi, BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review, *Advanced engineering informatics*, 39 (2019) 227-247.

میزان عدم قطعیت را نه تنها برای درک اطمینان از نتایج ارائه شده، بلکه برای ایجاد قابلیت مقایسه نتایج گزارش کنند.

بر اساس بررسی‌های موضوعی و تجزیه و تحلیل شکاف‌های تحقیقاتی در حوزه ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها، چارچوب تحقیقاتی آینده در این قسمت پیشنهاد شده است:

- مرزهای سیستم، واحد عملکردی محاسباتی و عوامل عدم قطعیت مؤثر باید به وضوح مشخص شده و معیارهای کمی‌سازی پایگاه داده مواد مربوطه استاندارد شوند. مسیر جریان انرژی با فعالیت‌های ساخت‌وساز بایستی تجزیه و تحلیل شده و ناهمگونی فضایی این جریان از دیدگاه‌های چندبعدی مانند صنعت، منطقه فضایی و زنجیره تأمین مطالعه شود. تحلیل چرخه انرژی را می‌توان با اقتصاد دایره‌ای ترکیب کرد.

- عملکرد بلندمدت ساختمان‌هایی که در انرژی مصرفی صرفه‌جویی می‌کنند، باید مطالعه شود. ظرفیت مصرف انرژی ساختمان‌ها را می‌توان در ترکیب با شرایط آب‌وهوایی و وجود عدم قطعیت برای مقاومت در برابر کاهش عملکردی، در مرحله بهره‌برداری تجزیه و تحلیل کرد.

- یک سیستم کمی جامع باید برای تجزیه و تحلیل دقیق چرخه حیات ساختمان‌ها در همه سطوح ایجاد شود. در عین حال، شرایط مختلفی از جمله نوع سازه ساختمان، موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های منطقه‌ای و عوامل عدم قطعیت باید در نظر گرفته شود.

- برای تجزیه و تحلیل دقیق ارزیابی چرخه حیات، روش‌ها یا مدل‌های مناسب برای تحقیق ترکیبی با توجه به نوع فعالیت‌های ساختمان و تقاضای انرژی در مراحل مختلف انتخاب شود. مطالعاتی که تکنیک‌های روش‌شناختی را در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی ادغام می‌کند، می‌تواند در این زمینه استفاده شوند. علاوه بر BIM، کاربرد ترکیبی ارزیابی چرخه حیات با سایر فناوری‌های اطلاعاتی مانند اینترنت اشیا، بلاک چین، هوش مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) باید تقویت شود.

- در هر مرحله، عوامل ذهنی خاصی که عمدتاً تحت تأثیر اراده انسان قرار می‌گیرند، مانند سطح انتظارات در مرحله برنامه‌ریزی، نگرش تصمیم‌گیری در مرحله طراحی و رفتار کاری در مرحله ساخت باید در نظر گرفته شود. توسعه مدلی که عوامل رفتاری ذینفعان را در مراحل مختلف ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها ترکیب کند و همچنین بهینه‌سازی انرژی مبتنی بر هدف را تسهیل کند، ضروری است.

- در هر منطقه باید یک سیستم رتبه‌بندی انرژی مناسب برای توسعه ایجاد شود تا مفاهیم درست انرژی و توسعه پایدار اجرایی شود. در مناطقی که هنوز سیستم‌های رتبه‌بندی توسعه نیافته، هدف تحقیقات آینده باید بر توسعه و ارتقای سیستم‌های رتبه‌بندی انرژی با کیفیت بالا متمرکز باشد. برای مناطق دارای سیستم‌های رتبه‌بندی، می‌توان مطالعات مقایسه‌ای در مقررات بهره‌وری انرژی را تقویت کرده و قابلیت اجرا، ضرورت و عملکرد مقررات جدید را می‌توان بر اساس مطالعات قبلی تجزیه و تحلیل کرد.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی

- [42] G.K. Ding, Life cycle energy assessment of Australian secondary schools, *Building research & information*, 35(5) (2007) 487-500.
- [43] K. Van Ooteghem, L. Xu, The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada, *Building and Environment*, 49 (2012) 212-226.
- [44] C. Thormark, A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, *Building and environment*, 37(4) (2002) 429-435.
- [45] M. Asif, T. Muneer, R. Kelley, Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland, *Building and environment*, 42(3) (2007) 1391-1394.
- [46] A. Utama, S.H. Gheewala, Life cycle energy of single landed houses in Indonesia, *Energy and Buildings*, 40(10) (2008) 1911-1916.
- [47] A. Utama, S.H. Gheewala, Indonesian residential high rise buildings: A life cycle energy assessment, *Energy and Buildings*, 41(11) (2009) 1263-1268.
- [48] J. Ochsendorf, L. Keith Norford, D. Brown, H. Durschlag, S.L. Hsu, A. Love, N. Santero, O. Swei, A. Webb, M. Wildnauer, Methods, impacts, and opportunities in the concrete building life cycle, MIT Concrete Sustainability Hub, 2011.
- [49] J. Li, B. Rismanchi, T. Ngo, Feasibility study to estimate the environmental benefits of utilising timber to construct high-rise buildings in Australia, *Building and Environment*, 147 (2019) 108-120.
- [50] M. Kong, C. Ji, T. Hong, H. Kang, Impact of the use of recycled materials on the energy conservation and energy transition of buildings using life cycle assessment: a case study in South Korea, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155 (2022) 111891.
- [51] A. Horvath, Construction materials and the environment, *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 29 (2004) 181-204.
- [52] S. Tae, C. Baek, S. Shin, Life cycle CO₂ evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete, *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3) (2011) 253-260.
- [53] A. Sev, How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework, *Sustainable Development*, 17(3) (2009) 161-173.
- [54] M.A. Curran, *Environmental life-cycle assessment*, in, Springer, 1996.
- [55] N. Pargana, M.D. Pinheiro, J.D. Silvestre, J. De Brito, Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings, *Energy and Buildings*, 82 (2014) 466-481.
- [56] Y. Çay, A.E. Gürel, Determination of optimum insulation thickness, energy savings, and environmental impact for different climatic regions of Turkey, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(2) (2013) 365-372.
- [57] D.C. Dragos, B. Neamtu, Sustainable public procurement: Life cycle costing (LCC) in the new EU directive proposal, *European Public Procurement and PPP Law Review*, 1 (2014) 2013.
- [58] A. Sänäjoki, J. Heinonen, J.-M. Junnonen, S. Junnila, Input-output and process LCAs in the building sector: are the results compatible with each other?, *Carbon Management*, 8(2) (2017) 155-166.
- [59] A. Hollberg, T. Lützkendorf, G. Habert, Top-down or bottom-up?—How environmental benchmarks can support the design process, *Building and Environment*, 153 (2019) 148-157.
- [23] S.N. Naghsbandi, BIM for facility management: challenges and research gaps, *Civil Engineering Journal*, 2(12) (2016) 679-684.
- [24] P. Teicholz, *BIM for facility managers*, John Wiley & Sons, 2013.
- [25] K. Soliman, K. Naji, M. Gunduz, O.B. Tokdemir, F. Faqih, T. Zayed, BIM-based facility management models for existing buildings, (2021).
- [26] B. Agrawal, G. Tiwari, Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems, *Energy and Buildings*, 42(9) (2010) 1472-1481.
- [27] L. Aye, N. Bamford, B. Charters, J. Robinson, Environmentally sustainable development: a life-cycle costing approach for a commercial office building in Melbourne, Australia, *Construction Management & Economics*, 18(8) (2000) 927-934.
- [28] D. Yeo, R.D. Gabbai, Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization, *Energy and buildings*, 43(8) (2011) 2028-2033.
- [29] K. Adalberth, A. Almgren, E.H. Petersen, Life cycle assessment of four multi-family buildings, *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2 (2001).
- [30] A. Arpke, N. Hutzler, Operational life-cycle assessment and life-cycle cost analysis for water use in multioccupant buildings, *Journal of Architectural Engineering*, 11(3) (2005) 99-109.
- [31] J. Norman, H.L. MacLean, C.A. Kennedy, Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions, *Journal of urban planning and development*, 132(1) (2006) 10-21.
- [32] A.A. Guggemos, A. Horvath, Comparison of environmental effects of steel-and concrete-framed buildings, *Journal of infrastructure systems*, 11(2) (2005) 93-101.
- [33] G.A. Blengini, Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy, *Building and environment*, 44(2) (2009) 319-330.
- [34] S. Junnila, A. Horvath, Life-cycle environmental effects of an office building, *Journal of Infrastructure systems*, 9(4) (2003) 157-166.
- [35] R. Richman, P. Pasqualini, A. Kirsh, Life-cycle analysis of roofing insulation levels for cold storage buildings, *Journal of Architectural Engineering*, 15(2) (2009) 55-61.
- [36] C. Scheuer, G.A. Keoleian, P. Reppe, Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications, *Energy and buildings*, 35(10) (2003) 1049-1064.
- [37] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala, Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13 (2008) 498-511.
- [38] A. Arena, C. De Rosa, Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina, *Building and Environment*, 38(2) (2003) 359-368.
- [39] S. Nicholson, V.I. Ugursal, A lifecycle assessment-based environmental analysis of building operationally energy efficient houses in Nova Scotia, *Journal of Building Engineering*, 76 (2023) 107102.
- [40] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala, Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand, *Energy and Buildings*, 41(10) (2009) 1076-1083.
- [41] N. Mithraratne, B. Vale, Life cycle analysis model for New Zealand houses, *Building and environment*, 39(4) (2004) 483-492.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift

تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

Iman Hakamian

M.Sc., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ایمان حکمیان

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

*Corresponding author's email address:

imanhakamian@alumni.iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

How to cite this article:

Iman Hakamian, Effect of foundation rigidity of reinforced concrete MRF-wall on lateral force and drift, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2): 33-40.

ارجاع به مقاله:

ایمان حکمیان، تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۳۳-۴۰.

Abstract

This study investigates the lateral force distribution and structural drift of moment frames and shear walls under different ground motions with different magnitude. In order to investigation of seismic behavior of concrete structures with dual system including concrete moment resisting frame and concrete shear wall, three 3D 5-story, 10-story and 15-story reinforced concrete moment resistant frames with concrete shear wall were evaluated by linear static and spectral analysis. Material behavior is nonlinear and base condition is flexible. The results of lateral force distribution in cases of fix and flexible-based foundation were presented. In addition, the structural story drift for all 3 type of structures were investigated by nonlinear static and spectral analysis. The results illustrated that the foundation flexibility increases lateral forces in columns as compared to shear walls. As well as this, as the stiffness of springs at the bottom level of foundation decreases, story drift of all structures increases.

Keywords

Foundation flexibility, Dual system, Drift

چکیده

در این مطالعه به بررسی تغییرات نیروی برشی در طبقات و تغییر مکان نسبی طبقات در سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی پرداخته شده است. در مطالعه انجام شده در این مقاله به منظور بررسی رفتار قاب خمشی و دیوار برشی، سه قاب خمشی سه بعدی همراه با دیوار برشی با تعداد طبقات ۵، ۱۰، ۱۵ با رفتار غیرخطی مصالح و خاک زیر سازه در شرایط تکیه‌گاهی انعطاف‌پذیر مدل‌سازی شده و تحت تحلیل استاتیکی خطی و طیفی قرار گرفته‌اند. پس از اعمال بار جانبی زلزله و تحلیل سازه، نتایج به صورت تغییر برش ایجاد شده در دو حالت انعطاف‌پذیر و گیردار ارائه شده است. همچنین جایجایی نسبی طبقات برای سه ساختمان نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با انعطاف‌پذیر شدن فونداسیون نیروی ستون‌ها افزایش می‌یابد. جایجایی نسبی طبقات نیز با کاهش سختی فنرهای زیر فونداسیون جایجایی نسبی طبقات در همه ساختمان‌ها افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

انعطاف‌پذیری فونداسیون، سیستم دوگانه، تغییر مکان نسبی

خاک و انعطاف‌پذیری فونداسیون امکان‌پذیر نیست. لذا در چند سال اخیر مطالعه و تحقیق در این مورد بسیار گسترش پیدا کرده و نتایج چشمگیری نیز حاصل شده است، ولی هنوز به دلیل فقدان روش‌های مدل‌سازی غیرخطی قابل اطمینان و پارامترهای بی‌شمار تأثیرگذار بر این موضوع هنوز به صورت کاربردی و آیین‌نامه‌ای به کار نمی‌رود [۱].

در دهه‌های اخیر تعدادی مطالعات عددی و آزمایشگاهی به منظور درک اثر اندرکنش خاک و سازه. انعطاف‌پذیری فونداسیون بر روی رفتار لرزه‌ای سازه انجام شده است. چوپرا و یم [۲] پاسخ گهواره‌ای یک سیستم یک درجه آزادی و یک سیستم چند درجه آزادی بر

۱- مقدمه

هنگام بررسی نیروهای داخلی در اعضای سازه از جمله اعضای باربر جانبی و قائم فرض بر این است که اتصال پای سازه کاملاً گیردار است. ولی واقعیت این است که به دلیل عدم صلبیت کامل فونداسیون و خاک زیر آن، دوران و تغییر شکل فونداسیون و در نتیجه نیروهای داخلی اعضای سازه تغییر خواهد کرد. تغییر حاصل از انعطاف‌پذیری بستر سازه در مقایسه با تکیه‌گاه صلب، به خصوصیات سازه و خاک بستگی دارد. این موارد نشان می‌دهد که صرف نظر از نوع آنالیز، بررسی نتایج دقیق بدون در نظر گرفتن تأثیر



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



روی یک مجموعه دوفتری و میراگر را ارزیابی کرده‌اند. محققانی همچون استوارت و همکارانش، گزتاس و میلوناکیس [۳، ۴] نشان داده‌اند که با کمک با یک سیستم یک درجه آزادی معادل، می‌توان پاسخ سازه یک سیستم با یک درجه آزادی واقع بر روی یک پی سطحی را با تکیه گاه گیردار را تخمین زد. در مطالعه انجام شده توسط قطرنجی و همکاران [۵-۷] مشخصات دینامیکی سازه های بتن مسلح با سیستم دو گانه مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه توران و همکاران [۸] مدل یک درجه آزادی با پی مدفون در یک لایه خاک رس سخت توسط میز لرزه آزمایش شده و با نتایج تحلیل عددی بدست آمده و زمان تناوب سازه در حالت تکیه‌گاه گیردار مقایسه شده است. هاجینسون و همکارانش [۹] نشان داده‌اند در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه می‌تواند منجر به کاهش تقاضای نیرو و جابجایی نسبی طبقات در سازه شود. در مطالعه‌ای که توسط ماسیمو و ماگری [۱۰] انجام شده است دو مدل فیزیکی همراه با پی‌های سطحی بر روی ماسه توسط میز لرزه آزمایش شده و نتایج بدست آمده به منظور دستیابی به یک روش ساده با نتایج تحلیلی و عددی مقایسه شده است. پالوجی و همکارانش [۱۱] یک روش طراحی براساس تکرار را پیشنهاد داده‌اند که در آن معادلات در حالت گیردار برای محاسبه اثر اندرکنش خاک و سازه به صورت ضرایب کاهش سختی دورانی و افزایش میرایی سازه بر اساس دوران آن، اصلاح می‌شود.

در این سیستم قاب به اصطلاح در یک مد برشی تغییر شکل می‌دهد و از آنجا که پاسخ غالب دیوار به صورت خمشی مانند یک تیر طره می‌باشد سازگاری تغییر مکان‌های افقی، اندرکنشی را بین این دو به وجود می‌آورد. جابجایی جانبی خطی قاب خمشی با جابجایی سهمی دیوار برشی ترکیب شده در نتیجه سختی کل سیستم افزایش می‌یابد به این دلیل که دیوار در ترازهای بالا توسط قاب مهار می‌شود در حالی که در ترازهای پایین دیوار قاب را مهار می‌کند. این رفتار بستگی به این دارد که پی دیوار توان مقاومت در برابر لنگر واژگونی را داشته باشد و چرخشی در آن ایجاد نشود. در واقعیت دیوارها بر روی پایه‌هایشان چرخش دارند و این چرخش به انعطاف‌پذیری پی وابسته است. در صورتی که پی سازه مقاومت کافی در برابر دوران ایجاد شده از سوی بارهای وارده را نداشته باشد دیگر توزیع نیروهای بین قاب و دیوار برشی همانند قبل نخواهد بود و در این مطالعه به چگونگی توزیع این نیروهای جانبی ایجاد شده بین قاب و دیوار پرداخته شده است.

در این مطالعه به منظور مدل‌سازی پی انعطاف‌پذیر و اندرکنش آن با خاک زیر پی، از رویکرد وینکلر استفاده شده است که در آن سطح تماس خاک و پی به صورت مجموعه فنرهای غیرخطی مستقل و همجوار یکدیگر مدل شده است و نتیج حاصل از تغییرات برش و تغییر مکان جانبی در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- مشخصات مدل قاب و دیوار

سه قاب خمشی با سه دهانه ۶ متری و یک دیوار برشی با طول ۶ متر با طبقات مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ به طوری که هر طبقه دارای ارتفاع

۳/۲ متر می‌باشد، بر روی یک پی انعطاف‌پذیر متصل به فنرهای غیرخطی مدل شده است. مقاطع مورد استفاده با استفاده از آیین‌نامه بتن آمریکا و رعایت ضوابط آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) طراحی شده‌اند. جدول ۱ تا ۴ نشان دهنده ابعاد مقاطع استفاده شده در نرم‌افزار می‌باشد.

جدول ۱ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۵ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۳	۰/۰۲۱	۰/۶×۰/۶	۰/۰۲۷	۰/۳×۰/۴	۱ تا ۵

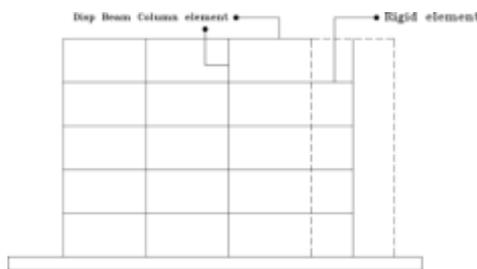
جدول ۲ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۱۰ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۴۵	۰/۰۲۱	۰/۷×۰/۷	۰/۰۲۷	۰/۴×۰/۴	۱ تا ۳
۰/۴۵	۰/۰۲۱	۰/۶×۰/۶	۰/۰۱۸	۰/۴×۰/۳۵	۴ تا ۷
۰/۳	۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۰۲۳	۰/۴×۰/۳	۸ تا ۱۰

جدول ۳ ابعاد مقاطع به کار رفته در سازه ۱۵ طبقه (به متر)

ضخامت دیوار	ρ	مقطع ستون	ρ	مقطع تیر	طبقه
۰/۶	۰/۰۲۴	۰/۹۵	۰/۰۰۷	۰/۵	۱ تا ۵
۰/۵	۰/۰۲۳	۰/۸۵	۰/۰۰۹	۰/۶×۰/۵	۶ تا ۱۰
۰/۳	۰/۰۲۲	۰/۷×۰/۷	۰/۰۱	۰/۵×۰/۵	۱۱ تا ۱۵

المان‌های تیر و ستون و دیوار استفاده شده در نرم‌افزار از نوع المان برمبنای جابجایی و با پلاستیسیته گسترده همراه با شش نقطه انتگرال‌گیری بر اساس قانون گوس-لوباتو مدل شده‌اند. تیرهای موجود در ناحیه‌ای که داخل دیوار برشی محسوب می‌شود به صورت المان‌های صلب در نظر گرفته شده‌اند و تغییر مکان و دوران آن‌ها کاملاً مقید به تغییر مکان و دوران گره‌های متناظر در المان دیوار می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

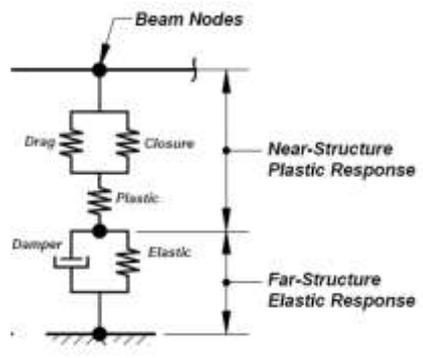
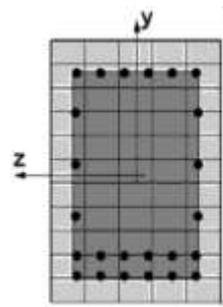


شکل ۱ مدل مربوط به سازه ۵ طبقه ایجاد شده در نرم‌افزار

مقاطع معرفی شده از نوع فایبر می‌باشند، که نرم‌افزار با تقسیم کردن مقطع به المان‌های کوچک‌تر دقت در تحلیل مقطع را افزایش می‌دهد. مصالح استفاده شده برای بتن محصور شده که شامل ناحیه است که در مرکز در شکل ۲ نشان داده شده است و قسمتی از بتن می‌باشد که توسط خاموت‌های تعبیه شده داخل بتن به صورت محصور شده رفتار می‌کند، از نوع بتن (۰۱) با مقاومت کششی صفر می‌باشد.



همچنین برای بتن نامحصور نیز از همین نوع مصالح استفاده شده است [۱۲].

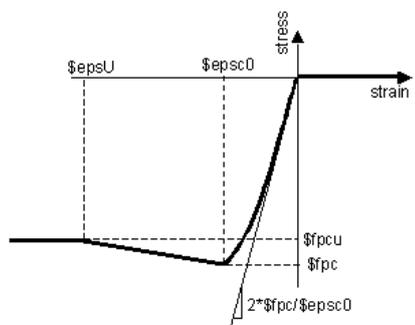


شکل ۴ شمای کلی یک المان فنر

مجموع این المان‌ها با یکدیگر تعیین کننده ویژگی‌های برجسته سطح تماس خاک و پی می‌باشند. از جمله تغییر شکل‌های دائمی و گذرا، جداسدگی بین پی و خاک اطراف آن، میرایی تشعشعی و چرخه‌ای خاک، زوال سختی و میرایی و... فنرهای قائم (المان‌های q-z) (به منظور ثبت حرکت گهواره‌ای، جداسدگی و نشست پی در طول شالوده توزیع شده‌اند. در حالی که فنرهای افقی (المان‌های p-x و x) به ترتیب به منظور ثبت لغزش و مقاومت مقاوم شالوده به کار می‌روند [۱۵]. روابط ساختاری استفاده شده برای مکانیزم فنرهای مذکور توسط منحنی‌های غیرخطی نشان داده می‌شوند که توسط بولنگر بر اساس مطالعات اولیه بولنگر و همکارانش ایجاد شده است [۱۶] و پس از آن توسط ری‌چادوری [۱۷] به منظور مدل‌سازی مدل فنر شامل یک قسمت ارتجاعی اولیه می‌باشد که پس از آن به صورت منحنی غیرارتجاعی ادامه می‌یابد، شکل ۵.

شکل ۲ مقطع فایبر شامل بتن محصور شده (ناحیه داخلی) و بتن نامحصور (ناحیه خارجی)

برای مصالح فولادی به کار رفته به عنوان میلگرد از فولاد (۰۲) که برای ساخت مصالح فولادی گیوفر و منگتو و پینتو با سخت شوندگی ایزوتروپیک به کار می‌رود، استفاده شده است [۱۳].



شکل ۳ نمودار رفتار مصالح بتن ۰۱

در جدول ۴ مشخصات استفاده شده در مصالح بتنی به کار رفته در مدل به طور خلاصه نشان داده شده است.

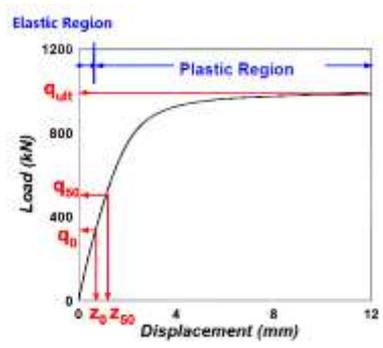
جدول ۴ مشخصات مصالح بتنی استفاده شده (مگاپاسکال)

بتن	مقاومت	کرنش	مقاومت	کرنش
	بیشینه	بیشینه	نهایی	نهایی
محصور	۲۴/۵	۰/۰۰۳	۴/۹	۰/۰۱۵
نامحصور	۲۲/۵	۰/۰۰۲۵	۴/۵	۰/۰۰۵

عناوین استفاده شده در جدول فوق همان نمادهای به کار رفته در شکل ۳ می‌باشند.

۲-۲- مشخصات خاک و پی

در این مطالعه سطح تماس خاک و پی با استفاده از رویکرد وینکلر مدل شده است. به طوری که سطح تماس با فنرهای غیرخطی مستقل و همجوار شبیه‌سازی شده است. هر فنر شامل المان‌های مختلفی می‌باشد، مانند فنرهای درگ و کلوزر، میراگر، فنر پلاستیک حوزه نزدیک و فنر الاستیک ناحیه دور که در شکل ۴ نشان داده شده است [14].



شکل ۵: منحنی مشخصه رفتار فنرهای بکار رفته

در ناحیه الاستیک منحنی بار q به طور خطی با جابجایی Z توسط سختی الاستیک اولیه k_{in} مرتبط است.

$$q = k_{in}z \quad (1)$$

ناحیه الاستیک با مرتبط کردن q_{ult} به نقطه تسلیم q_0 توسط پارامتر C_r تعریف می‌شود.

$$q_0 = C_r q_{ult} \quad (2)$$

ناحیه پس از تسلیم منحنی به صورت زیر بیان می‌شود:

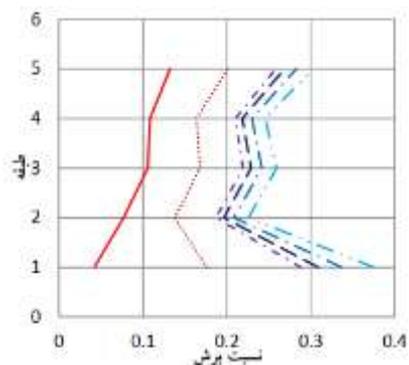


دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

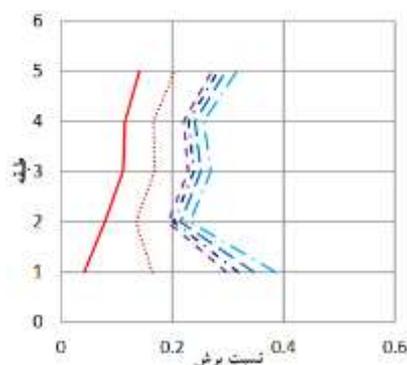


تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

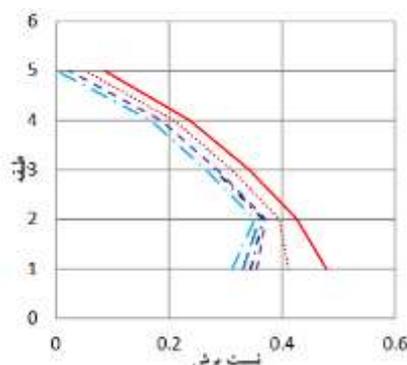
دیوار برشی در حالت انعطاف پذیر که در شکل (۷) نشان داده شده است مطابقت دارد.



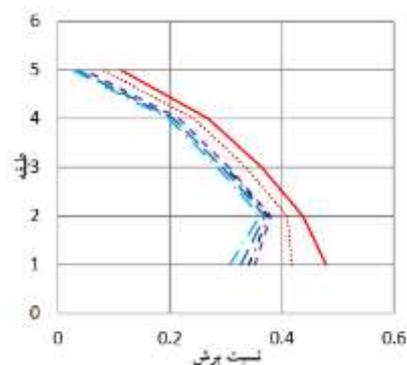
شکل ۶ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۷ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

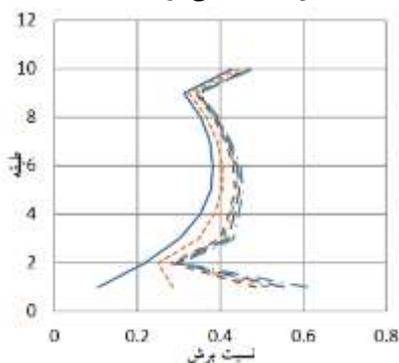


شکل ۸ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل

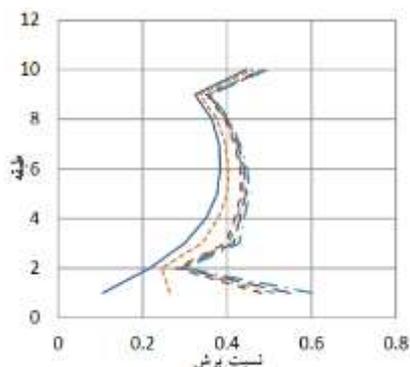


شکل ۹ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

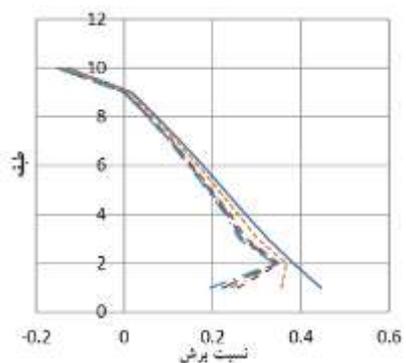
شکل های ۱۰ تا ۱۳ نشان دهنده تغییرات برش ستون ها و دیوارهای برشی در ساختمان ۱۰ طبقه در حالت گیردار و انعطاف پذیر می باشد. در این اشکال با حالت انعطاف پذیر، تغییرات در نیروی برشی ستون های اول از سایر طبقات بیشتر است و به تدریج با افزایش طبقات از شدت تغییرات کاسته می شود.



