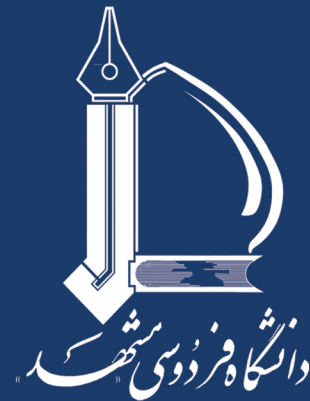


ISSN 2783-2805



نشریه مهندسی عمران فردوسی

فصلنامه علمی

شماره پیاپی ۴۳

ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری های زمین در وقوع تصادفات
(مطالعه موردی: شهر شیراز)
محمد صدیق باور- علی نادران- محمود صفارزاده

۱۷ شناسایی پهنه های تراوا در معدن مس تخت گنبد با استفاده از درصد جریان
آب بازگشت حفاری
فرشته موحدی - رضا جهانشاهی - ناصر اسدی - سپیده مالی

۲۹ ارزیابی عملکرد قاب خمشی جوشی با مقطع تیر کاهش یافته و سخت کننده
محمدامین جلالی - امین رفیعی

۴۷ مطالعه عددی خاکریزهای متکی بر شمع های پیچی و بتنی تحت بارگذاری
ترافیکی راه آهن
محمدامین مشایخی - محمدرضا خانمحمدی

۶۳ اثر ناحیه جزرومدی، مکمل های سیمانی و مصالح دریایی بر برخی از
پارامترهای دوام بتن
محمد جهانی- شهره شاهنوری - سعید مرادی - محمد یزدانی - سیروس ارشادی

۸۳ ارائه الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری با رویکرد آمیخته
مرتضی شریفی - حسن امیری - محمود مدیری - فرزانه بیگ زاده

سال ۳۶، شماره ۳
پاییز، ۱۴۰۲

سر دبیر: محمدرضا اصفهانی

مدیر مسئول: فریدون ایرانی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

هیئت تحریریه:

دکتر محمدرضا اصفهانی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر کاظم بدو	استاد، دانشگاه ارومیه، دانشکده مهندسی
دکتر جعفر بلوری بزاز	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر احمد پویا	استاد، Ecole des Ponts Paris tech
دکتر سید محمود حسینی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر ناصر حافظی مقدس	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه
دکتر سیداحسان سیدی حسینی نیا	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر شهناز دانش	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران
دکتر غلامرضا رخشنده رو	استاد، دانشگاه شیراز، دانشکده راه و ساختمان
دکتر محمدحسین سبط	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر فرزاد شهبابیان مقدم	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر امیر کاووسی	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکترحسین گنجی دوست	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکتر محمود فغفور مغربی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر فریدون مقدس نژاد	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر ابوالفضل محمدزاده مقدم	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر محمدرضا کیانوش	استاد، University of Ryerson

مسئول دفتر نشریه: تکتّم هوشمند

ویراستار ادبی: الهام دهقان

ویرایش و صفحه آرایی: سیده عاطفه نوعی باغبان- تکتّم هوشمند

<http://www.srlst.com>

این نشریه در کتابخانه منطقه‌ای علوم و تکنولوژی شیراز (ISC) نمایه می‌شود.

نشانی: مشهد- دفتر نشریه - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد - صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

وب سایت: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir> پست الکترونیکی: civil-ferdowsi@um.ac.ir شماره تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۶۰۲۴

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مطالب

۱	محمد صدیق باور - علی نادران - محمود صفارزاده	ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری‌های زمین در وقوع تصادفات (مطالعه موردی: شهر شیراز)
۱۷	فرشته موحدی - رضا جهانشاهی - ناصر اسدی سپیده مالی	شناسایی پهنه‌های تراوا در معدن مس تخت‌گنبد با استفاده از درصد جریان آب بازگشت حفاری
۲۹	محمدامین جلالی - امین رفیعی	ارزیابی عملکرد قاب خمشی جوشی با مقطع تیر کاهش‌یافته و سخت‌کننده
۴۷	محمدامین مشایخی - محمدرضا خانمحمدی	مطالعه عددی خاکریزهای متکی بر شمع‌های پیچی و بتنی تحت بارگذاری ترافیکی راه‌آهن
۶۳	محمد جهانی - شهره شاهنوری - سعید مرادی محمد یزدانی - سیروس ارشادی	اثر ناحیه جزرومدی، مکمل‌های سیمانی و مصالح دریایی بر برخی از پارامترهای دوام بتن
۸۳	مرتضی شریفی - حسن امیری - محمود مدیری فرزانه بیگ زاده	ارائه الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری با رویکرد آمیخته

Evaluating the Spatial Effect of the Contribution of Different Types of Land Use in the Occurrence of Accidents (Case Study: Shiraz Metropolis)

Research Article

Mohammad Sedigh Bavar¹, Ali Naderan² , Mahmoud Saffarzadeh³

DOI: [10.22067/jfcej.2023.80945.1214](https://doi.org/10.22067/jfcej.2023.80945.1214)

1. Introduction

Traffic accidents are among the leading causes of death on a globe. Evaluating and understanding land-use features help to identify environmental elements that contribute to accidents. After increasing traffic volume, land use is one of the most crucial factors in metropolitan network development. Multiple studies have proven that an increase in the density of various urban uses raises the accident rate. Considering the significance of the density of different types of land use in producing and attracting traffic and the increase in conflict between vehicles and road users in previous studies, the spatial relationship between the number of accidents and types of land use based on traffic areas was determined by the studies. The simultaneous effect of the density of different types of uses and the blending of numerous uses in a traffic region has not been examined. Selecting an appropriate spatial search radius, this study examines the impact of the density of types of uses and the mixture of types of uses in Shiraz's traffic zones. Examining the spatial effect between kinds of land use in different geographical regions and the occurrence of accidents might improve the efficacy of attempts to protect urban roads.

2. Method

The scope of this study is the traffic area zones (TAZ) of Shiraz city, the capital of Fars province, Iran. The data were collected from two sources: Locational data of urban accidents in Shiraz city from 2019 to 2021 and a total of 34588 reported by the police. The city of Shiraz has 325 traffic areas. Based on the Pearson model, land uses were classified into 14 categories with the lowest correlation. Based on aggregation methods and correlation reduction, 37 categories of users were reduced to 14 categories by using Pearson's correlation test in the first step. As a result of the extraction of observations, the effect of independent variables was evaluated by considering spatial correlations in the estimation of the frequency of accidents in Shiraz using GWR and GWPR models.

3. Results

From 2019 to 2021, 34588 accidents were reported in Shiraz, with an average of 106 accidents in each traffic area zone (minimum 7 and maximum 686). The road network accounts for an average of 24 percent of the traffic in each traffic area zone (minimum 0 and maximum 73%), and in some areas of urban centers, the share of road use is significantly higher than other uses. Residential units occupy an average of 30% of the area of traffic areas and in some neighborhoods, residential areas with high density has occupied up to 70% of traffic areas (minimum 0 and maximum 70%). The total of cultural, religious, and tourism uses on average occupies 1.3% of traffic areas, the maximum of which is 30% of traffic areas in the old tuxtures of Shiraz (minimum 0 and maximum 30%). The average of the areas used for healthcare is about 1%, for sports use is about 0.5%, for office uses is 1.7%, for barren and abandoned land use is 12%, for mixed residential and non-residential uses is 4%. Almost 90% of the correlation between the independent variables is within the acceptable range (less than 0.4). Moreover, the significance level of predicting the correlation value among a number of variables has been reported to be acceptable, but the correlation value was not significant in some others. One of the important criteria for modeling with the spatial statistics method is selecting the observation search radius. According to the exponential relationship of the Poisson regression model, an increase of one unit of barren land use area in the local model causes 0.95 of units to increase the probability of an accident. This is 0.83 in the global model. The increase of one unit of residential use area in the local model is 0.91 effective in increasing the number of accidents, and in the global model it is 0.97. The mixing of residential and non-residential uses has been effective in increasing the frequency of accidents by 1.12 units in the local model and 1.17 units in the global model. So, this study confirms the effect of mixed use on increasing the frequency of accidents. Accordingly, local models have higher accuracy than global models. Therefore, the continuation of the modeling was done based on the optimal GWPR model.

*Manuscript received February 4, 2023, Revised, February 28, 2023, Accepted, May 14, 2023.

¹. PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **Email:** Naderan@srbiau.ac.ir.

³. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

The model predicted the frequency of accidents with higher accuracy.

4. Conclusion

A systematic was used to investigate the impact of land use area on the occurrence of accidents in the traffic areas of Shiraz city. In the first step, among 37 types of urban land use, 14 land use types were selected. The land uses were selected by combining the areas of similar uses in order to reduce the correlation between independent variables. In the second step, the appropriate search radius of the observations was selected using the kernel density method, and then, two local and global modeling approaches were adopted. The results showed that the local models are a better fit than the global model in estimating the frequency of accidents. Moreover, among the two GWPR and GWR models, the first model provided better results. This study identified residential, commercial, barren land, and mixed residential use variables as the most important influencing variables in increasing accidents. Therefore, the correct control and management of these uses have a more significant impact on It reduces accidents compared to other uses. In this study, the impact of significant difference in different types of uses at traffic areas on the occurrence of accidents is quite noticeable. In some traffic areas, up to 80% of the area is of one type of use, and the high standard deviation shows the dispersion of uses in this city. For example, the high standard deviation of healthcare use shows that this usage has the least mixing with other uses at the district level. On the other hand, the accumulation of this type of use in some certain traffic areas is seen more than in other uses. Sports use, like healthcare, has a smaller area than other uses in traffic areas. Its low variance (4.5%) shows that the mixing of this type of use is more than other uses and is scattered in different parts of the city. Regarding office and headquarters use, due to the very high density (up to 87% of the traffic area) in a number of traffic areas, as well as less variance compared to residential and commercial uses, the dispersion of this use at traffic areas is more the result of their mixing with other uses. Moreover, considering the high area percentage (94%) of the use of facilities and industries in some areas and the high variance, the dispersion of these uses in Shiraz is less. A big portion of these uses are concentrated in limited traffic areas, which shows that the high share of one use in a traffic area has less effect than mixing types of uses in increasing the frequency of accidents. As mentioned in the method section, lower values of AIC, AICC, and BIC and error values indicate a better fit of the model. The more R^2 and R^2 values close to 1, the more optimal the model. The difference of 14% between the minimum and maximum value shows that this type of mixing is widely spread in Shiraz. In general, the spatial effect between independent and dependent variables is stronger in traffic areas with a great variety of uses compared to other traffic areas. Moreover, the remaining values show that the estimated frequency of accidents in the central areas of Shiraz is closer to the observed values, and in other areas, the difference between the observed and predicted values is greater. This shows that the dispersion of data is more in these areas. The results of this investigation

can be used for medium and long-term plans to reduce accidents by considering the prioritization of safety measures. The researchers suggest that the negative binomial distribution method that takes into account the over-dispersion of accident data be used in future to predict the frequency of accidents.



ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری‌های زمین در وقوع تصادفات (مطالعه موردی: شهر شیراز)*

مقاله پژوهشی

محمد صدیق باور^(۱) علی نادران^(۲) محمود صفارزاده^(۳)

DOI: 10.22067/jfcej.2023.80945.1214

چکیده نوع کاربری زمین در هر ناحیه ترافیکی مهمترین عامل تعیین کننده تعداد وسایل نقلیه، ویژگی‌های هندسی و ترافیکی در آن ناحیه می‌باشد. کاهش تراکم، تنوع انواع وسایل نقلیه و کاهش تصادفات، یکی از مهمترین دغدغه‌های مهندسين حمل و نقل می‌باشد. هر دلیلی در محیط شهری که باعث تراکم و جذب وسایل نقلیه در زمان‌های خاصی گردد احتمال وقوع تصادف را در آن ناحیه بالا می‌برد. در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر سهم انواع کاربری‌ها در هر یک از نواحی ترافیکی شهر شیراز بر احتمال وقوع تصادف، از روش دو مرحله‌ای شامل: شناسایی انواع کاربری‌های تاثیرگذار در بروز تصادف، همچنین اثرات فضایی بین متغیرهای مستقل و داده‌های تصادف در فضا استفاده گردیده است، همچنین از روش‌های تخمین چگالی کرنل به منظور یافتن پهنای باند مناسب جستجوی مشاهدات، رگرسیون وزن دار جغرافیایی و رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی به منظور بررسی اثرات فضایی تاثیر سهم انواع کاربری‌ها بر وقوع تصادف استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داده است که از بین مدل‌های مذکور، مدل محلی رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی بر اساس معیارهای صحت سنجی عملکرد بهتری نسبت به مدل جهانی پواسن و مدل محلی رگرسیون وزن دار جغرافیایی دارد. همچنین وجود کاربری مسکونی، تجاری، بایر، متروکه، اختلاط مسکونی و غیر مسکونی بیشترین تاثیر را در بروز تصادف دارند. بررسی اثرات فضایی انواع کاربری اراضی در هریک از نواحی ترافیکی کلان شهر شیراز که تا کنون در شهر شیراز با توجه به اطلاعات ماتریس مبدا و مقصد در نواحی ترافیکی ۳۲۵ گانه، طرح تفصیلی، آمار تصادفات سه ساله اخیر با مدل‌های سه گانه صورت پذیرفته است و این مطالعه می‌تواند به منظور انجام اقدامات میان و بلند مدت ایمنی بسیار حائز اهمیت باشد.

واژه‌های کلیدی کاربری اراضی، رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی، رگرسیون وزن دار جغرافیایی، تصادف، تخمین چگالی کرنل.

Evaluating the Spatial Effect of the Contribution of Different Types of Land Use in the Occurrence of Crashes (Case Study: Shiraz Metropolis)

Mohammad Sedigh Bavar Ali Naderan Mahmoud Saffarzadeh

Abstract The type of land use in each traffic area zone is the most important factor determining the number of vehicles, geometric and traffic characteristics in that zone. Any factor in the urban environment that causes congestion and attraction of vehicles at certain times increases the probability of a crash in that area. The purpose of this study is to investigate the effect of the share of different types of uses in various traffic areas of Shiraz city on the probability of a crash. A two-step method, including identifying the types of uses influencing the occurrence of crashes and spatial effects between independent variables and crash data in space Kernel density estimate methods, has also been used to find the suitable bandwidth for searching observations. In order to investigate the spatial effects of land use types on crash incidence, geographically weighted regressions and geographically weighted Poisson regressions were used. Based on the validation criteria, the local GWPR model performs better than the global Poisson model and the local GWR model among the mentioned models. Additionally, the presence of residential, commercial, barren, and abandoned uses, as well as the mixing of residential and non-residential uses, significantly impact crashes. Investigating the spatial effects of land use types in each of the traffic areas of Shiraz metropolis, which has not been done so far in Shiraz city according to the information of the origin and destination matrix in 325 traffic areas, Land Use, accident statistics of the last three years with three models. And in this study, it can be very important in order to carry out medium and long-term safety measures.

Key Words Land Use, Crash, Shiraz Metropolis, Kernel Density Estimate, Geographical Weighing Poisson Regression.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۱۰/۱۵ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۳/۲ می‌باشد.

(۱) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز.

(۲) نویسنده مسئول: استادیار، برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

Email: naderan@srbiau.ac.ir

(۳) استاد، برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

مقدمه

حوادث ترافیکی یکی از مهمترین عوامل مرگ و میر انسان در سراسر جهان به شمار می‌آید. ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری‌های زمین در وقوع تصادفات شناخت ویژگی‌های کاربری‌های اراضی، به شناسایی عوامل محیطی تاثیر گذار در تصادف کمک فراوانی خواهد کرد [1]. کاربری زمین یکی از مهمترین عوامل گسترش شبکه شهری و به دنبال آن افزایش حجم ترافیک است. مطالعات گوناگون نشان داده است که افزایش تراکم انواع کاربری‌ها در محیط‌های شهری باعث افزایش تعداد تصادف می‌گردد [2-4]. کاربری زمین به طور غیر مستقیم براساس حجم سفرهای جذب شده و تولید شده به دلیل افزایش برهم کنش وسایل نقلیه، افزایش تصادف را به دنبال دارد [5,6]. در مطالعات گذشته ارتباط مکانی بین تعداد تصادفات و تراکم انواع کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شده است که تغییر الگوهای شهری نقش بسزایی در افزایش ایمنی شهری داشته است [7-9]. از طرفی دیگر افزایش تراکم و اختلاط انواع کاربری‌ها، تعداد تصادفات خصوصا عابران پیاده را افزایش داده است [2,10,11]. براساس مطالعات گذشته داده‌های شمارشی تصادف در موقعیت‌های مختلف دارای ناهمگنی فضایی هستند به این معنی که به دلیل وابستگی مکانی به محیط اطراف، نیازمند مدلسازی مکانی می‌باشند تا بتواند همبستگی فضایی بین موقعیت تصادف و محیط اطراف را در مدل لحاظ کند بنابراین تحلیل مکانی داده‌های تصادف در برآورد رخ داد تصادف براساس متغیرهای محلی نسبت به مدل‌های سنتی دقت بالاتری دارد [12,13]. یکی از شناخته شده ترین مدل‌های آماری در تحلیل داده‌های تصادف مدل‌های رگرسیونی هستند و توسط محققان زیادی جهت برآورد فراوانی تصادفات استفاده گردیده اند [14-16]. اما باید توجه داشت بررسی ارتباط بین داده‌های تصادف و متغیرهای تاثیر گذار محیطی در رخ داد تصادف بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های جغرافیایی نتایج مطلوبی نخواهد داشت [17-19]. بنابراین مدل‌های آمار فضایی مانند مدل‌های رگرسیون وزن دار جغرافیایی به منظور برآورد فراوانی تصادفات با در نظر گرفتن ویژگی‌های جغرافیایی داده‌های تصادف و عوامل محیطی مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [15,18,19]. در مدل‌های آمار فضایی انتخاب شجاع جستجو یا پهنای باند یکی از مهمترین معیارهای تحلیل داده‌های مکانی به شمار می‌آید که با استفاده از تخمین چگالی کرنل اندازه گیری می‌شود. اگر اندازه

شعاع جستجوی تخمین چگالی کرنل به درستی انتخاب نشود، نتایج مدلسازی دقت قابل قبول را ندارد، لذا شعاع‌های جستجوی بالا باعث همپوشانی زیاد و انتخاب نواحی متراکم زیاد می‌گردد و از طرفی دیگر انتخاب شعاع جستجوی کم باعث می‌شود تعداد زیادی از مشاهدات در نظر گرفته نشود [20]. در این مطالعه در گام اول به بررسی مهمترین عوامل محیطی تاثیر گذار بر رخ داد تصادف درون شهری براساس نوع کاربری پرداخته می‌شود و در گام دوم با انتخاب شعاع جستجوی مناسب فضایی تاثیر تراکم انواع کاربری‌ها و همچنین اختلاط انواع کاربری در سطح نواحی ترافیکی شهر شیراز پرداخته خواهد شد. بررسی اثر فضایی میان انواع کاربری اراضی در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف (مبنای این مطالعه در سطح هر ناحیه ترافیکی (TAZ Traffic Area Zone) است) و رخ داد تصادف می‌تواند میزان اثرگذاری اقدامات ایمن سازی معابر شهری را افزایش دهد.

پیشینه پژوهش

اویانگ و همکاران در مطالعه خود به بررسی روشی جامع مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور درک اثرات محیطی بر تصادفات ترافیکی پرداختند آنها در مطالعه‌شان از بلوک‌های سرشماری (Census blocks) متغیرهای حمل و نقلی، شامل نوع تراکم، تنوع، طراح هندسی، دسترسی به مقصد، و فاصله تا مقصد جهت تحلیل داده‌های تصادف استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد طول خیابان و تراکم محیط کارگاهی در افزایش فراوانی تصادفات تاثیر گذار است. با این حال، افزایش تعداد تقاطعات نتیجه منفی در افزایش فراوانی تصادفات را نشان داد [6]. در مطالعه‌ای دیگر مرلین و همکاران به بررسی رابطه بین دسترسی به کاربری‌های مسکونی و احتمال رخ داد تصادف در یک دوره سه ساله در ایالت فلوریدا آمریکا پرداختند. آنها در مطالعه‌شان میزان دسترسی افراد به مناطق مسکونی براساس وسایل نقلیه مایل پیموده شده (VMT Vehicle Mail Travel) در رخ داد تصادف را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد مناطق تجاری با فاصله ۱۰ دقیقه‌ای از مناطق مسکونی، تعداد تصادفات کمتری نسبت به مناطق تجاری با فاصله ۲۰ تا ۳۰ دقیقه‌ای از مناطق مناطق مسکونی دارند [7,10]. مطالعات نشان داده است رابطه نظری بین دسترسی به کاربری‌های خاص و رخ داد تصادف دو طرفه بوده و اثر بالقوه در تعداد تصادفات دارد، به طوری که کاهش

تعداد تصادفات نتایج مطلوبی ارائه نموده است [17]. مطالعات دیگر نشان داده است که اختلاط کاربری متوسط در سطح نواحی ترافیکی مهمترین عامل رخ داد تصادفات است. بنابراین این نواحی باید در اولویت اقدامات افزایش ایمنی قرارگیرند [28]. همچنین بررسی فضایی بین رخ داد تصادف و عوامل محیطی نشان داده است، مناطق تجاری همبستگی فضایی بالایی با تصادفات جرحی و فوتی دارند، در حالی که متغیرهای جمعیت شناختی با میزان جراحات عابر پیاده و دوچرخه همبستگی فضایی بالاتری دارد [6].