شکل ۱۰ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۱۱ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی



شکل ۱۲ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

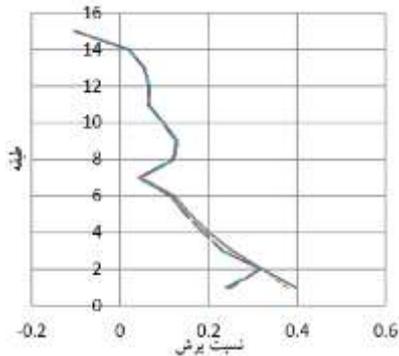
زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



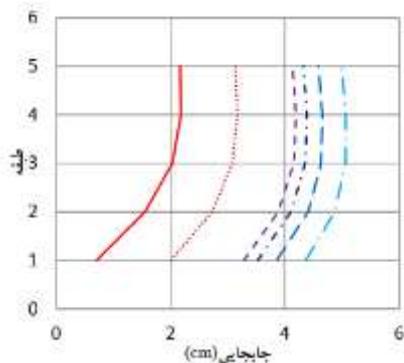
تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

شکل ۱۶ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل

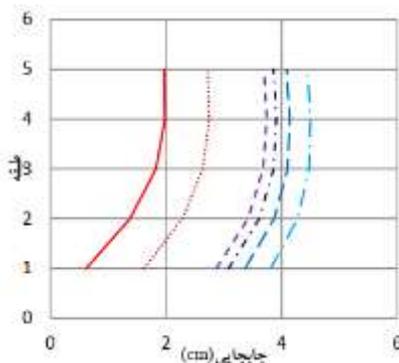


شکل ۱۷ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

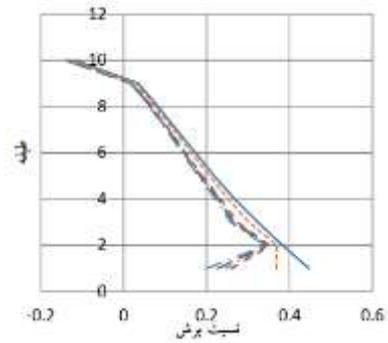
اشکال (۱۸) تا (۲۳) مقدار جابجایی نسبی طبقات را نشان می دهد که با کاهش سختی فنر و در واقع کاهش سختی سازه مقدار جابجایی نسبی طبقات افزایش می یابد.



شکل ۱۸ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۵ طبقه با الگوی استاتیکی معادل

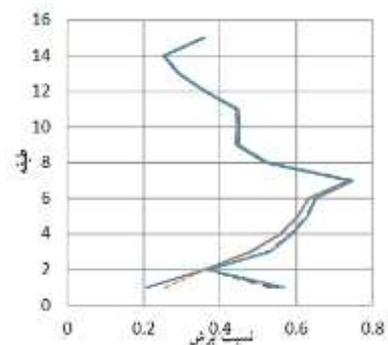


شکل ۱۹ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۵ طبقه با الگوی طیفی

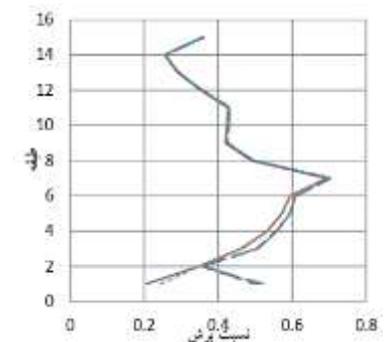


شکل ۱۳ نسبت برش در یکی از دیوارهای برشی هر طبقه از ساختمان ۱۰ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی

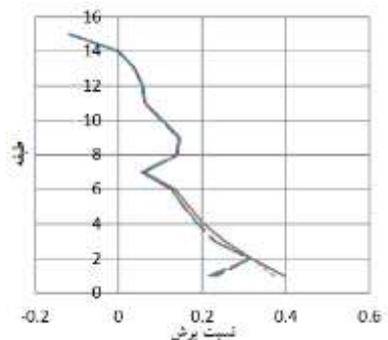
شکل های ۱۴ تا ۱۷ نشان دهنده تغییرات برش ستون ها و دیوارهای برشی در ساختمان ۱۵ طبقه در حالت گیردار و انعطاف پذیر می باشد. شدت تغییرات در طبقه اول بیشتر از طبقات دیگر است.



شکل ۱۴ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۱۵ نسبت برش در ستون های هر طبقه از ساختمان ۱۵ طبقه نسبت به کل برش پایه با الگوی طیفی



۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد تا تاثیر انعطاف‌پذیری پی بر روی سازه‌ها با ارتفاع متفاوت بر نحوه توزیع بار جانبی بین قاب خمشی و دیوار برشی و جابجایی نسبی طبقات پرداخته شود. برای این منظور سه قاب خمشی به همراه دیوار برشی با رفتار غیرخطی، در دو شرایط تکیه‌گاهی گیردار و انعطاف‌پذیر، تحت تحلیل استاتیکی معدل و طیفی قرار گرفته‌اند و نتایج به صورت زیر بدست آمده است:

- در اثر انعطاف‌پذیری پی، سختی کل سازه کاهش و جابجایی نسبی طبقات افزایش می‌یابد.
- تغییر مکان نسبی طبقات در حالت انعطاف‌پذیر نسبت به حالت گیردار در ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه حدوداً ۴ برابر و در ساختمان ۱۵ طبقه حدوداً ۳ برابر شده است.
- در ساختمان‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه با فونداسیون انعطاف‌پذیر، به طور میانگین نسبت برش در ستون‌ها به کل برش پایه به ترتیب ۰.۷، ۰.۵ و ۰.۳ برابر حالت گیردار است.

۵- تعارض منافع

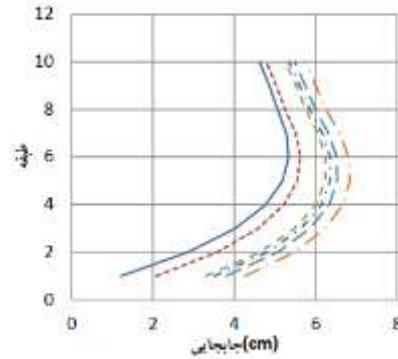
نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

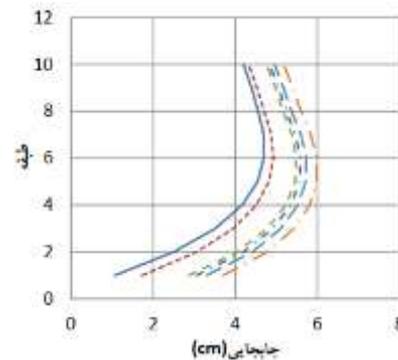
این تحقیق از هیچ‌گونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

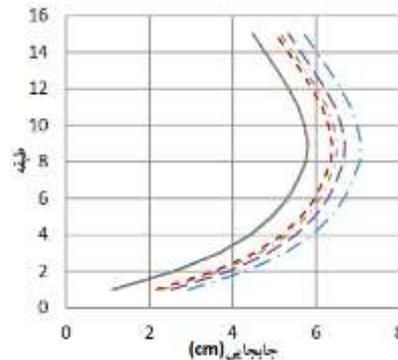
- [1] IP. Raychowdhury and P. Singh, "Effect of nonlinear soil-structure interaction on seismic response of low-rise SMRF buildings," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 11, pp. 541-551, 2012.
- [2] A. K. Chopra and S. C.-S. Yim, "Simplified earthquake analysis of structures with foundation uplift," *Journal of Structural Engineering*, vol. 111, no. 4, pp. 906-930, 1985.
- [3] G. Gazetas and G. Mylonakis, "Soil-structure interaction effects on elastic and inelastic structures," 2001.
- [4] J. P. Stewart, S. Kim, J. Bielak, R. Dobry, and M. S. Power, "Revisions to soil-structure interaction procedures in NEHRP design provisions," *Earthquake Spectra*, vol. 19, no. 3, pp. 677-696, 2003.
- [5] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian, "Investigating the Seismic Behaviour of the RC Wall-Framed System Considering Soil-Structure Interaction," *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 65-81, 2020.
- [6] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian " . Investigating the seismic behavior of the dual shear wall-bending frame system considering the interaction between the soil and the structure," *Earthquake Science and Engineering Quarterly*, vol. 7, no. 4, pp. 65-81, 2020. (In Persian)
- [7] M. Katrangi, M. M. Memarpour, and M. Yakhchalian, "Assessment of the seismic performance and the base shear contribution ratios of the RC wall-frame dual system considering soil-structure interaction," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 26, no. 10, pp. 5290-5317, 2022.
- [8] A. Turan, S. D. Hinchberger, and M. H. El Naggar, "Seismic soil-structure interaction in buildings on stiff clay with embedded basement stories," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50, no. 8, pp. 858-873, 2013.
- [9] I.T. C. Hutchinson, P. Raychowdhury, and B. Chang, "Nonlinear structure and foundation response during seismic loading: dual lateral load resisting systems," in *Proceedings of the 8th*



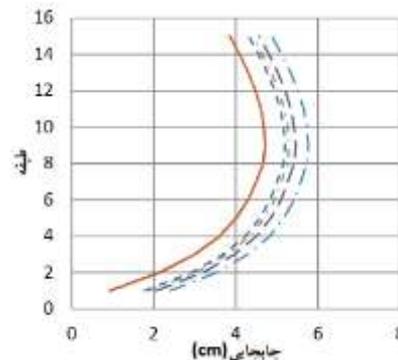
شکل ۲۰ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۰ طبقه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۲۱ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۰ طبقه با الگوی طیفی



شکل ۲۲ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۵ طبقه با الگوی استاتیکی معادل



شکل ۲۳ جابجایی نسبی طبقات در سازه ۱۵ طبقه با الگوی طیفی

US National Conference on Earthquake Engineering, 2006, no. 320 .

- [10] M. R. Massimino and M. Maugeri, "Physical modelling of shaking table tests on dynamic soil-foundation interaction and numerical and analytical simulation," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 49, pp. 1-18, 2013.
- [11] R. Paolucci, R. Figini, and L. Petrini, "Introducing dynamic nonlinear soil-foundation-structure interaction effects in displacement-based seismic design," *Earthquake spectra*, vol. 29, no. 2, pp. 475-496, 2013.
- [12] I. Hakamian, K. Taghikhani, N. Manouchehri, and M. M. Memarpour, "Soil-structure interaction effects on collapse probability of the RC buildings subjected to far and near-field ground motions," *Earthquakes and Structures*, vol. 25, no. 2, pp. 99-112, 2023.
- [13] F. C. Filippou, E. P. Popov, and V. V. Bertero, "Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints," 1983.
- [14] M. Shayanfar, M.M. Memarpour, M.A. Barkhordari, I. Hakamian" . Comparison of static and dynamic analysis in earthquake lateral force distribution in reinforced concrete structures considering soil-structure interaction," presented at the second national conference on structural engineering in Iran, 2014. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/535781> .(In Persian)
- [15] M. Memarpour, M .Shayanfar, and M. Kimiaei, "A new BNWF model for cyclic pile-soil interaction analysis of single offshore piles," in 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2011: Centre for Infrastructure Engineering and Safety, pp. 135-140 .
- [16] R. W. Boulanger, C. J. Curras, B. L. Kutter, D. W. Wilson, and A. Abghari, "Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses," *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, vol. 125, no. 9, pp. 750-759, 1999.
- [17] P. Raychowdhury, Nonlinear Winkler-based shallow foundation model for performance assessment of seismically loaded structures. University of California, San Diego, 2008.
- [18] K. Terzaghi, *Theoretical soil mechanics*. ۱۹۴۳ .
- [19] G. G. Meyerhof, "Some recent research on the bearing capacity of foundations," *Canadian geotechnical journal*, vol. 1, no. 1, pp. 16-26, 1963.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



تأثیر سختی فونداسیون سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی بتنی بر تغییرات نیروی جانبی و تغییر مکان نسبی

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Designing a building based on a zero-carbon architectural approach in Khorramabad city

Niloufar Azizifard

M.Sc. Student, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Salahodin Molanai

Assitant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

*Corresponding author's email address:

niloufar.azizifard@uok.ac.ir

How to cite this article:

Niloufar Azizifard, Salahodin Molanai, Designing a building based on a zero-carbon architectural approach in Khorramabad city, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2): 41-49.

Abstract

Today, the whole world is involved with the energy crisis therefore renewable resources should be replaced by non-renewable resources with proper principles and planning. One of the important solutions to use the design of buildings based on zero energy. The aim of this thesis is to design a building based on a zero-carbon architectural approach in Khorramabad city. The research method is descriptive-survey. The statistical population in the qualitative section was 12 people interviewed. In the quantitative section, 136 people were selected as a random stratified statistical sample. The analysis was performed using RISREL version 22 software. The results of the interview with experts using the Delphi method led to the identification of 11 main indicators, namely (appropriate construction design, energy optimization, attention to environmental considerations, appropriate use of building materials, optimization of construction costs, beauty of the building facade, attention to climatic conditions, building orientation, heat storage method, energy consumption, arrangement of rooms in the building). The research findings showed that the indicators extracted for designing a building based on a zero-carbon architectural approach have a significant relationship with each other directly and indirectly at the 99% level. The simulation results showed that by using zero carbon indicators in the building identified by experts, energy consumption can be reduced optimally.

Keywords

Architectural approach, Determining indicators, Khorramabad city, Zero carbon.

طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد

نیلوفر عزیزی فرد

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

صلاح الدین مولانایی

استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۱

ارجاع به مقاله:

نیلوفر عزیزی فرد، صلاح الدین مولانایی، طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۴۱-۴۹.

چکیده

امروزه همه دنیا با بحران انرژی درگیر هستند بنابراین بایستی با اصول و برنامه ریزی درست منابع تجدید پذیر را جایگزین منابع تجدید ناپذیر کرد. یکی از راهکارهای مهم استفاده از طراحی ساختمان‌ها مبتنی بر انرژی صفر است. هدف از پایان نامه حاضر طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد است. روش پژوهش بصورت توصیفی - پیمایشی است. جامعه آماری در بخش کیفی ۱۲ نفر مصاحبه به عمل آمد. در بخش کمی ۱۳۶ نفر به عنوان نمونه آماری به صورت تصادفی طبقه‌ای انتخاب شد. تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم افزار RISREL نسخه ۲۲ انجام شد. نتایج حاصل از مصاحبه با خبرگان به روش دلفی منجر به شناسایی ۱۱ شاخص اصلی یعنی (طراحی ساخت مناسب، بهینه‌سازی در انرژی، توجه به ملاحظات زیست محیطی، بکارگیری مصالح ساختمان، بهینه‌سازی هزینه ساخت، زیبایی نمای ساختمان، توجه به شرایط اقلیمی، جهت ساختمان، شیوه ذخیره گرما، میزان مصرف انرژی، چیدمان اتاق‌ها در ساختمان) شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که شاخص‌ها استخراج شده برای طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر بصورت مستقیم و غیر مستقیم باهم رابطه معناداری در سطح ۹۹٪ باهم دارند. نتایج شبیه سازی نشان داد که با استفاده از شاخص‌های کربن صفر در ساختمان شناسایی شده از نظر خبرگان، می‌توان مصرف انرژی را صورت بهینه کاهش یافت.

کلمات کلیدی

رویکرد معماری، کربن صفر، تعیین شاخص‌ها، شهر خرم آباد.

۱- مقدمه

تفاوت طول عمر مفید ساختمان‌های بتنی در ایران در مقایسه با کشورهای پیشرفته دیگر بسیار زیاد است. در کشورهای صنعتی و پیشرفته به دلیل رعایت اصول سازه‌ای و استفاده از مصالح متناسب

از دلایل عمده معطوف شدن نظرها به سمت ایده مصرف انرژی صفر ساختمان در واقع مناسب بودن انرژی‌های تجدید پذیر برای حذف آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای است، افزایش هزینه سوخت‌های فسیلی و تأثیرات مخرب آن‌ها بر روی محیط زیست و شرایط آب و هوایی و برهم زدن اکولوژیک زمین است. آمارها گویای آن است که



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



بزرگ ترین عامل انهدام و آلودگی محیط زیست درمیان عوامل انسان ساخت، عبارت است از تولید، تبدیل و مصرف انواع انرژی، این درحالی است که نه تنها مصرف انرژی درجهان در سطح ثابتی باقی نخواهد ماند، بلکه پیش بینی ها، حاکی از افزایش مصرف آن در سال های آتی ناشی از افزایش جمعیت، میل به رفاه و افزایش تولید ناخالص سرانه در جهان که پیش بینی می شود که افزایش ۵۰ درصدی را خواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده در صورت عدم برنامه ریزی و پیش بینی های لازم روند توسعه کشور بطور جدی تحت تأثیر قرار می گیرد. ایده ساختمان های انرژی صفر (ZE) از یک سو بر اساس نیاز روز افزون انسان به انرژی و از سوی دیگر بر پایه نیاز به کاهش مصرف سوخت های آلوده کننده و غیر قابل بازیافت فسیلی شکل گرفته است. این ساختمان ها در طول سال بر اساس نیاز مصرف انرژی خود، انرژی تولید می کنند. فیزیک و ساختار مناسب و استفاده از منابع تجدیدپذیر در این ساختمان ها، رسیدن به هدف فوق را تا حد زیادی میسر می سازد [۱].

امروزه یکی از معیارهای مهم در زمینه طراحی ساختمان توجه به کاهش نیاز به انرژی فسیلی است. و همواره طراحان و یا سازندگان سعی می کنند تا کمترین انرژی در ساختمان مصرف شود. مصرف زیاد انرژی اثرات زیانباری بر محیط زیست و اکوسیستم دارد. تحقیقات نشان می دهد که ۳۸٪ کل انرژی در بخش ساختمان مصرف می شود. که بیشتر آن از فرآورده های نفتی و گاز طبیعی و همچنین الکتریسیته به دست می آید. در ایران در سال ۲۰۰۵ ۸ میلیارد دلار ارزش مالی مصرف انرژی پیش بینی شده است. که تا سال ۲۰۲۲ به ۱۷۸۵۹ میلیارد دلار خواهد رسید. که عدد بسیار بالایی است. به طور کلی به ازای هر متر مربع ۲/۶ تا ۴ برابر در ساختمان مسکونی مصرف می شود. که استاندارد جهانی بالاتر است [۲]. مفهوم انرژی به دلیل روش های مختلف در تولید و نگهداشت آن و معیارهای اندازه گیری متفاوت است.

ایدهی ساختمان کربن صفر به دلیل راهکار برای حذف آلاینده ها و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر مورد توجه است. طراحی اینگونه ساختمان ها به شکلی است که از انرژی های طبیعی مانند خورشید و باد با توجه به تکنولوژی های جدید استفاده می شود. و تبدیل به روشنایی و سرمایش و گرمایش می شود [۳]. از علت های اصلی استفاده از این روش ها مناسب بودن مصرف آن و حذف آلاینده های آن نسبت به دیگر انرژی هاست [۴]. در طراحی ساختمان صفر مبتنی بر انرژی صفر بهینه سازی مصرف آن بیشترین اهمیت دارد. و با استفاده از روش های نو تعادلی بین میزان تولید و مصرف آن تعادل برقرار است [۵].

آمار و ارقام نشان می دهد که استفاده از انرژی هایی که میزان آلودگی را افزایش می دهند میزان آلودگی به بیش از اندازه ممکن خواهد رسید. و در نتیجه سبب افزایش گرمایش جهانی می شود [۶]. ساختمان مورد نظر به شکلی است که طراحی آن در منطقه جنوب شرقی شهر خرم آباد انجام می شود. به این دلیل است که در این قسمت نور خورشید بصورت مستقیم به ساختمان ها می تابد. و می توان با طراحی و جهت گیری شکل طراحی حداکثر استفاده بهینه از نور خورشید انجام داد. همچنین استفاده از مصالحی که میزان جذب انرژی خورشیدی در آنها حداکثر است استفاده می شود. اندازه در و

پنجره ها همچنین فضاهای ورودی و خروجی ساختمان به شکلی انتخاب می شود که کمترین هدر رفت انرژی در ساختمان طراحی شده داشته باشیم. همچنین استفاده از انرژی های تجدید پذیر که زیانی به محیط زیست وارد نمی کنند در این طراحی مد نظر است. ابعاد این ساختمان (18m²*10m²) و جهت آن ۱۲ درجه به سمت جنوب شرقی در نظر گرفته می شود. نفوذ جریان باد خارج ساختمان به داخل در طراحی ساختمان نیز لحاظ می شود.

امروزه طراحی ساختمان ها به شکلی پیش می رود که از انرژی کمتری استفاده شود. و یک فاکتور مهمی دیگری که امروزه بیشتر به آن توجه شده است. بحث محیط زیست و آلودگی های ناشی از آن است. که می بایست مورد توجه قرار بگیرد. طراحی ساختمان مبتنی بر انرژی صفر گامی به سوی معماری پایدار است. که از انرژی های طبیعی مثل باد و خورشید استفاده می شود. با توجه به جمعیت کشور و میزان دسترسی همه شهروندان به انرژی شرایط باید به شکلی پیش برود تا همه بتوانند از انرژی در جهت تامین سرمایش و گرمایش به نحو مطلوبی استفاده کنند. بنابراین ضرورت دارد که تحقیقی در این زمینه انجام شود. تا بتوان با راهکارهایی که ارائه می شود در قبال نتایجی که به دست می آید نهایت استفاده از انرژی شود.

۲- سوالات تحقیق

۱. مهم ترین شاخص های موثر بر معماری کربن صفر در ساختمان های مسکونی کدامند؟
۲. اولویت بندی شاخص های موثر بر معماری کربن صفر در ساختمان های مسکونی چگونه است؟
۳. طراحی ساختمان مناسب بر مبنای معماری کربن صفر در شهر خرم آباد چگونه است؟

۳- پیشینه تحقیق

محمدی ده چشمه و همکاران [۷] پژوهشی تحت عنوان امکان سنجی راهبرد زیست محیطی شهر کربن صفر در شهر کرد انجام دادند. نتایج نشان داد که شاخص خلاقیت زیست محیطی مهم ترین شاخص و شاخص انرژی ناپایدارترین شاخص شناخته شد. شناخت بومی کربن در شهر کربن بالاتر از میانگین جهانی بود و کمتر از میانگین ایران بود. حبیبزاده [۸] پژوهشی تحت عنوان راهکارهای طراحی واحدهای مسکونی صفر انرژی با توجه به شرایط اقلیمی مناطق انجام داد. نتایج نشان داد که با بکارگیری تجهیزات فنی و معماری می توان بهترین طراحی برای ساختمان مبتنی بر انرژی صفر انجام داد. که مصرف انرژی در آن کمتر است.

فرامرزی اصل و همکاران [۹]، پژوهشی تحت عنوان بررسی رویکرد کربن صفر در مقیاس محله انجام دادند. نتایج نشان داد که پایداری محلات بر مبنای رویکرد کربن صفر؛ از یک سو در ارتباط با ساختارهای کلان شهری قرار دارد تا ضامن بقای انرژی و کاهش استفاده از انرژی های تجدید ناپذیر باشد؛ و از دیگر سو به سبک زندگی مردمانی بر می گردد که در محلات شهری ساکن هستند.



ایرانپور [۱] پژوهشی تحت عنوان اصول مورد استفاده در ساختمان- های کربن صفر (ZCB) انجام داد. از مهم ترین اصولی که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. کاهش آلودگی های کربنی، بهینه سازی انرژی، سازگاری با محیط زیست، طراحی اصولی مبتنی بر معیارهای جهانی نام برد.

دهقان، و افهمی [۴] پژوهشی تحت عنوان بررسی راهکارهای طراحی ساختمان کربن صفر با بهره گیری از انرژی های نو انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که راهکارهایی مانند طراحی مناسب، توجه به شرایط اقلیمی، استفاده از توربین های بادی و پانل های فتوولتائیک، سیستم های خوشیدی می توان نام برد.

پولینا تروفیمووا و همکاران^۱ [۱۰] ارزیابی پس از اشغال کیفیت هوای داخل ساختمان و عملکرد حرارتی در یک ساختمان کربن صفر انجام دادند. نتایج نشان داد که میانگین دمای داخلی در تابستان ۰/۹ درجه بیشتر از معیار استاندارد بود. در واقع ارزیابی ساکنین نمره مثبتی بود. رضایت کاربران از آکوستیک ساختمان خیلی زیاد بود. در مورد سرنشینانی که سندرم ساختمان بیمار دارند ، ۴۵/۸٪ از پاسخ دهندگان حداقل یکی از علائم را تجربه کرده اند.

کیچیان لی وی پن^۲ [۱۱] خوشه و نمونه های ساختمانها به سمت کربن صفر انجام داد. نتایج مطالعات موردی نمونه ها ، ادغام سیستم ها در استراتژی های "بهره وری انرژی و تولید و تأمین انرژی ساختمان" را نشان می دهد.

۴- روش تحقیق

این پژوهش در قالب پژوهش های کاربردی از نوع توصیفی و پیمایشی است . در مرحله اول پژوهش از ۱۲ نفر متخصص در زمینه معماری و شهرسازی در شهر خرم آباد مصاحبه به عمل آمد. جامعه مورد مطالعه در این قسمت از پژوهش که بصورت کیفی است. و بصورت هدفمند انتخاب شد. بعد از انجام مصاحبه، و استخراج مولفه ها برای هر کدام از شاخص های طرح شده چند سوال متناسب با آنچه که از متن مصاحبه ها استخراج شده طراحی شد. و در یک جامعه بزرگتر نگرش سنجی شد. تا دیدگاه های خود را در زمینه موضوع پژوهش را مطرح کنند. در این قسمت از پژوهش ۴۸۰ نفر از کارشناسان (مهندسان، مدیران، کارفرمایان معماری)، بعنوان جامعه آماری انتخاب شد. برای تعیین حجم نمونه در این قسمت از پژوهش از جدول کرجسی - مورگان استفاده شد و ۱۳۶ نفر بعنوان نمونه آماری انتخاب شد. شیوه نمونه گیری هم بصورت تصادفی طبقه ای بود. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارهای SPSS، RISREL نسخه ۲۲ انجام شد .

۵- تعیین شاخص ها

با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان در حوزه مورد مطالعه و از طریق تکنیک دلفی استفاده شد و مهم ترین شاخص ها مشخص شدند. شیوه انتخاب افراد در تکنیک دلفی در این پژوهش از طریق نمونه گیری هدفمند یا قضاوتی بود. افرادی انتخاب شدند که با موضوع معماری کربن صفر در ساختمان آشنایی داشتند. تعداد راندهای دلفی در این پژوهش ۴ راند بود. نحوه امتیازدهی بر مبنای طیف لیکرت

(تاثیر بسیار کم: ۱)، (تاثیر کم: ۲)، (تاثیر متوسط: ۳)، (تاثیر زیاد: ۴) و (تاثیر بسیار زیاد: ۵) صورت گرفت.

جدول ۱ شاخص های موثر بر رویکرد کربن صفر از نظر خبرگان

شاخص ها	
طراحی ساخت مناسب	توجه به شرایط اقلیمی
بهینه سازی در انرژی	جهت ساختمان
توجه به ملاحظات زیست محیطی	شیوه ذخیره گرما
بکارگیری مناسب مصالح ساختمان	میزان مصرف انرژی
بهینه سازی هزینه ساخت	چیدمان اتاق ها در ساختمان
زیبایی نمای ساختمان	

۶- روایی و پایایی شاخص های استخراج شده از متن مصاحبه ها

برای تعیین روایی شاخص های استخراج شده از متن مصاحبه ها از روایی همگرا (AVE) استفاده شد. که برای تایید آن باید همه شاخص های استخراج شده مقدار آنها بالای ۰/۵ باشد. همچنین برای تعیین پایایی مولفه ها از پایایی آلفای کرونباخ (CA) که مقدار آن بالای ۰/۷ باید باشد استفاده شد. همچنین از شاخص پایایی ترکیبی (CR) استفاده شد. و نتایج آن در جدول زیر مشاهده می شود.

جدول ۲ شاخص های موثر بر رویکرد کربن صفر از نظر خبرگان

شاخص های استخراج شده	CA	CR	AVE
طراحی ساخت مناسب	۰/۷۸۶	۰/۸۹۲	۰/۶۸۴
بهینه سازی در انرژی	۰/۷۷۹	۰/۸۶۷	۰/۶۵۹
توجه به ملاحظات زیست محیطی	۰/۸۴۱	۰/۸۳۲	۰/۶۵۱
بکارگیری مناسب مصالح ساختمان	۰/۷۷۵	۰/۸۳۲	۰/۶۴۶
بهینه سازی هزینه ساخت	۰/۷۶۴	۰/۷۴۹	۰/۵۹۳
زیبایی نمای ساختمان	۰/۷۵۱	۰/۷۳۶	۰/۵۷۴
توجه به شرایط اقلیمی	۰/۷۸۰	۰/۸۳۵	۰/۶۴۲
جهت ساختمان	۰/۸۲۱	۰/۸۳۳	۰/۶۲۸
شیوه ذخیره گرما	۰/۸۲۷	۰/۷۲۱	۰/۶۳۲
میزان مصرف انرژی	۰/۹۲۵	۰/۸۲۵	۰/۶۲۳
چیدمان اتاق ها در ساختمان	۰/۷۵۶	۰/۸۱۲	۰/۶۵۲

۷- آزمون کولموگروف- اسمیرنوف

با توجه به نتایج جدول (۳)، چون مقدار سطح معنی داری برای شاخص های مطرح شده در پژوهش (طراحی ساخت مناسب، بهینه سازی در انرژی، توجه به ملاحظات زیست محیطی، بکارگیری مناسب مصالح ساختمان، بهینه سازی هزینه ساخت، زیبایی نمای ساختمان، توجه به شرایط اقلیمی، جهت ساختمان، شیوه ذخیره گرما، میزان مصرف انرژی، چیدمان اتاق ها در ساختمان)، بزرگتر از مقدار خطا ۰/۰۵ است در نتیجه این متغیرها دارای توزیع نرمال هستند. در نتیجه گفته می شود توزیع تمامی متغیرها نرمال بوده پس برای داده های این نمونه آماری می توان از آزمون های پارامتریک استفاده کرد.

۸- رتبه بندی شاخص های موثر بر رویکرد کربن صفر

برای تعیین رتبه بندی مولفه های شناسایی شده از مصاحبه ها از آزمون فریدمن استفاده شد. بر اساس این آزمون مولفه های که اولویت



اول را داشتند. از میانگین رتبه‌ای بالاتری برخوردار بودند. و مولفه‌های که دارای درجه اهمیت پایین‌تری بودند. دارای میانگین رتبه‌ای پایین‌تری بودند. معیار این میانگین عدد ۵ بود و حداکثر میانگین عدد ۸ بود. بنابراین عامل‌هایی که پایین‌تر از ۵ بودند اهمیتی نداشتند. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود. همه عامل‌ها میانگین رتبه‌ای بالاتر از عدد ۵ دارند.

خبرگان در جهت طراحی یک ساختمان بهینه از لحاظ شاخص‌های مورد توجه در معماری کربن صفر در شهر خرم‌آباد با توجه به شرایط آب و هوایی آن مهم هستند. پس از تعیین روابط بین متغیرها، الگوی ساختاری پژوهش ترسیم شد. برای تعیین کفایت برازندگی الگوی پیشنهادی با داده‌ها، ترکیبی از شاخص‌های برازندگی مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۶)؛ شاخص‌های برازندگی الگوی پیشنهادی را نشان می‌دهد. نخست برازش الگوی پیشنهادی براساس شاخص‌های برازندگی ارزیابی شده است.

جدول ۳ جدول آزمون کولموگروف اسمیرنوف

شاخص‌ها	مقدار آماره Z	سطح معنی داری	مقدار خطا	تایید	نتیجه گیری
طراحی ساخت مناسب	۸/۷۷	۰/۱۷۲	۰/۰۵	H_0	نرمال
بهینه‌سازی در انرژی	۸/۶۰	۰/۱۵۹	۰/۰۵	H_0	نرمال
توجه به ملاحظات زیست محیطی	۸/۲۴	۰/۱۴۶	۰/۰۵	H_0	نرمال
بکارگیری مناسب مصالح ساختمان	۷/۸۹	۰/۱۳۳	۰/۰۵	H_0	نرمال
بهینه‌سازی هزینه ساخت	۷/۵۶	۰/۱۴۷	۰/۰۵	H_0	نرمال
زیبایی نمای ساختمان	۷/۲۳	۰/۱۴۲	۰/۰۵	H_0	نرمال
توجه به شرایط اقلیمی	۶/۶۸	۰/۱۳۸	۰/۰۵	H_0	نرمال
جهت ساختمان	۵/۸۲	۰/۱۲۲	۰/۰۵	H_0	نرمال
شیوه ذخیره گرما	۴/۷۹	۰/۱۲۳	۰/۰۵	H_0	نرمال
میزان مصرف انرژی	۴/۷۵	۰/۱۴۲	۰/۰۵	H_0	نرمال
چیدمان اتاق‌ها در ساختمان	۴/۳۲	۰/۱۲۰	۰/۰۵	H_0	نرمال

(مأخذ: داده‌های پژوهش)

۹- الگوی ساختاری شاخص‌های پژوهش

همانطور که در جدول (۵)؛ مشاهده می‌شود شاخص‌های معماری کربن صفر بصورت مستقیم و غیر مستقیم رابطه معناداری در سطح ۹۹٪ با هم دارند. یعنی همه شاخص‌های شناسایی شده از نظر

جدول ۴: نتایج آزمون تی تک نمونه از نظر خبرگان

رتبه	مؤلفه‌ها	میانگین رتبه ای	درجه آزادی	آماره کای ^۲	سطح معناداری
۱	طراحی ساخت مناسب	۷/۸۵۷			
۲	بهینه‌سازی در انرژی	۷/۸۳۲			
۳	توجه به ملاحظات زیست محیطی	۷/۷۴۱			
۴	بکارگیری مناسب مصالح ساختمان	۷/۷۲۰			
۵	بهینه‌سازی هزینه ساخت	۷/۴۵۲	۱۲	۱/۴۳۸	۰/۰۰۰
۶	زیبایی نمای ساختمان	۷/۴۱۲		۲۵۹	
۷	توجه به شرایط اقلیمی	۷/۳۶۵			
۸	جهت ساختمان	۷/۲۸۰			
۹	شیوه ذخیره گرما	۷/۲۲۱			
۱۰	میزان مصرف انرژی	۷/۱۸۲			
۱۱	چیدمان اتاق‌ها در ساختمان	۷/۱۳۷			

جدول ۵ ماتریس همبستگی بین شاخص‌های معماری کربن صفر

شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
معماری کربن صفر												
طراحی ساخت مناسب	۰/۵۸**											
بهینه‌سازی در انرژی	۰/۵۷**	۰/۵۶**										
بهینه‌سازی هزینه ساخت	۰/۵۵**	۰/۴۹**	۰/۵۵**									
بکارگیری مناسب مصالح ساختمان	۰/۵۲**	۰/۵۰**	۰/۵۰**	۰/۵۲**								
توجه به ملاحظات زیست محیطی	۰/۵۴**	۰/۵۲**	۰/۴۸**	۰/۴۸**	۰/۵۴**							
زیبایی نمای ساختمان	۰/۴۷**	۰/۴۵**	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۴۶**	۰/۴۷**						
توجه به شرایط اقلیمی	۰/۴۶**	۰/۴۵**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۵**	۰/۴۶**					
جهت ساختمان	۰/۴۵**	۰/۴۴**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۵**	۰/۴۴**	۰/۴۵**				
شیوه ذخیره گرما	۰/۴۵**	۰/۴۴**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۵**	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۴۵**			
میزان مصرف انرژی	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۴۴**		
چیدمان اتاق‌ها در ساختمان	۰/۴۳**	۰/۴۲**	۰/۴۲**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۲**	۰/۴۱**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	۰/۴۳**	



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

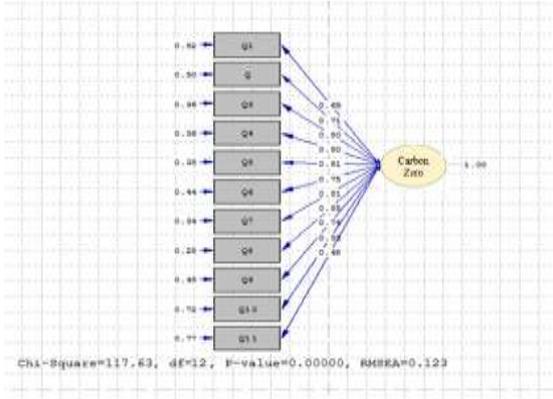
زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



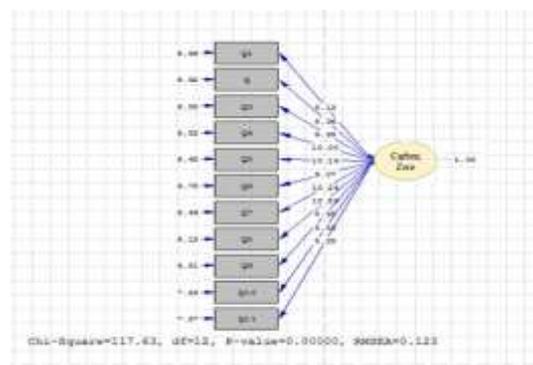
۱۰- آزمون تحلیل عاملی تاییدی شاخص‌های الگوی پیشنهادی

شکل (۲)؛ تحلیل عاملی تاییدی شاخص‌های الگوی پیشنهادی را در حالت تخمین استاندارد نشان می‌دهد. بارهای عاملی الگوی پیشنهادی در حالت تخمین استاندارد میزان تاثیر هر کدام از شاخص‌های را در توضیح و تبیین واریانس نمرات شاخص یا عامل اصلی نشان می‌دهد.



شکل ۲ تحلیل عاملی تاییدی شاخص‌های الگوی پیشنهادی در حالت تخمین استاندارد

خروجی بعدی (الگوی در حالت معناداری) معناداری ضرایب شاخص‌های به دست آمده الگوی پیشنهادی و همبستگی شاخص‌های الگوی پیشنهادی تحقیق را نشان می‌دهد که تمامی ضرایب به دست آمده معنادار شده‌اند. مقادیر آزمون معناداری بزرگتر از ۱/۹۶ یا کوچکتر از ۱/۹۶- نشان‌دهنده معناداری بودن روابط است. دو خروجی نرم‌افزار لیزرل (الگوی پیشنهادی در حالت تخمین استاندارد در بالا و مدل در حالت ضرایب معناداری در پایین) نشان داده شده است. نتایج تخمین قسمت زیرین شکل (۴-۹)؛ حاکی از مناسب بودن نسبی شاخص‌ها دارد. با توجه به خروجی لیزرل مقدار χ^2 محاسبه شده برابر با ۱۱۷/۶۳ می‌باشد. مقدار RMSEA نیز برابر با ۰/۱۲۳ می‌باشد. حد مجاز RMSEA، ۰/۱۲۳ است. شاخص‌های AGFI, GFI و NFI به ترتیب برابر با ۰/۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۸۸ می‌باشد که نشان‌دهنده برازش بسیار بالایی می‌باشند.



شکل ۳ تحلیل عاملی تاییدی شاخص‌های الگوی پیشنهادی در حالت عدد معناداری

طبق مندرجات جدول (۴-۵)؛ مقادیر شاخص‌های برازندگی الگوی پیشنهادی، شامل شاخص نسبت مجذور کای به درجه آزادی df/χ^2 ، شاخص نیکویی برازش تعدیل شده AGFI ۰/۹۷، شاخص برازندگی هنجار شده NFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی افزایشی CFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی تطبیقی IFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی توکر- لویس TLI ۰/۹۸، و مقدار شاخص جذر میانگین مجذورات خطای تقریب RMSEA ۰/۳۲ نشان دادند. که الگوی پیشنهادی از برازش مناسبی برخوردار است. از آنجایی که مجذور خی تحت تاثیر حجم نمونه است، سطح معناداری مجذور خی به تنهایی ملاک معتبری برای ارزیابی برازش الگو نیست. بنابراین به منظور بررسی برازش الگو از سایر شاخص‌ها استفاده می‌شود. شاخص‌های IFI، CFI، GFI، TLI دارای دامنه صفر تا یک هستند، هرچه اندازه آنها با یک نزدیک تر شود بر برازندگی مطلوبتر الگو دلالت دارند. همچنین زمانی که RMSEA کوچکتر از ۰/۱۲۵؛ خی دو به هنجار نیز کوچکتر از مقدار ۳ و شاخص‌های PNFI و PCFI بزرگتر از مقدار ۰/۵ باشد، دلالت بر برازش مطلوب الگو دارد. بر اساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که الگو پژوهش از برازش مطلوب برخوردار می‌باشد.

جدول ۶ شاخص‌های برازندگی پیشنهادی در پژوهش مدل حاضر

شاخص	مقدار
RMSEA	۰/۱۲۳
TLI	۰/۹۸
IFI	۰/۹۸
CFI	۰/۹۸
NFI	۰/۹۸
AGFI	۰/۹۸
GFI	۰/۹۸
df/χ^2	۱۲/۱۱۷
df	۳
χ^2	۷/۹۲۵

جدول ۷ شاخص‌های نیکویی برازش الگو پژوهش

شاخص برازندگی	دامنه قابل پذیرش	میزان بدست آمده
خی دو	-	۱۱۷/۶۳
سطح معنی داری	کمتر از ۰/۰۵	۰/۰۰۰
نسبت خی دو به درجه آزادی	کمتر از ۳	۲/۱۲۰
RMSEA	کمتر از ۰/۱۲۵	۰/۱۲۳
GFI	بزرگتر از ۰/۹	۰/۹۸
AGFI	بزرگتر از ۰/۹	۰/۹۷
PNFI	بزرگتر از ۰/۵	۰/۸۸
PCFI	بزرگتر از ۰/۵	۰/۸۸



شکل ۱ الگوی مفهومی شاخص‌های شاخص‌های معماری کربن خرم

۱۱- طراحی ساختمان مبتنی بر انرژی صفر در شهر خرم آباد

جنبه‌ای از ساختمان که بایستی در درجه اول برای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها مورد توجه واقع گردد، جنبه معماری است. برای دستیابی به طراحی معماری انرژی صفر، معماری ساختمان بایستی بر اساس شرایط اقلیمی طراحی گردد و پتانسیل‌ها و محدودیت‌های اقلیم مورد توجه قرار گیرد. از این رو اولین قدم در طراحی انرژی صفر، آگاهی دقیق از شرایط اقلیمی و تعیین پتانسیل‌ها و امکان‌های اقلیم محل قرارگیری ساختمان، برای دستیابی به یک معماری مبتنی و پاسخگو به اقلیم و در نتیجه یک معماری انرژی صفر است. بنابراین اولین گام در مسیر دسترسی به یک معماری انرژی صفر، تحلیل دقیق داده‌های اقلیمی می‌باشند. شهر خرم آباد با داشتن مناطق وسیع کوهستانی و کوه‌های مرتفع و همچنین قرار گرفتن در مسیر دو جبهه هوای باران‌زای مدیترانه‌ای از غرب و جبهه‌هایی که از اقیانوس هند از جنوب می‌وزد، رطوبت زیادی جذب می‌کند و از نظر اقلیمی دارای سه نوع آب و هوای مدیترانه‌ای (معتدل) آب و هوای سرد کوهستانی و آب و هوای نیمه صحرایی گرم است. ساختمان مسکونی با ابعاد (180 m^2) طراحی شده است.



شکل ۴ پلان ساختمان مسکونی

جدول ۸ مجموع فضای معماری 180 m^2

عنوان فضا	مساحت (مترمربع)
۱ تراس	۲۰
۲ لابی ورودی	۳٫۵
۳ نشیمن	۵۴
۴ آشپزخانه	۱۹٫۳
۵ مطبخ	۵٫۱
۶ پستوی	۳٫۴
۷ توالت	۵٫۶
۸ لابی خصوصی	۵٫۹
۹ حمام	۵٫۱
۱۰ اتاق خواب	۱۳
۱۱ اتاق خواب	۱۵٫۶
۱۲ کلوزت	۵٫۵
۱۳ سرویس	۴
۱۴ خواب مستر	۲۰
مجموع	۱۸۰

۱۲- نتیجه‌گیری

توجه به بهینه‌سازی در مصرف و تولید انرژی موضوع بسیار پر اهمیتی می‌باشد. غیر از سهم غیر قابل انکار آن در حفظ منابع انرژی فسیلی با کاهش میزان بهره‌برداری و توجه به آن، زمینه مناسبی برای بهره‌گیری از منابع انرژی نو و تجدید پذیر فراهم می‌آورد. در واقع برای آن که بتوان از انرژی‌های نو و تجدید پذیر استفاده نمود، می‌بایست تا حد امکان تقاضای انرژی را کاهش داد. ساختمان‌های مبتنی بر انرژی صفر ساخته شده در نقاط مختلف دنیا، مانند ساختمانی که در این پژوهش، بسته به شرایط اقلیمی، نوع کاربری و میزان سرمایه‌گذاری، از فن‌آوری‌های مختلفی برای کاهش و تولید انرژی (دو رکن اصلی برای رسیدن به ساختمان انرژی صفر) بهره‌برده‌اند.

جدول ۹ اجزاء و پارامترهای ساختمان طراحی شده مبتنی بر انرژی صفر

عناصر ساختمانی U مقدار	مقدار	اتلاف انرژی در اجزای ساختمان
دیوار خارجی	۳۰-۲۵٪	دیوار خارجی
بام تخت یا شیب دار	۲۵-۱۵٪	درب و پنجره
کف در تماس با خاک	۲۰-۱۰٪	درزهای ساختمان و نفوذ هوا
جدار نورگذر	۱۵-۱۰٪	سقف
در	۵٪	کف
جدارهای مجاور فضای کنترل نشده	۲۴۰C	دمای داخلی ساختمان (دمای کنترل)
مقدار آب گرم برای خانواده ۴ نفره	۲۰۰C	دمای تنظیمی کنترلرها در زمستان
مقدار آب گرم برای خانواده ۶ نفره	-۲۲۰C	دمای تنظیمی کنترلرها در تابستان
مشخصات طراحی بهینه U (Value(w/m ² .k)	۴۶۰C	دمای آب گرم مصرفی
دیوار خارجی	۱۶۰C	دمای آب ورودی به آبگرمکن
پنجره	۰/۹۶۷	سیستم‌های انرژی جهت ساختمان و پنلها و کلکتور
سقف	۰/۰۷	تفاوت بین دمای خروجی و ورودی به کلکتور
کف	۰/۲۲۲	دو آبگرمکن از نوع لوله خلا
جدار مجاور فضای کنترل نشده	۲	سطح گیرنده
مصرف سالانه انرژی الکتریکی	۳/۹۵m ²	زاویه قرارگیری آبگرمکن‌ها
انرژی مصرفی (kwh)	۳۲۰	میزان روشنایی
روشنایی	۳۰۰ Lux	ضریب عملکرد سیستم گرمایش
لوازم برقی	۰/۸۵	
سیستم سرمایش	۴۱۳/۲۲	

ایده ساختمان‌های مبتنی بر انرژی صفر (ZE) از یک سو بر اساس نیاز روز افزون انسان به انرژی و از سوی دیگر بر پایه نیاز به کاهش مصرف سوخت‌های آلوده کننده و غیر قابل بازیافت فسیلی شکل

گرفته است. این ساختمان‌ها در طول سال بر اساس نیاز مصرف انرژی خود، انرژی تولید می‌کنند. فیزیک و ساختار مناسب و استفاده از منابع تجدیدپذیر در این ساختمان‌ها، رسیدن به هدف فوق را تا حد زیادی میسر می‌سازد.

در طراحی ساختمان انرژی صفر علاوه بر رعایت موارد معمول و متداول در ساخت ساختمان‌ها، موارد ویژه نوین و پرهزینه‌ای نیز باید در نظر گرفته شود. از آنجا که انرژی مصرف شده در این ساختمان باید با استفاده از روش‌های ممکن تولید و تامین شود، لذا استفاده بیشتر انرژی در ساختمان، معادل با بزرگ شدن ظرفیت تولید انرژی در ساختمان می‌شود، بنابراین چنانچه این موضوع از نظر فنی مقدور باشد، شرایط فعلی اقتصادی کشور مانع از انجام طرح خواهد شد. بر این اساس در طراحی ساختمان‌های انرژی صفر اصولی چون شناخت لازم و کافی از اقلیم، بررسی دقیق محیط اطراف ساختمان (درختان، ساختمان‌ها و ...)، تمرکز بر طراحی غیر فعال و کاهش نیاز انرژی ساختمان (عایق کاری مناسب، سایبان، تهویه طبیعی و بهره‌گیری از نور روز)، بهره‌گیری از سیستم‌های کارآمد و راندمان، بالاتر در سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی، چراغ‌ها و لامپ‌های پربازده و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید انرژی می‌بایست مورد نظر قرار گیرد. در طراحی ساختمان‌های انرژی صفر لازم است ابتدا با بهره‌گیری از سیستم‌های غیر فعال، نیاز انرژی ساختمان را کاهش داد و با انتخاب تجهیزات مکانیکی و الکتریکی کارآمد، مصرف انرژی ساختمان را به حداقل رساند و در نهایت با بکارگیری انواع سیستم‌های تولید انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، جهت دستیابی به رویکرد انرژی صفر، معادل مصرف سالانه انرژی ساختمان، انرژی را در محل تولید کرد. در طراحی یک ساختمان انرژی صفر، معماری نقش حائز اهمیتی دارد. همچنین استفاده از نور و گرمای خورشید به صورت مستقیم و غیر مستقیم، استفاده از جریان طبیعی هوا، جهت گیری مناسب بنا و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در رده‌های دیگر اهمیت قرار دارند. همچنین باید به این موضوع توجه نمود که در طراحی یک ساختمان انرژی صفر اصل مهم، تولید انرژی نیست بلکه کاهش مصرف انرژی است که این اصل سبب کاهش ۷۷٪ مصرف انرژی در مقایسه با ساختمان‌های معمولی شده است. استفاده از سیستم کنترلی هوشمند و چند منطقه‌ای در یک ساختمان مبتنی بر انرژی صفر بسیار کلیدی می‌باشد. پیشنهاد می‌شود یک سیستم جامع برای دریافت اطلاعات شرایط داخلی و خارجی از سنسورها و ارسال فرمان راه اندازی به سیستم‌ها بررسی شود و نتایج را از لحاظ شرایط آسایش و مصرف انرژی با حالتی که کنترل به صورت دستی انجام می‌شود، مقایسه گردد. همچنین تاثیر پوشش گیاهی و نوع خاک در گرمایش و سرمایش زمینی در گلخانه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس نتایج استخراج شده، با پیاده سازی استراتژی مدیریت انرژی پیشنهادی می‌توان کنترل پذیری و هماهنگی بهتری را بر روی ساختمان‌های مبتنی بر انرژی صفر ایجاد نمود.

نتایج تحلیل داده‌های آمار توصیفی نشان داد که؛ کل افراد نمونه ۱۳۶ نفر بوده که از این تعداد ۸۲ نفر از پاسخگویان مرد و ۳۴ نفر زن بودند، به عبارتی بیشتر افراد نمونه ۶۰٪ درصد از پاسخگویان مرد و تنها ۳۹٪ درصد نمونه آماری را زنان تشکیل داده‌اند. از لحاظ وضعیت تاهل؛ بیشتر افراد نمونه (کارشناسان) ۱۱۲ نفر (۸۲٪)

درصد)، متأهل بوده و تنها ۲۴ نفر از کل پاسخگویان (۱۷٪ درصد)، مجرد بودند. از لحاظ وضعیت سنی؛ ۲۳ نفر از پاسخگویان (کارشناسان) کمتر از ۳۰ سال (۱۶٪ درصد)، ۷۷ نفر بین ۳۰ تا ۴۰ سال (۵۶٪ درصد)، ۳۶ نفر ۴۱ سال و بالاتر از آن (۲۶٪ درصد)، سن داشتند. بیشترین درصد افراد فراوانی مربوط به گروه سنی ۴۰-۳۰ سال بوده به عبارتی بیشتر افراد نمونه میانسال بودند. از لحاظ وضعیت میزان تحصیلات؛ ۷۹ نفر از کل افراد نمونه (۵۸٪ درصد)، دارای مدرک تحصیلی لیسانس بودند، ۵۷ نفر (۴۲٪ درصد)، پاسخگویان دارای مدرک فوق لیسانس و بالاتر بودند. بیشترین فراوانی نشان دهنده این است که، اکثریت پاسخگویان از نظر تحصیلات دارای مدرک لیسانس بودند. از لحاظ وضعیت رشته تحصیلی؛ ۵۴ نفر از کل کارشناسان مورد مطالعه (۳۹٪ درصد)، فارغ التحصیل رشته فنی مهندسی (معماری) بودند، ۴۲ نفر (۱۵٪ درصد)، پاسخگویان فارغ التحصیل رشته تحصیلی علوم پایه، ۲۸ نفر (۲۰٪ درصد)، فارغ التحصیل رشته‌های علوم انسانی بودند. همچنین ۱۲ نفر (۸٪ درصد)، فارغ التحصیل سایر رشته‌ها بودند. بیشترین فراوانی نشان دهنده این است که، اکثریت پاسخگویان از نظر تحصیلات فارغ التحصیل رشته‌های فنی مهندسی (معماری) بودند. از لحاظ وضعیت سابقه فعالیت؛ از کل پاسخگویان این پژوهش، ۹٪ درصد افراد نمونه کمتر از ۵ سال، ۴۰٪ درصد پاسخگویان بین ۵ تا ۱۰ سال، ۴۵٪ درصد نیز ۱۰ سال و بالاتر است سابقه فعالیت داشتند. با توجه به بیشترین فراوانی مشاهده شده است که ۴۵٪ درصد پاسخگویان از سابقه فعالیت متوسطی برخوردار بودند.

نتایج حاصل از مصاحبه با خبرگان به روش دلفی منجر به تعیین مهم‌ترین شاخص‌ها در طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم آباد شد. از نظر خبرگان ۱۱ شاخص اصلی (طراحی ساخت مناسب، بهینه‌سازی در انرژی، توجه به ملاحظات زیست محیطی، بکارگیری مناسب مصالح ساختمان، بهینه سازی هزینه ساخت، زیبایی نمای ساختمان، توجه به شرایط اقلیمی، جهت ساختمان، شیوه ذخیره گرما، میزان مصرف انرژی، چیدمان اتاق‌ها در ساختمان)، مهم‌ترین شاخص‌ها انتخاب شدند.

نتایج حاصل از آزمون کولموگروف اسمیرنوف جهت تعیین نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌های آماری نشان داد که چون مقدار سطح معنی‌داری برای شاخص‌های مطرح شده در پژوهش (طراحی ساخت مناسب، بهینه‌سازی در انرژی، توجه به ملاحظات زیست محیطی، بکارگیری مناسب مصالح ساختمان، بهینه سازی هزینه ساخت، زیبایی نمای ساختمان، توجه به شرایط اقلیمی، جهت ساختمان، شیوه ذخیره گرما، میزان مصرف انرژی، چیدمان اتاق‌ها در ساختمان)، بزرگتر از مقدار خطا ۰/۰۵ است در نتیجه این متغیرها دارای توزیع نرمال هستند. در نتیجه گفته می‌شود توزیع تمامی متغیرها نرمال بوده پس برای داده‌های این نمونه آماری از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد.

جهت تعیین رتبه بندی شاخص‌ها از آزمون تی تک نمونه استفاده شد. نتایج حاصل از رتبه بندی شاخص‌ها نشان داد که در بین شاخص‌ها، طراحی ساخت مناسب (۷/۱۸۵۷)، بهینه‌سازی در انرژی (۷/۸۳۲)، توجه به ملاحظات زیست محیطی (۷/۷۴۱)، بکارگیری مناسب مصالح ساختمان (۷/۷۲۰)، بیشترین میانگین به



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



خود اختصاص دادند. کمترین مقدار میانگین در این پژوهش ۵ و بیشترین میانگین عدد ۸ بود.

پس از تعیین روابط بین متغیرها، الگوی ساختاری پژوهش ترسیم شد. برای تعیین کفایت برازندگی الگوی پیشنهادی با داده‌ها، ترکیبی از شاخص‌های برازندگی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های برازندگی الگوی پیشنهادی را نشان می‌دهد. نخست برازش الگوی پیشنهادی براساس شاخص‌های برازندگی ارزیابی شده است، طبق مندرجات جدول (۴-۵)؛ مقادیر شاخص‌های برازندگی الگوی پیشنهادی، شامل شاخص نسبت مجذور کای به درجه آزادی df χ^2/df ۲/۱۲۰، شاخص نیکویی برازش تعدیل شده AGFI ۰/۹۷، شاخص برازندگی هنجار شده NFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی افزایشی CFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی تطبیقی IFI ۰/۹۸، شاخص برازندگی توکر- لویس TLI ۰/۹۸، و مقدار شاخص جذر میانگین مجذورات خطای تقریب RMSEA ۰/۰۳۲ نشان دادند. که الگوی پیشنهادی از برازش مناسبی برخوردار است. از آنجایی که مجذور خی تحت تاثیر حجم نمونه است، سطح معناداری مجذور خی به تنهایی ملاک معتبری برای ارزیابی برازش الگو نیست. بنابراین به منظور بررسی برازش الگو از سایر شاخص‌ها استفاده می‌شود. شاخص‌های IFI، CFI، GFI، TLI دارای دامنه صفر تا یک هستند، هرچه اندازه آنها با یک نزدیک تر شود بر برازندگی مطلوبتر الگو دلالت دارند. همچنین زمانی که RMSEA کوچکتر از ۰/۱۲۵؛ خی دو به هنجار نیز کوچکتر از مقدار ۳ و شاخص‌های PNFI و PCFI بزرگتر از مقدار ۰/۵ باشد، دلالت بر برازش مطلوب الگو دارد. بر اساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که الگو پژوهش از برازش مطلوب برخوردار می‌باشد.