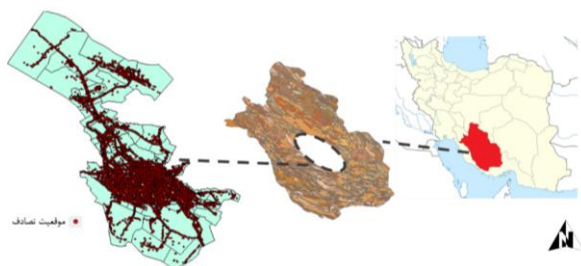
با مروری بر مطالعات گذشته دریافتیم که تراکم و نوع کاربری‌ها از مهمترین عوامل محیطی تاثیرگذار در رخ داد تصادف هستند، بنابراین شناسایی میزان تاثیرگذاری انواع کاربری‌ها بر رخ داد تصادف از اهمیت بالایی برخوردار است، همچنین داده‌های تصادف دارای ناهمگنی فضایی هستند. پدیده‌ای که با همبستگی مکانی شناخته می‌شود، یعنی علاوه بر تاثیر متغیرهای محیطی در رخ داد تصادف، ویژگی‌های محلی هر تصادف از یک موقعیت به موقعیت دیگر متفاوت است. لذا بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های محلی و ارتباط فضایی آن‌ها با یکدیگر، مدل‌های آماری نتایج مطلوبی ارائه نخواهند کرد. باتوجه به بررسی‌های انجام گرفته با توجه به اهمیت زیاد تراکم انواع کاربری‌ها در تولید و جذب سفر یک ناحیه ترافیکی و به دنبال آن افزایش درگیری بین وسایل نقلیه و کاربران راه در مطالعات گذشته ارتباط فضایی بین تعداد تصادفات و انواع کاربری اراضی براساس نواحی ترافیکی مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر آن تاثیر همزمان تراکم انواع کاربری‌ها و همچنین اختلاط چند کاربری در یک ناحیه ترافیکی نیز در نظر گرفته نشده است (بررسی اثرات فضایی انواع کاربری اراضی در هریک از نواحی ترافیکی کلان شهر شیراز که تا کنون در شهر شیراز با توجه به اطلاعات ماتریس مبدا و مقصد در نواحی ترافیکی ۳۲۵ گانه، طرح تفصیلی، آمار تصادفات سه ساله اخیر با مدل‌های سه گانه صورت پذیرفته است) و این مطالعه می‌تواند به منظور انجام اقدامات عملیاتی میان و بلند مدت ایمنی بسیار حائز اهمیت باشد.

داده‌ها و روش تحقیق

محدوده این مطالعه، نواحی ترافیکی شهر شیراز مرکز استان فارس کشور ایران می باشد (شکل ۱). داده‌های این مطالعه از دو منبع گردآوری شده است: دسته اول داده‌های مکانی تصادف

فاصله دسترسی با کاهش مایل های پیموده شده وسیله نقلیه برای خانوارها مرتبط است، بنابراین احتمال رخ تصادفات نیز کمتر است [21]. مطالعات دیگر نشان داده است فاصله دسترسی به کاربری‌های خاص، افزایش احتمال وجود وسایل نقلیه مختلف در آن منطقه و به دنبال آن افزایش درگیری بین وسایل نقلیه و در نهایت رخ داد تصادف را به دنبال دارد [22,23]، بنابراین نوع کاربری‌های محیطی تاثیر بسزایی در افزایش فراوانی تصادف دارد [19,21,24]. با گسترش تکنولوژی و افزایش دسترسی به اطلاعات مکانی، استفاده از داده‌های مکانی تصادف جهت تحلیل عوامل موثر بر تصادف در سال‌های اخیر مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [25]. مطالعات نشان داده است که تعداد تصادفات در پاسخ به تغییر الگوهای ترافیکی و حجم وسایل نقلیه، از نظر مکانی به صورت پویا در نوسان هستند (دارای ناهمگنی فضایی هستند) و بیشتر تصادفات نزدیک به مراکز تجاری و شغلی رخ می دهند تا مناطق مسکونی [18,26]. علاوه بر آن براساس مدل‌های تاخیر فضایی تحلیل تصادفات، رابطه تعداد تصادفات وسایل نقلیه موتوری با تراکم جمعیت، شغل و ویژگی‌های جاده معنادار به دست آمده است، که نشان می‌دهد تصادفات با توجه به فعالیت های مختلف ایجاد سفر دارای پراکندگی در فضا هستند و در طول روز به طور قابل توجهی تغییر می کنند [9,27]. بنابراین استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی کاربری (GIS) به دلیل استفاده از همبستگی فضایی، می‌تواند ارتباط فضایی معیارهای مواجهه تصادف را در پیش‌بینی تصادفات لحاظ کند و در نتیجه نتایج قابل قبولی را ارائه نماید [12,28]. علاوه بر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته و رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی با در نظر ارتباط فضایی بین داده‌های تصادف و عوامل مواجهه محیطی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در برخی از مطالعات ماتریس همبستگی ایجاد شده بین متغیرهای مستقل درجه بالایی از همبستگی بین تراکم جمعیت با منطقه مسکونی را نشان داده است. همچنین تحلیل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته نشان می‌دهد که تراکم اشتغال، تراکم مسکونی و طول راه با تصادفات ترافیکی معابر همبستگی فضایی مثبت دارند در حالی که کاربری مخلوط زمین با تصادفات ترافیکی معابر همبستگی منفی دارد [23]. علاوه بر مدل‌های فضایی گفته شده، ارتباط فضایی برخوردهای ترافیک معابر با استفاده از مدل بیز تجربی در بررسی ارتباط بین الگوهای مختلف طرح هندسی راه و

آموزشی، بهداشتی درمانی، فضای سبز و مزارع، اداری ستادی، صنایع و تاسیسات و حمل و نقل، بایر و مخروبه، مختلط مسکونی و غیر مسکونی، سایر کاربری‌ها شامل: گورستان، دامداری، نظامی، رودخانه می باشند. در این مطالعه در گام اول با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون همبستگی بین متغیرهای مستقل انجام گرفت و ۳۷ نوع کاربری براساس روش‌های تجمیعی و کاهش همبستگی به ۱۴ نوع کاربری تقلیل یافت. در گام دوم مطالعه با استفاده از روش تخمین چگالی کرنل شعاع جستجوی مناسب مشاهدات استخراج گردید و سپس براساس مدل‌های (Geographical Weighing Regression) GWR و (Poisson Regression Geographical Weighing) GWPR تاثیر متغیرهای مستقل با در نظر گرفتن همبستگی فضایی در برآورد فراوانی تصادفات شهر شیراز ارزیابی گردید.



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه

درون شهری شهر شیراز از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ مجموعاً ۳۴۵۸۸ گزارش شده توسط پلیس راهور از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز دریافت گردیده است، دسته دوم لایه‌های اطلاعاتی کاربری‌های اراضی شهر شیراز از معاونت شهرسازی شهرداری شیراز گردآوری گردید. اطلاعات توصیفی داده‌های این مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. شهر شیراز دارای ۳۲۵ ناحیه ترافیکی می‌باشد و تنوع کاربری‌های اراضی در آن‌ها براساس مطالعات طرح جامع حمل و نقل به ۳۷ دسته تقسیم بندی شده است که در این مطالعه به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و کاهش خطای آن در مدلسازی ابتدا براساس مدل همبستگی پیرسون متغیرهای مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. متغیرهای که همبستگی بالایی داشتند، در گام اول به صورت تجمیعی با سایر متغیرهای مشابه در مدلسازی وارد شدند، پس از آن در صورت وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل، تعدادی از متغیرها حذف گردید تا از خطای مدل ناشی از همبستگی بین متغیرهای مستقل کاسته شود. در نهایت براساس مدل پیرسون، کاربری‌های اراضی به ۱۴ دسته طبقه بندی شدند که کمترین میزان همبستگی را از خود نشان دادند (جدول ۲). کاربری‌های اراضی شناسایی شده این مطالعه براساس مساحت شامل: شبکه معابر، تعداد واحد مسکونی، تعداد واحد تجاری، فرهنگی و مذهبی، ورزشی،

جدول ۱ ویژگی‌های توصیفی متغیرهای مطالعه

متغیرها	حداقل	حداکثر	مجموع	میانگین	خطای استاندارد	واریانس
تعداد تصادفات	7.00	686.00	34588.00	106.42	84.34	7113.62
شبکه معابر	0.00	73.34	7960.66	24.49	11.00	120.97
مسکونی	0.00	70.18	9223.37	30.21	18.87	356.16
فرهنگی، مذهبی و جهانگردی	0.00	30.66	435.59	1.34	3.59	12.88
بهداشتی و درمانی	0.00	84.45	313.72	0.97	5.33	28.42
ورزشی	0.00	35.18	134.19	0.41	2.20	4.84
اداری ستادی	0.00	87.83	556.76	1.71	5.88	34.60
فضای سبز، مزارع و دامداری	0.00	86.59	2413.15	7.43	13.75	188.94
تجاری	0.00	30.44	670.48	2.06	3.97	15.75
تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	0.00	94.26	1093.31	3.36	7.69	59.09
بایر و متروکه	0.00	94.31	3956.12	12.17	16.92	286.14
آموزشی	0.00	73.30	786.77	2.42	6.10	37.16
مختلط مسکونی و غیر مسکونی	0.00	14.16	667.19	2.05	2.52	6.34
مختلط غیر مسکونی	0.00	36.37	190.30	0.59	2.52	6.35
سایر کاربری	0.00	100.00	3504.81	10.78	25.45	647.94

جدول ۲ میزان همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل

همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل	شبکه معابر	مسکونی	فرهنگی، مذهبی و جهانگردی	بهداشتی و درمانی	ورزشی	اداری ستادی	فضای سبز، مزارع و دامداری	تجاری	حمل و نقل و صنایع	بایر و متروکه	آموزشی	و غیر مسکونی	مختلط مسکونی	غیر مسکونی	مختلط	سایر کاربری
شبکه معابر	همبستگی	1														
	معناداری															
مسکونی	همبستگی	.347**	1													
	معناداری	0														
فرهنگی، مذهبی، جهانگردی	همبستگی	-0.034	1													
	معناداری	0.558	.537													
بهداشتی، درمانی	همبستگی	-0.014	-0.083	1												
	معناداری	0.803	.734	.734												
ورزشی	همبستگی	0.051	-0.071	.018	1											
	معناداری	0.362	.202	.743	.841											
اداری، ستادی	همبستگی	0.002	-0.090	.064	.040	1										
	معناداری	0.966	.107	.252	.469	.604										
فضای سبز، مزارع و دامداری	همبستگی	-0.105	-.192**	-0.054	-0.044	-.012	1									
	معناداری	0.058	.001	.330	.427	.830	.347									
تجاری	همبستگی	0.055	.070	.227**	.021	-.038	-.122*	1								
	معناداری	0.323	.208	.000	.709	.494	.227	.028								
تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	همبستگی	-0.009	-.130*	-0.064	-0.046	.028	-.112*	-.026	1							
	معناداری	0.866	.019	.251	.410	.615	.394	.639	.044							
بایر و متروکه	همبستگی	-0.091	-.355**	-0.089	-0.105	.028	-.125*	-.150**	.056	1						
	معناداری	.103	.000	.108	.059	.616	.015	.025	.311	.007						
آموزشی	همبستگی	-0.007	-.080	.170**	.052	-.010	-.085	.008	-.034	-.096	1					
	معناداری	.898	.152	.002	.352	.861	.125	.891	.538	.084	.000					
مختلط مسکونی و غیر مسکونی	همبستگی	.151**	.449**	.143*	-.038	-.059	-.042	.334**	-.045	-.241**	.015	1				
	معناداری	.006	.000	.010	.497	.289	.447	.001	.415	.000	.783	.000				
مختلط غیر مسکونی	همبستگی	.055	-.035	.139*	.043	-.015	-.053	.116*	.038	-.085	-.023	.099	1			
	معناداری	.320	.531	.012	.435	.791	.690	.342	.496	.125	.673	.075	.000			

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

تخمین چگالی کرنل (KDE) (Kernel Density Estimate)

در آمار و احتمال، تخمین چگالی کرنل به فرایند تخمین تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی با استفاده از نمونه‌های

مشاهده شده از آن متغیر گفته می‌شود. معمولاً فرض می‌شود نمونه‌های مشاهده شده به طور تصادفی و مستقل براساس تابع توزیع احتمال، توزیع شده‌اند. این روش به بررسی همبستگی مکانی وقایع نقطه‌ای مانند تصادف در یک شبکه

شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد [17].

برای جلوگیری از نتیجه گیری‌های نادرست باید از یک عملکرد هسته بی طرف (unbiased) استفاده شود. از این رو، از فرمولاسیون روش "equal split discontinuous kernel density function" در این مطالعه گردیده است. با استفاده از این رویکرد، عملکرد هسته شبکه برای دو مورد تعریف می‌شود: (۱) مرکز هسته q با یک گره و (۲) مرکز هسته q با دو گره همزمان. در حالت اول، عملکرد زیر طبق فرمول یک تعریف می‌شود.

$$k_q(p) = \begin{cases} 0 & \rightarrow \\ \frac{k(d_s(q, p))}{(n_{i1} - 1)(n_{i2} - 1) \dots (n_{ik} - 1)} & \rightarrow \\ & \rightarrow d_s(q, p) \geq h \\ & \rightarrow d_s(q, v_{ik} - 1) \leq d_s(q, p) < d_s(q, v_{ik}) \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه، $k(x)$ یک تابع هسته پایه است، y مرکز هسته است، d فاصله بین مسیر y و x است، h پهنای باند است و درجه گره را از بین می‌برد.

در این حالت، مقدار عملکرد هسته همان عملکرد هسته پایه است تا زمانی که هسته در کوتاه‌ترین مسیر مستقر باشد و گره‌ای را شناسایی نکند $ds(q, v_i) > ds(p, q) > 0$ در غیر این صورت، هنگامی که به یک گره رسید، مقدار عملکرد هسته به همان اندازه به درجه گره تقسیم می‌شود، این روند تا رسیدن مرکز هسته به حد مرزی ادامه می‌یابد.

روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR)

رگرسیون وزنی جغرافیایی، یک روش رگرسیون محلی و فضایی است که برای مدل‌سازی روابط متغیرهای فضایی استفاده می‌شود. تحلیل رگرسیون این امکان را به شما می‌دهد که به مدل‌سازی، بررسی و اکتشاف روابط مکانی بین داده‌ها بپردازید تا الگوهای مکانی عوامل مشاهده شده (متغیرهای مستقل) را بهتر درک کنید و پیش بینی صحیحی را برپایه این عوامل ارائه دهید. در رگرسیون‌های آمار کلاسیک، نظیر رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) فرض ما بر آن است که رابطه‌ای که می‌خواهیم بین یک متغیر وابسته و تعدادی متغیر مستقل مدل‌سازی کنیم، در سراسر محدوده مورد مطالعه یکسان

است که در بسیاری از موارد چنین فرضی صحیح نیست [29]. در مدل GWR بر خلاف مدل OLS ضرایب یا پارامترهای مدل در سطح منطقه مورد مطالعه، ثابت نیستند و به مختصات مکانی (وزن مکانی و جغرافیایی) وابسته‌اند و مقدار و علامت هر یک از آن‌ها دارای تغییرپذیری مکانی طبق فرمول دو است [29].

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (۲)$$

این رابطه پارامترهای β ، ε ، مان داده شده توسط تابع $\beta_k(u_i, v_i)$ با توجه به مقادیر (u_i, v_i) متفاوت هستند، که نشانگر مختصات و طول و عرض جغرافیایی برای مشاهده (منطقه) i است و در نتیجه یک مدل متفاوت با توجه به موقعیت مکانی و فضایی برای هر منطقه در مطالعه وجود دارد. همچنین فرضیه‌های مدل رگرسیون خطی کلاسیک برای GWR در جای خود باقی است.

رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی (GWPR)

رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای هر متغیر (i) ماتریس وزنی تشکیل می‌دهد. این وزن‌ها مطابق با موقعیت هر متغیر متفاوت است. بدین ترتیب، موقعیت‌های نزدیک‌تر وزن بیشتری کسب می‌کنند. توزیع ناهمگن رابطه بین دو متغیر که مطابق با مکان می‌تواند مثبت یا منفی و قوی یا ضعیف باشد، می‌تواند با استفاده از تکنیک GWR در فضا منعکس شود. در یک رگرسیون وزن دار جغرافیایی، تعداد تصادفات توسط مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی پیش‌بینی می‌شود، که پارامترها مجاز به تغییر در فضا هستند. این مدل را می‌توان به صورت رابطه سه بازنویسی کرد.

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i) \ln(E_{vi}) + \sum_{k=1}^k \beta_k(u_i, v_i)x_{ij} \quad (۳)$$

در رابطه فوق (u_i, v_i) مختصات منطقه i را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که در مدل GWPR، $\beta_k(u_i, v_i)$ تابعی از مختصات مرکز ناحیه i است.

اعتبار سنجی مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون وزن دار جغرافیایی از سه آماره برای اندازه‌گیری دقت برآورد استفاده شده است، که ابتدا از AIC به عنوان نیکویی برازش استفاده خواهد شد، که کمترین مقدار این معیار، نشان دهنده برتری مدل است. معیار AIC طبق فرمول‌های چهارم تا نهم به قرار ذیل تعریف شده است [30]:

$$AIC = D + 2k, \quad (4)$$

$$AIC_c = -2L(\beta, \alpha) + 2K + \frac{2K(K+1)}{n-k-1}, \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - p_i)^2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - p_i}{y_i} \right|}{n} \times 100 \quad (8)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - p_i|}{n} \quad (9)$$

در روابط فوق D واریانس مدل را نشان می‌دهد و k تعداد پارامترها است. در GWPR، باید پارامترهای مؤثرتر در نظر گرفته شود.

علاوه بر دو معیار مذکور در این مطالعه از معیارهای BIC و نیز R^2 ، R^2 تعدیل شده، RMSE، MAD، MSE، MAPE نیز استفاده گردیده است. براساس مطالعات قبلی مقدار کمتر AIC و AIC_c نشانه بهتر بودن مدل است، همچنین مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده هر چه قدر به یک و مقادیر خطا هرچه قدر به صفر نزدیکتر باشد نشان می‌دهد، مدل بهتر عمل کرده است. همچنین معیار ارزیابی BIC مانند AIC عمل می‌کند [20,23,27].