برای طراحی ساختمان‌های مبتنی بر انرژی صفر می‌توان در فرآیند طراحی از مقطع برای بازنمایی و ارزیابی معیارهای طراحی از جمله نور، صدا، رفت و آمد، گردش هوا و... استفاده کرد. بدین منظور در مقاطع باید جهات جغرافیایی (شمالی- جنوبی یا شرقی- غربی) مقطع را نیز در نظر بگیریم. بهینه‌سازی مصرف انرژی و تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر و غیرآلاینده از گام‌های مهم طراحی ساختمان‌های مبتنی بر انرژی صفر است. به منظور کاهش مصرف انرژی بایستی طراحان ساختمان، اتلاف انرژی موجود در ساختمان را کاهش دهند. در نتیجه راهکار موجود استفاده از پنجره‌هایی با عملکرد بسیار بالا و عایقکاری دیوارها، بام و کف ساختمان می‌باشد. ضمناً موقعیت پنجره‌ها، دیوارها، ایوان‌ها، سایبان‌ها و درخت‌ها بایستی طوری جهت‌یابی شود که موجب ایجاد سایه در تابستان و بیشترین بهره‌خوردگی در زمستان گردد. علاوه بر آن مکان مناسب پنجره می‌تواند باعث افزایش میزان نور روشنایی روز و کاهش مصرف انرژی الکتریکی روشنایی در طول روز گردد. مصالح ساختمان نیز از منظر زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. استفاده از تکنولوژی- های انرژی خورشیدی فعال و غیرفعال، انرژی الکتریکی خورشیدی استفاده از فضای سبز بر روی بام ساختمان از جمله راهکارهای موثر در این بخش محسوب می‌شود. استفاده از سیستم مدیریت یکپارچه ساختمان از دیگر راهکارهایی است که در این گونه ساختمان‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کنند. این سیستم با اعمال کنترل بر روی بخش‌های مختلف ساختمان اعم از تاسیسات حرارتی و برودتی، روشنایی، اعلام

حریق، درب‌های ساختمان و... امکان مدیریت و کاهش مصارف انرژی را فراهم می‌سازد.

۱۳- پیشنهادها

- پیشنهاد می‌شود که از ساختمان‌های انرژی صفر به دلیل حذف آلاینده‌ها و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده بیشتر سازندگان در شهر خرم‌آباد و شهرهای دیگر قرار بگیرد.
- خانه‌های انرژی صفر با تولید انرژی تجدیدپذیر کافی به صورت محلی، از طریق ترکیبی از فناوری‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، بادی و زیست توده، به همان میزان انرژی که در طول یکسال مصرف می‌کنند، انرژی تولید می‌کنند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که زمینه توسعه ساخت اینگونه خانه‌ها در سطح شهر با رعایت و اصول استانداردها ایجاد شود.
- پیشنهاد می‌شود که از ساختمان‌های انرژی صفر، از مصالحی استفاده شود که نه تنها آسیبی به محیط زیست وارد نکند. بلکه به حفظ محیط زیست نیز کمک کند.
- لزوم استفاده از پوشش گیاهی از نوع درختان خزان‌پذیر در نمای جنوبی و درختان همیشه سبز در نمای شرقی و غربی ساختمان برای استفاده حداکثر از انرژی خورشیدی.
- لزوم بازنگری در شرایط طراحی پیشنهاد شده در میحث ۱۹ از مقررات ملی ساختمان ایران.
- لزوم استفاده از تجهیزات پربازده برای کاهش مصرف انرژی.
- استفاده بهینه از پتانسیل انرژی خورشیدی برای تامین کل یا بخشی از انرژی مورد نیاز ساختمان‌ها در ایران با توجه به سهم بالای کشور ایران از نقطه نظر دریافت تابش خورشیدی.
- لزوم بکارگیری اصول و شرایط مطلوب برای معماری ساختمان.
- لزوم توجه به شرایط آب و هوایی و اقلیم هر منطقه برای رسیدن به فرم مطلوب معماری ساختمان.

۱۴- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۱۵- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۱۶- مراجع

- [1] Iranpour, L. (2016). Principles used in Zero Carbon Buildings (ZCB), Second International Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Planning at the Beginning of the Third Millennium. (In Persian)
- [2] Mahmoudi Zarandi, M. Ali Akbari, P., (2018), Zero energy in buildings (building energy zero), Sustainable urban management architecture, Civil Engineering Conference. (In Persian)
- [3] Bagheri Shemirani, S., Mofidi, S. M. (2016), "From Zero Energy Buildings to Positive Energy Buildings", Second National Conference on New and Clean Energies. (In Persian)
- [4] Dehghan, E. Afhemi, R. (2017); Studying Zero Carbon Building Design Solutions Using New Energy, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Contemporary Iran. (In Persian)
- [5] Yuehong L, Shengwei W, Kui S. (2019). Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings. Applied Energy 155 (2019) 463-477

- [6] Salvatore C, Shady A. (2019). Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. *Energy and Buildings* 125 (2019) 126–132.
- [7] Mohammadi Deh Cheshmeh, M. Ghaedi, S. Peyvan, N. (2019). Feasibility study of zero carbon city environmental strategy in Kurdish city, *Journal of Geography and Environmental Planning*, 31(3). (In Persian)
- [8] Habibzadeh, Z. (2019). Design strategies for zero-energy residential units considering the climatic conditions of cold and dry mountainous regions, *Third International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*. (In Persian)
- [9] Faramarzi Asl, M. Hejazi, M. Bagher Dast, A. (2017), Investigating the Zero Carbon Approach at the Neighborhood Scale, *International Conference on the Development of Macro-Infrastructures in Science and Engineering*. (In Persian)
- [10] Polina, T, Cheshmehzangi, A, Wu, D, and Craig Hancock. (2021), Post-Occupancy Evaluation of Indoor Air Quality and Thermal Performance in a Zero Carbon Building, *Sustainability*, 13, 667.
- [11] kijian Li, b. Wei Pan, j. (2018), Clusters and Examples of Buildings Towards Zero Carbon, . *Energy and Buildings* 102, 117–128.

² kijian Li Wei Pan

¹ Polina Trofimova et al.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



طراحی یک ساختمان مبتنی بر رویکرد معماری کربن صفر در شهر خرم
آباد

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Identification and ranking factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad

Farzad Ghaderi Bafti

Assistant Professor, Department of Construction Management, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Shirvan, Iran.

Ali Reza Afshari *

Assistant Professor, Department of Construction Management, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

*Corresponding author's email address:

afshari_2000@yahoo.com

How to cite this article:

Farzad Ghaderi Bafti, Ali Reza Afshari, Identification and ranking factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):50-59.

Abstract

Today, the emergence of the energy crisis and the resulting environmental problems have left many challenges by entering many activities in the field of architectural and urban design, which have a large share in energy consumption and environmental pollution. The present study was conducted with the aim of identifying and prioritizing the factors affecting the life of concrete buildings in the city of Mashhad. Based on the results of the analytic hierarchy process, it was determined that the factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad were technical factors, economic factors, managerial factors, natural and unnatural disasters, and building maintenance and care. In prioritizing the factors affecting the lifespan of concrete buildings in Mashhad using the analytic hierarchy process, the most important main criterion was the managerial criterion with a criterion weight of 0.214, and under the technical criterion, the lack of proper curing of concrete before and after concreting with a criterion weight of 0.182, under the economic criterion, the use of unskilled workers in concrete construction operations in terms of reducing costs with a criterion weight of 0.187, under the managerial criterion, the lack of supervision and control of the process of carrying out electrical and mechanical installations according to national building regulations with a criterion weight of 0.195, under the criterion of natural and unnatural disasters, leakage and dampness and unprincipled use of the building with a criterion weight of 0.198, and under the criterion of building maintenance and care, the lack of periodic services of building facilities such as elevators with a criterion weight of 0.21 as the most important factors in reducing the lifespan of concrete buildings. They were identified in the city of Mashhad.

Keywords

Building life, concrete building, Mashhad city, hierarchical analysis.

شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد

فرزاد قادری بافتی

استادیار، گروه مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیروان، شیروان، ایران.

علیرضا افشاری *

استادیار، گروه مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

ارجاع به مقاله:

فرزاد قادری بافتی، علیرضا افشاری، شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹(۲): ۵۰-۵۹.

چکیده

امروزه، پیدایش مساله بحران انرژی و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن، با ورود به بسیاری از فعالیت های حوزه طراحی معماری و شهری که سهم زیادی در مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست دارند، چالش های زیادی را از خود به جای گذاشته است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد انجام شد. بر اساس نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص شد عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد عامل فنی، عامل اقتصادی، عامل مدیریتی، حوادث طبیعی و غیر طبیعی و نگهداری و مراقبت از ساختمان بودند و در اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد با استفاده از فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی مشخص شد مهمترین معیار اصلی معیار مدیریتی با وزن معیار ۰/۲۱۴ و در زیر معیار فنی، عدم عمل آوری مناسب بتن قبل و بعد از انجام بتن ریزی با وزن معیار ۰/۱۸۲، زیر معیار اقتصادی، بکارگیری از کارگران غیرماهر در عملیات بتن سازی به لحاظ کاهش هزینه ها با وزن معیار ۰/۱۸۷، زیر معیار مدیریتی، عدم نظارت و کنترل فرایند انجام تاسیسات برقی و مکانیکی طبق مقررات ملی ساختمان با وزن معیار ۰/۱۹۵، زیر معیار حوادث طبیعی و غیر طبیعی، نشست و نم زدگی و استفاده غیر اصولی از بنا با وزن معیار ۰/۱۹۸ و زیر معیار نگهداری و مراقبت از ساختمان، عدم سرویس های دوره ای تاسیسات ساختمانی مثل آسانسور با وزن معیار ۰/۲۱ به عنوان مهمترین عوامل در کاهش عمر ساختمان های بتنی در شهر مشهد مشخص شدند.

کلمات کلیدی

عمر ساختمان، ساختمان بتنی، شهر مشهد، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی.

۱- مقدمه

تفاوت طول عمر مفید ساختمان های بتنی در ایران در مقایسه با کشورهای پیشرفته دیگر بسیار زیاد است. در کشورهای صنعتی و پیشرفته به دلیل رعایت اصول سازه ای و استفاده از مصالح متناسب

با اقلیم و همچنین در نظر گرفتن اختلاف دما و جلوگیری از انبساط و انقباض، عمر مفید ساختمان بتنی را حتی تا ۳۰۰ سال افزایش می دهند. اما در کشورهای غیر پیشرفته به علت نداشتن اطلاعات کافی در خصوص عوامل موثر در کاهش و افزایش عمر مفید ساختمان تخمین عمر مفید ساختمان بتنی نسبت به کشورهای صنعتی و



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



پیشرفته کمتر است که اختلاف بسیار زیادی است و نیاز است عوامل موثر بر عمر مفید ساختمان‌ها شناسایی و اولویت بندی شوند. در شرایط فعلی کشور ایران و ایجاد تورم در بخش مسکن و افزایش بی سابقه مصالح و بنا، سازندگان به سمت ساخت ساختمانهای بتنی میل پیدا نموده‌اند. با وجودی که ساخت ساختمان بتنی محدودیتهای خاص خودش اعم از زمانبر بودن ساخت، کاهش مانور معماری، عدم کنترل کیفیت بتن در زمان ساخت و غیره به لحاظ طول عمر بالا، مقرونه به صرفه بودن و کاهش هزینه‌های ساخت به صورت چشمگیری در شهر مشهد شاهد ساخت و ساز و بنای اسکلت‌های بتنی هستیم، اما ناگاهی، عدم تجربه کافی و غیره، دست به دست هم داده تا کیفیت ساخت این پروژه‌ها در حد معمول باشد. در صورتی که با برنامه‌ریزی مناسب و اطلاع از عوامل موثر بر طول عمر این سازه‌ها، میتوان برنامه‌ای تدوین نمود تا شاهد کیفیت بالای این ساختمانها، که به صورت سیستماتیک افزایش عمر آنان را به دنبال دارد تحولی بزرگ در صنعت ساختمان را شاهد باشیم [۱].

معمول‌ترین روشهای ساخت ساختمانها در سراسر دنیا سه روش ساختمان با مصالح بنایی، ساختمان با اسکلت فلزی و ساختمان با اسکلت بتنی است. امروزه تمام ساختمانها به یکی از دو روش اسکلت فلزی و اسکلت بتنی ساخته میشوند. در اسکلت فلزی، تیرآنها هستند که مهمترین نقش را ایفا میکنند و در واقع با اتصال و جوشکاری این مقاطع فولادی به یکدیگر، اسکلت ساختمان طراحی و ساخته میشود. اما در ساختمان اسکلت بتنی، اگر چه که آن را با اسم بتنی میشناسیم اما تنها از بتن ساخته نشده است. قرارگیری میلگردها در بین لایه‌های بتن سبب میشود تا بتن از نظر استحکام کششی بسیار تقویت شود. این امر منجر به دستیابی به بتن مسلح شده و میلگردهای به کار رفته در بتن مسلح را میلگردهای تقویتی میگویند. تفاوت طول عمر مفید ساختمان‌های بتنی در ایران در مقایسه با کشورهای پیشرفته دیگر بسیار زیاد است. در کشورهای صنعتی و پیشرفته به دلیل رعایت اصول سازه‌ای و استفاده از مصالح متناسب با اقلیم و همچنین در نظر گرفتن اختلاف دما و جلوگیری از انبساط و انقباض، عمر مفید ساختمان بتنی را حتی تا ۳۰۰ سال افزایش می‌دهند. اما در کشورهای غیر پیشرفته به علت نداشتن اطلاعات کافی در خصوص عوامل موثر در کاهش و افزایش عمر مفید ساختمان تخمین عمر مفید ساختمان بتنی نسبت به کشورهای صنعتی و پیشرفته کمتر است که اختلاف بسیار زیادی است. عمر مفید ساختمان بتنی بر اساس سن واقعی، سن بهره برداری و سن سندی تعیین می‌شود [۲].

سن واقعی ساختمان در واقع از زمانی حساب می‌شود که پروانه ساخت آن ساختمان آماده شده و ساخت و ساز شروع شود. از زمانی که یک ساختمان مورد استفاده قرار بگیرد و بهره برداری از آن آغاز شود سن بهره برداری آن ساختمان محاسبه می‌شود. سن سندی همانطور که از عنوان سن پیداست، سن سندی یک ساختمان از زمانی آغاز می‌شود که سند ساختمان ثبت شود. برای تعیین عمر مفید ساختمان بتنی این سه سن را بررسی می‌کنند و معمولاً سن بهره برداری و سن سندی را بیشتر مد نظر قرار می‌دهند. عمر مفید یک ساختمان بتنی از زمان بهره برداری تخمین زده می‌شود. در بعضی مواقع سند را بعد از چندین سال از زمان بهره برداری ثبت

می‌کنند، بنابراین برای تخمین عمر مفید آن ساختمان باید این مسئله به دقت پیگیری شود. عمر مفید ساختمان بتنی با توجه به عوامل مختلفی بررسی می‌شود برای افزایش عمر مفید ساختمان بهتر است همه اصول استاندارد ساخت سازه را در نظر گرفت. بطور مثال معایب و مزایای قالب‌های تونلی غیرضروری بودن اجرای تمام دیوارهای داخلی به صورت بتن مسلح که باعث عدم تغییر پلان و افزایش بار مرده ساختمان و می‌لگرد مصرفی می‌شود. عملکرد بهتر در برابر بارهایی مثل زلزله کاهش هدر رفت مصالح مصرفی افزایش سرعت بسیار بالا در اجرا کاهش هزینه‌های نیروی انسانی و دیگر موارد. که اگر قبل از انجام امور ساخت و ساز و حتی در حین ساخت، نظارت کافی بر مراحل ساخت سازه اعمال نگردد و عملیات ساخت و ساز بدون رعایت اصول استاندارد انجام شود، قطعاً عمر مفید سازه کم می‌شود [۳].

با نگاهی به پیشینه‌های انجام شده می‌توان برداشت نمود که در تحقیقات گذشته پژوهشی به این مضمون انجام نشده است و بنابر این ضروریست تحقیقی با این عنوان انجام شود و مسیر را به منظور افزایش طول عمر سازه‌های بتنی هموار تر نمایند. بنابر این این پژوهش به دنبال پاسخ به این سوال است که عوامل موثر بر عمر مفید ساختمانهای بتنی در شهر مشهد کدام است و اولویت بندی آنان چگونه است؟ تا با پاسخ به این سوال و ارائه پیشنهادات مناسب و همسو به برنامه ریزی برای افزایش عمر مفید ساختمانهای بتنی در مشهد کمک نماییم.

۲- پیشینه پژوهش

شیرزادی جاوید و فعله گری (۱۴۰۲) متغیرهای اقلیمی - منطقه‌ای و تاثیر آن‌ها را در ارزیابی چرخه عمر ساختمان و مصرف سالانه انرژی آن مورد بررسی قرار دادند. بدین ترتیب سه مدل یکسان در سه موقعیت با اقلیم متفاوت در آمریکای شمالی (بوستون، آریزونا و کبک) توسعه داده شده و ارزیابی چرخه عمر برای این سه مدل در دو سناریوی مختلف بررسی شده است. نتایج نشان داد با استفاده از مصالح مناسب که با ویژگی‌های آب و هوایی منطقه سازگاری دارد، بیش از ۲۸٪ در مصرف انرژی سالانه ساختمان در مرحله بهره‌برداری صرفه‌جویی شود. گرچه لایه عایق حرارتی به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند، اما موجب افزایش ۳٪ در مقدار گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته در طول چرخه عمر مدل می‌شود. این مقدار با توجه به این‌که حجم عایق حرارتی به کار گرفته شده در مجموع کمتر از ۲٪ از حجم کل مدل است، مقدار قابل تاملی است [۴].

اکرامی کاخکی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تاثیر حذف ستون میانی بر امکان رخداد خرابی پیشرونده در قاب‌های خمشی بتن آرمه با استفاده از تحلیل حساسیت پرداختند. در نهایت تاثیر حذف همزمان چند ستون در خرابی پیشرونده قاب‌ها نشان داد که حالت ۵ حذف ستون‌ها، دارای کمترین شاخص حساسیت و بیشترین شاخص تنومندی می‌باشد، در نتیجه شرایط بهتری در خرابی پیشرونده دارد [۵].

محمد پور و مناف پور (۱۴۰۱) به بررسی هزینه چرخه عمر قابهای بتن آرمه تاب آور با سطح طراحی لرزه‌ای ارتقا یافته پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که، ارتقا سطح طراحی سازه‌های



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



بتنی هزینه اولیه اسکلت و هزینه کل ساختمان را به ترتیب ۲۳ و ۵ درصد افزایش می‌دهد. این در حالی است که هزینه‌های تعمیر اسکلت سازه و کل ساختمان به ترتیب ۴۳ و ۱۸ درصد کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به کاهش ۱۳ درصدی هزینه چرخه عمر سازه‌ها می‌گردد [۶].

یوسفی و قلی پور (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای سعی کردند که مصرف انرژی طول عمر یک ساختمان واقعی با جزییات کامل را برآورد کنند تا ضمن ارائه پارامترهای موثر و چالش‌های موجود در هر بخش، روند محاسبه به عنوان یک الگو قابل استفاده باشد. بدین منظور، یک ساختمان واقعی با اسکلت بتنی و پلان متداول که اخیراً در شهر تهران ساخته شده، به عنوان نمونه انتخاب گردید و ضمن تشریح روند محاسبه مصرف انرژی طول عمر، انرژی مراحل مختلف چرخه حیات آن برآورد شد. دستاوردهای این مطالعه حاکی از آن است که سهم انرژی نهفته اولیه ساختمان معادل ۱۳٪ از کل انرژی طول عمر آن می‌باشد و در محدوده متداول ارقام جهانی قرار دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ۸۵٪ مصرف انرژی طول عمر ساختمان نمونه بتنی مربوط به دوره بهره‌برداری است که با توجه به طول عمر نسبتاً کم ساختمان‌ها در ایران نسبت به مقادیر جهانی، رقم بالایی محسوب می‌شود [۷].

ویکتور و همکاران (۲۰۲۱) به قابلیت اطمینان سازه لرزه‌ای پیشرفته در ساختمان‌های بتنی مسلح با استفاده از مهاربندهای کمانش‌ناپذیر پرداختند. در این مقاله، ما ساختمان‌های بتن‌آرمه با مهاربندهای کمانش‌ناپذیر (مهاربندهای کمانش‌تاب) را برای رسیدن به این هدف طراحی می‌کنیم. برای این منظور، سه سازه قاب بتن مسلح سنتی با سطوح طبقات ۳، ۶ و ۹ با استفاده از روش شناخته شده الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب به منظور کاهش هزینه و به حداکثر رساندن عملکرد لرزه‌ای طراحی شده‌اند. در این مقاله، سازه‌های بتن مسلح معادل با مهاربندهای کمانش‌ناپذیر طراحی شده‌اند. هر دو سیستم سازه‌ای در معرض چندین تحریک زمین باریک ثبت شده در مکان‌های خاک نرم مکزیکوسیتی که در سطوح مختلف شدت از نظر شتاب طیفی در حالت اول ارتعاش سازه مقیاس گذاری شده‌اند، قرار دارند. تحلیل دینامیکی فزاینده، شکنندگی لرزه‌ای و قابلیت اطمینان سازه‌ای بر حسب بیشینه دریفت بین طبقه‌ای برای تمامی ساختمان‌ها محاسبه شده‌است. برای سه سازه انتخاب شده و مدل‌های معادل با مهاربندهای کمانش‌ناپذیر، نتیجه گرفته می‌شود که نرخ افزایش سالانه هنگامی که مهاربندهای کمانش‌ناپذیر در نظر گرفته می‌شوند، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۸].

رست و همکاران (۲۰۱۸) به رفتار لرزه‌ای سازه‌های بتن آرمه نامنظم تحت زلزله‌های متعدد پرداختند. این مدل‌ها شامل ویژگی‌های تخریبی مناسبی هستند که می‌توانند اثرات تجمع تخریب را از لحاظ کاهش سختی و از بین رفتن قدرت در سطح مواد بتن و فولاد حاصل از زلزله‌های مکرر نشان دهند. سپس ویژگی‌های ساختاری این ساختمان‌ها برای رسیدن به یک مورد منظم، با حفظ همان سختی کلی، تغییر یافت [۹].

سید و همکاران (۲۰۱۸) به برآورد آسیب ساختمان‌ها پس از زلزله با استفاده از منطق فازی پرداختند. در تحقیق حاضر روشی بر اساس منطق فازی برای ارزیابی صدمات بعد از زلزله در ساختمان‌ها ارائه

شده است. در این روش، میزان صدمه از اطلاعات گزارش شده توسط پرسنل آموزش دیده و نظارت‌های انجام شده از پارامترهای بصری مثل "اجزای سازه" و "اجزای غیر سازه‌ای" بدست آمده‌اند. در این تحقیق تأثیرات تعداد و وزن قانون فازی بررسی می‌شود. همچنین، تأثیر مقایسه مرتبط با توابع عضویت در سطح صدمات کلی با استفاده از قانون وزن فازی تک شاخصی و میزان صدمه دارای بیشترین مقدار عضویت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در حالی که بقیه مقادیر صدمه‌ها علیرغم تأثیر کم نیز در نظر گرفته می‌شوند. یک الگوریتم ژنتیک نیز برای بهینه سازی وزن‌های مرتبط با میزان صدمه سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. پایگاه اطلاعاتی گردآوری شده که بیش از ۲۷۰۰۰ ساختمان را پوشش می‌دهد برای آموزش و ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش بینی تئوری بدست آمده از پردازش اتوماتیک برای فرم‌های ارزیابی در هر ساختمان با میزان صدمه کلی مقایسه می‌شوند (صدمه مشاهده شده) و توسط ناظران میزان صدمه تعیین می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی تئوری متناسب با مقادیر مشاهده شده برای ۹۰ درصد از ساختمان‌های ارزیابی شده است [۱۰].

حسن (۲۰۱۷) به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح در لرزه‌های می‌دان نزدیک پرداخت. حرکات می‌دان نزدیک زمین در مقایسه با حرکات می‌دان دور زمین، تحت تأثیر شدیدتر واکنش زلزله‌ای سازه قرار می‌گیرند. دلیل این مسئله این است که حرکات منبع نزدیک زمین با جهت مندی به سمت جلو، حاوی دوره‌های پالس بلند هستند. بنابراین تأثیرات تراکمی ثبت‌های گسل دور خیلی جزئی هستند. خسارت و فروپاشی سازه‌های مهندسی که در زلزله‌های دهه گذشته مشاهده شد نشان دهنده پتانسیل خسارت در سازه‌های موجود تحت حرکات می‌دان نزدیک زمین است. یک موضوع مهم مطالعه شده توسط مهندسان زلزله بعنوان بخشی از یک رویکرد عملکرد-محور، تعیین تقاضا و ظرفیت فروپاشی تحت زلزله می‌دان نزدیک است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی عملکرد ساختمانی زلزله‌ای بعنوان بخشی از توسعه یک مهندسی زلزله عملکرد محور پیشنهاد شده است. مطالعه حاضر نتایج خصوصیات مهم حرکات گسل نزدیک زمین در هنگام واکنش زلزله‌ای سازه‌های بتن آرمه را با استفاده از روش تحلیل پویای غیرخطی افزایشی بررسی کرده است. بخاطر این حقیقت که حرکات مختلف زمین منجر به طرح‌های "شدت در مقابل واکنش" مختلفی می‌گردد، این تحلیل بار دیگر تحت حرکات مختلف زمین انجام می‌شود تا می‌انگین‌های آماری مهمی بدست آید. مدلسازی عددی نشان داد که نتایج منبع نزدیک باعث می‌شوند که قسمت عمده انرژی زلزله‌ای از گسیختگی در یک پالس دوره طولانی منسجم منفرد بصورت حرکت و جابجایی‌های دائمی زمین ظاهر شود. و در نهایت اینکه آسیب پذیری ساختمان‌های بتن آرمه را می‌توان بر اساس تأثیرات حرکات گسل نزدیک و پالس مانند زمین ارزیابی کرد [۱۱].

۳- روش تحلیل سلسله مراتبی^۱

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف ترین فنون تصمیم گیری چند منظوره است که در سال ۱۹۷۰ توسط توماس ال‌ساعتی ابداع گردید. فرایند واکاوی سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم گیری است. انتخاب معیارها^۲ بخش اول واکاوی تحلیل سلسله مراتبی است.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



سپس بر اساس معیارهای شناسایی شده زیرمعیارها^۳ ارزیابی می‌شوند. علت سلسله مراتبی خواندن این روش آن است که ابتدا باید از اهداف و راهبردهای سازمان در راس هرم آغاز کرد و با گسترش آنها سنجه‌ها را شناسایی کرد تا به پایین هرم برسیم. این روش، مانند آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه تحلیل مسائل می‌پردازد. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به طور همزمان امکان‌پذیر می‌سازد. اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر مقایسه‌های زوجی یا دو به دوی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است. برای چنین مقایسه‌ای نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از تصمیم‌گیرندگان است. این امر به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی، تنها روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند. علاوه بر این مقایسه دوجه دویی، به دلیل اینکه پاسخ دهنده، فقط دو عامل را نسبت به هم می‌سنجد و به عوامل دیگر توجه ندارد، اطلاعات ارزشمندی را برای مسئله مورد بررسی فراهم می‌آورد و فرآیند تصمیم‌گیری را منطقی می‌سازد [۱۲].

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که در سال ۱۹۷۰ توسط توماس ال ساعتی ابداع گردید. فرایند واکاوی سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است. انتخاب معیارها^۴ بخش اول واکاوی تحلیل سلسله مراتبی است. سپس بر اساس معیارهای شناسایی شده زیرمعیارها^۵ ارزیابی می‌شوند. علت سلسله مراتبی خواندن این روش آن است که ابتدا باید از اهداف و راهبردهای سازمان در راس هرم آغاز کرد و با گسترش آنها سنجه‌ها را شناسایی کرد تا به پایین هرم برسیم. این روش، مانند آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه تحلیل مسائل می‌پردازد. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به طور همزمان امکان‌پذیر می‌سازد. اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر مقایسه‌های زوجی یا دو به دوی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است. برای چنین مقایسه‌ای نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از تصمیم‌گیرندگان است. این امر به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی، تنها روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند. علاوه بر این مقایسه دوجه دویی، به دلیل اینکه پاسخ دهنده، فقط دو عامل را نسبت به هم می‌سنجد و به عوامل دیگر توجه ندارد، اطلاعات ارزشمندی را برای مسئله مورد بررسی فراهم می‌آورد و فرآیند تصمیم‌گیری را منطقی می‌سازد. فرایند سلسله مراتبی تصمیم‌گیران را قادر می‌سازد اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرایند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را بر اساس اهداف، دانش و تجربه‌ی خود تنظیم نمایند؛ به نحوی که بتوان احساسات و قضاوت‌های خود را به طور کامل در نظر گرفت. پس از بررسی اطلاعات پرسشنامه‌ها باید از صحت اطلاعات اطمینان جست که این مهم با محاسبه ضریب ناسازگاری به دست می‌آید که باید از ۰/۱ کمتر باشد [۱۳].