تحلیل نتایج

براساس جدول (۱) در این مطالعه برآورد تعداد تصادفات در ناحیه ترافیکی شهر شیراز با استفاده از متغیرهای کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ تعداد ۳۴۵۸۸ تصادف در شهر گزارش شده است که به طور متوسط در هر ناحیه ترافیکی ۱۰۶ تصادف رخ داده است (حداقل ۷ و حداکثر ۶۸۶). شبکه معابر به طور متوسط ۲۴ درصد از مساحت کاربری هر ناحیه ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۷۳ درصد) که در

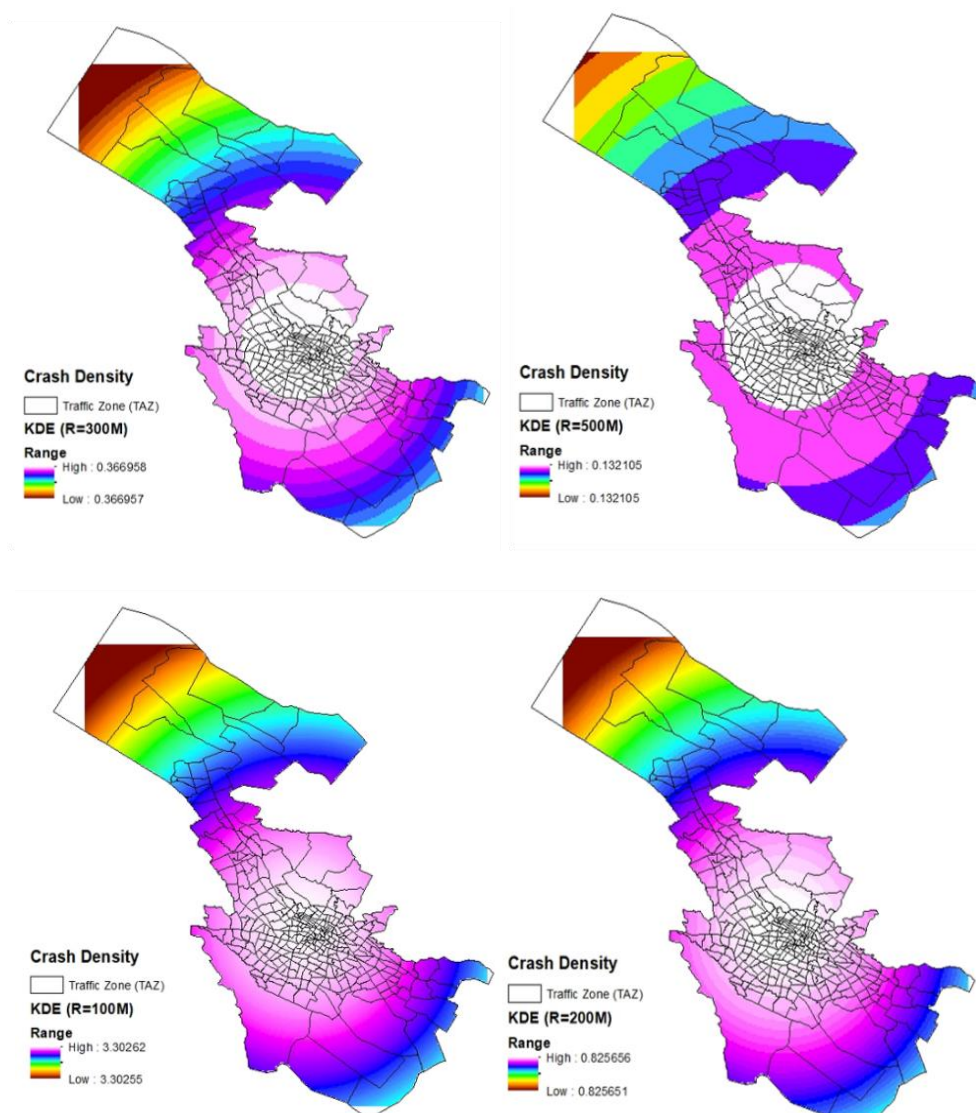
برخی از نواحی مراکز شهری سهم کاربری معابر به طور قابل توجهی بیشتر از سایر کاربری‌ها بوده است. واحدهای مسکونی به طور متوسط ۱۸ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را اشغال کرده اند که در برخی نواحی مسکونی با تراکم بالا تا ۷۰ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۷۰ درصد). مجموع کاربری‌های فرهنگی، مذهبی و گردشگری به طور متوسط ۱،۳ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده‌است که حداکثر آن در مناطق بافت سنتی شهر شیراز تا ۳۰ درصد مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۳۰ درصد). مساحت کاربری بهداشتی درمانی به طور متوسط حدود ۱ درصد، کاربری ورزشی حدود ۰،۵ درصد، کاربری‌های اداری ستادی به طور متوسط ۱،۷ درصد، کاربری زمین‌های بایر و متروکه به طور متوسط ۱۲ درصد، اختلاط کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی به طور متوسط ۴ درصد از مساحت نواحی ترافیکی می‌باشد. براساس جدول (۲) تقریباً بیش از ۹۰ درصد همبستگی بین متغیرهای مستقل در بازه قابل قبول (کمتر ۰،۴) قرار گرفته است، همچنین سطح معناداری پیشگویی مقدار همبستگی در بین تعدادی از متغیرها قابل قبول گزارش شده است، اما در تعدادی دیگر، کم بودن مقدار همبستگی معنادار نبوده است، که دلیل آن می‌تواند وجود خطای بایاس در بین متغیرها باشد، که براساس مطالعات گذشته این خطا قابل چشم پوشی است [5]. همانگونه که در مقدمه اشاره گردید یکی از معیارهای مهم جهت مدلسازی به روش آمار فضایی انتخاب شعاع جستجوی مشاهدات است.

در این مطالعه ۴ شعاع جستجو به روش تخمین چگالی کرنل انجام گرفته است [12,15]. از بین آنها شعاع ۳۰۰ متر که بهترین پوشش دهی مقادیر مشاهدات را دارد، انتخاب گردیده است (شکل ۲). انتخاب شعاع جستجوی ۳۰۰ متر در مطالعات گذشته با دقت بالاتری مقادیر مشاهدات را در برگرفته است و در نتیجه نتایج مدل با دقت بالاتری گزارش شده است [17]. براساس جدول (۳) مساحت زمین بایر بیشترین عامل تأثیر گذار در رخ داد تصادف در نواحی ترافیکی بوده است، که در اختلاط با سایر کاربری‌ها بیشتر بوده است. با توجه به رابطه نمایی مدل رگرسیون پواسن افزایش یک واحد مساحت کاربری زمین بایر در مدل محلی باعث می‌شود ۰،۹۵ واحد احتمال رخ داد

متغیرها دارای همبستگی مکانی هستند [11]. در جدول (۴) نتایج اعتبار سنجی مدل‌ها گزارش شده است، که در آن مقادیر کمتر AIC و AIC_C ، مقادیر نزدیک به یک پارامتر R^2 و مقادیر کمتر پارامترهای RMSE-MSE-MAPE-MAD نشان دهنده بهتر بودن مدل است [7]. براساس آن مدل‌های محلی دقت بالاتری نسبت به مدل جهانی دارند. نتایج مطالعه الماسی و بهنود نیز نشان داده است که مدل‌های محلی در پیش بینی فراوانی تصادفات دقت قابل قبول تری دارند [5] و از بین مدل‌های محلی مدل GWPR دقت بالاتری نسبت به GWR دارد. بنابراین ادامه مدل‌سازی براساس مدل بهینه GWPR انجام گرفته است.

تصادف افزایش یابد، که در مدل جهانی این مقدار ۰٫۸۳ به دست آمده است که با سایر مطالعات مطابقت دارد [31].

افزایش یک واحد مساحت کاربری مسکونی در مدل محلی ۰٫۹۱ و در مدل جهانی ۰٫۹۷ در افزایش تعداد تصادفات تأثیر گذار بوده است که این نتایج با مطالعه [18] و همچنین اختلاط کاربری‌های مسکونی و غیر مسکونی در مدل محلی ۱٫۱۲ و در مدل جهانی ۱٫۱۷ واحد در افزایش فراوانی تصادفات تأثیر گذار بوده است، که مطالعه [14] تأثیر اختلاط کاربری بر افزایش فراوانی تصادفات را تایید می‌کند. (برای تأثیر سایر انواع کاربری‌ها به جدول (۳) مراجعه شود). در جدول (۳) مقادیر منفی اختلاف انحراف معیار از مقدار بحرانی نشان می‌دهد که



شکل ۲ تخمین چگالی کرنل با شعاع های جستجوی متفاوت

جدول ۳ نتایج مدل‌سازی به روش محلی و جهانی

نتایج مدل جهانی (Global) رگرسیون پواسون				نتایج مدل محلی (Local) رگرسیون پواسون وزن دار جغرافیایی (GWPR)											مقایسه نتایج مدل‌ها
Exp (Est)	z(Est/SE)	Standard Error	Estimate	همبستگی فضایی	اختلاف با مقدار بحرانی	انحراف معیار	کران بالا	میان	کران پایین	بازه	حد اکثر	حد اقل	خطای استاندارد	ضریب	متغیرهای توضیحی
5.446	27.792	0.061	1.695	دارد	-1153.32	120754	1.749	-0.085	-1.987	15.54	4.724	-10.816	2.946	-0.332	ثابت مدل
0.839	-27.155	0.006	-0.176	دارد	-1222.87	1740.571	0.034	-0.13	-0.229	1.633	0.813	-0.653	0.173	-0.041	شبکه معابر
0.978	-5.942	0.004	-0.022	دارد	-1289.87	1340.571	0.037	-0.115	-0.209	1.283	0.673	-0.609	0.197	-0.089	مسکونی
1.054	14.075	0.004	0.053	دارد	-304.90	354.875	0.036	-0.01	-0.042	0.307	0.158	-0.148	0.055	0.000	فرهنگی-مذهبی-جهانگردی
1.050	15.225	0.003	0.049	دارد	-338.598	391.153	0.096	0.058	0.019	0.298	0.205	-0.0924	0.0590	0.0615	بهداشتی-درمانی
1.048	14.984	0.003	0.047	دارد	-246.817	295.599	0.065	0.0260	-0.024	0.241	0.147	-0.0945	0.054	0.0213	ورزشی
0.976	-6.912	0.003	-0.024	دارد	-225.382	272.729	0.077	0.0380	0.004	0.229	0.143	-0.086	0.0470	0.0366	اداری ستادی
0.950	-8.209	0.006	-0.051	دارد	-117.349	166.201	0.016	-0.016	-0.039	0.229	0.114	-0.115	0.044	-0.010	فضای سبز و مزارع و دامداری
1.073	14.923	0.005	0.070	دارد	-270.539	315.221	0.081	0.010	-0.054	0.643	0.29	-0.344	0.119	0.0158	تجاری
1.135	22.149	0.006	0.127	دارد	-320.511	364.299	0.12	0.080	0.0294	0.420	0.314	-0.106	0.0772	0.0733	تاسیسات، صنایع و حمل و نقل
1.033	7.842	0.004	0.032	دارد	-480.152	530.742	0.369	0.246	0.1135	0.768	0.628	-0.139	0.154	0.2422	بایر و متروکه
1.108	20.059	0.005	0.103	دارد	-141.415	189.347	0.084	0.0390	-0.006	0.343	0.231	-0.111	0.0739	0.0423	آموزشی
1.182	52.654	0.003	0.167	دارد	-677.235	722.293	0.176	0.0955	0.0421	0.573	0.502	-0.070	0.108	0.1134	مختلط مسکونی و غیر مسکونی
0.839	-27.155	0.006	-0.176	دارد	-196.695	246.652	0.135	0.0694	0.0099	0.379	0.2161	-0.163	0.0861	0.0656	مختلط غیر مسکونی
0.274	-0.149	0.083	0.0473	دارد	-106.625	242.637	0.064	0.029	-0.006	0.343	0.291	-0.124	0.099	0.0483	سایر کاربری

جدول ۴ اعتبار سنجی مدل‌ها

معیارها	مدل‌های محلی		مدل جهانی
	GWPR	GWR	Poison
AIC	3898.41	4235.154	9432.214
AICc	3426.214	3585.21	9434.0254
Σ	-	57.45	-
R ²	0.65	0.58	0.55
Adj R ²	0.59	0.53	0.51
BIC	4405.32	-	9482.614
RMSE	38.52	109.38	141.214
MSE	1484.514	11964.85	11975.214
MAPE	33.25	104.31	109.361
MAD	26.06	68.014	75.86

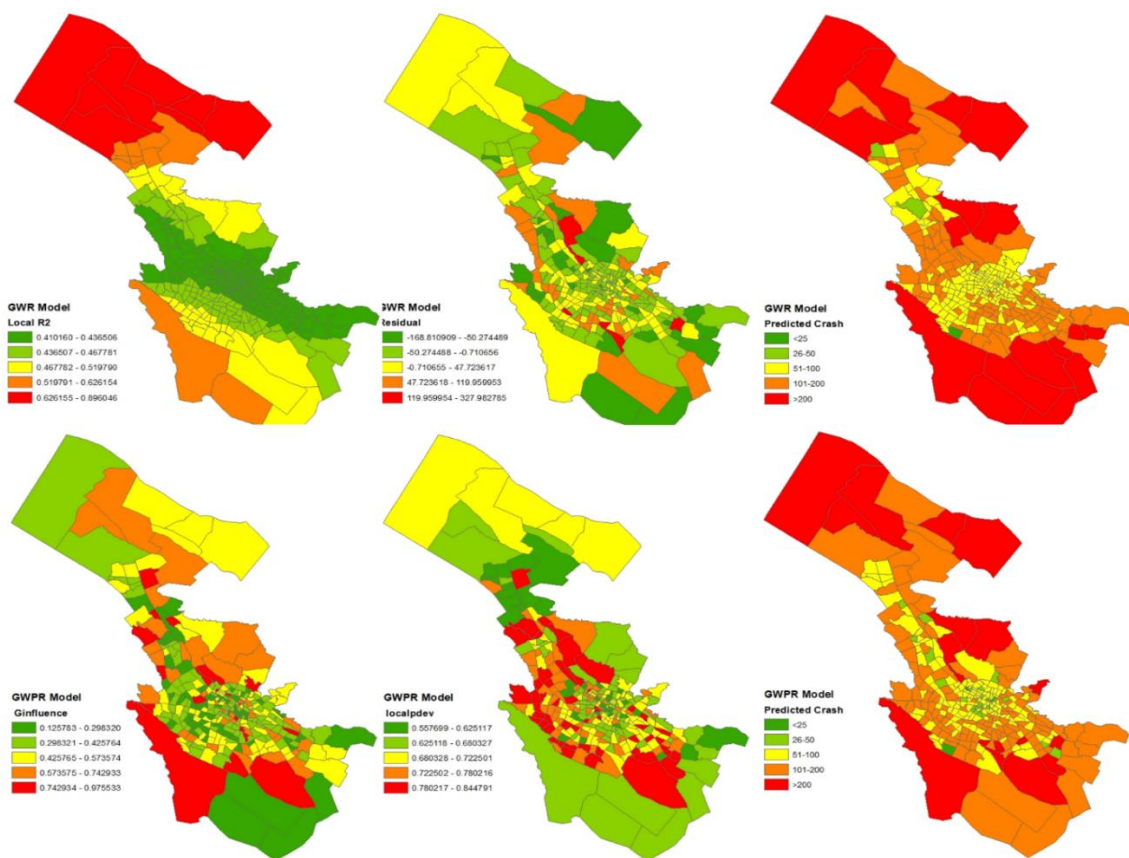
در شکل (۳) برآورد مقادیر متغیرهای مستقل در هریک از نواحی در مدل محلی نشان داده شده است که براساس آن تاثیر متغیر مساحت کاربری مسکونی در شمال شهر شیراز در رخ داد تصادف بیشتر از سایر نواحی ترافیکی بوده است، که با مطالعه [15,19,32] مطابقت دارد. همچنین تاثیر کاربری فضای سبز و تفریحی در مراکز شهر بیشتر از سایر نواحی در رخ داد تصادف به دست آمده است. همچنین تاثیر صنایع، تجهیزات و حمل و نقل در رخ داد تصادف، در قسمت جنوبی و مرکز مایل به جنوب شهر شیراز بیشتر از سایر نواحی به دست آمده است (برای مشاهده تاثیر مساحت سایر کاربری‌ها در نواحی مختلف ترافیکی به شکل (۳) رجوع شود). در شکل (۴) نتایج پیش بینی مدل‌های GWPR و GWR به همراه مقادیر باقی مانده ها و

عدد یک نزدیکتر و مقادیر باقی‌مانده به صفر نزدیکتر باشد، مدل با دقت بالاتری فراوانی تصادفات را پیش‌بینی کرده است [23].

R^2 برای تمامی نواحی ترافیکی نشان داده شده است، که براساس آن می‌توان دریافت در نواحی ترافیکی که مقدار R^2 به



شکل ۳ برآورد متغیرهای مستقل در روش GWPR



شکل ۴ مقایسه نتایج مدل‌سازی GWPR و GWR

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه از یک رویکرد سیستماتیک جهت بررسی تاثیر مساحت انواع کاربری‌های زمین بر رخ داد تصادف در سطح نواحی ترافیکی شهر شیراز استفاده شده است. در این مطالعه در گام اول از بین ۳۷ نوع کاربری شهری، ۱۴ نوع کاربری انتخاب گردیده است. کاربری‌های انتخابی با ترکیب مساحت کاربری-های مشابه به منظور کاهش همبستگی بین متغیرهای مستقل انتخاب گردیده‌اند. در گام دوم با استفاده از روش تخمین چگالی کرنل شعاع جستجوی مناسب مشاهدات انتخاب گردیده است و در ادامه دو رویکرد مدل‌سازی محلی و جهانی اتخاذ شده است. نتایج مطالعه نشان داده است که مدل‌های محلی برازش بهتری نسبت به مدل جهانی در برآورد فراوانی تصادفات دارند، همچنین از بین دو مدل GWPR و GWR مدل اول نتیجه بهتری ارائه کرده است. در این مطالعه متغیرهای کاربری مسکونی، تجاری، زمین بایر و مختلط مسکونی مهمترین متغیرهای تاثیرگذار در افزایش رخ داد تصادف شناسایی شده‌اند [33]. بنابراین کنترل و مدیریت صحیح این کاربری‌ها تاثیر بیشتری بر کاهش تصادف نسبت به سایر کاربری‌ها دارد. در این مطالعه تاثیر اختلاف زیاد مساحت انواع کاربری‌ها در سطح نواحی ترافیکی بر رخداد تصادف کاملاً محسوس است. در برخی نواحی ترافیکی تا ۸۰ درصد از مساحت ناحیه از یک نوع کاربری است و بالا بودن انحراف معیار، پراکندگی کاربری‌ها در سطح شهر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال انحراف معیار بالای کاربری بهداشتی درمانی (جدول ۱) نشان می‌دهد که این کاربری کمترین اختلاف را با سایر کاربری‌ها در سطح نواحی دارند، از طرفی دیگر تجمع این نوع کاربری در نواحی ترافیکی خاص بیشتر از سایر کاربری‌ها دیده شده است. کاربری‌های ورزشی نیز مانند کاربری بهداشتی درمانی مساحت کمتری نسبت به سایر کاربری‌ها در نواحی ترافیکی به خود اختصاص داده‌اند. واریانس پایین (۴,۵ درصد) آن نشان می‌دهد اختلاف این نوع کاربری بیشتر از سایر کاربری‌ها می‌باشد [34] و با نسبت‌های متفاوت در سطح شهر پراکنده شده است. در کاربری اداری و ستادی با توجه به تراکم بسیار بالا (تا ۸۷ درصد مساحت ناحیه ترافیکی) در تعدادی از نواحی ترافیکی و همچنین واریانس کمتر نسبت به کاربری‌های مسکونی و تجاری نشان می‌دهد که پراکندگی این کاربری در سطح نواحی ترافیکی بیشتر در نتیجه اختلاط بیشتری با سایر کاربری‌ها دارند. همچنین با توجه به درصد مساحت بالا (۹۴)

درصد) کاربری تاسیسات و صنایع در برخی از نواحی و همچنین واریانس بالا نشان می‌دهد پراکندگی این کاربری‌ها در سطح شهر شیراز کمتر و اختلاط کمتری با سایر کاربری‌ها دارد. به عبارت دیگر مساحت زیادی از این کاربری‌ها در نواحی ترافیکی محدودی تجمع شده است، که نشان می‌دهد سهم بالای یک کاربری در یک ناحیه ترافیکی تاثیر کمتری نسبت اختلاط انواع کاربری در افزایش فراوانی تصادفات دارد به گونه ای که نواحی ترافیکی با یک نوع کاربری بستگی به نوع کاربری به طور متوسط تاثیر بیشتری نسبت به نواحی ترافیکی با کاربری زمین مختلط در افزایش فراوانی تصادف دارد که در شکل (۳) نشان داده شده است [14,15,35]. در جدول (۳) مقادیر اختلاف انحراف معیار از مقدار بحرانی نشان می‌دهد، تمامی متغیرهای مستقل دارای همبستگی مکانی‌اند. بنابراین همانگونه که مورد انتظار بود مدل محلی نتایج قابل قبول تری نسبت به مدل جهانی ارائه کرده است [5]. همانگونه که در قسمت متدولوژی اشاره گردید مقادیر کمتر AIC، AIC_C و BIC و مقادیر خطا نشان دهنده برازش بهتر مدل و مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده هرچه به مقدار یک نزدیکتر باشد مدل بهینه تر است و با توجه به واریانس پایین، همچنین اختلاف ۱۴ درصدی مساحت بین حداقل و حداکثر مقدار آن نشان می‌دهد این نوع اختلاط به طور وسیع در سطح شهر شیراز پراکندگی دارد. به طور کلی می‌توان گفت اثر فضایی در فضایی بین متغیرهای مستقل و وابسته در نواحی ترافیکی با اختلاط کاربری بالا، بیشتر از سایر نواحی ترافیکی دیگر است. همچنین مقادیر باقی مانده‌ها در شکل (۳) نشان داده است، برآورد فراوانی تصادفات در مناطق مرکزی شهر شیراز به مقادیر مشاهده شده نزدیکتر است و در سایر نواحی اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده بیشتر است، که نشان می‌دهد بیش پراکندگی داده‌ها در این نواحی بیشتر است [36]. نتایج این مطالعه می‌تواند جهت برنامه‌های عملیاتی میان و بلند مدت به منظور کاهش فراوانی تصادف با در نظر گرفتن اولویت بندی اقدامات ایمنی مورد استفاده قرار گیرد. نویسندگان این مطالعه پیشنهاد می‌کنند در مطالعات بعدی از روش توزیع دو جمله‌ای منفی که خاصیت بیش پراکندگی داده‌های تصادف را در نظر می‌گیرد جهت پیش بینی فراوانی تصادفات مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

مراجع

- [1] G. Al-Hasani, M. Asaduzzaman, and A.H. Soliman, "Geographically weighted Poisson regression models with different kernels: Application to road traffic accident data Communications in Statistics: Case Studies," Data Analysis and Applications, vol. 7, no. 2, pp. 166-181, 2021. <https://doi.org/10.1080/23737484.2020.1869628>
- [2] S. A. Almasi, and H. R. Behnood, "Exposure based geographic analysis mode for estimating the expected pedestrian crash frequency in urban traffic zones; case study of Tehran," Accident Analysis and Prevention, vol. 168, pp. 106576, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106576>
- [3] S. A. Almasi, H. R. Behnood, and R. Arvin, "Pedestrian crash exposure analysis using alternative geographically weighted regression models," Journal of advanced transportation, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6667688>
- [4] E. A. Atumo, H. Li, and X. Jiang, "Segment-Level Spatial Heterogeneity of Arterial Crash Frequency Using Locally Weighted Generalized Linear Models," Transportation research record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2677, no. 3, 2022. <https://doi.org/10.1177/03611981221126510>
- [5] H. Bozdogan, "Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions," Psychometrika, vol. 52, no. 3, pp. 345-37, 1987. <https://doi.org/10.1007/BF02294361>
- [6] M. Duan, H. Ya, L. Zhang, and H. Jia, "Traffic safety analysis of intersections between the residential entrance and urban road," Procedia-Social and Behavioral Sciences, vol. 96, pp. 1001-1007, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.114>
- [7] M. Effati, and M. V. Saheli, "Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques," International journal of transportation science and technology, vol. 11, no. 1, pp. 144-157, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.03.005>
- [8] N. Fiorentini, D. Pellegrini, and M. Losa, "Overfitting Prevention in Accident Prediction Models: Bayesian Regularization of Artificial Neural Networks," Transportation Research Record, vol. 2677, no. 2, 2022. <https://doi.org/10.1177/03611981221111367>
- [9] L. Fuentes, R. Truffello, and M. Flores, "Impact of Land Use Diversity on Daytime Social Segregation Patterns in Santiago de Chile. Buildings," buildings, vol. 12, no. 2, pp. 149, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12020149>
- [10] M. J. T. L. Gomes, F. Cunto, and A. R da Silva, "Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models," Accident Analysis & Prevention, vol. 106, pp. 254-261, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.06.011>
- [11] H. Harirforoush, and L. Bellalite, "A new integrated GIS-based analysis to detect hotspots: a case study of the city of Sherbrooke," Accident Analysis & Prevention, vol. 130, pp. 62-74, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.015>
- [12] C.D. Kang, "The S+ 5Ds: Spatial access to pedestrian environments and walking in Seoul, Korea," Cities, vol. 77, pp. 130-141, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.019>
- [13] S. S. A. Kazmi, M. Ahmed, R. Mumtaz, and Z. Anwar, "Spatiotemporal clustering and analysis of road accident hotspots by exploiting GIS technology and Kernel density estimation," The Computer Journal, vol. 65, no. 2, pp.

- 155-176, 2022. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxz158>
- [14] H. Khaksar, S. A. Almasi, and A. A. Goharpoor, "Application of Geographical-Spatial Models in Predicting the Frequency of Road Crash (Case Study: Main Road Network of Hamadan Province)," *Journal of Transportation Research*, vol. 19, no. 1, pp. 45-58, 2022. <https://doi.org/10.22034/tri.2021.250276.2815>
- [15] K. Kim, P. Pant, and E. Yamashita, "Accidents and accessibility: Measuring influences of demographic and land use variables in Honolulu, Hawaii," *Transportation research record:Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2147, no. 1, pp. 9-17, 2010. <https://doi.org/10.3141/2147-02>
- [16] W. Larson, F. Liu, and A. Yezer, "Energy footprint of the city: Effects of urban land use and transportation policies," *Journal of Urban Economics*, vol. 72, no. 2-3, pp. 147-159, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2012.05.001>
- [17] K. G. Le, P. Liu, and L.T. Lin, "Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam," *Geo-spatial Information Science*, vol. 23, no. 2, pp. 153-164, 2020. <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1683437>
- [18] K. G. Le, P. Liu and L.T. Lin, "Traffic accident hotspot identification by integrating kernel density estimation and spatial autocorrelation analysis: a case study," *International journal of crashworthiness*, vol. 27, no. 2, pp. 543-553, 2022. <https://doi.org/10.1080/13588265.2020.1826800>
- [19] B. D. Leibowicz, "Urban land use and transportation planning for climate change mitigation: A theoretical framework," *European Journal of Operational Research*, vol. 284, no. 2, pp. 604-616, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.12.034>
- [20] J. Liu, A. J. Khattak, and B. Wali, "Do safety performance functions used for predicting crash frequency vary across space? Applying geographically weighted regressions to account for spatial heterogeneity," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 109, pp. 132-142, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.012>
- [21] S. Mathew, S. S. Pulugurtha, and S. Duvvuri, "Exploring the effect of road network, demographic, and land use characteristics on teen crash frequency using geographically weighted negative binomial regression," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 168, pp. 106615, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106615>
- [22] L. A. Merlin, C. R. Cherry, A. Mohamadi Hezaveh, and E. Dumbaugh, "Residential accessibility's relationships with crash rates per capita," *Journal of Transport and Land Use*, vol. 13, no. 1, pp. 113-128, 2020. <https://www.jstor.org/stable/26967238>
- [23] L. A. Merlin, E. Guerra, and E. Dumbaugh, "Crash risk, crash exposure, and the built environment: A conceptual review," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 134, pp. 105244, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.020>
- [24] K. M. Peera, R. S. Shekhawat, and C. Prasad, "Traffic analysis zone level road traffic accident prediction models based on land use characteristics," *International journal for traffic and transport engineering (Belgrade)*, vol. 9, no. 4, pp. 376-386, 2019. [https://doi.org/10.7708/ijtete.2019.9\(4\).03](https://doi.org/10.7708/ijtete.2019.9(4).03)
- [25] L. Srikanth, and I. Srikanth, "A case study on kernel density estimation and hotspot analysis methods in traffic safety management," Paper presented at the 2020 International Conference on COMMunication Systems and Networks (COMSNETS), 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9027448>

- [26] M. R. Stevens, "Does compact development make people drive less? ,"Journal of the American Planning Association, vol. 83, no. 1, pp. 7-18, 2017. <https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1240044>
- [27] P. Stoker, A. Garfinkel-Castro, M. Khayesi, W. Odero, M. N. Mwangi, M. Peden, and R. Ewing, "Pedestrian safety and the built environment: a review of the risk factors ," Journal of Planning Literature, vol. 30, no. 4, pp. 377-392, 2015. <https://doi.org/10.1177/0885412215595438>
- [28] H. Sung, S. Lee, S. Cheon, and J. Yoon, "Pedestrian Safety in Compact and Mixed-Use Urban Environments: Evaluation of 5D Measures on Pedestrian Crashes," Sustainability, vol. 14, no. 2, pp. 646, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14020646>
- [29] M. Umair, I. A. Rana, and R. H. Lodhi, "The impact of urban design and the built environment on road traffic crashes: a case study of Rawalpindi, Pakistan," Case studies on transport policy, vol. 10, no. 1, pp. 417-426, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.002>
- [30] Y. Zhang, H. Lu, and W. Qu, "Geographical detection of traffic accidents spatial stratified heterogeneity and influence factors," International journal of environmental research and public health, vol. 17, no. 2, pp. 572, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020572>
- [31] S. Zhong, Y. Jiang, and O. A. Nielsen, "Lexicographic multi-objective road pricing optimization considering land use and transportation effects," European Journal of Operational Research, vol. 298, no. 2, pp. 496-509, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.048>

Identification of the Permeable Zones in the Takht-e-Gonbad Copper Mine Using the Flush Return

Research Article

Fereshteh Movahedi¹, Reza Jahanshahi² , Naser Asadi³, Sepideh Mali⁴DOI: [10.22067/jfcej.2023.80400.1205](https://doi.org/10.22067/jfcej.2023.80400.1205)**1. Introduction**

One of the most important phenomena that can make extraction and mining activities difficult is the flow of ground water into the pit of mines. The location and amount of water entering the mine pit often depend on the area of permeable zones that have expanded within the formations of the region. Therefore, it is necessary to identify permeable zones and areas to control the water entering the mine and place pumping wells for drainage. One of the properties of porous stone is permeability, which indicates the stone's ability to transport fluids. Often, the identification of permeable zones is done using pumping test, Lugeon permeability test, and geostatistical methods. Geostatistical methods have been widely used to estimate the hydraulic parameters of the aquifer and investigate the uncertainty of the hydrogeological and geotechnical parameters.

Takht Gonbad copper mine as the study area of this research is located 80 km northeast of Sirjan in Kerman province, Iran. The mine is an open-pit mine, and mineral extraction has been done in the early years. Field observations show that a very thin soil layer of about one meter extends in the area. Therefore, there is no alluvial aquifer in the study area. Sixty-nine exploratory boreholes were dug in the area around the mine pit, and during the drilling, the data of the flush return percentage were recorded in the boreholes. According to the current situation of the mine, where the level of the pit floor of the mine is placed in hard rock aquifer, it is necessary to determine the condition of the permeable zones for mine drainage using geostatistical methods and consider them in the future design of mine pit drainage system. Hence, the objective of this research is identifying areas with high permeability through determining the spatial correlation of flush return percentage data and geostatistical survey.

2. Method

Statistical data of 69 exploratory boreholes are available in the surrounding area of Takht-e-Gonbad mine pit, and a total of 4935 flush return percentage data were collected (Fig 1.). In this research, exploratory-spatial analysis, declustering,

change-view modeling and simulation with successive Gaussian method using Isatis software were performed on the variable data of flush return percentage.

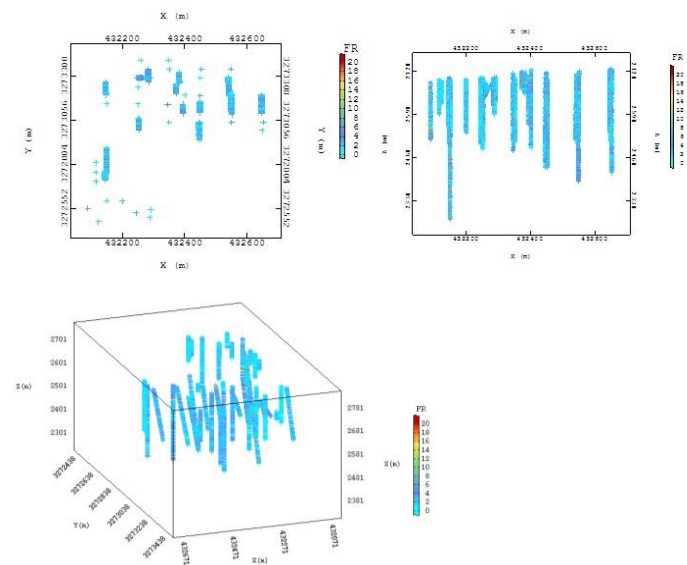


Fig 1. Location map of flush return percentage data in the stud area.

3. Results

The map of iso-potential lines around the mine showed that the direction of ground water flow is from the east to the west of the mine. The entry of this water into the pit creates a problem for the mining activity, as it causes the instability of the pit walls and huge costs in the blasting operation. The results of the preliminary statistics showed that the flush return percentage increases when depth increases. Investigating the spatial continuity indicated that the spatial continuity is approximately 252 meters and is more in the east-west direction (Fig 2).

*Manuscript received January 3, 2023, Revised, February 20, 2023, Accepted, June 18, 2022.

¹ M. Sc Student of Hydrogeology, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

² Corresponding author: Associate Professor of Hydrogeology, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. **Email:** jahanshahireza@science.usb.ac.ir.

³ Assistant Professor of Hydrogeology, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

⁴ Ph.D Student of Hydrogeology, Faculty of Geosciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

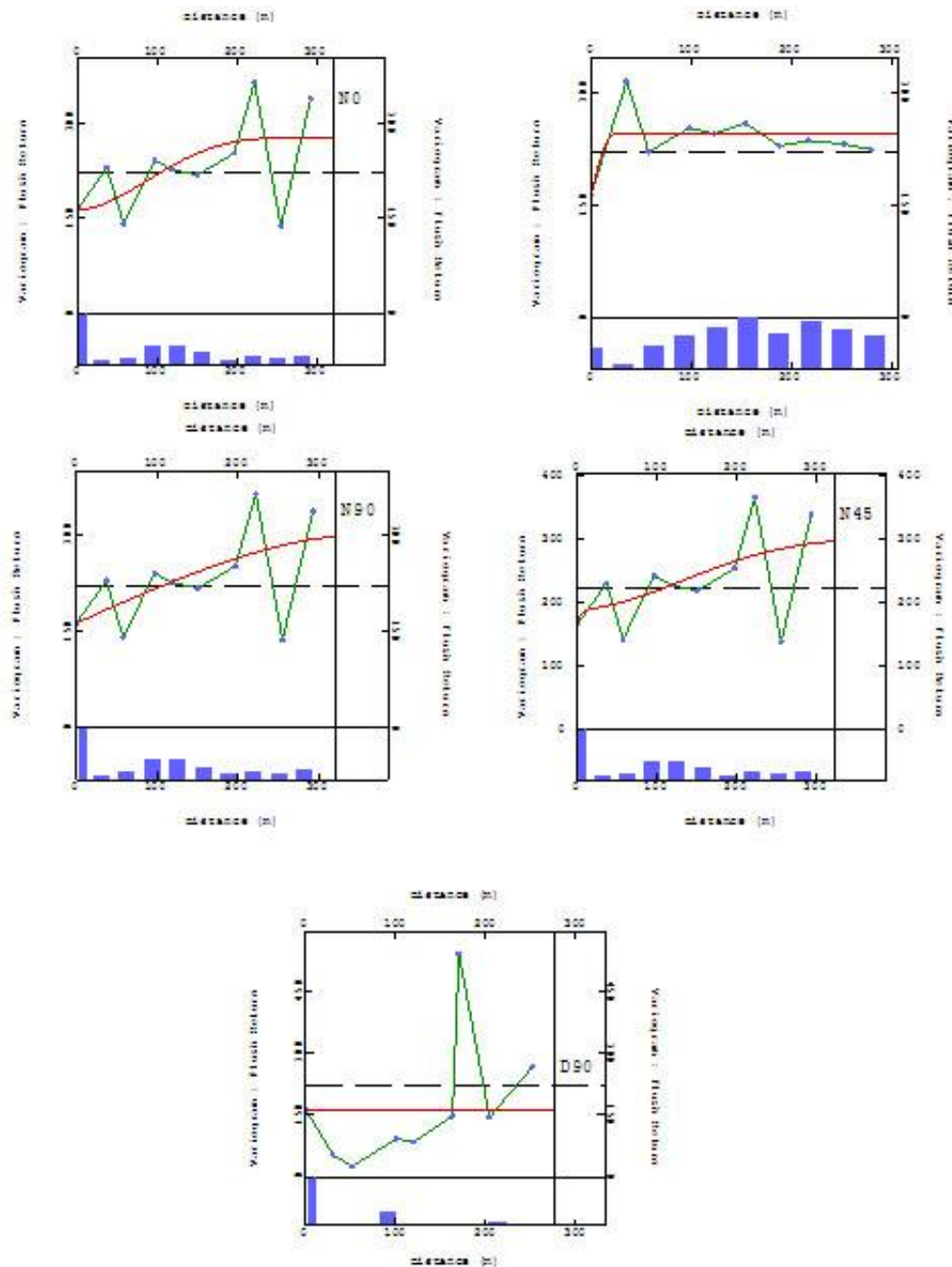


Fig 2. The spatial continuity of flush return percentage on the variograms

4. Conclusion

The variable value map using Gaussian interpolation method is more valid than interpolation methods without considering spatial continuity. Moreover, the change of the variograms showed that in the studied area, the spatial continuity of the flush return percentage is greater in the east-west direction. Therefore, it is more likely that the permeable zones have expanded in the east-west direction. Finally, the simulation of the flush return percentage shows that, in general, the potential for the expansion of the permeable zones is higher in the northeast and southwest areas of the mine.



شناسایی پهنه های تراوا در معدن مس تخت گنبد با استفاده از درصد جریان آب بازگشت حفاری*

مقاله پژوهشی

فرشته موحدی⁽¹⁾ رضا جهانشاهی⁽²⁾ ناصر اسدی⁽³⁾ سپیده مالی⁽⁴⁾

DOI: 10.22067/jfpei.2023.80400.1205

چکیده این پژوهش در محدوده معدنی معدن روباز مس تخت گنبد در استان کرمان و 80 کیلومتری شمال شرق سیرجان انجام شده است. از دیدگاه ساختاری این محدوده در کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد. این معدن در حال حاضر در سالهای ابتدایی استخراج ماده معدنی است. در محدوده اطراف پیت معدن تعداد 69 عدد گمانه اکتشافی در واحدهای سنگی حفر شده است و در حین حفاری، مقادیر درصد جریان آب بازگشت حفاری برداشت شده است. لازم است شناسایی پهنه های تراوایی بیشتر در واحدهای سنگی منطقه به منظور انجام طرح زهکشی در آینده، انجام گیرد. بنابراین جهت رسیدن به این هدف در این تحقیق از روش های زمین آمار و شبیه سازی استفاده شده است. نتایج بررسی آمار مقدماتی نشان می دهد در منطقه مورد مطالعه درصد جریان آب بازگشت حفاری با افزایش عمق، یک روند افزایشی دارند. همچنین بررسی پیوستگی مکانی این متغیر بر اساس تغییرنمای جهت و مدل کروی نشان داد پیوستگی مکانی آن حدودا برابر با 252 متر می باشد و پیوستگی آن در جهت شرقی - غربی بیشتر از جهات دیگر است. همچنین شبیه سازی زمین آماری به روش گوسی این متغیر نشان می دهد مناطق شمال شرقی و جنوب غربی معدن احتمالا دارای پهنه های تراوایی بیشتر می باشند.

واژه های کلیدی ایران، جریان آب بازگشت حفاری، زمین آمار، شبیه سازی گاوسی، نفوذپذیری

Identification of the Permeable Zones in the Takht-e-Gonbad Copper Mine Using the Flush Return

Fereshteh Movahedi

Reza Jahanshahi

Naser Asadi, Sepideh Mali

Abstract This research was carried out in Takht-e-Gonbad open pit copper mine in Kerman province, located in 80 km northeast of Sirjan. According to structural geology, this area is located in the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc. This mine is currently in the early years of mineral extraction. The 69 exploration boreholes have been drilled in rock units around the mine pit in which the flush return percentage during drilling were also collected. It is necessary to identify areas with higher permeability in the rock units to design the dewatering plan in the future, so that, geostatistics and simulation methods were used to analyze the flush return. The results of the preliminary statistics show the percentage of the flush return increases with depth. Investigating the spatial continuity of this variable based on the variograms and the spherical model shows that its spatial continuity is about 252 meters, with dominant elongation at the east-west direction. Furthermore, the northeast and southwest portions of the mine are observed to have the largest permeability using the geostatistical simulations by the Gaussian method.

Key Words Flush return, Gaussian simulation, Geostatic, Iran, Permeability.

* تاریخ دریافت مقاله 1401/10/13 و تاریخ پذیرش آن 1402/3/28 می باشد.