این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها به اولویت بندی هر یک از معیارها پرداخته می‌شود. پنل خبرگان تحلیل سلسله مراتبی فازی این پژوهش را خبرگان و متخصصان آشنا به ساختمانهای بتنی در شهر مشهد که به طور اجرایی در ادارات، نهادهای دولتی و شرکتهای پیمانکاری فعالیت می‌کنند و همچنین پژوهشگران حوزه‌های مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل می‌دهند. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با مشارکت افرادی انجام می‌پذیرد که در موضوع پژوهش دارای دانش و تخصص باشد. این افراد با عنوان پانل خبرگان شناخته می‌شود. گزینش اعضای واجد شرایط برای پانل خبرگان از مهمترین مراحل این روش به حساب می‌آید؛ زیرا اعتبار نتایج کار بستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد. این افراد بر خلاف آنچه در پیمایش‌های کمی معمول است، بر مبنای نمونه-گیری احتمالی انتخاب نمی‌شوند؛ زیرا روش ساز و کاری برای تصمیم‌گیری گروهی است و نیاز به متخصصان واجد شرایطی دارد که درک و دانش عمیقی از موضوع پژوهش داشته باشند. روشن است که این افراد را نمی‌توان از این طریق انتخاب کرد. معمولاً انتخاب اعضای پانل از طریق نمونه‌گیری غیر احتمالی صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های استفاده شده در این زمینه، نمونه‌گیری هدفدار یا قضاوتی است. این روش بر این فرض استوار است که دانش پژوهشگر درباره جامعه برای دستچین کردن اعضای پانل قابل استفاده است. در صورتیکه پژوهشگر، خود تمام افراد مناسب را برای عضویت در پانل نشاناسند، می‌توان از روش نمونه‌گیری گلوله برفی نیز استفاده کرد که نوع دیگری از روش‌های غیر احتمالی به حساب می‌آید. در این روش، پژوهشگر کار تعیین اعضا را با شناسایی فرد یا گروهی از افراد آگاه، آغاز و از این طریق به دیگر افراد مناسب برای کار دست می‌یابد. این روش به ویژه هنگامی که کار می‌رود که شناخت افراد مناسب برای پژوهشگر دشوار باشد، تعداد مناسب برای اعضای پانل خبرگان، نکته مهم دیگری است که در تشکیل پانل باید به آن توجه کرد. مانند هر نوع نمونه‌گیری دیگر، حجم نمونه به عواملی مانند امکان دسترسی به افراد، زمان لازم و هزینه گردآوری اطلاعات بستگی دارد. در روش دلفی که اعضای پانل باید از متخصصان موضوع پژوهش باشند، این محدودیت‌ها افزایش پیدا میکنند. از طرف دیگر، ایجاد اتفاق نظر میان اعضا به عنوان هدف از کاربرد این روش با افزایش آمار دشوارتر می‌شود. هر چند تعداد اعضای پانل در پژوهش‌های پیشین بین ۱۰ تا ۱۶۸۵ نفر متغیر بوده است، اما هنگامی که میان اعضای پانل تجانس وجود داشته باشد، حدود ۱۰ تا ۲۰ عضو توصیه شده است. بر این اساس، اعضای پانل خبرگان برای این پژوهش به صورت نمونه‌گیری غیر احتمالی و ترکیبی از روشهای هدف دار یا قضاوتی و زنجیره‌ای برگزیده شده‌اند. بر این اساس، ابتدا ۱۰۰ نفر از افرادی نامزد میشوند که پژوهشگران برای مشارکت در این پژوهش مناسب می‌دانند. در این مطالعه تحلیل سلسله مراتبی فازی، جامعه آماری شامل ۲۰ نفر از خبرگان آشنا با ساختمانهای بتنی در شهر مشهد بود. جامعه آماری شامل مدیران و کارشناسان در سازمان‌ها، ادارات، دانشگاه دولتی و آزاد مشهد بود که به شیوه تمام شماری ۲۰ نفر از متولیان امر انتخاب شدند. روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و میدانی بود. در ابتدا اطلاعات و



مدارک پیرامون ادبیات موضوع از طریق بررسی کتب، مقالات علمی، آئین‌نامه‌ها و مقررات داخلی و خارجی حول محور موضوع، استخراج گردید. در مرحله بعد، جهت درک میزان انطباق یافته‌های حاصل از مباحث تئوریک مطرح شده در بررسی‌های کتابخانه‌ای با واقعیت‌های موجود در ساختمانهای بتنی در شهر مشهد، یک سری مطالعات میدانی صورت گرفت. در نتیجه با توجه به مطالعات و مصاحبه‌هایی که با متخصصین صورت گرفت، پرسشنامه‌ای تدوین گشت و در نهایت به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته شد و عوامل موثر بر عمر ساختمانهای بتنی در شهر مشهد از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی اولویت بندی شد. توماس ساعتی چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است. این اصول عبارتند از: **شرط معکوسی**؛ اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود. **همگنی**؛ عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشد. به بیان دیگر ترجیح عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بینهایت یا صفر باشد.

وابستگی؛ هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

انتظارات؛ هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد، پروسه ارزیابی باید مجدد انجام گیرد.

تحلیل سلسله مراتبی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی و کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی تحلیل سلسله مراتبی در یک تصمیم‌گیری شامل ۴ فاز است:

تشکیل درخت سلسله مراتبی (پیاده‌سازی): اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مساله می‌باشد که در آن، هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. در تحقیق، سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می‌باشد که در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. این کار به ساده‌تر کردن فهم مسئله و دقت بیشتر تصمیم‌گیرنده و توجه بیشتر به نکات و ظرافت‌های پیش‌رو، در حل آن کمک شایانی می‌کند.

مقایسات زوجی: در تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطر نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد. این وزن‌ها را وزن نسبی نامیده می‌شود. سپس با تلفیق این وزن‌ها، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرنده‌ها از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند. بگونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالت‌های جدول ۱ است.

استخراج وزن‌ها از ماتریس تصمیم: چهار روش عمده در محاسبه وزن‌های ماتریس مقایسات زوجی موجود است که شامل روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتم، روش بردار ویژه و روشهای تقریبی (مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی،

میانگین هندسی). سه روش اول وزن‌ها را به طور دقیق بدست می‌آورند، روش‌های تقریبی دقت روش‌های قبلی را ندارند، با این حال به علت سهولت و حجم محاسبات کمتر بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند، این روش‌ها شامل روش‌های مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی و میانگین هندسی می‌باشد. یکی از ساده‌ترین روشها جهت محاسبه وزن‌های نسبی استفاده از میانگین حسابی میباشد.

جدول ۱ مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۱	یکسان
۳	کمی مرجح
۵	ارجحیت قوی
۷	ارجحیت خیلی قوی
۹	کاملاً مرجح
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

محاسبه نرخ ناسازگاری: تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ ناسازگاری معیاری است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویتهای حاصل از مقایسات اعتماد کرد. برای مثال اگر گزینه A نسبت به B مهمتر (ارزش ترجیحی ۵) و B نسبتاً مهمتر (ارزش ترجیحی ۳) باشد، آنگاه باید انتظار داشت A نسبت به C خیلی مهمتر (ارزش ترجیحی ۷ یا بیشتر) ارزیابی گردد یا اگر ارزش ترجیحی A نسبت به B، ۲ و B نسبت به C، ۳ باشد آنگاه ارزش A نسبت به C باید ارزش ترجیحی ۴ را ارائه کند. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما وقتیکه تعداد مقایسات افزایش یابد اطمینان از سازگاری مقایسات به راحتی میسر نبوده و باید با به کارگیری نرخ سازگاری به این اعتماد دست یافت. تجربه نشان داده است که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱۰ باشد سازگاری مقایسات قابل قبول بوده و در غیر اینصورت مقایسه‌ها باید تجدید نظر شود. قدم‌های زیر برای محاسبه نرخ ناسازگاری به کار گرفته می‌شود:

گام ۱. محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی «وزن نسبی» ضرب کنید بردار جدیدی را که به این طریق بدست می‌آورد، بردار مجموع وزنی بنامید.

گام ۲. محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم کنید. بردار حاصل بردار سازگاری نامیده می‌شود.

گام ۳. بدست آوردن λ_{max} ، میانگین عناصر برداری سازگاری λ_{max} را به دست می‌دهد.

گام ۴. محاسبه شاخص سازگاری: شاخص سازگاری بصورت فرمول ۴-۱ تعریف می‌شود:



(۱-۴)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n عبارتست از تعداد گزینه‌های موجود در مساله

گام ۵. محاسبه نسبت سازگاری: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی مطابق فرمول ۴-۲ بدست می‌آید.

(۲-۴)

$$IR = \frac{CI}{RI}$$

نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر سازگاری در مقایسات را بیان می‌کند.

۴- نتایج تحقیق

پژوهشگران در این پژوهش کمی به شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی می‌پردازد. با توجه به موضوع و سوالات، تحقیق حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از حیث روش اکتشافی و علت و معلولی است. که اطلاعات آن به شیوه میدانی و غیر میدانی و از طریق پرسشنامه زوجی جمع آوری گردیده است. در این تحقیق پانل خبرگان عبارت است از، مهندسين شاغل در پروژه-های ساختمانهای بتنی مسکونی در مشهد، که تعداد کل آنها حدود ۲۰ نفر شناسایی گردید. برای تحقیق حاضر شیوه نمونه‌گیری در دسترس به علت کم بودن تعداد و در دسترس بودن همه اعضا در نظر گرفته شد. با توجه به اهداف پژوهش بهترین راه برای جمع آوری اطلاعات استفاده از پرسش نامه تشخیص داده شد. پس از مطالعات متعدد و مصاحبه با افراد و صاحب نظران استفاده از پرسشنامه‌های استاندارد برای تحقیق مشخص گردید. در این تحقیق از پرسشنامه محقق ساخت عوامل موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد استفاده شد این پرسشنامه دارای ۸۵ سوال و ۵ بعد میباشد. گویه‌های مرتبط با هر سوال بر اساس مقیاس ۹ گزینه‌ای از کاملاً بی‌اهمیت و بسیار بااهمیت نمره‌گذاری شده است.

اولویت بندی عوامل شناسایی شده با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار اکسل انجام شد. ابتدا نرخ سازگاری هر ۶ بعد در ماتریس مقایسات زوجی را به دست آوردیم، برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی ابتدا سیستم سلسله مراتبی با استفاده از تکنیک‌های مقایسه زوجی تشکیل شد.

جدول ۲ سرفصل هر یک از سوالات پرسش‌نامه عوامل موثر بر عمر

ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد

ردیف	سرفصل سوالات	تعداد گویه
۱	معیارهای اصلی	۵
۲	زیر معیارهای فنی	۶
۳	زیر معیارهای اقتصادی	۶
۴	زیر معیارهای مدیریتی	۶
۵	زیر معیارهای حوادث طبیعی و غیر طبیعی	۶
۶	زیر معیارهای نگهداری و مراقبت از ساختمان	۶

برای مقایسات زوجی ماتریسی برای معیارها ایجاد شده است. سیستمی از اعداد را برای مشخص کردن میزان اهمیت یک معیار بر دیگری ایجاد نمود که در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ معیارها در مقایسات زوجی

شدت اهمیت	واژگان زبانی قضاوت
۱	اهمیت برابر
۳	اهمیت متوسط
۵	اهمیت قوی
۷	اهمیت بسیار قوی
۹	بیش‌ترین میزان اهمیت
۰.۲، ۰.۴، ۰.۸	میزان‌های میانه بین ارزش‌های فوق

پردازش و تحلیل داده‌ها و به دست آوردن مقایسات زوجی عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد بشرح جداول ۴ است:

جدول ۴ ماتریس مقایسات زوجی عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد

عامل فنی	۱	۲/۳۴	۲/۳۳	۳/۴۱	۲/۵۵
عامل اقتصادی	۲/۳۹	۱	۲/۲۲	۲/۳۱	۲/۸۱
عامل مدیریتی	۲/۴۱	۲/۵۹	۱	۳/۵۷	۲/۴۴
عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی	۲/۴۱	۲/۲۹	۲/۳۳	۱	۲/۵۸
عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان	۲/۵۴	۲/۰۹	۲/۴۴	۲/۳۷	۱
	۱۰/۷۵	۱۰/۳۱	۱۰/۳۲	۱۲/۶۶	۱۱/۳۸

جدول ۵ ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد

عامل فنی	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۲
عامل اقتصادی	۰/۲۲	۰/۱	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۵
عامل مدیریتی	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱	۰/۲۸	۰/۲۱
عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۲۳
عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۰۹

جدول ۶ متوسط سطرها در ماتریس مقایسات زوجی عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد

عامل فنی	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۲	۱/۰۴	۰/۳۰۸
عامل اقتصادی	۰/۲۲	۰/۱	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۹۶	۰/۱۹۲
عامل مدیریتی	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱	۰/۲۸	۰/۲۱	۱/۰۷	۰/۲۱۴
عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۹۸	۰/۱۹۶
عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۹۵	۰/۱۹



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



همانطور که ملاحظه می‌گردد بر اساس نتایج متوسط سطرها در ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده، عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد به شرح جدول ۷ است. همچنین همانطور که ملاحظه می‌گردد بر اساس نتایج متوسط سطرها در ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارها، اهمیت ابعاد به شرح جدول ۸ تا ۱۲ است.

جدول ۷ اولویت بندی عوامل اصلی موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد

ردیف	عامل	وزن عامل
۱	عامل مدیریتی	۰/۲۱۴
۲	عامل فنی	۰/۲۰۸
۳	عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی	۰/۱۹۶
۴	عامل اقتصادی	۰/۱۹۲
۵	عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان	۰/۱۹

جدول ۸ اولویت بندی زیر معیارهای فنی

ردیف	عامل	وزن زیرمعیار
۱	عدم عمل آوری مناسب بتن قبل و بعد از انجام بتن ریزی	۰/۱۸۲
۲	جانمایی نامناسب تاسیسات برقی و مکانیکی به علت عدم تطابق نقشه معماری و تاسیسات و سازه	۰/۱۷۵
۳	عدم محاسبه درز انقطاع استاندارد در هنگام ساخت بنای بتنی	۰/۱۷۳
۴	کیفیت پایین ماشین آلات حمل و نقل و تولید بتن	۰/۱۷۲
۵	عدم نظارت دقیق بر کیفیت بتن ریزی در پروژه‌های ساختمانی	۰/۱۵۷
۶	اعمال بارگذاری بیش از حد نقشه‌های محاسباتی در اثر تغییرات معماری ساختمان و تغییر کاربری	۰/۱۴۲

جدول ۹ اولویت بندی زیر معیارهای اقتصادی

ردیف	عامل	وزن زیرمعیار
۱	بکارگیری از کارگران غیرماهر در عملیات بتن سازی به لحاظ کاهش هزینه‌ها	۰/۱۸۷
۲	استفاده از مواد و مصالح درجه ۲ یا ۳ یا حتی درجه ۴ به منظور پایین آوردن هزینه‌های ساخت	۰/۱۸۳
۳	استفاده از مصالح مستعمل (میلگرد دووو) در ساخت	۰/۱۷
۴	تغییر در نوع اجرای تاسیسات مکانیکال و الکتریکی جهت صرفه جویی در هزینه	۰/۱۶۲
۵	عدم استفاده از فناوری‌های به روز بتن به علت افزایش هزینه	۰/۱۵۵
۶	استفاده از بتن‌های ارزان به لحاظ کاهش هزینه	۰/۱۴۳

جدول ۱۰ اولویت بندی زیر معیارهای مدیریتی

ردیف	عامل	وزن زیرمعیار
۱	عدم نظارت و کنترل فرایند انجام تاسیسات برقی و مکانیکی طبق مقررات ملی ساختمان	۰/۱۹۵
۲	عدم سازوکارهای مناسب مدیریتی به منظور افزایش کیفیت بتن	۰/۱۹۵
۳	دستکاری نتایج بتن در اثر تبانی با آزمایشگاه	۰/۱۷
۴	در نظر گرفتن بعد مسافتی بچینگ تا محل پروژه	۰/۱۶۳
۵	عدم برنامه زمانبندی منابع مناسب به منظور بتن ریزی در پروژه‌های ساختمانی	۰/۱۴۷
۶	عدم انجام آزمایشات دوره‌ای در بچینگ	۰/۱۲۸

جدول ۱۱ اولویت بندی زیر معیارهای حوادث طبیعی و غیر طبیعی

ردیف	عامل	وزن زیرمعیار
۱	نشست و نم زدگی و استفاده غیر اصولی از بنا	۰/۱۹۸
۲	وجود حشرات مخرب از قبیل موربانه	۰/۱۹
۳	افتشاشات، جنگ و بمباران	۰/۱۷۷
۴	نشست تدریجی قسمتی از ساختمان در اثر عدم تحکیم زیر پی	۰/۱۶۲
۵	عقب نشینی ساختمان و اجبار به تخریب	۰/۱۳۸
۶	رانش، زلزله، آتش سوزی، سیل و یخبندان	۰/۱۳۳

جدول ۱۲ اولویت بندی زیر معیارهای نگهداری و مراقبت از ساختمان

ردیف	عامل	وزن زیرمعیار
۱	عدم سرویس‌های دوره‌ای تاسیسات ساختمانی مثل آسانسور و . .	۰/۲۱
۲	طرح و توسعه معماری بنا بعد از بهره برداری کامل	۰/۲۰
۳	بی توجهی به تخریب‌های پیش رونده در هنگام بهره برداری توسط ساکنین	۰/۱۷۳
۴	دفع نامناسب مواد خورنده بتن و تخریب پیش رونده با مواد اسیدی	۰/۱۴۲
۵	عدم تعمیر و مرمت یا مقاوم سازی سازه به موقع به علت بهره برداری نادرست توسط ساکنین	۰/۱۳۸
۶	تخریب بتن و یا قطع نمودن ارماتورهای بتن به لحاظ تغییر در معماری	۰/۱۳۷



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



۵- نتایج و پیشنهادات

امروزه، پیدایش مساله بحران انرژی و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن، با ورود به بسیاری از فعالیت‌های حوزه طراحی معماری و شهری که سهم زیادی در مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست دارند، چالش‌های زیادی را از خود به جای گذاشته است. به همین منظور والیان امر را به سمتی سوق می‌دهد، تا به راه حلی برای کاهش مصرف، بهره‌وری بیشتر ساختمان‌ها و برطرف کردن مشکلات زیست محیطی دست یابند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر عمر ساختمانهای بتنی در شهر مشهد انجام شد. پانل خبرگان این پژوهش مهندسين شاغل در پروژه‌های ساختمان‌های بتنی مسکونی در مشهد است، به تمام اعضای شناسایی شده پرسشنامه توزیع که در نهایت تعداد ۲۰ پرسشنامه عودت شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه محقق ساخته عوامل موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی مسکونی در شهر مشهد استفاده شد. این پرسشنامه دارای ۸۵ سوال و ۵ بعد می‌باشد. گویه‌های مرتبط با هر سوال بر اساس مقیاس ۹ گزینه‌ای از کاملاً بی‌اهمیت و بسیار بااهمیت نمره‌گذاری شده است. روایی و پایایی پرسشنامه مورد تأیید واقع شد و بر اساس آزمون شاخص t مشخص شد عوامل موثر بر عمر ساختمانهای بتنی در شهر مشهد ۱- عامل فنی، ۲- عامل اقتصادی، ۳- عامل مدیریتی، ۴- حوادث طبیعی و غیر طبیعی و ۵- نگهداری و مراقبت از ساختمان بودند و در اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمانهای بتنی در شهر مشهد با استفاده از فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی مشخص شد مهمترین معیار اصلی معیار مدیریتی با وزن معیار ۰/۲۱۴ و در زیر معیار فنی، عدم عمل‌آوری مناسب بتن قبل و بعد از انجام بتن ریزی با وزن معیار ۰/۱۸۲، زیر معیار اقتصادی، بکارگیری از کارگران غیرماهر در عملیات بتن سازی به لحاظ کاهش هزینه‌ها با وزن معیار ۰/۱۸۷، زیر معیار مدیریتی، عدم نظارت و کنترل فرایند انجام تاسیسات برقی و مکانیکی طبق مقررات ملی ساختمان با وزن معیار ۰/۱۹۵، زیر معیار حوادث طبیعی و غیر طبیعی، نشت و نم زدگی و استفاده غیر اصولی از بنا با وزن معیار ۰/۱۹۸ و زیر معیار نگهداری و مراقبت از ساختمان، عدم سرویس‌های دوره‌ای تاسیسات ساختمانی مثل آسانسور و... با وزن معیار ۰/۲۱ به عنوان مهمترین عوامل در کاهش عمر ساختمان‌های بتنی در شهر مشهد مشخص شدند.

در اولویت بندی زیر معیارهای عوامل موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی در شهر مشهد در عوامل فنی به ترتیب: ۱- عدم عمل‌آوری مناسب بتن قبل و بعد از انجام بتن ریزی با وزن معیار ۰/۱۸۲، ۲- جانمایی نامناسب تاسیسات برقی و مکانیکی به علت عدم تطابق نقشه معماری و تاسیسات و سازه با وزن معیار ۰/۱۷۵، ۳- عدم محاسبه درز انقطاع استاندارد در هنگام ساخت بنای بتنی با وزن معیار ۰/۱۷۳، ۴- کیفیت پایین ماشین‌الات حمل و نقل و تولید بتن با وزن معیار ۰/۱۷۲، عدم نظارت دقیق بر کیفیت بتن ریزی در پروژه‌های ساختمانی با وزن معیار ۰/۱۵۷ و اعمال بارگذاری بیش از حد نقشه‌های محاسباتی در اثر تغییرات معماری ساختمان و تغییر کاربری با وزن معیار ۰/۱۴۲ بودند.

در بحث زیر معیارهای عامل اقتصادی به ترتیب: ۱- بکارگیری از کارگران غیرماهر در عملیات بتن سازی به لحاظ کاهش هزینه‌ها با وزن معیار ۰/۱۸۷، ۲- استفاده از مواد و مصالح درجه ۲ یا ۳ و یا حتی درجه ۴ به منظور پایین آوردن هزینه‌های ساخت با وزن معیار ۰/۱۸۳، ۳- استفاده از مصالح مستعمل در ساخت بنا با وزن معیار ۰/۱۷، ۴- تغییر در نوع اجرای تاسیسات مکانیکال و الکتریکال جهت صرفه جویی در هزینه با وزن معیار ۰/۱۶۲، ۵- عدم استفاده از فناوری‌های به روز بتن به علت افزایش هزینه با وزن معیار ۰/۱۵۵ و ۶- استفاده از بتن‌های ارزان به لحاظ کاهش هزینه با وزن معیار ۰/۱۴۳ بودند.

در بحث زیر معیارهای عامل مدیریتی به ترتیب: ۱- عدم نظارت و کنترل فرایند انجام تاسیسات برقی و مکانیکی طبق مقررات ملی ساختمان با وزن معیار ۰/۱۹۵، ۲- عدم سازوکارهای مناسب مدیریتی به منظور افزایش کیفیت بتن با وزن معیار ۰/۱۹۵، ۳- دستکاری نتایج بتن در اثر تبانی با آزمایشگاه با وزن معیار ۰/۱۷، ۴- در نظر گرفتن بعد مسافتی بچینگ تا محل پروژه با وزن معیار ۰/۱۶۳، ۵- عدم برنامه زمانبندی منابع مناسب به منظور بتن ریزی در پروژه‌های ساختمانی با وزن معیار ۰/۱۴۷ و ۶- عدم انجام آزمایشات دوره‌ای در بچینگ با وزن معیار ۰/۱۲۸ بودند.

در بحث زیر معیار عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی به ترتیب: ۱- نشت و نم زدگی و استفاده غیر اصولی از بنا با وزن معیار ۰/۱۹۸، ۲- وجود حشرات مخرب از قبیل موربانه و وووو با وزن معیار ۰/۱۹، ۳- اغتشاشات، جنگ و بمباران با وزن معیار ۰/۱۷۷، ۴- نشت تدیچی قسمتی از ساختمان در اثر عدم تحکیم زیر پی با وزن معیار ۰/۱۶۲، ۵- عقب نشینی ساختمان و اجبار به تخریب با وزن معیار ۰/۱۳۸ و ۶- رانش، زلزله، آتش سوزی، سیل و یخبندان با وزن معیار ۰/۱۳۳ بودند.

و نهایتاً در بحث زیر معیارهای عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان به ترتیب: ۱- عدم سرویس‌های دوره‌ای تاسیسات ساختمانی مثل آسانسور و... با وزن معیار ۰/۲۱، ۲- طرح و توسعه معماری بنا بعد از بهره برداری کامل با وزن معیار ۰/۲۰، ۳- بی توجهی به تخریب‌های پیش رونده در هنگام بهره برداری توسط ساکنین با وزن معیار ۰/۱۷۳، ۴- دفع نامناسب مواد خورنده بتن و تخریب پیش رونده با مواد اسیدی با وزن معیار ۰/۱۴۲، ۵- عدم تعمیر و مرمت یا مقاوم سازی سازه به موقع به علت بهره برداری نادرست توسط ساکنین با وزن معیار ۰/۱۳۸ و تخریب بتن و یا قطع نمودن ارماتورهای بتن به لحاظ تغییر در معماری با وزن معیار ۰/۱۳۷ بودند.

سالیانه ساختمان‌های فراوانی در کشور تخریب و بجای آن‌ها ساختمان‌های جدید بنا می‌شود که برای ساخت این ساختمان‌ها منابع عظیم مصالح ساختمانی، منابع انرژی و هزینه‌های زیادی صرف می‌شود متأسفانه در حالیکه این ساختمان‌ها باید ساختمان‌های بین نسلی باشند و از نسلی به نسل دیگر منتقل شوند پس از گذشت سالیان کوتاه بدلیل متفاوت تخریب می‌شوند و همه منابع مورد استفاده هدر می‌روند. بنظر می‌رود فارغ از قرار داشتن بخش‌های زیادی از کشور روی گسل‌های زلزله خیز، بر اساس آمارهای موجود عمر عادی ساختمان در ایران ۲۰ تا ۳۰ سال از دیگر کشورها پائین تر بوده و حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد نیز از آسیب پذیری بیشتری



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



برخوردارند. نتیجه این نوع ساخت و ساز در کشور استفاده بیش از حد از منابع و به هدر دادن آن‌ها را در پی خواهد داشت. با توجه به نتایج کسب شده و اینکه پنج عامل ۱- عامل فنی، ۲- عامل اقتصادی، ۳- عامل مدیریتی، ۴- حوادث طبیعی و غیر طبیعی و ۵- نگهداری و مراقبت از ساختمان به عنوان عوامل موثر بر عمر ساختمان‌های بتنی در شهر مشهد شناسایی شد پیشنهاد می‌شود ترتیبی اتخاذ گردد تا با بکارگیری از ابزارها و سازوکارهای موثر ترتیبی اتخاذ گردد تا توجه بیشتری به بحث کنترل دقیق عملیات ساختمانی اعم از فرایندهای ساخت، انتقال، بتن ریزی، عمل آوری و مراقبت بعد از آن شود تا این پنج عامل را پوشش دهد. همچنین در بحث اولویت بندی مشاهده شد که مدیریت نقش بسیار پر رنگی در عمر ساختمان‌های بتنی به خود اختصاص داده بود که لازمه آن استفاده از ابزارهای قدرتمند مدیریتی در زمینه ایجاد دم سازوکارهای مناسب مدیریتی به منظور افزایش کیفیت بتن، استفاده از سیستم‌های به روز و اتوماسیون به منظور جلوگیری از دستکاری نتایج بتن در اثر تبانی با آزمایشگاه، ارائه راهکارهای مناسب و سفارش بتن از بچینگ‌های با بعد مسافتی نزدیک محل پروژه با برنامه ریزی و یا انجام بتن ریزی در زمان کم ترافیک به منظور تسریع در ارسال بتن از بچینگ به محل پروژه، استفاده از برنامه‌های زمان بندی به روز به منظور ارائه برنامه زمانبندی مناسب عملیات بتن ریزی و در نهایت ایجاد شبکه‌های دسترسی به منظور کنترل و بررسی وضعیت آزمایشات دوره‌ای بچینگ‌های مورد استفاده قبل از خرید بتن و بطور کلی سیستمی کردن ارتباط بچینگ با سازنده‌ها و مهندسین می‌تواند گامی مثبت در بهبود عمر ساختمان‌های بتنی در این مقوله باشد. همچنین در اولویت بندی زیر معیارهای فنی مشخص گردید عدم عمل آوری مناسب بتن قبل و بعد از انجام بتن ریزی به عنوان مهمترین عامل در بحث عمر ساختمان‌های بتنی مطرح شده است که لازمه آن استفاده از ابزارها و سیستم‌های به روز و تغییر از سیستم بتن ریزی سنتی و حرکت به سیستم‌های به روز بتن ریزی و عمل آوری می‌باشد که نیازمند همکاری و همیاری سازمان نظام مهندسی و دستگاه‌های اجرایی در این زمینه می‌باشد. در بحث عامل اقتصادی مشخص شد زیر معیار بکارگیری از کارگران غیرماهر در عملیات بتن سازی به لحاظ کاهش هزینه‌ها به عنوان مقوله مهم شناسایی شد که در این زمینه پیشنهاد می‌شود سازمان نظام مهندسی به همراه اداره کار وارد گود شوند و با ارائه قوانین سخت گیرانه از بکارگیری کارگران فاقد مدارک معتبر کاری اعم از گواهینامه‌های فنی حرفه‌ای و وو در زمینه بتن ریزی ممانعت به عمل آورند و به گونه شود تا با این فرایند به صورت سیستماتیک کارگران غیرماهد و فاقد مدارک معتبر از پروژه‌های ساختمانی حذف گردند و شاهد افزایش عملکرد فرایند بتن ریزی در این پروژه‌ها باشیم. در بحث عامل حوادث طبیعی و غیر طبیعی زیر معیار نشت و نم زدگی و استفاده غیر اصولی از بنا که متاسفانه به صورت یک اپیدمی در تمامی ساختمان‌ها بروز می‌نماید پیشنهاد می‌شود. با استفاده از افزایش بازدیدهای دوره‌ای در بحث و نگهداری ساختمان با ایجاد دفترچه تامین و نگهداری ساختمان و واگذاری این بخش به سازمان مشخصی، همچون شهرداری و یا سازمان نظام مهندسی اقدام به بازدیدهای دوره‌ای و ثبت در دفترچه مورد نظر قبل از بروز هرگونه نشت و یا استفاده غیر اصولی به مالکین

تذکر داده شود تا شاهد افزایش عمر این ساختمان‌ها باشیم و در نهایت در بحث عامل نگهداری و مراقبت از ساختمان زیر معیار عدم سرویس‌های دوره‌ای تاسیسات ساختمانی که پیشنهاد می‌شود همچون عامل طبیعی و غیر طبیعی عمل شود.

۶- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۷- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۸- مراجع

- [1] M. Anbarlouie, "Investigation and comparison of the effect of length of glass tubes containing polyurethane adhesive on restoration performance of the self-healing concretes," *Journal of engineering and construction management*, vol. 5, no. 3, pp. 23-32, 2020.
- [2] "Introduction of New Index Named "Remaining Useful Life of Building" to Assess the Seismic Vulnerability of Structures," (in eng), *Journal of Structure & Steel, Research* vol. 8, no. 15, pp. 57-66, 2014.
- [3] M. Ghanoonibagha, M. A. Shayanfar, S. Asgarani, and M. Zabihi Samani, "Service-Life Prediction of Reinforced Concrete Structures in Tidal Zone," (in eng), *Journal Of Marine Engineering, Research Paper* vol. 12, no. 24, pp. 13-22, 2017.
- [4] A. A. Shirzadi Javid and S. Falegari, "BIM-Based LCA and the role of Regional Variables," *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 87-105, 2023.
- [5] S. A. Ekrami Kakhki, A. Kheyroddin, and A. Mortezaei, "Evaluation the effect of middle column removal on the occurrence potential of progressive collapse in reinforced concrete moment frames using sensitivity analysis," *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 172-203, 2023.
- [6] B. Mohammadpour and M. Alireza, "Investigating life-cycle cost for resilient RC frames with enhanced seismic performance objectives," *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 9, no. 12, pp. 155-175, 2023.
- [7] F. Yousefi and Y. Gholipour, "Life cycle assessment of a real residential building in Tehran," *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, vol. 23, no. 1, pp. 81-92, 2018.
- [8] V. Baca et al., "Enhanced seismic structural reliability on reinforced concrete buildings by using buckling restrained braces," *Shock and Vibration*, vol. 2021, no. 1, p. 8816552, 2021.
- [9] R. Oyguc, C. Toros, and A. E. Abdelnaby, "Seismic behavior of irregular reinforced-concrete structures under multiple earthquake excitations," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 104, pp. 15-32, 2018.
- [10] S. A. Allali, M. Abed, and A. Mebarki, "Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic," *Engineering Structures*, vol. 166, pp. 117-127, 2018.
- [11] H. Moniri, "Evaluation of seismic performance of reinforced concrete (RC) buildings under near-field earthquakes," *International Journal of Advanced Structural Engineering*, vol. 9, pp. 13-25, 2017.
- [12] T. L. Saaty, "Making and validating complex decisions with the AHP/ANP," *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol. 14, pp. 1-36, 2005.
- [13] I. M. Mahdi and K. Alreshaid, "Decision support system for selecting the proper project delivery method using analytical hierarchy process (AHP)," *International journal of project management*, vol. 23, no. 7, pp. 564-572, 2005.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



6 Reciprocal condition
7 Homogeneity
8 Dependency
9 Expectations

¹ Analytic Heirarehy Process
² Criteria
³ Alternative
⁴ Criteria
⁵ Alternative



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عمر ساختمان های بتنی در شهر

مشهد

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Estimation of the water requirements of agricultural crops in the Tajan river basin, Sari

برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی حوضه آبریز رودخانه تجن ساری

Maliheh Akbari

Mazandaran Regional Water Company

Mojtaba Farhadzadeh

Mazandaran Regional Water Company

Parisa Maleki *

Mazandaran Regional Water Company

ملیحه اکبری

شرکت آب منطقه ای مازندران

مجتبی فرهادزاده

شرکت آب منطقه ای مازندران

پریسا ملکی *

شرکت آب منطقه ای مازندران

*Corresponding author's email address:

p.maleki1368@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹

How to cite this article:

Maliheh Akbari, Mojtaba Farhadzadeh, Parisa Maleki, Estimation of the water requirements of agricultural crops in the Tajan river basin, Sari, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):60-63.

ارجاع به مقاله:

ملیحه اکبری، مجتبی فرهادزاده، پریسا ملکی، برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی حوضه آبریز رودخانه تجن ساری، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۶۰-۶۳.

Abstract

Determining crop water requirements plays a crucial role in irrigation planning and, consequently, in the proper management of water resources in the agricultural sector. Therefore, this study examines the water consumption and requirements of agricultural crops in the Tajan River Basin, located in Mazandaran Province. The agricultural water needs and consumption within the study area include both net and gross crop water requirements. The net water requirement of field and orchard crops was estimated using data from the Plant Water Requirement Determination System of the Soil and Water Research Institute. Considering the irrigation efficiency for lands within the Tajan Plain, which fall under the Tajan irrigation network, as well as the upstream agricultural lands within the Tajan River Basin up to the plain's entrance (traditional irrigation system), the gross water requirement of each crop was estimated. The results of this study indicate that the net agricultural land area in the Tajan Plain is 68,100 hectares, with a projected water requirement of 433.5 million cubic meters. Additionally, the net agricultural land area in the Tajan River Basin up to the plain's entrance is 15,300 hectares, with an estimated water requirement of 106 million cubic meters.

Keywords

Water requirement, Agricultural crops, Tajan River, River basin

چکیده

تعیین نیاز آبی گیاه در برنامه ریزی آبیاری و در نتیجه مدیریت درست آب در بخش کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این پژوهش مصارف و نیازهای محصولات کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه تجن ساری در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفته است. نیازها و مصارف آبی کشاورزی در محدوده طرح شامل نیاز خالص و ناخالص محصولات کشاورزی است. برای برآورد نیاز آبی خالص محصولات زراعی و باغی محدوده طرح از اطلاعات حاصله از سامانه تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی مؤسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شده است. با توجه به راندمان آبیاری برای اراضی واقع در محدوده دشت تجن که تحت پوشش شبکه آبیاری تجن بوده و همچنین اراضی بالادست شامل اراضی کشاورزی واقع در محدوده حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت (شبکه سنتی)، نیاز ناخالص هر یک از محصولات زراعی و باغی برآورد شده است. در نهایت نتایج حاصل از بررسی ها نشان داد که سطح خالص اراضی کشاورزی در دشت تجن ۶۸۱۰۰ هکتار بوده که نیاز آبی آن ۴۳۳/۵ میلیون متر مکعب پیش بینی شده است. سطح خالص اراضی کشاورزی حوضه رودخانه تجن تا ورودی به دشت نیز ۱۵۳۰۰ هکتار است که نیاز آبی آن ۱۰۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

کلمات کلیدی

نیاز آبی، محصولات کشاورزی، رودخانه تجن، حوضه آبریز

همکاران [۱] پژوهشی را با هدف تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی محصولات کشاورزی در شرایط لایسیمتری در یزد انجام دادند. نتایج نشان داد میزان تبخیر- تعرق گونه های مورد بررسی کمتر از تبخیر- تعرق گیاه مرجع بوده است. ریحانی و خاشعی سیوکی [۲] آزمایشی را طی یک سال زراعی برای تعیین ضرایب گیاهی زیره سبز در منطقه بیرجند انجام دادند. در این تحقیق نیاز آبی زیره و تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر و به روش بیلان آبی محاسبه گردید.

۱- مقدمه

برآورد نیاز آبی واقعی گیاهان می تواند قدمی جدی در بهینه سازی مصرف آب در بخش کشاورزی باشد. و آینده روشنی را برای مدیریت اثر بخش آب در بخش کشاورزی به ارمغان آورد. در رابطه با برآورد نیاز آبی کشاورزی در چند سال اخیر تحقیقاتی در سطح کشور انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود. راد و



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



جدول ۵ نیاز آبی اراضی کشاورزی حوضه رودخانه تجن تا ورودی به دشت (میلیون مترمکعب)

مکان	مجموعه														
تجن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
...

۴- بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که نیاز آبی محصولات کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه تجن به طور قابل توجهی تحت تأثیر سطح زیر کشت و راندمان آبیاری قرار دارد. برآوردها نشان داد که سطح خالص اراضی کشاورزی در دشت تجن ۶۸۰۱۰۰ هکتار است که نیاز آبی سالانه آن معادل ۴۳۳/۵ میلیون متر مکعب محاسبه شد. همچنین، اراضی کشاورزی حوضه رودخانه تجن تا ورودی به دشت ۱۵۳۰۰ هکتار بوده و نیاز آبی این منطقه ۱۰۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مصرف آب در بخش کشاورزی بخش عمده‌ای از منابع آبی منطقه را به خود اختصاص داده و لزوم اتخاذ راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب را برجسته می‌کند.

مطالعات پیشین نیز بر این موضوع تأکید دارند که بهره‌وری پایین مصرف آب در کشاورزی، به‌ویژه در مناطق با روش‌های سنتی آبیاری، منجر به هدررفت قابل توجهی از منابع آب می‌شود [۸]. بهینه‌سازی روش‌های آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب می‌تواند نقش مهمی در کاهش فشار بر منابع آب سطحی و زیرزمینی داشته باشد [۹]. یافته‌های این پژوهش با مطالعات قبلی همخوانی دارد و نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری در منطقه تجن می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش میزان برداشت آب از منابع محدود داشته باشد.

یکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت پایدار منابع آب، تغییر الگوی کشت و جایگزینی محصولات پرمصرف با گونه‌های مقاوم به خشکی است. تحقیقات نشان داده‌اند که جایگزینی محصولاتی مانند برنج و ذرت با گیاهانی نظیر گندم دیم و ارقام اصلاح‌شده، می‌تواند مصرف آب را تا ۳۰٪ کاهش دهد [۱۰]. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های نوین نظیر آبیاری قطره‌ای، سامانه‌های هوشمند مدیریت آب و کاربرد مالچ می‌تواند به کاهش تبخیر و بهینه‌سازی مصرف آب کمک کند [۱۱]. با توجه به روند تغییرات اقلیمی و افزایش دما، اجرای این اقدامات در حوضه تجن می‌تواند تأثیر مثبتی بر پایداری منابع آبی و امنیت غذایی منطقه داشته باشد.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی حوضه تجن نیازمند اجرای سیاست‌هایی نظیر بهبود زیرساخت‌های آبیاری، آموزش کشاورزان در خصوص روش‌های

بهینه مصرف آب و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین است. نتایج این تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در تدوین راهبردهای پایدار مدیریت آب در منطقه کمک کرده و به کاهش بحران آب در سال‌های آینده منجر شود.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچ‌گونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسی مشاور پندام که در مراحل مختلف مطالعات همکاری داشتند تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

۸- مراجع

- [1] Rad, M.D., Asare, M.H., Soltani, M., & Tajamlian, M. (2013). Determination of water requirement, crop coefficient, and water use efficiency in two eucalyptus species under lysimetric conditions. *Iranian Water Research Journal*, 7(12), 71-78.
- [2] Reyhani, N., & Khashaei Siooki, A. (2015). Estimation of the crop coefficient of cumin at different growth stages using the lysimetric method in the Birjand region. *Water and Soil Journal*, 29(5), 1047-1056.
- [3] Zarei, A., Zahraei, S., & Boumeh, F. (2017). Evaluation of different growth stages and determination of the crop coefficient (Kc) for black cumin. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(4), 597-607.
- [4] Ghavam Saeidi Noqabi, S., Khashaei Siooki, A., & Hamami, J. (2019). Estimation of the crop coefficient of roselle at different growth stages using the lysimetric method in the Birjand region. *Water and Soil Journal*, 33(1), 1-11.
- [5] Hassanli, A.M. and Pezzaniti, D., 2013. Crop Irrigation scheduling in South Australia, A case study, *Water Journal*, 40(4): 92-97.
- [6] Jaafar, H., Khraizat, Z., Bashour, I. and Haidar, M., 2017. Determining water requirements of biblical hyssop using an ET-based drip irrigation system, *Agricultural Water Management*, 180: 107-117.
- [7] Paredes, P., D'Agostino, D., Assif, M., Todorovic, M. and Pereira, L.S., 2018. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual Kc approach, *Agricultural Water Management*, 195: 11-24.
- [8] Droogers, P., Immerzeel, W. W., & Terink, W. (2021). *Water Scarcity and Future Challenges in Agricultural Water Management*. Journal of Hydrology, 599, 126495.
- [9] Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. M. (2004). *Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize*. Agricultural Water Management, 69(2), 115-133.
- [10] Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). *Deficit irrigation for reducing agricultural water use*. Journal of Experimental Botany, 58(2), 147-159.
- [11] Chukalla, A. D., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2015). *Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching*. Hydrology and Earth System Sciences, 19(12), 4877-4891.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Estimation of time of concentration in the upstream watershed of Garroodbar dam using various methods

Mojtaba Farhadzadeh

Mazandaran Regional Water Company

Seyed Razi Anisheh

Mazandaran Regional Water Company

Parisa Maleki *

Mazandaran Regional Water Company

برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز بالادست سد گرودبار با استفاده از روش های مختلف

مجتبی فرهادزاده

شرکت آب منطقه ای مازندران

سید رضی انیشه

شرکت آب منطقه ای مازندران

پریسا ملکی *

شرکت آب منطقه ای مازندران

*Corresponding author's email address:
p.maleki1368@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

How to cite this article:

Mojtaba Farhadzadeh, Seyed Razi Anisheh, Parisa Maleki, Estimation of time of concentration in the upstream watershed of Garroodbar dam using various methods, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):64-67.

ارجاع به مقاله:

مجتبی فرهادزاده، سید رضی انیشه، پریسا ملکی، برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز بالادست سد گرودبار با استفاده از روش های مختلف، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳؛ ۹(۲): ۶۴-۶۷.

Abstract

Temporal parameters are widely used in most hydrological and hydraulic models. The most commonly used temporal parameter in hydrology is the time of concentration, which is one of the most crucial hydrological variables in the design of flood control structures, dam spillways, and other hydraulic structures. Numerous methods have been proposed for estimating the time of concentration. This study aims to select the most appropriate method for estimating the time of concentration in the upstream watershed of Garroodbar Dam. The preliminary studies of this dam were conducted on the SheshRoodbar River in Savadkooh County, Mazandaran Province, to meet part of the region's drinking water demand. For the estimation of the time of concentration in this watershed, six methods were considered: Giandotti, Bransy Williams, California, Kerpich, SCS, and Travel Time. Considering the conditions and limitations associated with each method, as well as the physical characteristics of the upstream watershed of the dam—including the main channel length, watershed area, stream slope, and the analysis of flood hydrographs recorded at the Karikola hydrometric station (located downstream of the dam)—the Travel Time method was selected as the most suitable approach. Finally, the time of concentration for the Kerikola station and the Garroodbar Dam watershed was estimated at 5.7 hours and 9.2 hours, respectively, using the Travel Time method.

Keywords

Time of Concentration, Watershed, Garroodbar Dam, Travel Time Method, Karikola Station

چکیده

پارامترهای زمانی از جمله پارامترهایی هستند که در اکثر مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی از آنها استفاده می شود. متداول ترین پارامتر زمانی مورد استفاده در هیدرولوژیکی زمان تمرکز است که یکی از مهم ترین متغیرهای هیدرولوژیکی در طراحی سازه های کنترل سیلاب، سرریز سدها و غیره است. تا به حال روش های بسیاری برای برآورد زمان تمرکز ارائه شده است. هدف از این تحقیق انتخاب بهترین روش از روش های برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز بالادست سد گرودبار است. مطالعات مرحله اول این سد بر روی رودخانه شش رودبار در شهرستان سوادکوه استان مازندران با هدف تأمین بخشی از نیاز آب شرب منطقه انجام شده است. جهت برآورد زمان تمرکز در این حوضه از شش روش جیاندوتی، برانس بای ویلیامز، کالیفرنیا، کرپیچ، SCS و زمان پیمایش استفاده شده است. با توجه به شرایط و محدودیت های به کارگیری هر یک از روش ها، خصوصیات فیزیکی حوضه بالادست سد از قبیل طول آبراهه اصلی، مساحت حوضه، شیب آبراهه ها و بررسی هیدروگراف سیلاب های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری کریکولا (واقع در پایین دست سد)، روش زمان پیمایش به عنوان روش مناسب انتخاب گردید. در نهایت زمان تمرکز برای حوضه آبریز ایستگاه کریکولا و سد گرودبار با استفاده از روش زمان پیمایش به ترتیب ۵/۷ و ۲/۹ ساعت برآورد شده است.

کلمات کلیدی

زمان تمرکز، حوضه آبریز، سد گرودبار، روش زمان پیمایش، ایستگاه کریکولا

قبیل سرریز سدها، پل ها، آب بندها و سیستم های تخلیه فاضلاب دارند. به دلیل اهمیت بسیار زیادی که این پارامتر در تحلیل های هیدرولوژیکی حوضه های آبخیز و بخصوص حوضه های فاقد آمار دبی دارد، روابط تجربی متعددی برای محاسبه آن در هر یک از بخش های یاد شده ارائه شده است. اما به دلیل تفاوت های زیادی که ممکن

۱- مقدمه

متغیرهایی همچون زمان تمرکز و زمان پیمایش از مهم ترین پارامترهای هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز هستند که کاربردهای بسیار زیادی در برآورد دبی پیک و طراحی سازه های هیدرولیکی از



9 (2) , 2025

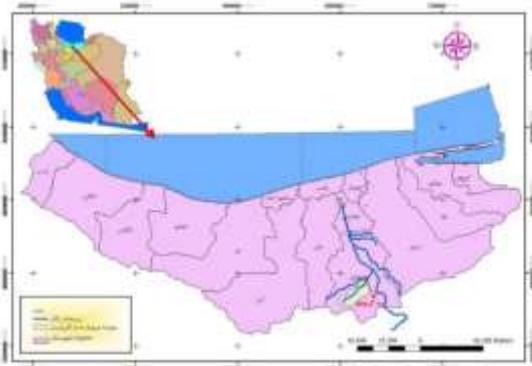
دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



قبل از روستای پالند امکان پذیر می باشد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

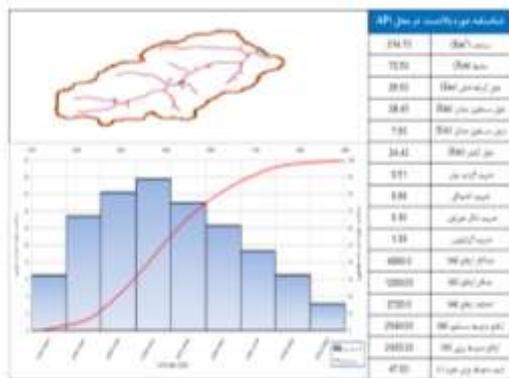


شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲- نتایج

۳-۱- مشخصات عمومی فیزیکی حوضه مورد مطالعه

در این مطالعات با استفاده از نرم افزار GIS و بر اساس خطوط توپوگرافی که از نقشه های رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده بود، نسبت به ترسیم و استخراج برخی از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز (از قبیل ضریب شکل حوضه، مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، شیب حوضه و شیب آبراهه و...) در بالادست ساختگاه سد گرودبار اقدام گردید. شکل ۲ خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بالادست سد گرودبار را در قالب شناسنامه حوضه نشان می دهد.



شکل ۲ شناسنامه عمومی حوضه بالادست ساختگاه سد گرودبار

۳-۲- وضعیت توپوگرافی و شیب در حوضه بالادست سد گرودبار

با استفاده از نرم افزار GIS و بر اساس خطوط توپوگرافی که از نقشه های رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده بود، اقدام به تهیه نقشه TIN و شیب در حوضه بالادست سد گرودبار گردید که در اشکال ۳ و ۴ ارائه شده است.

۳-۳- محاسبه زمان تمرکز

زمان تمرکز از مهمترین پارامترهای فیزیکی حوضه بوده و عبارت است از مدت زمانی است که دورترین قطره آب، لازم دارد تا مسیر خود را طی کرده و به نقطه تمرکز برسد. جهت برآورد زمان تمرکز حوضه های مورد مطالعه روش های متعددی وجود دارد که در این

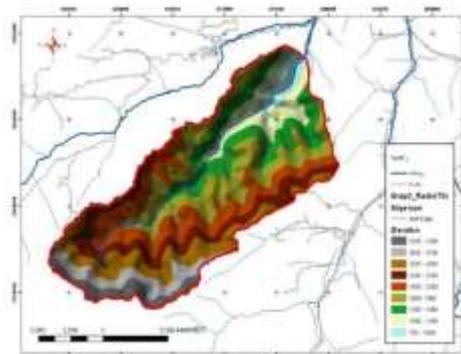
است بین شرایط طبیعی محل ارائه و محل استفاده از این روابط وجود داشته باشد، لازم است کارایی آنها ارزیابی و سپس جهت کاربرد در محل های خاص بهینه سازی شوند. بنابراین تحقیقات مختلفی در ایران و جهان در این خصوص صورت گرفته است. آزادیا و همکاران [۱] در بررسی روابط تجربی مختلف با استفاده از روش ردیابی با تزریق ثابت محلول نمک در حوضه آبخیز میمه استان ایلام نتایج روش های کریپچ، چاو و هیدروگراف استدلالی را مناسب ارزیابی کردند. رزمجوی و همکاران [۲] جهت انتخاب بهترین روش برآورد زمان تمرکز در منطقه ۲۲ شهرداری تهران، مقادیر بدست آمده از روش های تجربی را با روش صحرایی مبتنی بر اندازه گیری زمان پیمایش آب مورد مقایسه قرار دادند. دستورانی و همکاران [۳] به ارزیابی کاربرد برخی از روابط تجربی زمان تمرکز برای برآورد زمان پیمایش جریان در سرشاخه های دو حوضه آبخیز منشاد و ده بالا در منطقه شیرکوه استان یزد پرداختند. برای این منظور، برآوردهای صورت گرفته با استفاده از این روابط با اندازه گیری های صحرایی حاصل از روش تزریق یکباره محلول نمک طعام مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه ارزیابی نشان داد که رابطه های هاگتانی-سزن، کالیفرنیا و زمردی تا حدودی نسبت به بقیه روابط نتیجه مناسب تری ارائه دادند. استوارت و همکاران [۴] در بررسی رابطه محلی ارائه شده برای منطقه پیمایا در ایالت آریزونا آمریکا، پارامتر مقاومت به جریان را یک پارامتر بسیار قوی تر از ضریب زبری مانینگ معرفی نمودند که در صورت بهینه سازی آن با داده های بارش رواناب و اندازه گیری های میدانی این رابطه نتایج بسیار خوبی ارائه خواهد نمود. محققان رابطه بارش و رواناب و نیز برآورد زمان تمرکز را در حوضه ای در مالزی مورد ارزیابی قرار دادند [۵]. در این بررسی زمان تمرکز بر اساس هیدروگراف های اندازه گیری شده در خروجی حوضه برآورد شد و سپس نتایج حاصل از چهار روش تجربی با آن مقایسه گردید. فرولیک [۶] با ارزیابی کارایی روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا اعلام نمود که این روش برای برآورد زمان پیمایش جریان دارای ابهام و برای بارش های کوتاه مدت همراه با خطا می باشد، لذا رابطه جدیدی را برای این منظور ارائه داد.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی برخی از روابط تجربی زمان تمرکز جریان سطحی رودخانه شش رودبار در برآورد زمان پیمایش این جریان در حوضه آبریز بالادست سد گرودبار واقع در استان مازندران می باشد.

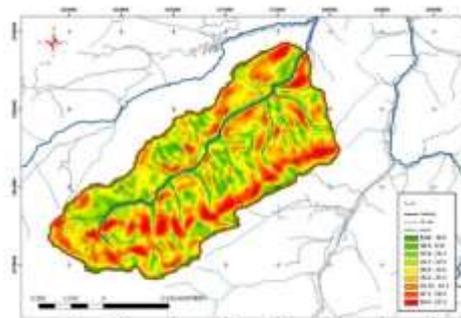
۲- مواد و روش ها

محل احداث سد گرودبار بر روی رودخانه شش رودبار از سرشاخه های رودخانه تالار، در شهرستان سوادکوه استان مازندران جانمایی شده است [۷]. مختصات جغرافیایی محور سد گرودبار ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۴ ثانیه شرقی و ۳۶ درجه و ۴ دقیقه و ۳۵ ثانیه شمالی و مختصات UTM آن $X = ۶۷۷۲۷۰$ و $Y = ۳۹۹۳۰۳۲$ می باشد. حوضه آبریز رودخانه شش رودبار کوهستانی است. این رودخانه در نزدیک روستای لاله بند به رودخانه آلاشت می پیوندد. فاصله محور سد گرودبار تا شهر زیرآب حدود ۱۶ کیلومتر و تا روستای لاله بند حدود ۳ کیلومتر بوده و دسترسی به آن از طریق جاده فیروزکوه، در حد فاصل شهر زیرآب تا پل سفید (پلیس راه پل سفید) جاده آلاشت

پژوهش از شش روش جیاندوتی، برانس بای ویلیامز، کالیفرنیا، کریچ، SCS و زمان پیمایش استفاده شده است.



شکل ۳ نقشه TIN حوضه بالادست سد گرودبار



شکل ۴ نقشه شیب حوضه بالادست سد گرودبار (درصد)

۱) روش جیاندوتی

در این رابطه T_C زمان تمرکز (ساعت)، L طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، H ارتفاع متوسط حوضه (متر)، E ارتفاع خروجی حوضه (متر) و A سطح حوضه (کیلومتر مربع) است.

$$T_C = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8(H - E)^{0.5}} \quad (1)$$

۲) روش برانس بای ویلیامز

در این رابطه T_C زمان تمرکز (ساعت)، L طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، I شیب متوسط حوضه (درصد)، D قطر دایره هم‌سطح حوضه (کیلومتر) و A سطح حوضه (کیلومتر مربع) است.

$$T_C = 0.638 \frac{L}{D} \left(\frac{A^2}{I} \right)^{0.2} \quad (2)$$

۳) روش کالیفرنیا

در این رابطه T_C زمان تمرکز (ساعت)، L طول مسیر حرکت آب در داخل حوضه (متر) و H اختلاف ارتفاع بین نقطه تمرکز و بلندترین قسمت حوضه (متر) است.

$$T_C = \frac{L^{1.15}}{3080H^{0.385}} \quad (3)$$

۴) روش کریچ

که در این رابطه T_C زمان تمرکز (ساعت)، L طول آبراهه اصلی (متر) و S شیب متوسط آبراهه اصلی (متر به متر طولی) است.

$$T_C = 0.0003L^{0.77}S^{-0.385} \quad (4)$$

۵) روش SCS

در رابطه فوق T_{lag} زمان تأخیر (ساعت)، T_C زمان تمرکز (ساعت)، L طول آبراهه اصلی (متر)، γ متوسط شیب حوضه (درصد) و S نمایه نگهداشت حوضه است. شماره منحنی (CN) حوضه تابعی از گروه خاک، پوشش گیاهی و شرایط رطوبتی قبلی خاک است و با در نظر گرفتن موارد مذکور CN حوضه ۷۰ در نظر گرفته شد.

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900 \gamma} \quad (5)$$

$$T_C = 1.67 T_{lag} \quad (6)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 1 \quad (7)$$

۶) روش زمان پیمایش

در این رابطه T_C زمان تمرکز (ثانیه)، L طول آبراهه اصلی (متر) و V سرعت متوسط آب در آبراهه (متر بر ثانیه) می باشد.

$$T_C = \frac{L}{V} \quad (8)$$

مقدار زمان تمرکز بستگی به طول آبراهه اصلی، شیب آن و شرایط هیدرولیکی مسیر جریان مانند ضریب زبری و شعاع هیدرولیکی دارد. در حوضه مورد مطالعه شیب در سرشاخه ها زیاد ولی عمق و عرض آبراهه ها کم است. همچنین در پایین دست حوضه شیب کم و عرض آبراهه زیاد است. در نتیجه با توجه به شیب و پوشش گیاهی و بررسی کارشناسی به عمل آمده، فرض $V=2.5 \text{ m/s}$ و بر اساس آن زمان تمرکز به روش زمان پیمایش محاسبه گردید.