(1) دانشجوی کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(2) نویسنده مسئول: دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(3) استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(4) دانشجوی دکتری آب شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

مقدمه

محل و مقدار آب ورودی به پیت معادن غالباً وابسته به مناطق با تراوایی بالا است که در درون واحدهای سنگی منطقه گسترش یافته‌اند. لذا شناسایی لایه و پهنه‌های تراوا جهت کنترل آب ورودی به معدن و جانمایی چاه‌های زهکشی ضروری می‌باشد یکی از ویژگی‌های سنگ متخلخل تراوایی است که نشان‌دهنده قابلیت سنگ در انتقال شارها می‌باشد [1]. شناسایی زون‌های تراوا با استفاده از روش‌های زمین‌آمار خصوصیات هیدرودینامیکی و فیزیکی سنگ‌ها نیز انجام می‌گیرد. روش‌های زمین‌آمار به‌طور وسیعی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان و بررسی عدم قطعیت پارامترهای هیدروژئولوژیکی و ژئوتکنیک استفاده شده‌اند. برخی از پژوهش‌های مرتبط به زمین‌آمار عبارتند از [2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11]. در آهک آسماری در محل سد کارون 4 دو متغیر لوژان و شاخص کیفیت سنگ به عنوان شاخص گسترش کارست انتخاب کردند. متغیرهای شاخص کیفیت سنگ و لوژان به عنوان معیار گسترش کارست در نظر گرفته شدند و برای شبیه‌سازی احتمالاتی در گسترش کارست استفاده شده‌اند. نتایج ایشان نشان داد که جناح چپ و پایه سد بیشترین پتانسیل را برای گسترش کارست نسبت به جناح راست دارند همچنین یک رابطه ضعیف بین مقادیر شاخص کیفیت سنگ و لوژان دیده شد [6].

در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران با استفاده از مدل زمین‌آمار، توزیع فضایی تراوایی تخمین زده شده است. نتایج حاصل از چاه آزمایی و مدل نمودن توزیع فضایی تخلخل و تراوایی میدان مورد مطالعه را به صورت نقشه‌های دوبعدی و سه‌بعدی تخلخل و تراوایی نشان داده‌اند. نتایج مطالعه نشان داده است که میزان تخلخل میدان پایین است و تولید 7 چاه، از طریق شکاف‌های عمودی قطع کننده چاه‌ها، انجام می‌گیرد. با توجه به نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی، تراوایی قسمت‌های غربی و شمال غربی میدان، از موقعیت اقتصادی خوبی برخوردار بوده و در این بخش‌ها ریسک عملیاتی بسیار کمتر است و برنامه توسعه میدان باید بر روی این قسمت از میدان تمرکز یابد. همچنین پیشنهاد شده، به صورت افقی چاه‌های جدید حفاری شود، تا نتیجه بهتری به دست آید [2].

در یک ناحیه رسوبی و گسل خورده ویژگی‌های محلی شیمی آب را بر اساس زمین‌آمار در منطقه هورونوب، واقع در شمال ژاپن، مورد بررسی قرار گرفته است. آنها توانستند به وسیله

تکنیک‌های زمین‌آمار و شبیه‌سازی گوسی متوالی و واریوگرافی مرز بین آب‌های شور و شیرین را شناسایی کنند [7].

تخمین نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل امیرکبیر را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه شده است. در این بررسی سعی شده است با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل انتقال آب سد امیرکبیر، تخمین زده شود. بدین منظور با استفاده از اطلاعات حاصل از حفر 12 گمانه و انجام حدود 100 تست فشار آب (لوژان)، مقدار نفوذپذیری توده سنگ در امتداد محور تونل با شبکه عصبی RBF (شبکه‌های با توابع پایه شعاعی) تخمین زده شود. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از شبکه عصبی RBF با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی حاکم بر نفوذ آب‌های زیرزمینی به تونل، مؤید دقت قابل قبول نتایج حاصل از شبکه‌های RBF است. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها توسط شبکه‌های طراحی شده نشان می‌دهند که دامنه تغییرات نفوذپذیری در امتداد محور تونل تغییر می‌کند، که با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، اغلب واحدهای موردنظر به‌جز زون‌های خردشده و گسله‌دار، مشکل عمده‌ای از نظر میزان آب ورودی به تونل نخواهند داشت [5].

در سنگ‌های کریستالی و دگرگونی غرب آفریقا به منظور تخمین قابلیت انتقال در شکستگی‌های آبخوان سنگی از روش‌های زمین‌آمار استفاده شده است. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که زمین‌آمار یک روش مفید در تخمین پارامترهای قابلیت انتقال در این منطقه است [9].

در محور سد مخزنی ایوشان در استان گلستان آزمایشات نفوذپذیری لوژان را در 13 گمانه اکتشافی انجام شده است که بر اساس ارتباط دهی آن‌ها با شاخص کیفیت سنگ، درصد بازیابی مغزه های سنگ و لوژان نشان از آب بندی کامل مصالح کنگلومرای در محدوده محور سد دارد [3].

در آبخوان اسفاکس در جنوب شرقی تونس برای بهینه‌سازی شبکه نظارت بر آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آمار و نرم افزار زمین‌آمار ایساتیس استفاده شده است. روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل مدل‌سازی، تغییرنما، صحت‌سنجی متقاطع، تخمین و درون‌یابی در این آبخوان بکار گرفته شد. نتایج نشان دادند که تکنیک‌های زمین‌آمار یک ابزار قدرتمند در پیش‌بینی توزیع مکانی ارتفاع ستون آب درون پیرومترها و ارزیابی شبکه مشاهده سطح آب زیرزمینی است [10].

برای شناسایی محل‌هایی با پتانسیل بالای فرار آب در سد تنگاب از کاربرد زمین‌آمار برای نقشه‌های شبیه‌سازی سه متغیر

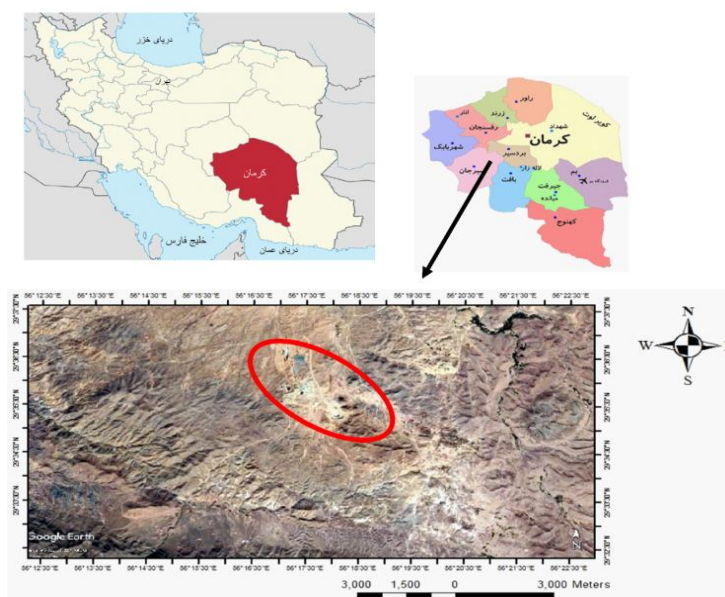
کمر بند فرعی دهج - ساردوئیه در استان کرمان است که در حاشیه جنوب خاور پهنه ایران مرکزی قرار دارد. در منطقه چهارگنبد قدیمی ترین سنگ ها که دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی می باشند با عنوان آمیزه رنگین شناخته می شوند، که از مخلوط ناهمگن سنگ های فوق بازی و چرت تشکیل شده اند. این سازند با یک ناپیوستگی توسط سنگ های آندزیت ویتروفر، بازالت های الیون دار و توف آندزیتی با سن ائوسن پایانی - لیگوسن آغازین پوشیده شده است که سازند علیمراذ نامیده می شود. مشاهدات میدانی نشان می دهد که یک لایه خاک با ضخامت بسیار کم در حدود یک متر در منطقه گسترش دارد. بنابراین آبخوان آبرفتی در محدوده مطالعاتی وجود ندارد. تعداد 69 عدد گمانه اکتشافی در محدوده اطراف پیت معدن تخت گنبد حفر و و حین حفاری با استفاده از روش حجمی با دقت 1 لیتر داده های درصد جریان آب بازگشت حفاری در گمانه ها برداشت شده است. به نظر می آید بررسی تعیین وضعیت زون های تراوا جهت زهکشی معدن و جلوگیری از اخلاص در فرآیند استخراج امری ضروری است. لذا ضروری است که محل زون های تراوا با استفاده از روش های زمین آماری شناسایی شوند و در طراحی آینده سیستم زهکشی پیت معدن مدنظر قرار گیرند. بنابراین هدف این تحقیق شناسایی پهنه های تراوا در معدن با استفاده از درصد جریان آب بازگشت حفاری با کمک مطالعات زمین آمار می باشد.

شاخص کیفیت سنگ و سیمان خوری، لوژان استفاده و تجزیه - تحلیل نقشه های احتمال و عدم قطعیت متغیرهای ذکر شده در منطقه مورد مطالعه، صورت گرفته است. در دو محل واقع در مرکز مخزن و شمال غربی سد، مناطقی با نفوذپذیری بالا وجود دارد. زیرا پتانسیل فرار آب نیز در این مکان ها بیشتر می باشد. بررسی گسل های منطقه مورد مطالعه نیز نشان می دهد که تراکم گسل ها بیشتر در جناح راست سد می باشد و این می تواند سبب افزایش نفوذپذیری در این منطقه باشد [4].

در آبخوان سنگی معدن گل گهر سیرجان، تحلیل اکتشافی - مکانی داده ها شامل موقعیت مکانی، نمودار فراوانی، میانگین و واریانس متحرک، همبستگی متغیرها و تغییرنا بر روی دو متغیر شاخص کیفیت سنگ و لوژان را انجام شده است و از شبیه سازی گاوسی متوالی متغیرهای شاخص کیفیت سنگ و لوژان با کمک تغییرنمای مقادیر نرمال استفاده شده است [8].

منطقه مورد مطالعه و ضرورت تحقیق

معدن مس تخت گنبد به عنوان محدوده مطالعاتی این تحقیق در 80 کیلومتری شمال شرق سیرجان در استان کرمان واقع شده است (شکل 1). معدن مذکور از نوع روباز بوده و در سال های ابتدایی استخراج ماده معدنی قرار داشته و جهت استخراج، نوع پیت روباز پلکانی انتخاب شده است. محدوده مطالعاتی در تقسیم بندی پهنه های زمین شناسی ایران، در پهنه ایران مرکزی و زیرپهنه ارومیه - دختر یا تبریز - بزمان جای گرفته و بخشی از



شکل 1 موقعیت جغرافیایی معدن مس تخت گنبد (بر اساس سامانه گوگل ارث)

روش کار

داده های آماری از 69 گمانه اکتشافی حفاری در محدوده اطراف پیت معدن تخت گنبد برداشت شده است (شکل 2-الف) و مجموعاً 4935 عدد درصد جریان آب بازگشت حفاری ثبت شده است. خلاصه آماری آن در جدول (1) ارائه شده است. در این پژوهش بر روی داده های متغیر جریان آب بازگشت حفاری تحلیل اکتشافی - مکانی، - دکلاسترینگ، مدل سازی تغییرنما و شبیه سازی زمین آماری با روش گوسی انجام شده است.

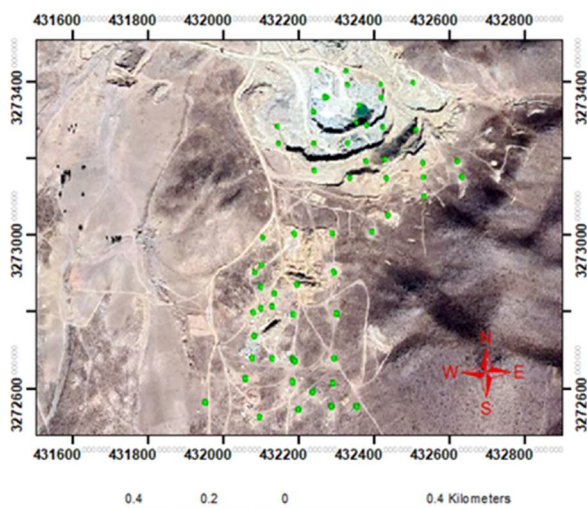
1. تغییرنما: اساسی ترین ابزار در زمین آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می رود. تغییرنما، کمیتی برداری که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دونقطه و با توجه به جهت و فاصله آن ها نشان می دهد معمولاً تغییرنما را با علامت $\gamma(h)$ نشان می دهند و از رابطه (1) محاسبه می شود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum (z(x_i + h) - z(x_i))^2 \quad (1)$$

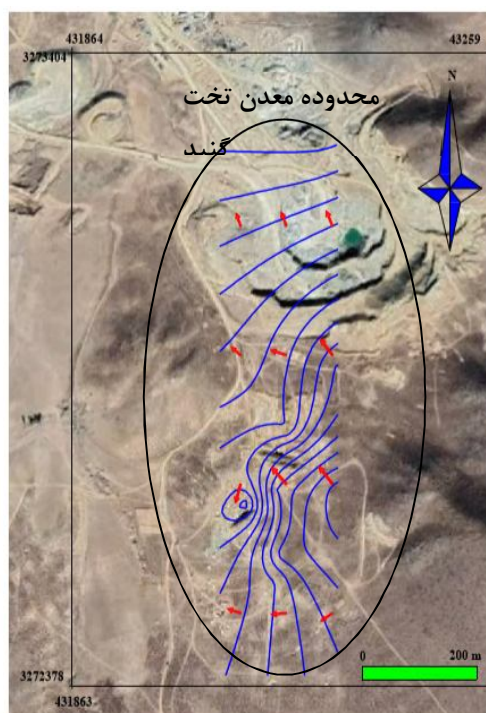
که در آن $N(h)$ ، تعداد جفت نمونه های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند؛ $z(x_i)$ مقدار مشاهده شد متغیر موردنظر و $z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شد متغیر موردنظر که به فاصله h از $z(x_i)$ قرار دارد، است. اگر در محاسبه تغییرنما به ازای هر لگ معین، بردار h نظیر آن لگ در فضا در هر جهتی بتواند قرار گیرد، در این صورت تغییرنمای حاصل را تغییرنمای بدون جهت می نامند. این گونه تغییرنماها برای بیان تغییرنمای کلی منطقه مناسب می باشند و در مواردی که تعداد نقاط اندک باشد این گونه تغییرنماها اطلاعات کلی تری در مورد منطقه به دست می دهند. پس از آنکه یک روند و ساختار مشخص برای تغییرنمای بدون جهت محاسبه گردید، در مرحله بعدی می توان تغییرنمای جهت دار و ناهمسانگردی را محاسبه نمود. تغییرنمای جهت دار را می توان این گونه تعریف نمود. اگر در محاسبه تغییرنما فقط از زوج نقاطی که بردار h آن ها (بردار) که دونقطه را به هم وصل می کند (در امتداد معین و معلومی قرار داشته باشد، استفاده شود، در این صورت آن تغییرنما را تغییرنمای جهت دار می گویند.

2. شبیه سازی گاوسی متوالی: به کارگیری اصل توالی تحت مدل چند گاوسی توابع تصادفی را شبیه سازی گاوسی متوالی می گویند. این الگوریتم برای شبیه سازی یک مشخصه واحد با استفاده از مقادیر واحد و سپس به دست آوردن اطلاعات ثانویه و

شبیه سازی مشترک چندین مشخصه وابسته، برای اولین بار معرفی شده است. این الگوریتم برای انجام شبیه سازی به داده های نرمال استاندارد نیاز دارد.



(الف)



(ب)

شکل 2 موقعیت گمانه های اکتشافی (الف) و نقشه ی خطوط هم پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی (ب) در محدوده مطالعاتی

جدول 1 خلاصه پارامترهای آماری درصد جریان آب بازگشتی حفاری در گمانه‌های اکتشافی منطقه مورد مطالعه

متغیر	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	دامنه تغییرات	چولگی	کشیدگی
آب بازگشت حفاری	4935	00/00	100/00	65/42	14/84	220/34	0/23	-1/32	6/33

نتایج و بحث

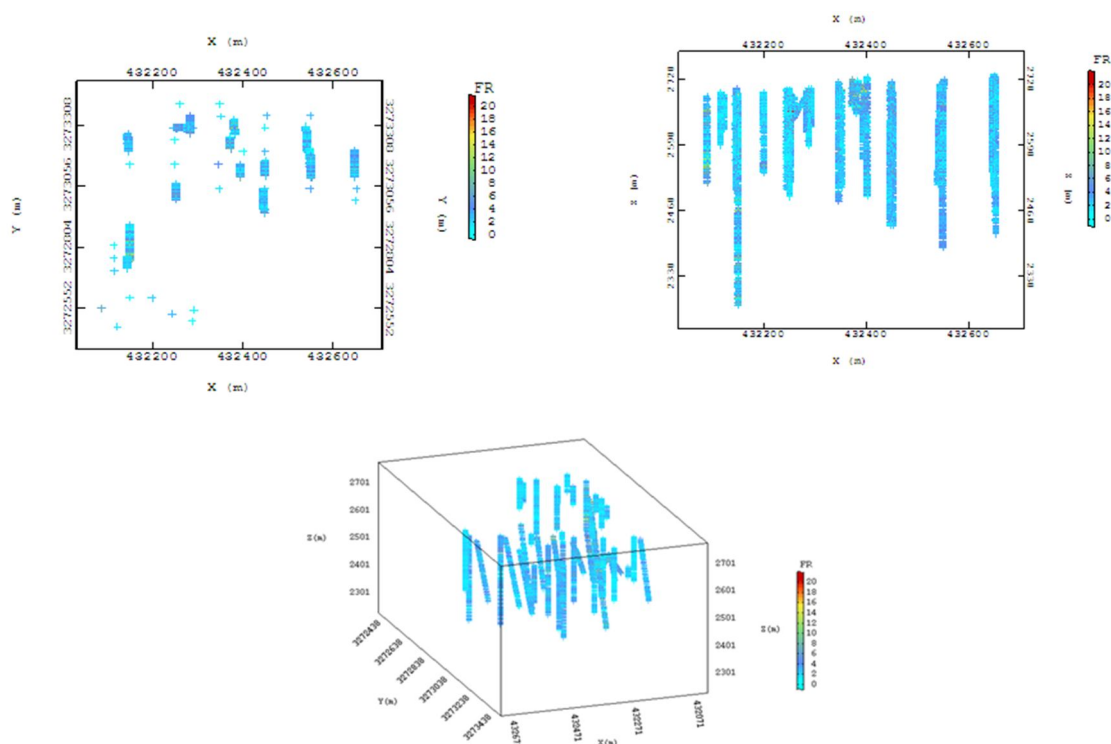
به دلیل وجود درزه و یا مجاری انحلالی در محیط‌های سازندهای سخت و کارستی سطح ایستابی در گمانه‌ها ممکن است با تغییر در مکان و عمق گمانه‌ها تغییر کند و لذا نقشه تراز آب زیرزمینی ترسیم شده همراه با عدم قطعیت خواهد بود. اما به هر حال جهت بررسی و شناخت جهت جریان کلی آب زیرزمینی، براساس ارتفاع سطح ایستابی در گمانه‌های محدوده مطالعاتی، نقشه‌ی خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی عمومی در اطراف پیت معدن در شکل (2) ارائه شده است. دیده می‌شود خطوط جریان از قسمت شرق به غرب معدن و تا حدودی به سمت شمال پیت معدن متمایل می‌باشد. بطور یقین ورود آب زیرزمینی به پیت معدن در فعالیت معدنکاری مشکل ایجاد خواهد کرد؛ نقشه موقعیت مکانی داده‌های متغیر جریان آب بازگشت حفاری در شکل (3) به صورت سه نمای جانبی، پلان و سه‌بعدی تهیه گردید. بیشتر داده‌ها دارای مقادیر پایین و تعداد اندکی مقادیر بالا را شامل می‌شوند. همچنین داده‌های اندکی از قسمت شمال شرقی و غرب معدن برداشت شده است.