زمان تمرکز در محل سد گرودبار، با استفاده از روش های مختلف محاسبه شده است. با توجه به شرایط و محدودیت های به کارگیری هر یک از روش ها، خصوصیات فیزیکی حوضه بالادست ساختگاه و بررسی هیدروگراف سیلاب های ثبت شده در ایستگاه کریکلا که در پایین دست سد واقع شده (جدول ۱)، روش زمان پیمایش به عنوان روش مناسب انتخاب گردید. مقادیر زمان تمرکز محاسبه شده با روش های مختلف و زمان تمرکز انتخابی برای حوضه مورد مطالعه، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱ مقایسه زمان تمرکز هیدروگراف های منتخب مشاهداتی با روش

زمان پیمایش	
تاریخ	زمان تمرکز (ساعت)
1384/11/20	5
1389/05/08	5
1389/11/20	6
1384/05/23	7
1383/12/21	12
متوسط	7
زمان تمرکز (روش زمان پیمایش)	5.7

جدول ۲ زمان تمرکز در محل ایستگاه هیدرومتری کریکلا و سد گرودبار (ساعت)

زمان پیمایش	5.7	2.9
روش جیاندوتی	5.6	3.3
روش کالیفرنیا	4.1	2.1
روش ویلیامز	11.5	6.0
روش کریچ	3.9	2.0
روش SCS	6.5	3.7
حوضه ایستگاه هیدرومتری کریکلا	سد گرودبار	

با توجه به این یافته‌ها، استفاده از روش زمان پیمایش در برآورد زمان تمرکز حوضه سد گرودبار می‌تواند دقت بیشتری را برای مدل‌سازی سیلاب و طراحی سازه‌های کنترل سیلاب ارائه دهد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، علاوه بر روش‌های تجربی، از مدل‌های هیدرولوژیکی پیشرفته مانند HEC-HMS نیز برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و صحت‌سنجی داده‌های به‌دست‌آمده استفاده شود.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچ‌گونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۷- مراجع

- [1] Azadnia, F., Rostami, N., & Kamali Moghaddam, R. (2007). Evaluation of some empirical relationships for estimating the time of concentration in the Mimeh watershed, Ilam Province. *4th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*, Gorgan.
- [2] Razmjooei, N., Mahdavi, M., Mohseni Saravi, M., & Motamed Vaziri, B. (2011). Comparison of some empirical relationships for estimating the time of concentration (Case study: District 22 of Tehran Municipality). *7th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*, Isfahan University of Technology.
- [3] Dastoorani, M. T., Abdollahvand, A., Asareh, M. H., Talebi, A., & Moghadamnia, A. (2013). Evaluation of the applicability of some empirical time of concentration equations for estimating travel time in waterways. *Journal of Watershed Research*, 9(9), 42-52.
- [4] Stewart, D., Canfield, E., Yitayew, M., Nichols, M., 2010. Estimating an Impedance-to-Flow Parameter for Flood Peak Prediction in Semiarid Watersheds, *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(3).
- [5] Abustan, I., Sulaiman, A.L.L., Wahid N.A., Baharudin, F., 2008. Determination of rainfall-runoff characteristics in urban area: Sungai Kerayong Catchment, Kuala Lumpur, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- [6] Froehlich, D.C., 2011. NRCS overland flow travel time calculation, *Journal of Irrigation and drainage engineering*, 137 (4), 258-262.
- [7] Khazarab Consulting Engineers (2023). Meteorological report of the preliminary study phase (identification) of Garreroodbar Reservoir Dam. *Mazandaran Regional Water Company, Sari, Iran*.
- [8] Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- [9] McCuen, R. H., Bondelid, T., & Kite, G. W. (2002). *Estimating Time of Concentration for Ungauged Watersheds*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(6), 482-489.
- [10] USDA-NRCS (2010). *National Engineering Handbook: Hydrology*. United States Department of Agriculture.
- [11] Zamani, H., Abbaspour, M., & Karami, M. (2014). *Assessment of Travel Time Method in Estimating Time of Concentration in Mountainous Watersheds*. *Iranian Journal of Hydrology*, 10(2), 85-98.
- [12] Beven, K. (2011). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. John Wiley & Sons.

برآورد دقیق زمان تمرکز (Time of Concentration) یکی از پارامترهای کلیدی در مطالعات هیدرولوژیکی و طراحی سازه‌های آبی مانند سد‌ها است. زمان تمرکز نشان‌دهنده مدت‌زمان لازم برای حرکت یک ذره آب از دورترین نقطه حوضه تا خروجی آن است و به عوامل متعددی مانند طول و شیب آبراهه اصلی، مساحت حوضه و ویژگی‌های فیزیوگرافی بستگی دارد [۸]. در این مطالعه، برای تخمین زمان تمرکز حوضه بالادست سد گرودبار از شش روش مختلف شامل جیاندوتی، برانس بای ویلیامز، کالیفرنیا، کریپیچ، SCS و زمان پیمایش استفاده شد که نشان داد مقدار این پارامتر بسته به روش محاسبه‌شده بین ۲ تا ۶ ساعت متغیر است.

نتایج این تحقیق نشان داد که روش کریپیچ کمترین مقدار زمان تمرکز (۲ ساعت) و روش برانس بای ویلیامز (Bransby-Williams) بیشترین مقدار زمان تمرکز (۶ ساعت) را ارائه داده است. این تفاوت به دلیل تفاوت در فرضیات اولیه و معادلات حاکم بر هر روش است. به عنوان مثال، روش کریپیچ که بر اساس داده‌های تجربی حوضه‌های کوچک و با شیب تند توسعه یافته است، معمولاً مقدار کمتری برای زمان تمرکز ارائه می‌دهد، درحالی‌که روش ویلیامز که برای حوضه‌های بزرگ‌تر با دبی‌های متفاوت توسعه یافته است، مقدار بیشتری را برآورد می‌کند [۹].

پس از بررسی ویژگی‌های فیزیکی حوضه، مانند طول آبراهه اصلی، مساحت حوضه، شیب آبراهه‌ها و همچنین تحلیل داده‌های هیدروگراف سیلاب‌های ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری کریکلا، روش زمان پیمایش (Travel Time Method) به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای برآورد زمان تمرکز در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. این روش قابلیت تلفیق ویژگی‌های فیزیکی و دینامیک جریان را دارد و در مطالعات مشابه در حوضه‌های آبریز ایران و سایر نقاط جهان به عنوان یکی از روش‌های دقیق شناخته شده است [۱۰]. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که زمان تمرکز برای حوضه آبریز ایستگاه کریکلا ۵٫۷ ساعت و برای سد گرودبار ۹٫۲ ساعت برآورد شد که با مقادیر گزارش‌شده در مطالعات مشابه همخوانی دارد.

مطالعات پیشین در حوضه‌های مشابه نشان داده‌اند که انتخاب روش مناسب برای برآورد زمان تمرکز باید متناسب با شرایط توپوگرافی، شیب و ویژگی‌های فیزیکی حوضه انجام شود. برای مثال، در مطالعه‌ای که در حوضه آبریز رودخانه کرج انجام شد، روش زمان پیمایش نیز به‌عنوان دقیق‌ترین روش برای برآورد زمان تمرکز معرفی شد، زیرا نتایج آن بیشترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی داشت [۱۱]. از طرف دیگر، برخی مطالعات نشان داده‌اند که روش‌های تجربی مانند کریپیچ و SCS در برخی مناطق ممکن است به دلیل ساده‌سازی بیش از حد، دقت کمتری داشته باشند [۱۲].

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



Precipitation gradient and maximum 24-hour rainfall in the Chahardangeh watershed

Mojtaba Farhadzadeh

Mazandaran Regional Water Company

Fatemeh Tamjid

Mazandaran Regional Water Company

Parisa Maleki *

Mazandaran Regional Water Company

گرادیان بارش و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبریز چهاردانگه

مجتبی فرهادزاده

شرکت آب منطقه ای مازندران

فاطمه تمجید

شرکت آب منطقه ای مازندران

پریسا ملکی *

شرکت آب منطقه ای مازندران

*Corresponding author's email address:

p.maleki1368@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

How to cite this article:

Mojtaba Farhadzadeh, Fatemeh Tamjid, Parisa Maleki, Precipitation gradient and maximum 24-hour rainfall in the Chahardangeh watershed, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):68-71.

ارجاع به مقاله:

مجتبی فرهادزاده، فاطمه تمجید، پریسا ملکی، گرادیان بارش و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبریز چهاردانگه، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳، ۹ (۲): ۶۸-۷۱.

Abstract

Spatial variations in precipitation have diverse effects on water resource management at the watershed level. Therefore, analyzing the spatial distribution of various precipitation parameters is crucial for estimating water balance errors and improving decision-making processes. This study aims to investigate the distribution of monthly and seasonal precipitation, precipitation gradient, estimation of maximum 24-hour rainfall, and the development of an annual isohyetal map for the Chahardangeh watershed in Sari, Mazandaran Province. To analyze annual precipitation in the study area, data from 23 meteorological stations, selected based on quantitative and qualitative adequacy, were used for a 50-year reference period (1972–2022). The isohyetal map was generated in a GIS environment using data from all stations within the reference period and auxiliary stations for validation purposes. The results indicate that autumn and winter account for over 60% of the total seasonal precipitation in the Chahardangeh watershed. The precipitation gradient curve reveals a negative correlation between elevation and precipitation, meaning that rainfall decreases as elevation increases. Based on the isohyetal map, the average annual precipitation in the Chahardangeh watershed is approximately 479 mm. The maximum 24-hour rainfall for 2-year and 100-year return periods was estimated using an averaging method, yielding approximately 44 mm and 103 mm, respectively.

Keywords

Precipitation Gradient, Isohyetal Map, Maximum 24-Hour Rainfall, Watershed, Chahardangeh

چکیده

تغییرات مکانی بارش اثرات متنوعی بر مدیریت منابع آب در سطح حوضه دارد. بنابراین بررسی تغییرات مکانی پارامترهای مختلف بارش جهت تخمین میزان خطای بیلان آبی و فرآیندهای تصمیم‌گیری بسیار مهم است. هدف از این پژوهش بررسی توزیع بارش ماهانه و فصلی، گرادیان بارش، برآورد حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و همچنین رسم منحنی همباران سالانه در حوضه آبریز چهاردانگه ساری در استان مازندران می‌باشد. برای بررسی میزان بارندگی سالانه در حوضه آبریز مورد مطالعه از ۲۳ ایستگاه که به لحاظ کمی و کیفی مناسب تر هستند، در دوره شاخص ۵۰ ساله (۱۳۵۱ تا ۱۴۰۱) استفاده شده است. نقشه همباران نیز بر اساس آمار تکمیل شده کلیه ایستگاه‌ها در دوره شاخص و ایستگاه‌های کمکی (جهت کنترل) در محیط GIS رسم شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که در حوضه آبریز چهاردانگه، فصل‌های پاییز و زمستان با دریافت بیش از ۶۰ درصد بارش بیشینه تمرکز بارندگی فصلی را دارا هستند. روند نمودار گرادیان بارش حاکی از منفی بودن رابطه بارش با ارتفاع است، به طوری که با افزایش ارتفاع، میزان بارش کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه همباران مقدار بارندگی سالانه در حوضه آبریز چهار دانگه حدود ۴۷۹ میلی‌متر می‌باشد. میزان حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته این حوضه آبریز برای دوره بازگشت‌های ۲ سال و ۱۰۰ سال با استفاده از روش میانگین‌گیری به ترتیب حدود ۴۴ و ۱۰۳ میلی‌متر برآورد شده است.

کلمات کلیدی

گرادیان بارش، نقشه همباران، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، حوضه آبریز، چهاردانگه

بنابراین بررسی تغییرات مکانی بارندگی به منظور ارزیابی منابع آب و پیش‌بینی حوادث طبیعی ناشی از بارندگی‌های سنگین از اهمیت زیادی برخوردار است. حداکثر بارندگی محتمل (PMP) برابر بیشترین ارتفاع بارندگی است که از دیدگاه نظری در مدت معینی امکان وقوع دارد و به دو روش هواشناسی و آماری برآورد می‌شود. در روش اول

۱- مقدمه

تغییرات عناصر اقلیمی از عوامل مؤثر بر تغییر منابع آبی سطحی و زیرزمینی است و بارش به عنوان عنصری بسیار تغییر پذیر و عاملی اساسی در موازنه آبی همیشه مورد توجه اقلیم شناسان بوده است.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



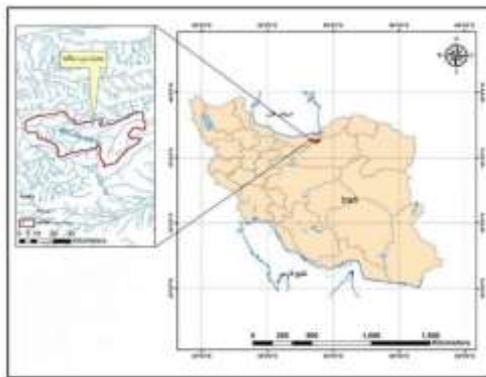
نیاز به وجود اطلاعات هواشناسی مانند رطوبت نسبی، دما، طوفان های رخ داده، باد، نقطه شبنم و غیره است. روش هواشناسی نیز به چند نوع تفکیک می شود [۱]. از جمله آنها می توان به روش سینوپتیکی، حداکثر کردن طوفان های رخ داده و انتقال آن به منطقه مورد نظر، استفاده از منحنی های عمق - مساحت - مدت برای طوفان های شدید مشاهده ای و روابط تجربی اشاره کرد. در روش آماری از بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته مشاهده ای ایستگاه های باران سنجی استفاده می شود. مبتکر این روش هر شفیلد است که روش برآورد PMP بیست و چهار ساعته نقطه ای (PMP24) را با روش آماری ارائه داده است. سازمان جهانی هواشناسی در سال ۱۹۸۶ روش اصلاح شده هر شفیلد را تأیید و به صورت دستورالعملی منتشر کرد [۲].

در بسیاری از مطالعات به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه های اندازه گیری نقطه ای باران، برآورد بارش منطقه ای و یا تخمین بارش در مناطق مابین ایستگاه ها امری ضروری است. برای این منظور روش های مختلفی در برآورد توزیع مکانی پارامترهای هواشناسی وجود دارد. جهانی و دلبری [۳] به ارزیابی و تخمین حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان گلستان پرداختند. بررسی روش ها نشان داد که روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع برای تمامی دوره ها به غیر از فصل زمستان بهترین روش میان یابی می باشد. همچنین با توجه به نقشه های همتراز بارش، در کلیه دوره ها کمترین بارش در نواحی شمالی استان روی داده است. احمدی و همکاران [۴] بالاترین بارش محتمل ۲۴ ساعته و تاثیر آن در مخاطرات هیدرولوژیکی منطقه جنوب غرب خزر مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقادیر بیشترین بارش محتمل با دوام ۲۴ ساعته برای منطقه حدود ۲۷۷ میلیمتر است و مقدار آب حاصل از این بارش یک تهدید جدی برای وقوع سیلاب در منطقه می باشد. افضلی و همکاران [۵] نیز به بررسی اثر تغییر اقلیم بر حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در قسمتی از حوضه آبریز قره سو واقع در استان گلستان پرداختند و مقدار PMP24 را با استفاده از روش استاندارد Hershfield در دوره پایه، ۴۲۱ میلی متر محاسبه کردند. برآورد بارش همچنین برای پیش بینی خطرات طبیعی ناشی از بارندگی بسیار مهم است. شوچی و کیتارا [۶] به پهنه بندی بارندگی ساعتی، ماهانه و سالانه نواحی کوهستانی چاپو و منطقه دشت کانتو در مرکز ژاپن پرداختند. عساکره [۷] علاوه بر تهیه نقشه خطوط همباران در کشور تغییرات بارندگی را نیز طی دوره ای ۶۳ ساله با استفاده از روش کریجینگ برآورد کرد و میزان حداکثر بارندگی را در کوهزنگ تا سراب بدست آورد. بویترت و همکاران [۸] مقدار بارندگی از ۱۴ ایستگاه بارانسنجی در رشته کوه غربی کوههای آند اکوادوری را تخمین زدند. در این مطالعه کریجینگ نتایج بهتری را نسبت به تیسن ارائه کرد. در تحقیق حاضر ضمن بررسی توزیع بارش ماهانه و فصلی و همچنین گرادبان بارش، منحنی همباران سالانه در حوضه آبریز چهاردانگه ساری رسم شده است. سپس حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در این حوضه برآورد گردیده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

رودخانه چهاردانگه یکی از سرشاخه های اصلی رودخانه تجن واقع در استان مازندران می باشد. این رودخانه از ارتفاعات جنوبی مازندران، مشرف به منطقه کیاسر سرچشمه می گیرد و در نهایت در محل روستای ورنه به رودخانه تجن متصل می گردد (شکل ۱). رودخانه تجن نیز پس از عبور از شهر ساری و آبیاری اراضی شالی و باغات مرکبات در حوالی روستای فرح آباد به دریای خزر می ریزد. حوضه آبریز رودخانه چهاردانگه با وسعت حدود ۱۲۰۶ کیلومتر مربع، ۳۰ درصد از کل حوضه آبریز رودخانه تجن را به خود اختصاص می دهد.



شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان و کشور

۲-۲- روش مطالعه

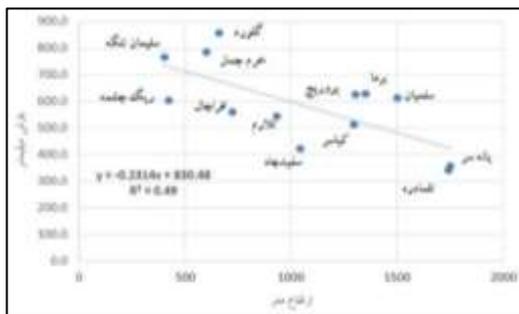
برای بررسی میزان بارندگی سالانه در حوضه آبریز مورد مطالعه از آمار ۲۳ ایستگاه که به لحاظ کمی و کیفی مناسب تر بوده، در دوره شاخص ۵۰ ساله (۱۳۵۲-۱۳۵۱ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰) استفاده شده است. قبل از تجزیه و تحلیل، صحت و دقت اطلاعات بارندگی ایستگاه ها کنترل شده است. در تعیین صحت و دقت داده های بارندگی از روش منحنی جرم مضاعف و آزمون تصادفی بودن دوام (Run test) استفاده شده است. سپس آمار موجود تکمیل و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در این پژوهش از برنامه های کامپیوتری مختلف به منظور سرعت بخشیدن و سهولت محاسبات و همچنین ارائه نتایج استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار Excel کلیه محاسبات مقدماتی و آماری انجام شده است. از نرم افزار Hayfran نیز جهت تحلیل فراوانی استفاده شده است. از نرم افزار SPSS جهت آزمون ران تست کمک گرفته شده است.

۳- بحث و بررسی

۳-۱- توزیع بارش ماهانه و فصلی

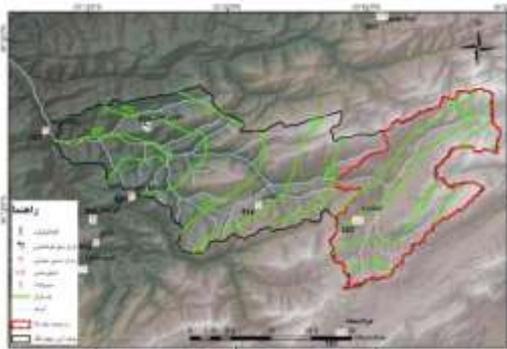
پس از تکمیل آمار بارش سالانه ایستگاه های مورد مطالعه، متوسط دراز مدت بارش ماهانه ایستگاه های منتخب محاسبه و در جدول ۱ ارائه گردیده است. درصد بارش ماهانه و سالانه نیز در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی جداول مذکور نشان می دهد که پر باران ترین ماه های سال آذر و بهمن و کم باران ترین ماه های سال نیز مرداد، خرداد، تیر و شهریور می باشند. به طور کلی در این حوضه آبریز به تبعیت از رژیم بارش مناطق شمالی کشور ایام فصل پاییز و زمستان با دریافت بیش از ۶۰ درصد بارش، بیشینه تمرکز بارندگی فصلی را

شده است (شکل ۴). لازم به ذکر است برای ترسیم خطوط همباران با توجه به رابطه گرادیان بارش از نقاط کمکی موجود ایستگاه باران سنج هواشناسی شاولی لاشت نیز کمک گرفته شده است.



شکل ۳ نمودار گرادیان بارش در حوضه چهاردانگه و پیرامون آن

با در نظر گرفتن لایه خطا و با توجه به شرایط توپوگرافی حوضه تصحیحات لازم انجام شده و سپس نقشه نهایی پهنه بندی بارش در منطقه تهیه شده است. بطور کلی در این منطقه از غرب به شرق و به سمت مناطق مرتفع شرق حوضه بارش کاهش می یابد. در این نواحی چون ناهمواری ها پیوسته است. توده های هوا ناچار به صعود و تخلیه رطوبت می باشند. به طوری که در غرب برخورد توده هوای مرطوب به ارتفاعات و متراکم شدن این توده ها موجب ریزش نزولات آسمانی را در پی دارد؛ در حالی که در نواحی شرقی ارتفاعات حوضه چهاردانگه به علت همجواری با نواحی خشک استان سمنان و محروم ماندن از رطوبت کافی میزان بارش نسبت به نواحی غربی حوضه چهاردانگه کمتر است. با توجه به نقشه همباران مقدار بارندگی سالانه در حوضه آبریز چهار دانگه حدود ۴۷۹ میلیمتر می باشد (جدول ۳).



شکل ۴ توزیع منحنی های همباران در محدوده مورد مطالعه

جدول ۳ توزیع بارش ماهانه در حوضه آبریز چهاردانگه (میلیمتر)

حوضه	ایستگاه سنجی	شهرریز	برداد	نور خردا	ارده بیشت	لروردین	سلف	پهن	ای	آذر	ایان	مهر	سالانه
چهاردانگه	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۹.۳	۴۷۹.۰

۳-۳- حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته

به منظور برآورد حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته برای دوره های برگشت مختلف از اطلاعات ایستگاه های که دارای آمار بلند مدت و مطمئن بوده اند استفاده شده است. توزیع های مختلف آماری به آمار حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه های مذکور با کمک نرم افزار hyfran برازش

دارا هستند. توزیع بارندگی فصلی نشان می دهد رژیم بارش در این منطقه مدیترانه ای است و بیشتر بارش در فصل های پاییز و زمستان روی می دهد. بر اساس جدول ۱، میانگین بارش سالانه حوضه آبریز چهاردانگه حدود ۵۵۰ میلیمتر است. درصد بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه های منتخب در جدول ۲ و توزیع درصد میانگین بارش ماهانه حوضه آبریز چهار دانگه در شکل ۲ نشان داده شده است.

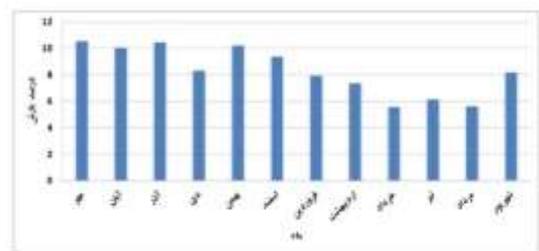
جدول ۱ میانگین بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه های مورد مطالعه

(میلیمتر)

ایستگاه	مهر	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	سالانه
۱	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵

جدول ۲ درصد بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه های منتخب

ایستگاه	مهر	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	سالانه
۱	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵



شکل ۲ توزیع درصد میانگین بارش ماهانه حوضه آبریز چهار دانگه

۳-۲- گرادیان بارش

تغییرات بارندگی با ارتفاع بر اساس اقلیم منطقه و نوع بارش در مناطق مختلف متفاوت است. عموماً بارندگی با افزایش ارتفاع افزایش می یابد. ولی بایستی توجه داشت که در بعضی مناطق ممکن است این روند وجود نداشته و کاهشی باشد. در حوضه آبریز چهاردانگه، گرادیان بارش به کمک ۱۳ ایستگاه تبخیر سنجی، باران سنجی کلیماتولوژی و سنویتیپیک رسم شده است (شکل ۳). روند نمودار رسم شده حاکی از منفی بودن رابطه بارش با ارتفاع است، به طوری که با افزایش ارتفاع، میزان بارش کاهش می یابد. رابطه مذکور در ذیل ارائه شده است.

$$P = -0.231 \times H + 830.68 \quad r = 0.70$$

که در آن P=بارندگی سالانه ایستگاه ها بر حسب میلیمتر، H=ارتفاع ایستگاه ها بر حسب متر و r ضریب همبستگی می باشد.

۳-۲- منحنی همباران سالانه

بر اساس آمار تکمیل شده کلیه ایستگاه ها در دوره شاخص و همچنین ایستگاه های کمکی (جهت کنترل) و با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی منطقه، منحنی های همباران در محیط GIS رسم

Estimation of probable maximum precipitation (PMP) in the Garrudbar dam watershed

Mojtaba Farhadzadeh

Mazandaran Regional Water Company

Mojtaba Safarpour

Mazandaran Regional Water Company

Parisa Maleki *

Mazandaran Regional Water Company

برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) در حوضه آبریز سد گرودبار

مجتبی فرهادزاده

شرکت آب منطقه ای مازندران

مجتبی صفرپور

شرکت آب منطقه ای مازندران

پریسا ملکی *

شرکت آب منطقه ای مازندران

*Corresponding author's email address:

p.maleki1368@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

How to cite this article:

Mojtaba Farhadzadeh, Mojtaba Safarpour, Parisa Maleki, Estimation of probable maximum precipitation (PMP) in the Garrudbar dam watershed, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):72-75.

ارجاع به مقاله:

مجتبی فرهادزاده، مجتبی صفرپور، پریسا ملکی، برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) در حوضه آبریز سد گرودبار، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۷۲-۷۵.

Abstract

Precipitation is one of the most important yet highly variable atmospheric parameters. Its magnitude differs across regions depending on geographical location and prevailing atmospheric conditions. The Garrudbar Dam is located on the Shesh Rudbar River, one of the headwaters of the Talar River, in the central part of Savadkouh County, Mazandaran Province. The objective of this study is to estimate the Probable Maximum Precipitation (PMP) in the Garrudbar Dam watershed and analyze extreme rainfall events for specific durations in this region. To assess the annual precipitation in the watershed, data from the meteorological station located within the study area (Paland) and neighboring stations were utilized over a 56-year statistical period (1966–2022). The PMP values for the stations were calculated using the Hershfield method. Subsequently, the area reduction method was employed to estimate the basin-wide PMP for the watershed. The final results indicate that the PMP for the Garrudbar Dam watershed, covering an area of 186 km², is estimated to be 237 mm. Additionally, the analysis of extreme rainfall events for specific durations demonstrated that the Gumbel probability distribution function outperforms the two-parameter log-normal distribution. Consequently, the periodic rainfall values for different return periods were determined using the Gumbel distribution.

Keywords

Probable Maximum Precipitation, PMP, Garrudbar Dam, Watershed, Hershfield Method

چکیده

عامل بارندگی یکی از مهمترین و در عین حال تغییرپذیرترین پارامتر جوی است. این پارامتر بسته به موقعیت منطقه و وضعیت عمومی جو در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. سد گرودبار بر روی رودخانه شش رودبار از سرشاخه های رودخانه تالار، در بخش مرکزی شهرستان سوادکوه استان مازندران واقع شده است. هدف از این پژوهش تخمین حداکثر بارندگی محتمل (PMP) در حوضه سد گرودبار و همچنین بررسی حداکثر رگبارها در تداوم مشخص در این محدوده می باشد. برای بررسی میزان بارش سالانه در حوضه آبریز سد گرودبار، از آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده مطالعه (پالند) و نواحی مجاور طی دوره آماری ۵۶ ساله (۱۳۴۵-۱۴۰۱) استفاده شد و مقادیر PMP ایستگاه ها بر اساس روش هرشفیلد محاسبه گردید. سپس جهت برآورد حداکثر بارش محتمل برای سطح حوضه آبریز سد گرودبار، از روش کاهش سطح استفاده شد. در نهایت حداکثر میزان بارش محتمل برای حوضه آبریز سد گرودبار با مساحت ۱۸۶ کیلومتر مربع، ۲۳۷ میلیمتر برآورد شد. نتیجه بررسی حداکثر رگبارها در تداوم مشخص نیز نشان داد که تابع توزیع احتمال گامبل عملکرد بهتری در مقایسه با تابع توزیع احتمال لوگ نرمال ۲ پارامتری دارد. بنابراین با استفاده از آن مقادیر تناوبی بارندگی‌های مدت‌دار برای دوره بازگشت های مختلف محاسبه گردید.

کلمات کلیدی

حداکثر بارش محتمل، PMP، سد گرودبار، حوضه آبریز، هرشفیلد

بارندگی های ۲۴ ساعته و کوتاه‌تر از آن به منظور ارزیابی منابع آب و پیش بینی حوادث طبیعی ناشی از بارندگی های سنگین از اهمیت زیادی برخوردار است. برای محاسبه حداکثر بارش محتمل در اکثر نقاط دنیا از روش هر شفیلد استفاده می شود که در آن عامل فراوانی (Km) برای محاسبه مقادیر حداکثر بارندگی محتمل ۲۴ ساعت (PMP24) فرض می گردد [۲]. هرچند این مقدار در ایستگاه های

۱- مقدمه

تغییرات عناصر اقلیمی از عوامل مؤثر بر تغییر منابع آب سطحی و زیرزمینی است و بارش به عنوان عنصری بسیار تغییر پذیر و عامل اساسی در موازنه آبی، همیشه مورد توجه اقلیم شناسان و آب شناسان بوده است [۱]. بنابراین بررسی تغییرات میزان بارش و همچنین



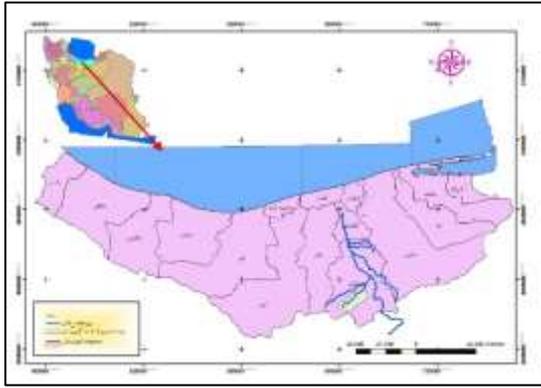
9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی





شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه سد گرودبار

۳- بحث و بررسی

برای بررسی میزان بارندگی سالانه در محل سد و حوضه مربوط به آن، آمار بارندگی کلیه ایستگاه های هواشناسی واقع در محدوده مطالعه و نواحی مجاور طی دوره آماری ۵۶ ساله (۱۳۴۵-۱۴۰۱) بررسی شد. به منظور اطمینان از صحت تجزیه و تحلیل بارندگی با توجه به تکمیل و تطویل آمار در طول دوره شاخص از روش همبستگی با درصد اطمینان قابل قبول، آزمون یکنواختی داده ها نیز انجام گردید. بدین منظور آمار بارش ماهانه و سالانه کلیه ایستگاه های بارانسنجی و تبخیرسنجی محدوده طرح در این دوره آماری بررسی شدند و به منظور کنترل همگنی و صحت آمار با استفاده از روش های مختلف آماری مانند جرم مضاعف و RunTest کنترل های لازم انجام گرفت.

۳-۱- تحلیل رگبار های ۲۴ ساعته و حداکثر بارندگی محتمل (PMP)

یکی از مهمترین مشخصه های بارندگی در هر منطقه حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته می باشد. چرا که از دیدگاه های مختلف به ویژه از نظر پیش بینی و جلوگیری از خسارت های ناشی از شدت باران در زمانی کوتاه حائز اهمیت است.

به منظور تعیین تواتر حداکثر بارش های یک روزه، آمار کلیه ایستگاه های محدوده طرح برای تجزیه و تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از توزیع های آماری مختلف، ایستگاه های مذکور بررسی شده و نهایتاً از بین توزیع های آماری نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسون تیب سه، لوگ پیرسون تیب سه و گامبل، بهترین توزیع آماری بدلیل برازش مناسب تر و دارا بودن شاخص های کای-اسکویر و و خطای استاندارد (RSS) کمتر انتخاب شده و مقادیر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه های مورد مطالعه با دوره بازگشت های مختلف محاسبه گردید. جدول ۱ مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های ۲، ۱۰، ۲۵ و ... را برای ایستگاه های محدوده مطالعاتی نشان می دهد.

مختلف با شرایط آب و هوایی مختلف مناسب نمی باشد. تاجبخش و قهرمان [۳] حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در شمال شرق ایران را با روش های آماری محاسبه و برآورد کردند. مقادیر برآورد شده نشان داد که در مقایسه با نگرش اول هرشفیلد، نگرش دوم پایدارتر است و تناسب بیشتری با روش چند ایستگاهی که از آمار یک کاسه منطقه استفاده می کند، دارد. سلیمانی و همکاران [۴] نیز حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوضه سد جیرفت را با روش های هرشفیلد بررسی کردند. نتایج نشان داد که روش اول هرشفیلد با داده های حاصل از گشتاور خطی در دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله رابطه معنی داری ندارد، ولی محاسبه حداکثر بارش محتمل با استفاده از روش دوم هرشفیلد با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله ضریب همبستگی ۸۲ درصد دارد که نشان از تطابق این دو روش با یکدیگر می باشد.

جهانی و دلبری [۵] از روش های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی برای تخمین حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان گلستان استفاده کردند. ارزیابی روش ها نشان داد که روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع برای تمامی دوره ها به غیر از فصل زمستان، بهترین روش میان بایی می باشد. رضایی پزند و قهرمان [۶] نیز برای برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته شمال خراسان از روش ایستگاهی استفاده کردند. آنها برای برآورد پارامترها از سه روش به نام های حداکثر درست نمایی، حداکثر آنتروپی و گشتاورهای وزن دار احتمالی استفاده کردند. علاوه بر این PMP ایستگاه های مورد مطالعه به روش اصلاح شده هرشفیلد نیز محاسبه و نتیجه با روش چند ایستگاهی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده برتری و ثبات روش چند ایستگاهی را تأیید می کند. در تحقیق حاضر ضمن تخمین حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوضه سد گرودبار، منحنی های شدت-مدت- فراوانی (IDF) در این محدوده نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در این مقاله از نتایج گزارش هواشناسی مطالعات مرحله اول (شناخت) طرح سد گرودبار [۷] استفاده شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

سد گرودبار بر روی رودخانه شش رودبار از سرشاخه های رودخانه تالار، در بخش مرکزی شهرستان سوادکوه استان مازندران واقع شده است. مختصات جغرافیایی محل محور سد گرودبار ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۴ ثانیه شرقی و ۳۶ درجه و ۴ دقیقه و ۳۵ ثانیه شمالی و مختصات UTM آن $X = 677270$ و $Y = 3993032$ می باشد. حوضه آبریز رودخانه شش رودبار کوهستانی است. این رودخانه در نزدیک روستای الله بند به رودخانه آلاشت می پیوندد. فاصله محور سد گرودبار تا شهر زیرآب حدود ۱۶ کیلومتر و تا روستای الله بند حدود ۳ کیلومتر بوده و دسترسی به آن از طریق جاده فیروزکوه، در حد فاصل شهر زیرآب تا پل سفید (پلیس راه پل سفید) جاده آلاشت قبل از روستای پالند امکان پذیر می باشد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱ حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های مختلف برای ایستگاه های محدوده مطالعاتی

نام ایستگاه	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با زمانهای برگشت بر حسب ۱۰۰۰							
	2	10	25	50	100	500	1000	10000
آلاشت	38	62	73	81	88	104	111	166
شهرگاه	57	90	107	120	134	166	181	236

از آنجایی که ایستگاه پالند نزدیکترین ایستگاه به سد گرودبار است، لذا به عنوان معرف طرح در نظر گرفته شده است. مقادیر PMP بر اساس روش هرشفیلد [۸] با رابطه زیر محاسبه شده است.

$$(PMP = \bar{P} + K \times S.D.)$$

در این رابطه، \bar{P} میانگین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در طول دوره آماری، $S.D.$ انحراف معیار حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در طول دوره آماری و K متغیر آماری می باشد. مقادیر بارندگی حداکثر محتمل در هر یک از ایستگاه ها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲ مقادیر بارندگی حداکثر محتمل (PMP) ایستگاه های محدوده (میلیمتر)

ایستگاه	دوره بازگشت (سال)	۲	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
پالند	۲۴ ساعته	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰
شهرگاه	۲۴ ساعته	۱۵۰	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۰

جهت تعمیم بارش PMP برای سطح حوضه آبریز سد گرودبار، از روش کاهش سطح (Area Reduction Method) استفاده می شود. با توجه به سطح حوضه آبریز مطالعاتی از فاکتور تصحیح و ضریب کاهش پیشنهادی سازمان هواشناسی (با مقدار ۰/۷۵) مقدار حداکثر بارش محتمل نهایی در سطح در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ مقادیر PMP در حوضه های مورد مطالعه

نام حوضه	ایستگاه گرینکلا	ایستگاه پالند	سد گرودبار
مساحت (Km ²)	564	109	186
ضریب تصحیح برای سطح	0.89	0.96	0.94
ضریب تصحیح سازمان هواشناسی	0.75	0.75	0.75
حد اکثر بارش محتمل نهایی (mm)	258	242	237

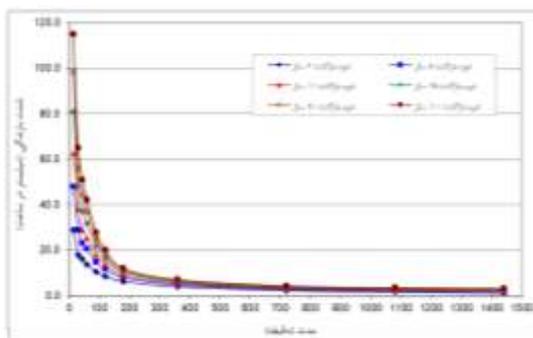
۳-۲- منحنی های شدت - مدت - فراوانی (IDF) در منطقه

بین خصوصیات بارندگی که به صورت کمی مشخص می شوند، روابط معقولی حاکم است که در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی کاربرد فراوانی دارد. این روابط ثابت نبوده و در هر منطقه اقلیمی ممکن است متفاوت باشد؛ از جمله این روابط، رابطه شدت-مدت-بارش می باشد. به طور کلی هر چه مدت بارش کوتاه تر باشد، شدت آن زیادتر خواهد بود و برعکس باران های درازمدت از شدت کمتری برخوردار می باشند. روابط شدت-مدت بارندگی تابع دوره بازگشت آنها نیز می باشد. هرچه دوره بازگشت افزایش یابد، برای یک مدت بارندگی مشخص شدت باران هایی که اتفاق خواهد افتاد، بیشتر می باشد.

تعیین منحنی های شدت-مدت-فراوانی نیازمند تجزیه و تحلیل و آنالیز رگبارها در تداوم های مختلف زمانی است. اصولاً تجزیه و تحلیل دقیق رگبارهای کوتاه مدت به کمک باران نگار امکان پذیر است و برای بررسی رژیم رگبارهایی با دوام کمتر از ۲۴ ساعت نیاز به آمار ثبت شده باران سنج های ثابت می باشد. چنین مشاهداتی در تعداد معدودی از ایستگاه های بارانسنج وزارت نیرو اندازه گیری و ثبت می شود. لذا امکان دسترسی به این مشاهدات و انجام آنالیزهای آماری بر روی آنها در همه جا میسر نمی باشد. در این مطالعه با استفاده از آمار رگبارهای باران سنج ثابت کلیه سری های زمانی حداکثر رگبارها در تداوم مشخص برای ایستگاه سنگده (نزدیکترین ایستگاه به محدوده سد) با توابع توزیع احتمال متداول (نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون، لوگ پیرسون، گامبل) با استفاده از نرم افزار SMADA برازش شد. نتایج نشان داد که به طور کلی تنها دو تابع توزیع احتمال گامبل و لوگ نرمال ۲ پارامتری، تطابق بهتری با اطلاعات داشتند، ولی توابع دیگر برازش خوبی را نشان ندادند. مقایسه تطبیقی نشان می دهد که تابع توزیع احتمال گامبل در مجموع عملکرد بهتری در مقایسه با تابع توزیع احتمال لوگ نرمال ۲ پارامتری دارد. این نتیجه با یافته های محققین دیگر [۹] نیز همخوانی دارد. در نهایت مقادیر تناوبی بارندگی های مدت دار برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ محاسبه شده است (جدول ۴). همچنین با استفاده از این جدول منحنی های شدت - مدت فراوانی (IDF) در قالب شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۴ مقادیر تناوبی رگبار های سالانه در ایستگاه بارانسنجی ثابت سنگده

دوره بازگشت (سال)	شدت (mm)										
	15	30	45	60	90	120	180	300	720	1080	1440
2	29.0	18.0	16.1	13.7	10.5	8.6	6.3	4.0	2.3	1.7	1.1
5	48.0	29.0	23.0	20.6	14.9	11.7	8.0	4.9	2.9	2.2	1.9
10	62.6	38.0	29.0	25.4	17.9	13.8	9.0	5.5	3.2	2.5	2.2
25	81.0	48.0	37.3	31.9	21.8	16.3	10.3	6.1	3.6	2.9	2.6
90	98.5	56.0	44.5	36.9	24.8	18.2	11.2	6.6	4.0	3.2	2.9
100	115.0	65.0	50.9	42.1	27.7	20.2	12.1	7.1	4.3	3.5	3.2



شکل ۲ منحنی های شدت-مدت-فراوانی بارش ایستگاه سنگده به ازای دوره های بازگشت مختلف

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به تخمین حداکثر میزان بارش محتمل (PMP) در حوضه سد گرودبار و همچنین بررسی رگبارها در تداوم مشخص در این محدوده پرداخته شده است. برای بررسی میزان

- [7] KhazarAb Consulting Engineers. (2023). Meteorological report of the first phase (identification) study of Garrudbar Reservoir Dam. Mazandaran Regional Water Company, Sari .
- [8] Hershfield, D. M., 1965, Method for estimating maximum probable precipitation, J. Am. Water Works Assoc., 57, pp. 965-972.
- [9] Vaziri, F. (1984). Analysis of rainfall storms and determination of intensity-duration curves for different regions of Iran. Academic Engineering Complex, Research and Planning Unit, Jihad University, Water Group, Tehran .

بارندگی سالانه در حوضه سد گرودبار، از آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده مطالعه (پالند) و نواحی مجاور طی دوره آماري ۱۳۴۵ الی ۱۴۰۱ (۵۶ سال) استفاده شد. مقادير PMP ایستگاه ها بر اساس روش هرشفیلد محاسبه گردید. سپس جهت برآورد حداکثر بارش محتمل برای سطح حوضه آبریز سد گرودبار، از روش کاهش سطح استفاده شد. در نهایت حداکثر میزان بارش محتمل برای حوضه آبریز سد گرودبار حدود ۲۳۷ میلیمتر محاسبه شد. نتایج بررسی حداکثر رگبارها در تداوم مشخص نیز نشان داد که تابع توزیع احتمال گامبل عملکرد بهتری در مقایسه با تابع توزیع احتمال لوگ نرمال ۲ پارامتری دارد. این نتیجه با یافته های محققین دیگر نیز هماهنگی دارد. در نتیجه با استفاده از آن مقادیر تناوبی بارندگی های مدت دار برای دوره بازگشت های مختلف محاسبه گردید.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منفعی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

۷- تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسين مشاور خزرآب و شرکت مهندسين مشاور پندام که در مراحل مختلف مطالعات همکاری داشتند تقدیر و تشکر به عمل می آید.

۸- مراجع

- [1] Ahmadi-Far, R., Mousavi, S., & Rahimzadgan, M. (2020). Investigating the effects of climate change on groundwater resources (Case Study: Sarab Plain Aquifer). *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 30(1), 153-166 .
- [2] Sarkar, S., Maity, R., 2020, Estimation of Probable Maximum Precipitation in the context of climate change, *MethodsX*, Volume 7.
- [3] Tajbakhsh, M., & Ghahreman, B. (2009). Estimation of 24-hour probable maximum precipitation using statistical methods in northeast Iran. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 16(1), 123-141 .
- [4] Soleimani, F., & Soleimani, A. (2010). Frequency analysis of 24-hour probable maximum precipitation in the Jiroft Dam Basin. *First National Conference on Coastal Land Water Resources Management*, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources .
- [5] Jahani, S., & Dalbari, M. (2009). Assessment and estimation of 24-hour maximum precipitation in Golestan Province. *National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources*, Islamic Azad University, Shahr-e-Rey Branch .
- [6] Rezaei Pejand, H., & Ghahreman, B. (2006). Estimation of 24-hour probable maximum precipitation using multi-station methods: A case study of North Khorasan. *Iranian Water Resources Research*, 2(1), 45-53 .

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



Environmental impact assessment of river rehabilitation projects on the surrounding environment (Case study: Valmarud river)

Mojtaba Farhadzadeh

Mazandaran Regional Water Company

Mehdi Asadi

Mazandaran Regional Water Company

Parisa Maleki *

Mazandaran Regional Water Company

ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه بر محیط اطراف (مطالعه موردی: رودخانه ولمرود)

مجتبی فرهادزاده

شرکت آب منطقه ای مازندران

مهدی اسدی

شرکت آب منطقه ای مازندران

پریسا ملکي *

شرکت آب منطقه ای مازندران

*Corresponding author's email address:
p.maleki1368@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲

How to cite this article:

Mojtaba Farhadzadeh, Mehdi Asadi, Parisa Maleki, Environmental impact assessment of river rehabilitation projects on the surrounding environment (Case study: Valmarud river), *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):76-79.

ارجاع به مقاله:

مجتبی فرهادزاده، مهدی اسدی، پریسا ملکي، ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه بر محیط اطراف (مطالعه موردی: رودخانه ولمرود)، *مهندسی و مدیریت ساخت*، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۷۶-۷۹.

Abstract

River rehabilitation projects, especially those passing through urban and rural areas, require careful consideration of their environmental impacts. This study evaluates the environmental impacts of key activities associated with the Valmarud River rehabilitation project in the southern region of Tonekabon, Mazandaran Province, Iran. To quantify the impacts of constructing a riverbank wall along the Valmarud River, a scoring checklist method was employed, considering the available scientific methods and data. The checklist was developed for different environmental components—including physical, biological, and socio-economic-cultural environments—in both the construction and operational phases. The results indicated that most negative impacts during the construction phase were related to the physical environment, all of which were short-term and reversible. These impacts were significantly reduced or eliminated after the completion of construction. In contrast, during the operational phase, all assessed impacts in the physical, biological, and socio-economic-cultural environments were positive, with long-term benefits. The final quantitative assessment of the Valmarud River rehabilitation project demonstrates that, with proper environmental management measures, the project will lead to improved conditions in the physical, biological, and socio-economic aspects of the region. Moreover, the negative impacts arising during the construction phase can be effectively mitigated through appropriate preventive and corrective measures.

Keywords

River rehabilitation, Environmental impacts, Valmarud River, Scoring checklist

چکیده

در ارزیابی آثار زیست محیطی طرح های توسعه ای بویژه طرح های توسعه منابع آب از روش های مختلفی استفاده می شود که بر اساس انواع طرح ها، وسعت و موقعیت جغرافیایی آن ها می تواند متفاوت باشد. از طرفی بهسازی و ساماندهی رودخانه هایی که از محدوده شهری و روستایی عبور می نمایند مستلزم در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی مربوط به آن ها می باشد. هدف از این مطالعه، ارزیابی اثرات زیست محیطی فعالیت های مهم طرح ساماندهی رودخانه ولمرود در جنوب شهرستان تنکابن در استان مازندران است. در این پژوهش جهت کمی نمودن اثرات حاصل از احداث دیوار ساحلی در مسیر رودخانه ولمرود، با توجه به روش های علمی و میزان اطلاعات موجود، از روش چک لیست سنجشی استفاده شد. چک لیست های مذکور بر اساس مؤلفه های مختلف زیست محیطی شامل محیط فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی، در مرحله ساختمانی و بهره برداری تهیه گردیدند. بررسی ها نشان داد که اغلب اثرات منفی در فاز ساختمانی مربوط به محیط فیزیکی است که همه آن ها کوتاه مدت بوده و قابل برگشت هستند. با خاتمه فاز ساختمانی از شدت غالب اثرات منفی کاسته و یا کم رنگ خواهند شد. در فاز بهره برداری تمام اثرات در هر سه محیط فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی، مثبت ارزیابی شدند. اغلب این اثرات دارای بازه بلند مدت هستند. در نهایت نتایج کمی حاصل از ارزیابی اثرات پروژه ساماندهی رودخانه ولمرود بیانگر این واقعیت است که اجرای طرح با اعمال دستورات مدیریت زیست محیطی موجب بهبودی شرایط منطقه از لحاظ فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی خواهد شد. ضمن اینکه اثرات منفی ایجاد شده ناشی از اجرای طرح در فاز ساختمانی با راهکارهای مناسب به سهولت قابل پیشگیری یا کاهش می باشند.

کلمات کلیدی

ساماندهی رودخانه، آثار زیست محیطی، رودخانه ولمرود، چک لیست سنجشی



9 (2) , 2025

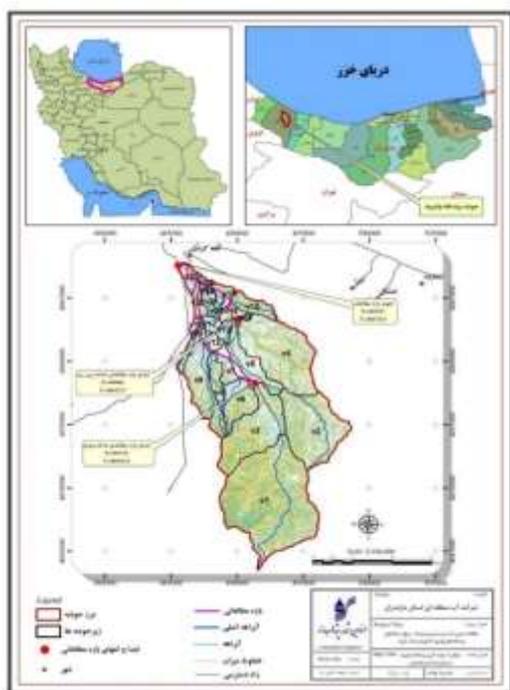
دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



نام رودخانه	مختصات	ابتدایی بازه	انتهایی بازه
ولمرود	X	۴۹۱۷۵۲	۴۹۵۵۲۷
	Y	۴۰۵۸۵۴	۴۰۶۷۵۲۷
	X	۴۹۱۸۱	۴۹۵۵۲۷
	Y	۴۰۶۷۵۲	۴۰۶۷۵۲۷
	طول جغرافیایی	۵۰°۵۳'۱۱.۴۴"E	۵۰°۵۳'۱۷.۱۰"E
	عرض جغرافیایی	۳۳°۴۰'۱۱.۵۵"N	۳۳°۴۰'۱۷.۱۰"N
طول جغرافیایی	۳۳°۴۰'۱۱.۵۵"N	۳۳°۴۰'۱۷.۱۰"N	
عرض جغرافیایی	۳۳°۴۰'۱۷.۱۰"N	۳۳°۴۰'۱۷.۱۰"N	



شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان مازندران

۲- بحث و بررسی

پس از بررسی های انجام شده در مطالعات تعیین حد بستر و حریم و مرحله اول ساماندهی رودخانه های ولمرود، خرم آب رود و گرگ رود [۷] (پژوهاب شرق، ۱۴۰۱)، طرح پیشنهادی مشاور مذکور جهت ساماندهی رودخانه ولمرود احداث دیوار ساحلی در مسیر این رودخانه می باشد. با احداث دیوار ساحلی در مسیر رودخانه ولمرود، ورود مصالح ساختمانی در حین عملیات اجرای طرح، سبب کاهش کیفیت آب در این رودخانه خواهد شد که البته اثری موقتی و کوتاه مدت می باشد.

۳-۱- ارزیابی آثار زیست محیطی ناشی از اجرای طرح ساماندهی رودخانه ولمرود

در ارزیابی آثار زیست محیطی طرح های توسعه ای بویژه طرح های توسعه منابع آب از روش های مختلفی استفاده می شود که بر اساس انواع پروژه ها و وسعت و پیچیدگی و موقعیت محلی و جغرافیایی می تواند متفاوت باشد. از سال ۱۹۷۰ میلادی که ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح ها در کشورهای پیشرفته آغاز گردید، روش های مختلفی توسط محققین ابداع و ارائه شده است. با وجود کوشش ها و برگزاری نشست ها و بررسی های علمی زیاد در خصوص ارزیابی

رودخانه خون جاری در رگ های تمدن بشری بوده و می توان آن را به عنوان اصلی ترین منبع تأمین آب برای انسان و سایر موجودات به شمار آورد. آنها می توانند پناهگاه های با ارزش اکولوژیکی ویژه ای باشند و این در حالی است که در مناظر و نواحی شهری به طور روز افزونی از ارزش های اکولوژیکی آنها کاسته می شود [۱]. (Palmer, 2005). گسترش و توسعه روز افزون شهرها به حومه همراه با عوامل دیگر چون مسائل زیست محیطی سبب آسیب رساندن به فضاهای طبیعی و ارزشمند شهرها شده است [۲]. (علیخانی و همکاران، ۱۳۹۸). رودخانه های شهری نیز این رفتار مستثنی نبوده و این بی توجهی و نادیده گرفتن رودخانه ها در برنامه های توسعه شهری موجب شده تا رودخانه به جای این که یک مکان گردشگاهی و محل تنفسی برای شهر باشد تبدیل به محل تخلیه زباله و فاضلاب و محیطی ناامن و بی دفاع شهری شود [۳]. (پاکزاد ۱۳۸۴).

بهسازی و ساماندهی رودخانه هایی که از محدوده شهری و روستایی عبور می نمایند مستلزم در نظر گرفتن ویژگی ها و مسائل خاص این نوع از رودخانه ها می باشد [۴]. (بهبهانی، ۱۳۸۸). رایس و همکاران [۵] (Rice et al., 2010)، در پژوهشی به بیان عوامل مؤثر در بهسازی مسیل های شهری با تأکید بر اهمیت محیط زیست آنها پرداختند و مهم ترین این عوامل را ژئومورفولوژی، کیفیت آب، هیدرولوژی، اقتصاد جامعه و اکولوژی معرفی کردند. زینی وند و هنرور [۶] (۱۴۰۲) در پژوهشی با هدف ساماندهی رودخانه کشکان شهرستان پلدختر با استفاده از عنصر با ارزش طبیعی و تبدیل آن به یک محور گردشگری با استفاده از تحلیل های آماری و کشف ارتباط مؤثر بین مؤلفه های اصلی برآمده از مبانی نظری آن، راهکارهای اصولی و فنی در مدیریت علمی این مجموعه پیشنهاد داده اند.

در این مقاله به ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه به خصوص رودخانه ولمرود با استفاده از روش چک لیست پرداخته شده است. قابل ذکر است که برای انجام این پژوهش از نتایج مطالعات تعیین حد بستر و حریم و مرحله اول ساماندهی رودخانه های ولمرود، خرم آب رود و گرگ رود [۷] (پژوهاب شرق، ۱۴۰۱) استفاده شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه ولمرود در غرب استان مازندران واقع شده و شامل بخش هایی از دهستان بلده، سه هزار و دو هزار در بخش خرم آباد شهرستان تنکابن و دهستان کترا در بخش نشتای همین شهرستان می باشد. مساحت حوضه ولمرود حدود ۱۶۴ کیلومتر مربع است. در جدول ۱ موقعیت حوضه ولمرود در سیستم های مختصات جغرافیایی و UTM ارائه شده است. دسترسی به حوضه ولمرود از شهرستان تنکابن از طریق خیابان انقلاب و سپس جاده خرم آباد- قلعه گردن امکان پذیر می باشد.



و تقویت آثار مثبت در جهت بهبود وضعیت منطقه و تأثیر گذاری هر چه مطلوب تر طرح ساماندهی، ضروری است تا برنامه ریزی های لازم صورت پذیرد و سپس با مدیریتی صحیح مورد پایش و ارزیابی قرار گیرد. بنابراین گزینه برتر زیست محیطی گزینه اجرای پروژه ارزیابی می گردد که با راهکارهای پیشنهادی حداقل آثار سوء و حداکثر آثار مطلوب حاصل خواهد شد.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۶- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

۷- تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسی مشاور پژوهاب شرق و شرکت مهندسی مشاور پندام که در مراحل مختلف مطالعات همکاری داشتند تقدیر و تشکر به عمل می آید.

۸- مراجع

- [1] Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S. S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad Shah, J. J., Galat, D., Loss, S. G., Goodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G. M., Lave, R., Meyer, J. L., Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217.
- [2] Alikhani, M., Noori, M. J., & Ghaleh Noei, M. (2019). Prioritization of urban areas based on the need for green space development; Case study: Fifteen districts of Isfahan metropolis. *Journal of Environmental Studies*, 45(1), 115-132.
- [3] Pakzad, J. (2005). *Guide to the Design of Urban Spaces in Iran*. Urban Development and Architecture Department, Ministry of Housing and Urban Development, 472 pages.
- [4] Behbahani, S. M. R. (2009). *Hydrology of Surface Waters*. University of Tehran Press, 484 pages.
- [5] Rice, S. P., Lancaster J., Kemp, P., 2010, Experimentation at the Interface of Fluvial Geomorphology, Stream Ecology and Hydraulic Engineering and the Development of an Effective, Interdisciplinary River, *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(1):64 – 77.
- [6] Zeinivand, Y., & Honarvar, J. (2023). Spatial planning of urban riverbanks with a tourism development approach (Case study: Pol-e Dokhtar County). *Journal of Applied Geography Studies*, 23(68), 43-60.
- [7] Pezhohab Shargh Consulting Engineers (2022). *Studies on Determining the Riverbed and Buffer Zones and the First Phase of the Rehabilitation of Valmarud, Khorrak Abroud, and Gorg Rud Rivers*. Mazandaran Regional Water Company, Sari, Iran.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساماندهی رودخانه بر محیط اطراف
(مطالعه موردی: رودخانه ولگرد)