همانطور که در شکل (4) دیده می‌شود نمودار فراوانی متغیر جریان آب بازگشت حفاری در 15 کلاس ترسیم شده است. این متغیر دارای میانگین 65/42، انحراف معیار 14/84 و واریانس 220/34 بوده و دامنه تغییرات آن برابر با 85/83 می‌باشد. به منظور بررسی نوع توزیع آماری متغیر جریان آب بازگشت حفاری، چولگی و کشیدگی محاسبه شدند که به ترتیب برابر 1/23 و 6/83 است. چولگی به سمت مقادیر مثبت می‌باشد که تفاوت اندکی نسبت به مقادیر توزیع نرمال دارند و ضریب کشیدگی بیشتر از 3 نشان‌دهنده عدم وجود توزیع نرمال در مقادیر جریان آب بازگشت حفاری می‌باشد. ارتباط بین متغیر جریان آب بازگشت حفاری و عمق با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای با فواصل 50 متر (شکل 4-ب) نشان می‌دهد که یک روند افزایش مقادیر این متغیر با عمق وجود دارد. در این نمودار نیز دیده می‌شود میانگین از میانه کمتر است و چولگی به سمت مقادیر بزرگتر است. شکل (5)، تغییرنمای بدون جهت و جهت‌دار جریان آب

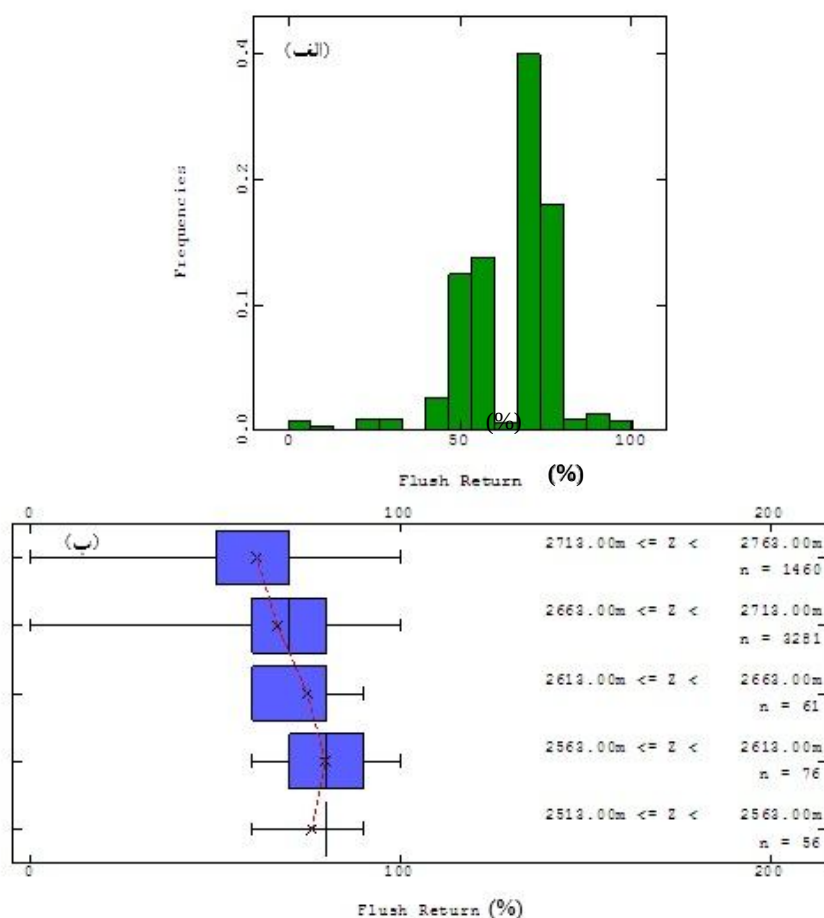
بازگشت حفاری با مدل برازش یافته در آن و نمودار فراوانی تعداد جفت نقاط تغییرنمای تجربی در هر نقطه را نشان می‌دهد. در اغلب موارد متغیرهای ناحیه‌ای در جهات متفاوت پیوستگی مکانی مختلفی را نمایش می‌دهند و باید وجود همسانگردی یا ناهمسانگردی بررسی شود. لذا پارامترهای مؤثر بر روی روند تغییرنما موردبررسی صورت گرفت. روند در جهت‌های مختلف شامل Azimut 90-Dip، Azimut 45-Dip، Azimut 0-Dip 0، Azimut 90-Dip 0، Dip 90 انتخاب شده است. سپس مدل‌های تغییرنمای ذکر شده با همدیگر ترکیب و یک مدل واحد تهیه شده است (شکل 6الف). نتایج به دست آمده به صورت زیر است:

شکل (6-ب)، صفحه XY را در تغییرنمای سه‌بعدی نشان می‌دهد. کشیدگی در امتداد محور X و فشردگی در جهت Y می‌باشد. شکل (6-ج)، صفحه XZ را در تغییرنمای سه‌بعدی نشان می‌دهد. کشیدگی در امتداد محور X و فشردگی در جهت Z می‌باشد. شکل (6-د)، صفحه YZ را در تغییرنمای سه‌بعدی نشان می‌دهد. علاوه بر شکل ذکر شده پیوستگی مکانی در جهت شرقی- غربی بیشتر است.

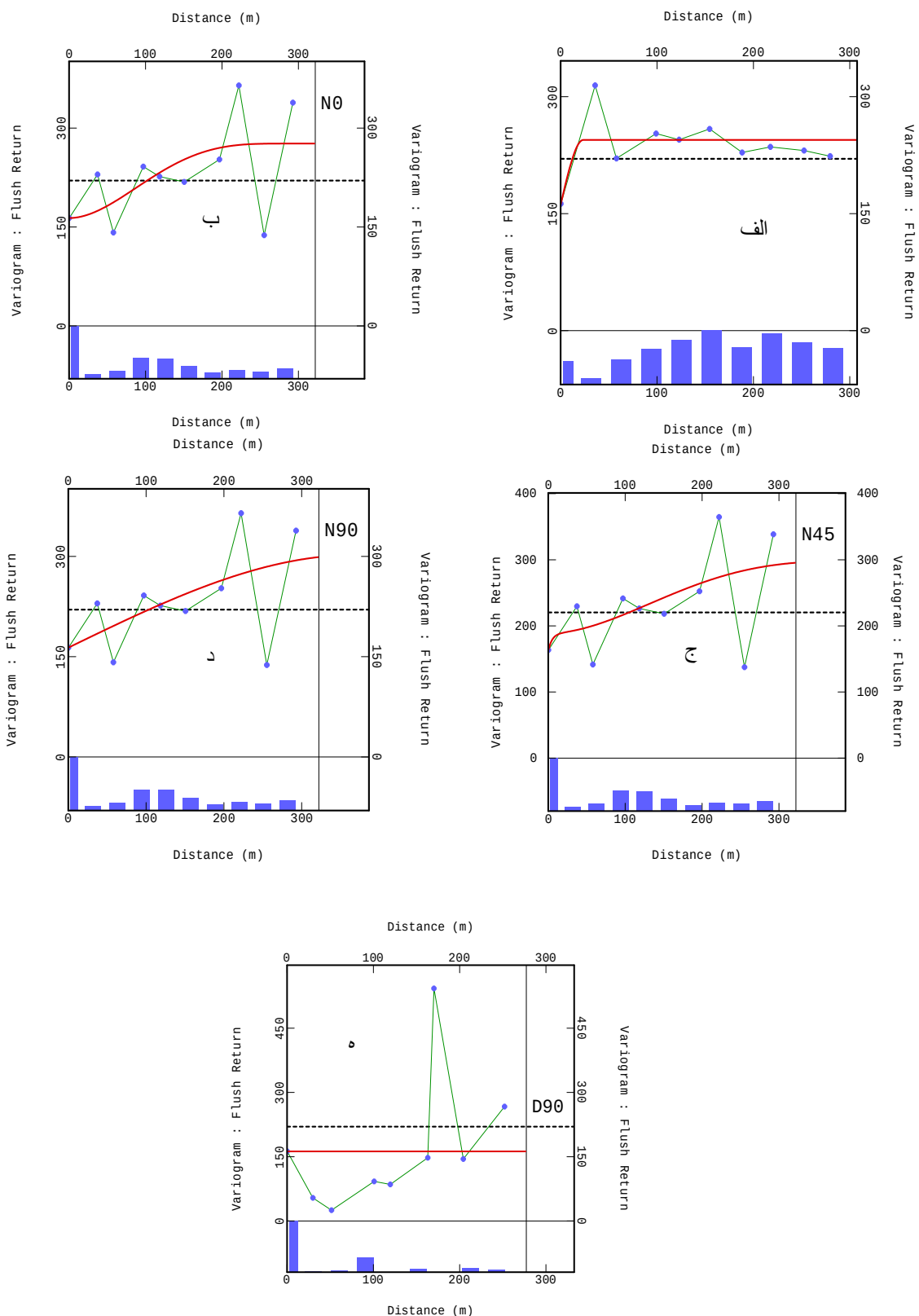
بطور کلی در زمان حفاری گمانه در واحدهای سنگی، هر چقدر درصد جریان آب بازگشت حفاری کمتر شود، نشانه‌ای از وجود لایه یا مناطق با تراوایی بیشتر می‌باشد. در شکل (7) نقشه شبیه‌سازی گاوسی متغیر جریان آب بازگشت حفاری در 6 تراز ارتفاعی مختلف در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. شکل (7-الف)، مقادیر جریان آب بازگشت حفاری در تراز ارتفاعی 2729 متر را نشان می‌دهد و دیده می‌شود در قسمت شمال شرقی منطقه جریان آب بازگشت به‌طور متوسط کمتر از بقیه نقاط است. در تراز ارتفاعی 2679 متر (شکل 7-ب) مقادیر این متغیر در نیمه شمالی کمتر می‌باشد. در ترازهای ارتفاعی 2579، 2529 و 2479 متر (شکل 7-ج، د، ه) جریان آب بازگشت حفاری تقریباً تغییرات مکانی چندانی ندارد؛ در حالی که در تراز ارتفاعی 2429 متر (شکل 7-و) در سمت غربی منطقه مورد مطالعه کاهش شدید نرخ آب بازگشت حفاری دیده می‌شود.



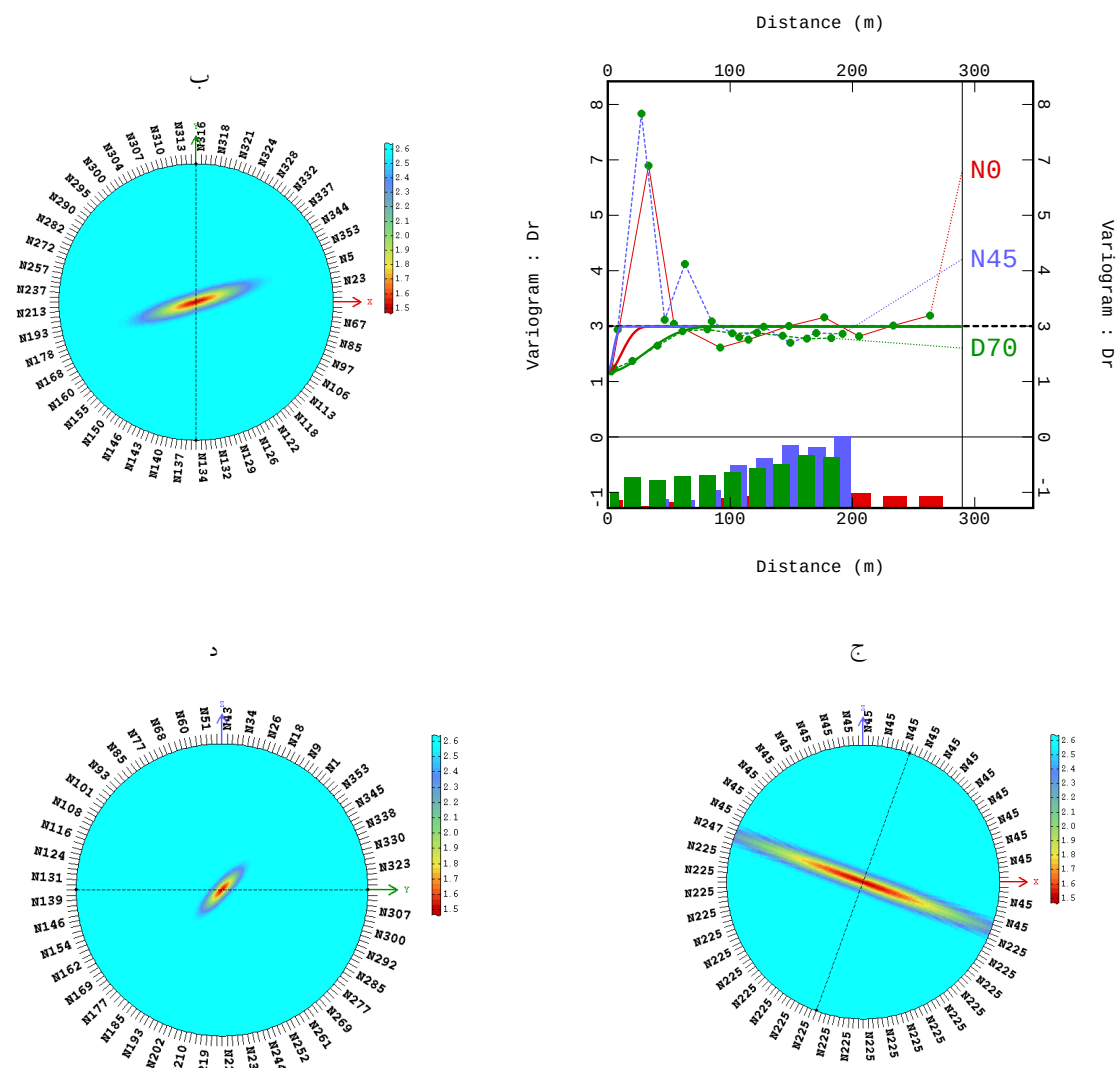
شکل 3 نقشه موقعیت مکانی متغیر درصد جریان آب بازگشت حفاری



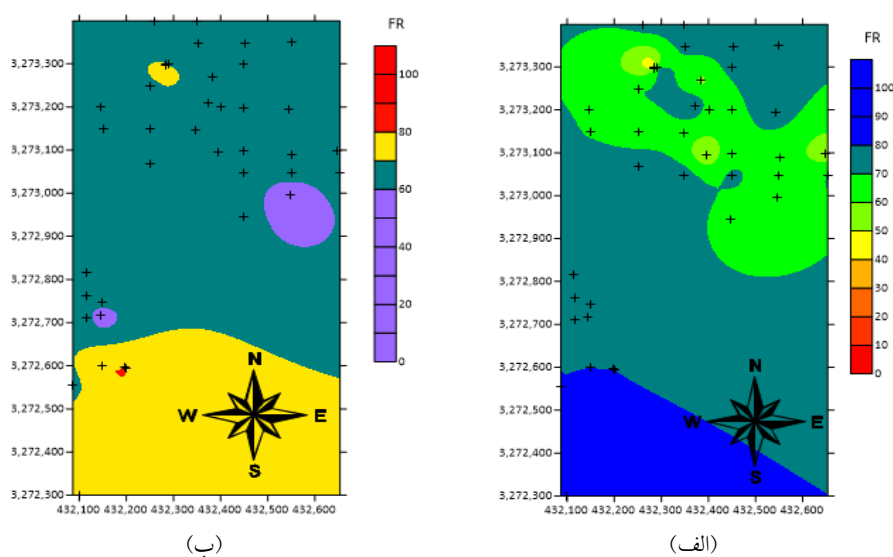
شکل 4 نمودار فراوانی متغیر جریان آب بازگشت حفاری (بدون تخصیص وزن) (الف) و نمودار جعبه‌ای آن در ترازهای ارتفاعی مختلف (فواصل 50 متری)

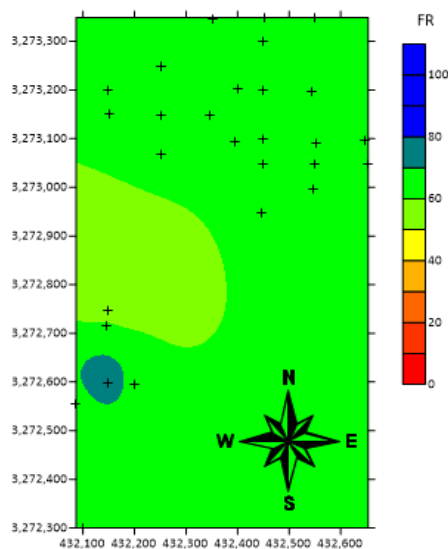


شکل 5 تغییرنمای تجربی و مدل تغییرنمای برازش شده برای مقادیر متغیر جریان آب بازگشت حفاری، (الف) تغییرنمای بدون جهت، (ب) Azimuth 0، (ج) Dip 0، (د) Azimuth 45، (ه) Azimuth 90، (و) Dip 90

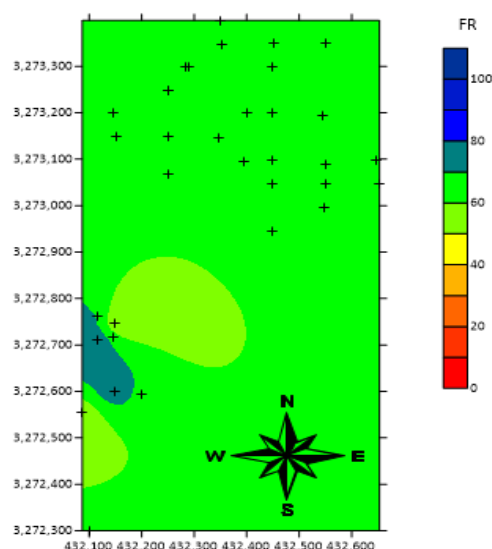


شکل 6 تغییرنمای تجربی برازش شده برای متغیر جریان آب بازگشت حفاری، در امتداد محورهای سه بعدی ناهمسانگردی آب بازگشت حفاری تغییرنما و مدل واحد برازش شده آن برای Azimuth 0, Dip 0 (خط قرمز رنگ)، Azimuth 45, Dip 0 (خط آبی رنگ)، (الف) Dip 70 (خط سبز رنگ)، (ب) تغییرنمای سه بعدی در صفحه XY، (ج) تغییرنمای سه بعدی در صفحه های XZ، (د) تغییرنمای سه بعدی در صفحه های YZ

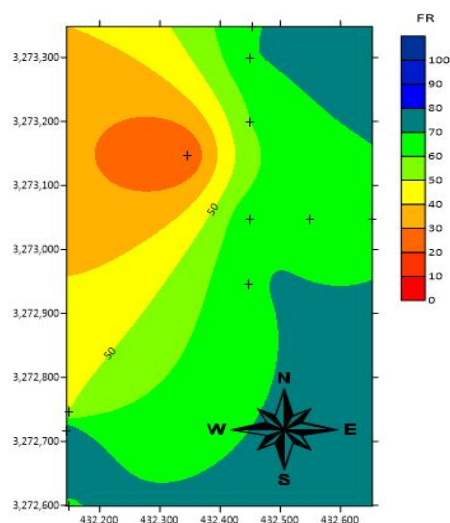




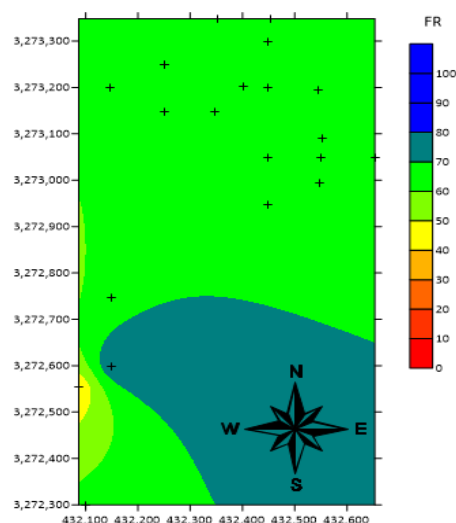
(د)



(ه)



(و)



(ز)

شکل 7 شبیه‌سازی متغیر جریان آب بازگشت حفاری به روش گوسی در تراز ارتفاعی 2729 (الف) 2629 (ب)، 2579 (ج)، 2529 (د)، 2479 (ه) و 2429 (و) متر از سطح دریا

نتیجه‌گیری

پیوستگی مکانی جریان آب بازگشت حفاری در جهت شرقی - غربی بیشتر است. لذا احتمال اینکه پهن‌های تراوا در جهت شرقی - غربی گسترش پیدا کرده باشند، بیشتر است و در نهایت شبیه‌سازی جریان آب بازگشت حفاری نشان می‌دهد بطور کلی در مناطق شمال شرقی و جنوب غربی معدن، پتانسیل گسترش زون‌های تراوا بالاتر است.

سپاسگزاری

آمار مقدماتی نشان داد که متغیر جریان آب بازگشت حفاری نسبت به عمق، در ترازهای ارتفاعی مختلف روندی افزایشی دارد. بررسی پیوستگی مکانی این متغیر بر اساس تغییرنمای بی‌جهت و مدل کروی نشان داد، جریان آب بازگشت حفاری تا حدود 252 متری پیوستگی مکانی دارد. لذا نقشه هم‌ارزش متغیر با استفاده از روش درون‌یابی به روش گوسی معتبرتر از روش‌های درون‌یابی بدون در نظر گرفتن پیوستگی مکانی، می‌باشد. همچنین تغییر نماهای جهت‌دار نشان دادند در منطقه مطالعاتی

مراجع

- [1] M. Eliat, A. Chehrzari, "Combination of image logs analysis and petrophysical evaluation results in order to Porosity and permeability determination", *The 2nd National Geology and Mining Exploration Symposium*. Iran, (2016). (In Persian).
- [2] N. Sasani Nia, B. Habib Nia, H. Ghobadi, "Estimation of porosity and spatial distribution of permeability using geostatistical model in one of the oil fields in southwestern Iran", *International Conference on Science and Engineering*. Iran, (2015). (In Persian).
- [3] M.R. Moshrefi, K. Barkhordari, H. Mosavi, "Evaluation of the geotechnical and geological features of the engineering of the Ivshan reservoir dam", *Second National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*. (2016). (In Persian).
- [4] R. Dehshibi, R. Jahanshahi, M. Mozafari, and A. Assari, "Application of the geostatistics to identification of the high water escape potential locations in the Tangab Dam", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34, no. 4, pp. 15-30, 2022. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73443.1075>
- [5] A.A. Anvari, H. Katibeh, H. Mahmoudabadi, "Estimation of equivalent permeability in Amirkabir Tunnel alignment with neural network", *2nd Iranian Mining Engineering Conference*. Iran, (2008). (In Persian).
- [6] A. Assari, and Z. Mohammadi, "Analysis of rock quality designation (RQD) and Lugeon values in a karstic formation using the sequential indicator simulation approach, Karun IV Dam site, Iran", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 76, pp. 771-782, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0898-y>
- [7] L. Lu, K. Kashiwaya, and K. Koike, "Geostatistics-based regional characterization of groundwater chemistry in a sedimentary rock area with faulted setting", *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, no. 829, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5619-0>
- [8] B. Nakhaie Sarvedani, R. Jahanshahi, and A. Assari, "Determining the best places for dewatering wells in the Gohar-Zamin pit mine, using geostatistical method", *Geopersia*, vol. 12, no. 2, pp. 287-298, 2022.
- [9] M. Razack, and T. Lasm, "Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast)". *Journal of Hydrology*, vol. 325, no. 1-4, pp 164-178, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.014>
- [10] L. Triki, M. Zairi, and H. Ben Dhia, "A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the Sfax superficial aquifer (Tunisia)", *Water and Environment Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 362-372, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00352.x>
- [11] Y. Yu, "Geostatistical Interpolation and Simulation of RQD Measurements", University of British Columbia, 2010. <https://doi.org/10.14288/1.0069917>



Ferdowsi
University of
Mashhad

Journal of Ferdowsi Civil Engineering

Page Journal: civil-ferdowsi.um.ac.ir



Iranian
Concrete
Institute



Pavement
Engineering
Association of Iran

Performance Evaluation of Welded Moment Frame with Reduced Beam Section and Stiffener

Research Article

Mohammad-Amin Jalali¹, Amin Rafiee²

DOI: [10.22067/jfcej.2023.82042.1224](https://doi.org/10.22067/jfcej.2023.82042.1224)

1. Introduction

One of the common seismic load carrying systems for buildings is steel moment resisting frame. It usually shows high ductility subject to earthquake loads. After 1994's Northridge earthquake, the engineers learned that the traditional beam-to-column connections may severely be damaged. This damage may mostly happen in the complete-joint-penetration type of welded connections.

In order to correct the seismic behavior and performance of these connections, the improvement in the quality of the welding process is firstly suggested by the researchers, and after many sophisticated studies, Reduced-Beam-Section (RBS) connections was proposed. In this way, the connections are modified by reducing the beam section. Thereby, a reliable area for energy dissipation is provided with the structure. The studies also showed that by using RBS connections, the plastic hinge is transferred from the panel zone to the beam section. Thereby, the hinge is formed in a place far enough from the column face.

In addition to the strategy of reducing the beam flange in RBS connections, another alternative for preventing catastrophic structural collapse induced by connection failures is using Reduced-Web-Section (RWS) connections. In a RWS connection, the seismic behavior and performance of the connection is modified by reducing beam's web section, instead of its flange.

This study explored the impacts of the elliptical web reductions (RWS-E) and radial flange reductions (RBS-R) and also the impacts of using stiffeners on the performance and behavior of beam, connection, and steel moment RBS and RWS frames.

2. Finite-Element model

Using nonlinear Finite-Elements (FE) model and 3D elements in ABAQUS software, we carry out the nonlinear-static analyses of the frames subjected to cyclic loadings and check Von-Mises criterion. To this end, a benchmark experimental test is adopted from the recent literature, and by comparing its results with the results of the numerical model of this study, the FE model is verified. Figure 1 shows the FE model, its

loading, and boundary conditions. In this model, Shell element of S4R (3D-8Node) is used. Moreover, the boundary condition, in the three ends, is as follows: (1) $U_x = U_{Ry} = U_{Rz} = 0$; (2) $U_x = U_y = U_z = U_{Ry} = U_{Rz} = 0$; and, (3) $U_x = U_z = U_{Ry} = U_{Rz} = 0$.

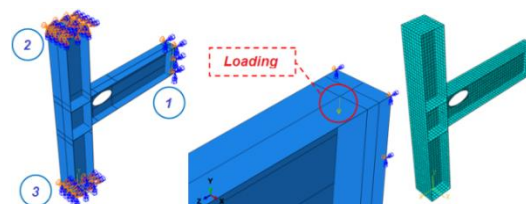


Figure 1. FE model, loading, and boundary conditions

The loadings of FE model are performed according to the AISC 341 as shown in Figure 2, in which, the drift angle was plotted versus the number of loading cycles.

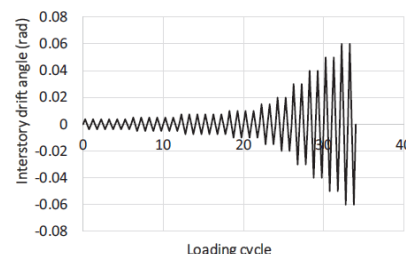


Figure 2. Cyclic loading protocol

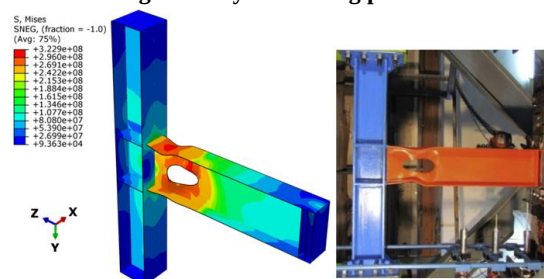


Figure 3. The deformation and stress distribution results

*Manuscript received, April 2, 2023, Revised, May 13, 2023, Accepted, June 26, 2023 .

¹. MSc student, Department of Civil Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

². Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

Email: a.rafiee@maragheh.ac.ir

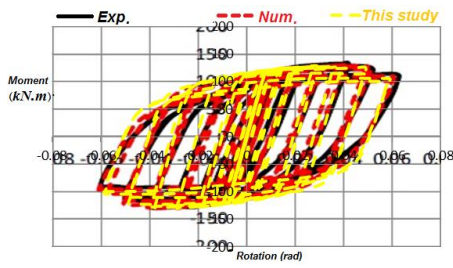


Figure 4. The cyclic moment-rotation curve results

As Figure 3 shows, the deformation and stress distribution in both experimental and numerical models are the same. Moreover, Figure 4 shows that the cyclic moment-rotation curves of both models correspond.

3. The stiffener's effects on the RWS-E connections

To study the impacts of using stiffener on the cyclic performance of RWS-E connections, four models are considered according to Table 1.

Table 1. RWS-E connection models

Model	Reduction values (mm)			Stiffener's thickness (mm)
	a	b	h	
RWS-E	240	480	240	-
RWS-E-St5	240	480	240	5
RWS-E-St8	240	480	240	8
RWS-E-St10	240	480	240	10

Figure 5 shows the place of the installation of the stiffeners. These elliptical stiffeners have a width of 2.5 cm in each side of the beam's web. Moreover, the stress distribution at the final step of the loading is shown in Figure 6 for the four models.

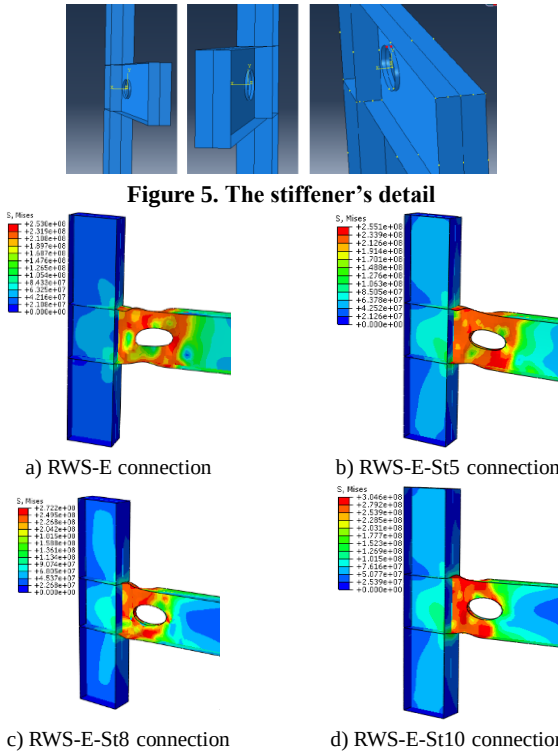


Figure 5. The stiffener's detail

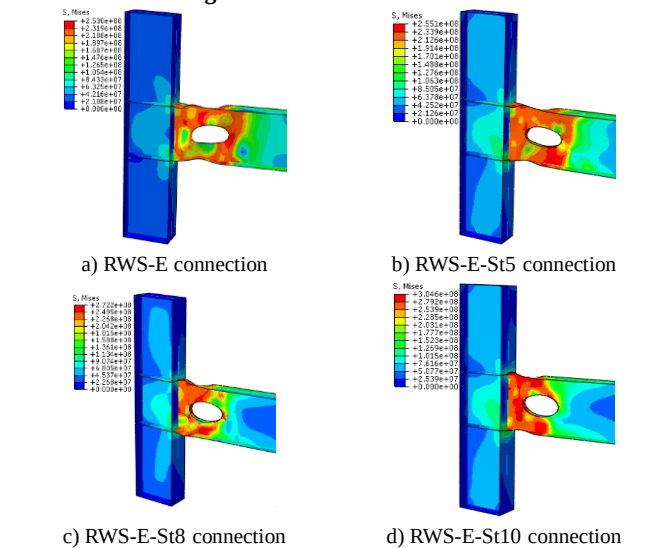


Figure 6. Stress distribution at final loading step (connections)

4. Cyclic performance of frames with reduced connections

The cyclic performance of the frames with reduced

connections is studied using four models as described in Table 2. For these models, Figure 7 shows the Von-Mises stress distribution at the final step of the loading.

Table 2. Frame models with reduced connections

Model	Reduction values (mm)				Stiffener's thickness (mm)
	a	b	h	4c	
F-FBS	-	-	-	-	-
F-RBS-R	240	480	-	240	-
F-RWS-E	240	480	240	-	-
F-RWS-E-St5	240	480	240	-	5

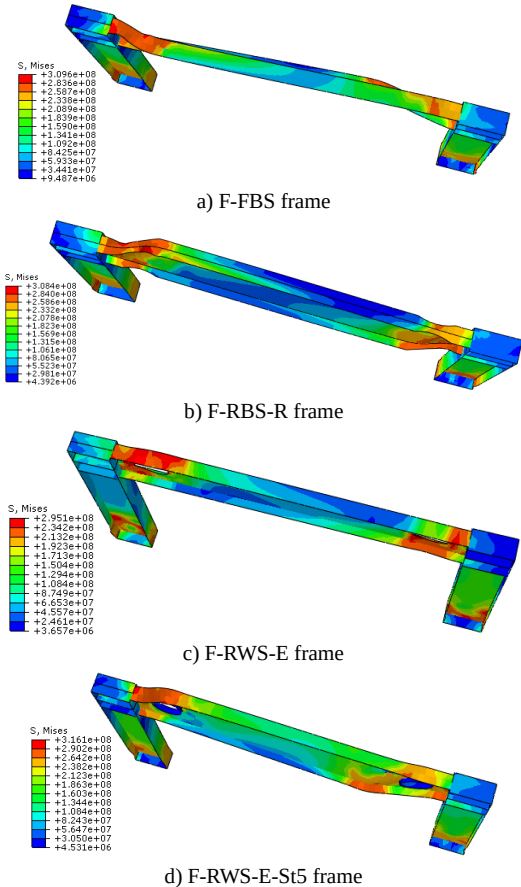


Figure 7. Stress distribution at final loading step (frames)

5. Conclusion

Based on the analytical results, following conclusions are drawn:

1. In the beam with no reductions, maximum stresses and strains occur in the web. By reducing the web section of the beam, maximum stresses and strains are transferred to the location of the reduced section;
2. The ratio of maximum strength to the strength at the final step of loading, and also, the value of dissipated energy, show that, in comparison with the connections with radial-shaped reductions, the connections with elliptical-shaped reductions have less strength degradation and more ductility;
3. The RWS-E connection dissipates 15% more energy compared to the RBS-R connection. This shows the higher ductility of RWS-E connection;
4. The frame with RBS-R connection shows less shear capacity compared to other investigated frames.



ارزیابی عملکرد قاب خمشی جوشی با مقطع تیر کاهش یافته و سخت کننده*

مقاله پژوهشی

محمدامین جلالی^(۱) امین رفیعی^(۲)

DOI: 10.22067/jfcej.2023.82042.1224

چکیده در این پژوهش، تأثیر برش‌های بیضوی در جان و شعاعی در بال و نیز سخت‌کننده، بر رفتار تیر، اتصال و قاب خمشی فولادی مطالعه می‌شود. با روش اجزاء محدود و المان‌های سه‌بعدی در ABAQUS تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی قاب تحت بارگذاری چرخه‌ای از حدام و از معیار شکست آفون-میزر استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در تیر بدون مقطع کاهش یافته بیشینه تنش‌ها و کرنش‌ها در جان تیر رخ می‌دهد و با ایجاد برش در جان، به شینه تنش‌ها و کرنش‌ها به محل مقطع تیر کاهش یافته انتقال می‌یابد. نسبت مقاومت بیشینه به مقاومت در گام نهایی بارگذاری و نیز میزان انرژی مستهلک شده نشان می‌دهد، در مقایسه با اتصال با برش شعاعی، اتصال با برش بیضوی تنزل مقاومت کمتر و شکل‌پذیری بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی تیر مقطع کاهش یافته، سخت کننده، بارگذاری چرخه‌ای، روش اجزاء محدود غیرخطی.

Performance Evaluation of Welded Moment Frame with Reduced Beam Section and Stiffener

Mohammad-Amin Jalali

Amin Rafiee

Abstract In this research, the effect of the elliptical web reduction and radial flange reduction and also the stiffener, on the behavior of beam, connection and steel moment frame is studied. By using Finite-Elements Method and 3D elements in ABAQUS, the nonlinear-static analyses of the frame under cyclic loading are carried out and the Von-Mises criterion is checked. The results show that in the beam with no reductions, maximum stresses and strains occur in the web. By reducing the web section of the beam, maximum stresses and strains are transferred to the location of the reduced section. The ratio of maximum strength to the strength at the final step of loading, and also, the value of dissipated energy, show that, in comparison with the connections with radial-shaped reductions, the connections with elliptical-shaped reductions have less strength degradation and more ductility.

Key Words Reduced beam section; Stiffener; Cyclic loading; Nonlinear finite-elements method.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۱/۳۱ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۴/۵ می‌باشد.

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

(۲) نویسنده مسئول: استادیار گروه عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

Email: a.rafiiee@maragheh.ac.ir

مقدمه

به دنبال زلزله نورتریج تحقیقات مختلفی با هدف تفسیر چگونگی وقوع خرابی‌های پدید آمده و تعیین چگونگی تعمیر ساختمان‌های آسیب دیده به عمل آمد و بررسی طرح‌های گوناگون جدید به منظور دستیابی به عملکرد رضایت‌بخش در اتصالات شروع شد [1]. بر اساس نتایج این تحقیقات دو استراتژی، تضعیف موضعی مقطع تیر و تقویت اتصال، به منظور دور نمودن محل تشکیل مفصل از ناحیه بحرانی اتصال که همان بر ستون می‌باشد، اتخاذ شد و بر پایه این دو استراتژی انواع اتصالات پس از زلزله نورتریج ارائه گردید. این اتصالات پیشنهادی شامل اتصال خمشی با ورق کناری، اتصال با مقطع تیر کاهش یافته، اتصال ماهیچه‌ای، اتصال تقویت شده با پشت بند، اتصال صلب پیچی با سپری انتهایی، اتصال صلب پیچی با صفحه انتهایی، اتصال با مقطع تیر کاهش یافته و اتصال خمشی پس کشیده می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی انواع مختلف این اتصالات نشان دهنده موثر بودن آنها در انتقال مفصل پلاستیک تیر به بیرون از ناحیه چشمه اتصال، ظرفیت دورانی بالا، شکل پذیری و جذب انرژی بالای آنها است.

به علت صرف وقت و هزینه بیشتر به دلیل ساخت و بازرسی جوش و نیاز به عناصر اضافی و مشکلات معماری در استراتژی اول، انتخاب گزینه دوم ضروری به نظر می‌رسد. در اتصالات با مقطع کاهش یافته به منظور حصول رفتار لرزه‌ای مطلوب، استراتژی تضعیف موضعی مقطع تیر اتخاذ شده است [2]. اتصالات با مقطع کاهش یافته به دلیل رفتار شکل پذیر، جذب انرژی بالا و کاهش هزینه نسبت به روش‌های دیگر مورد استقبال بیشتر طراحان و فعالان صنعت ساختمان گردید.

مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط چن و همکاران نشان می‌دهد که کاهش سختی قاب‌های خمشی در اثر استفاده از اتصالات RBS به جای اتصالات خمشی معمولی، تنها ۳ درصد است که پذیرفتنی و قابل قبول است [3]. جونز و همکاران [4] بر طبق مطالعات خود به این نتیجه رسیده‌اند که جوش دادن جان تیر به بال ستون احتمال شکست جوش را در اتصالات RBS کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات ژانگ و ریکلز [5] دال کف کامپوزیت، قید برای تیرها مهیا می‌کند و با جلوگیری از حرکت جانبی بال، ناپایداری تیر را در ناحیه‌ی RBS کاهش می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق مقاومت چشمه‌ی اتصال یکی از عوامل موثر در میزان گشتاور پیچشی ستون بوده و مهار جانبی مکمل

می‌تواند به اندازه دال کامپوزیت کف در کاهش کماتش جانبی RBS موثر باشد. بر اساس تحقیق سواتی و همکاران [6] اتصالات با مقطع کاهش یافته شعاعی شکل در پروفیل‌های هندی باعث افزایش شکل پذیری و انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر می‌شود. مطالعات پاکومیز و همکاران [7] بر روی عملکرد اتصالات با تیر مقطع کاهش یافته ساخته شده از پروفیل‌های اروپایی نشان می‌دهد نیاز به بازبینی مجدد در مشخصات هندسی مقطع کاهش یافته پیشنهاد شده در آیین‌نامه اروپا وجود دارد [8,9]. سوفیا و همکاران [10] با در نظر گرفتن مشخصات هندسی ناحیه کاهش یافته خارج از محدودیت‌های پیشنهادی توسط آیین‌نامه EC8 نتیجه گرفتند اتصالات با مقطع کاهش یافته دارای شکل پذیری مناسبی هستند [11]. بر اساس مطالعات داورپناه و همکاران [12] نیاز به تحقیقات بیشتری به منظور استفاده از متغیرهای ناحیه کاهش یافته پیشنهادی توسط آیین‌نامه AISC، در پروفیل‌های فولادی رایج در ایران وجود دارد [13-15].

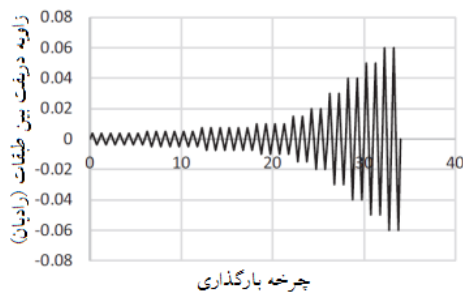
از میان پژوهش‌های اخیر که به موضوع مطالعه رفتار تیرها، اتصالات و قاب‌های با تیر RBS و RWS پرداخته‌اند، می‌توان به مراجع [16-21] اشاره کرد. با این حال، در پژوهش‌های بسیار معدودی به مطالعه اثر سخت کننده بر رفتار این تیرها پرداخته شده است. مطالعه اثر سخت کننده صرفاً بر اتصالات دارای تیر RBS را می‌توان در پژوهش‌هایی همچون کانائو و همکاران [22] و رودسری و همکاران [23] یافت. با توجه به مرور فوق بر پژوهش‌های پیشین، هدف از تحقیق حاضر، بررسی عملکرد قاب خمشی جوشی با مقطع تیر مقطع کاهش یافته در جان، تحت بارگذاری چرخه‌ای می‌باشد.

صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی اجزاء محدود با مدل آزمایشگاهی

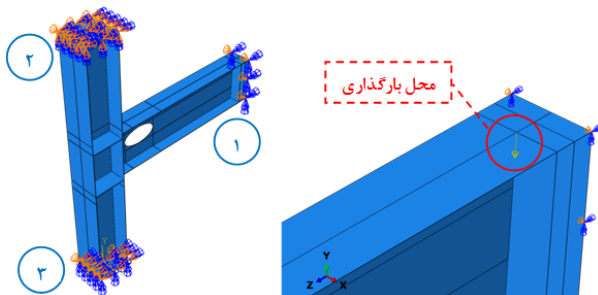
در این بخش برای صحت‌سنجی، نمونه آزمایشگاهی داورپناه و همکاران [14] مورد بررسی قرار می‌گیرد. طبق شکل (۱) در این تحقیق دو نمونه اتصال تیر به ستون که به وسیله جوش به همدیگر متصل شده‌اند، در نظر گرفته می‌شود. یک اتصال با کاهش در مقطع بال تیر (شکل 1-a) و یک اتصال با کاهش در مقطع جان تیر (شکل 1-b) ساخته شد.

در نمونه‌ها از تیر با IPE270 و ستون با IPE200 استفاده شده است. ابعاد ورق پیوستگی، سخت کننده‌ها و ورق مضاعف یا تقویتی

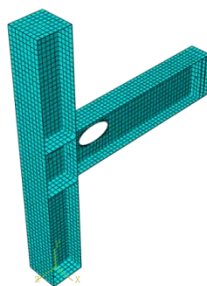
شده است. در مدل شکل (۴-الف) شرایط مرزی در محل‌های ۱، ۲ و ۳ با توجه به جهت محورهای مختصات عبارتند از: در محل $U_x = U_y = U_z = 0$ ؛ در محل ۲ $U_x = U_{Ry} = U_{Rz} = 0$ ؛ در محل ۳ $U_{Ry} = U_{Rz} = 0$ ؛ $U_x = U_z = U_{Ry} = U_{Rz} = 0$. در این مدل‌سازی از المان Shell نوع S4R انتخاب شده است. المان S4R یک المان سه‌بعدی و هشت گرهی است که در آن از روش انتگرال‌گیری کاهش‌یافته به منظور حل انتگرال‌ها استفاده می‌شود (شکل ۴-ب).



شکل ۳ پروتکل بارگذاری [24]



(الف)

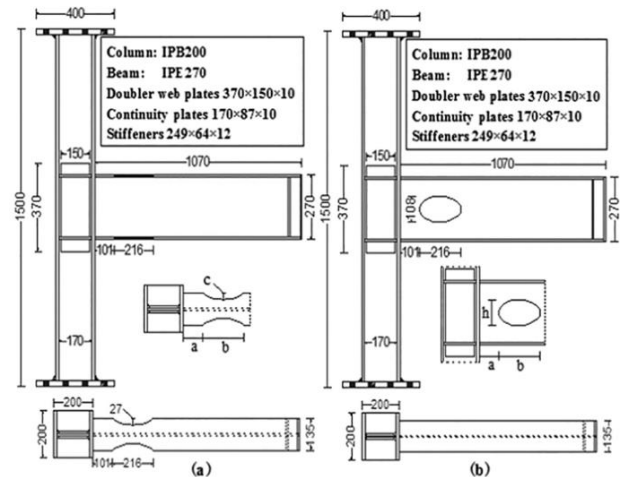


(ب)

شکل ۴ مدل عددی پژوهش حاضر: (الف) ساخت شرایط مرزی و بارگذاری؛ (ب) مش‌بندی مدل از نوع S4R

تغییر شکل و توزیع تنش رخ داده در نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل (۶) نیز

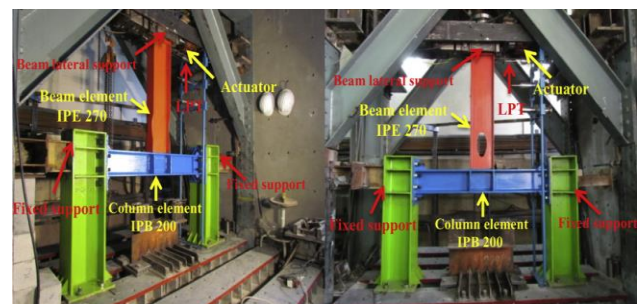
جان به ترتیب $P170 \times 87 \times 10$ ، $P249 \times 64 \times 12$ و $P370 \times 150 \times 10$ می‌باشد. مشخصات مقاطع کاهش‌یافته تیر در جدول (۱) [14] و پارامترها در داخل شکل (۱) معرفی شده‌اند. شکل (۲) روند آزمایش دو نمونه را نشان می‌دهد. در این شکل همچنین مشخصات کلی تیر و ستون معرفی شده است.



شکل ۱ دو نمونه آزمایشگاهی اتصال تیر به ستون [14]

جدول ۱ مقدار پارامترهای کاهش یافته تیر

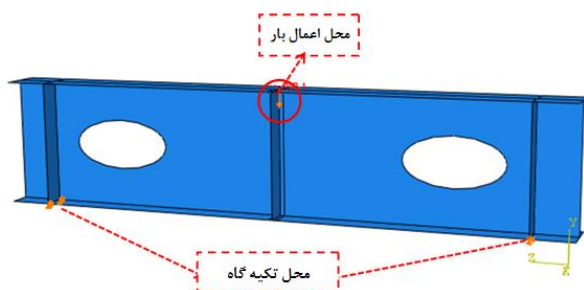
پارامتر	A	b	c	h
اندازه (mm)	$0.75bf = 101$	$0.8db = 216$	$0.2bf = 27$	$0.4db = 108$



شکل ۲ روند انجام آزمایش در آزمایشگاه [14]

شرایط مرزی باید مشابه نمونه آزمایشگاهی معرفی شوند. در این راستا، مطابق با نمونه آزمایشگاهی در بالا و پایین ستون تکیه‌گاه تعریف شده است. بارگذاری به صورت چرخه‌ای و مطابق پروتکل بارگذاری AISC 341 [24] اعمال شد که در شکل (۳) نشان داده شده است. بارگذاری اعمالی بر ابتدای تیر در شکل (۴) نشان داده

نشان داده شده است. در مدل شکل (۷) شرایط مرزی در محل تکیه‌گاه‌ها با توجه به جهت محورها مختصات عبارت است از: $U_x = U_y = U_z = 0$; مشخصات مکانیکی فولاد، مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۲) ارائه شده است.



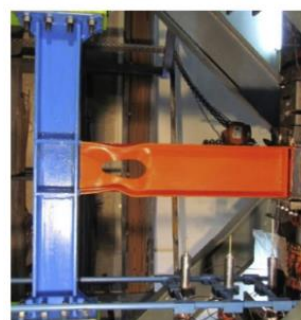
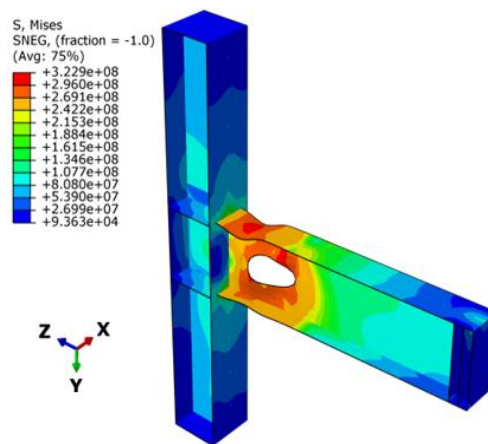
شکل ۷ تیر با مقطع کاهش یافته

در این بخش، به بررسی تأثیر متغیرهای هندسی ناحیه‌ی کاهش یافته بر عملکرد تیر و تعیین متغیرهای بهینه پرداخته می‌شود. تیر مورد مطالعه در تحلیل‌های پارامتریک لازم است به گونه‌ای طراحی شود که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک تیر در فاصله‌ای محدود از بر ستون فراهم شود. به این منظور، معمولاً فاصله مرکز مفصل پلاستیک تیر از بر ستون بر اساس توصیه‌های آیین‌نامه‌ای برابر عمق تیر (d_b) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این نکته مشخصات هندسی مدل‌ها مطابق جدول (۳) در نظر گرفته شدند. در این جدول، معرف تیر بدون مقطع کاهش یافته، RWS-E معرف تیر مقطع کاهش یافته در جان به روش برش بیضوی، عدد اول معرف اندازه فاصله ابتدای ناحیه‌ی کاهش یافته از بر تکیه‌گاه بر حسب نسبتی از عمق تیر، عدد دوم نماینده‌ی طول ناحیه‌ی کاهش یافته بر حسب نسبتی از عمق تیر و عدد آخر معرف اندازه عمق ناحیه کاهش یافته بر حسب نسبتی از عمق تیر می‌باشد. برای مثال RWS-0.2-0.8-0.4 تیر با برش بیضوی در جان است که $h = 0.4d_b$ و $b = 0.8d_b$ ، $a = 0.2d_b$

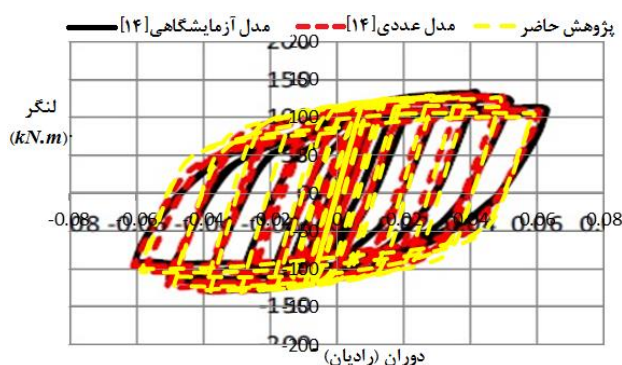
جدول ۲ مشخصات مکانیکی مدل الاستوپلاستیک برای فولاد [14]

نوع مقطع	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)
بال تیر	۲۶۵،۱	۴۰۵،۳	۱۹۶،۵
جان تیر	۲۵۰،۳	۳۹۸،۴	۱۹۱،۳
بال ستون	۲۸۶،۶	۴۱۵،۸	۱۹۸،۷
جان ستون	۲۹۵،۵	۴۰۳،۲	۱۹۶،۳

تطابق مناسب نمودارهای لنگر-دوران نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۵ تطابق نتایج مربوط به نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود



شکل ۶ مقایسه نتایج اجزاء محدود تحقیق حاضر با نمونه مرجع

مدل‌سازی نمونه‌های پیشنهادی

مطالعه عددی بر متغیرهای ناحیه کاهش یافته تیر با برش

بیضوی

طول دهانه تیر مورد نظر ۲/۴ متر می‌باشد. مقطع تیر مورد استفاده IPE 600 انتخاب شد. محل اعمال بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها در شکل (۷)

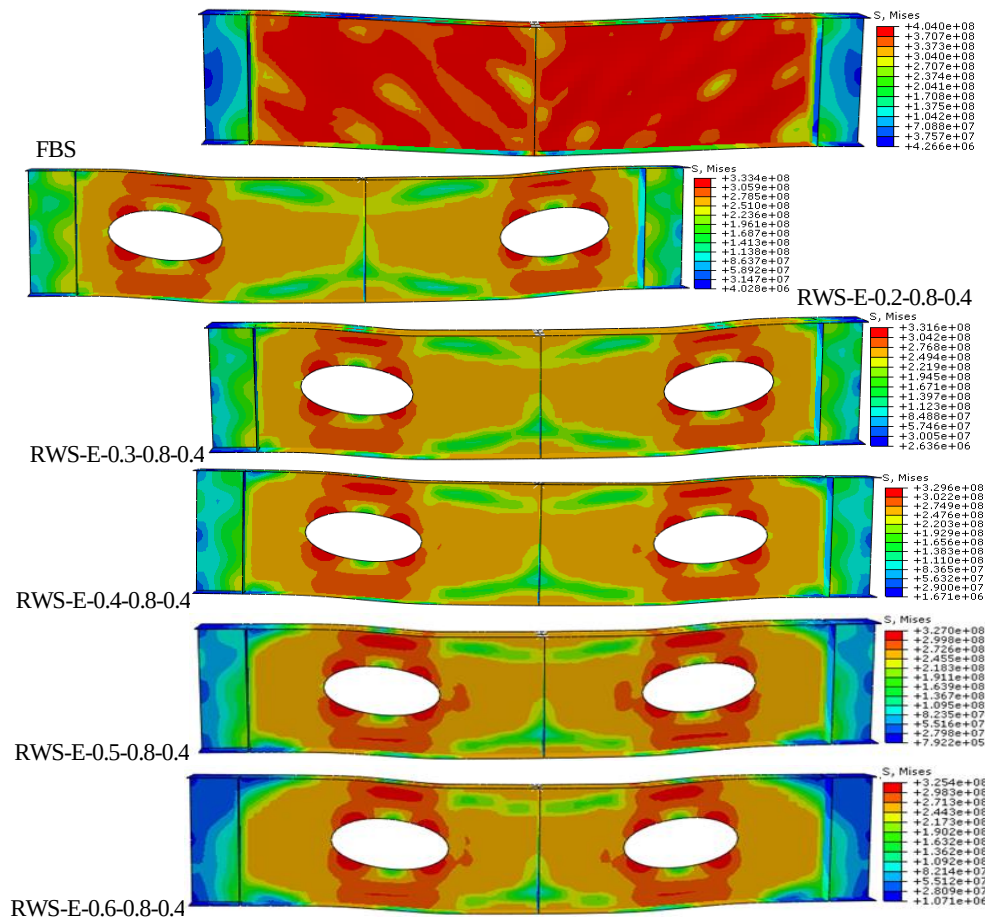
برای تعیین مقادیر بهینه متغیرهای ناحیه‌ی کاهش یافته، مدل‌ها در سه گروه بررسی می‌شوند: در گروه الف، متغیرهای طول برش بیضوی (b) و عمق برش بیضوی (h) مطابق با نمونه آزمایشگاهی ثابت در نظر گرفته می‌شود و فاصله ابتدای ناحیه‌ی کاهش یافته از بر ستون (a) تغییر می‌یابد؛ در گروه ب، متغیرهای a و h ثابت می‌باشند و متغیر b تغییر می‌یابد؛ و در گروه ج، متغیرهای a و b ثابت می‌باشند و متغیر h تغییر خواهد یافت.

بررسی نتایج

تغییر شکل و توزیع تنش فون میزز رخ داده در تیرهای گروه الف در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است در تیر بدون مقطع کاهش یافته بیشترین تنش‌ها در جان تیر رخ داده است و با ایجاد برش بیضوی در جان ماکزیمم تنش‌ها به محل مقطع کاهش یافته انتقال می‌یابد. همچنین نتایج این بخش نشان می‌دهد با دور شدن محل بازشو از تکیه‌گاه مقدار تنش رخ داده در تیر کمی کاهش می‌یابد.

جدول ۳ جزئیات متغیرهای هندسی ناحیه‌ی کاهش یافته‌ی تیر با برش بیضوی

نمونه	a (mm)	b (mm)	h (mm)
FBS	-	-	-
RWS-E-0.2-0.8-0.4	۵۴	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.3-0.8-0.4	۸۱	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.8-0.4	۱۰۸	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.5-0.8-0.4	۱۳۵	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.6-0.8-0.4	۱۶۲	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.5-0.4	۱۰۸	۱۳۵	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.6-0.4	۱۰۸	۱۶۲	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.7-0.4	۱۰۸	۱۸۹	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.8-0.4	۱۰۸	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.9-0.4	۱۰۸	۲۴۳	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.8-0.2	۵۴	۲۱۶	۵۴
RWS-E-0.4-0.8-0.3	۸۱	۲۱۶	۸۱
RWS-E-0.4-0.8-0.4	۱۰۸	۲۱۶	۱۰۸
RWS-E-0.4-0.8-0.5	۱۳۵	۲۱۶	۱۳۵
RWS-E-0.4-0.8-0.6	۱۶۲	۲۱۶	۱۶۲

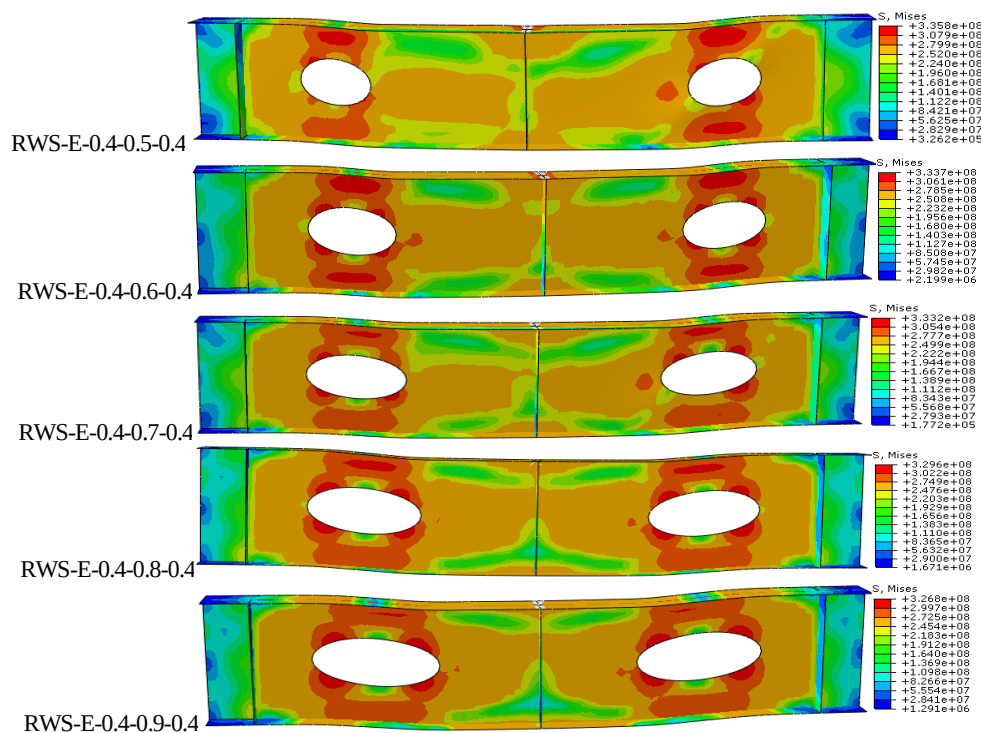


شکل ۸ تغییر شکل و توزیع تنش فون میزز (Pa) رخ داده در تیرهای گروه الف

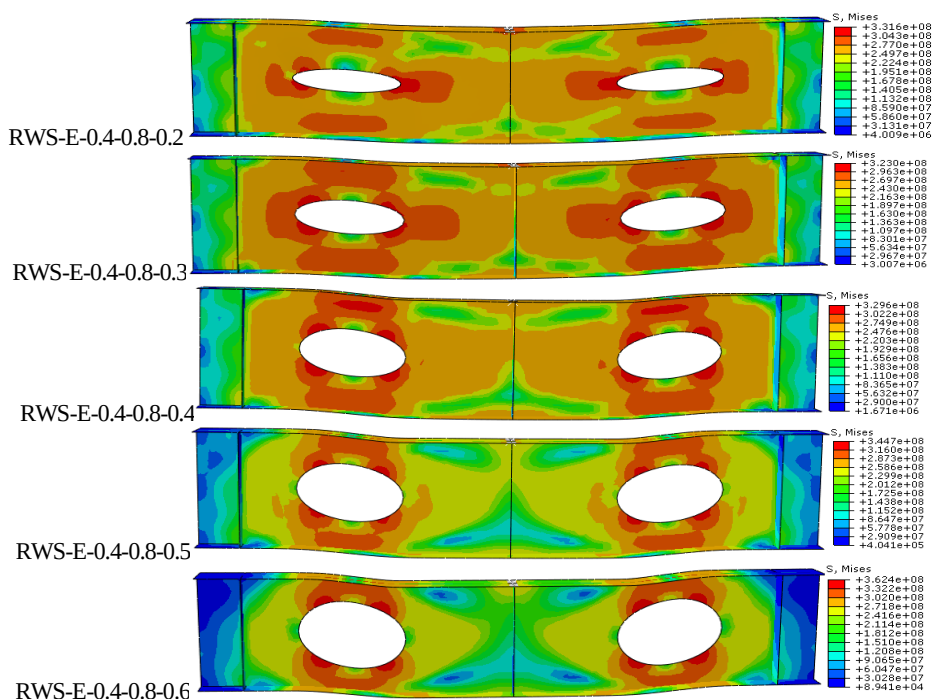
در شکل (۱۰) ارائه شده است. همان طور که در این شکل مشخص است ماکزیمم تنش ها در محل مقطع کاهش یافته تیر رخ داده است. با دقت در نتایج درمی یابیم که تا عمق بازشو به مقدار ۳۰ تا ۴۰ درصد ارتفاع مقطع، مقدار تنش ها روند نزولی دارد و پس از آن روند صعودی شده است.

شکل (۹) تغییر شکل و توزیع تنش فون میز در تیرهای گروه ب را نشان می دهد. مطابق با نتایج این شکل بیشترین تنش ها در محل بازشو رخ داده است. همچنین با افزایش طول بازشو تنش ها مقدار کمی کاهش می یابد.

تغییر شکل و توزیع تنش فون میز رخ داده در تیرهای گروه ج

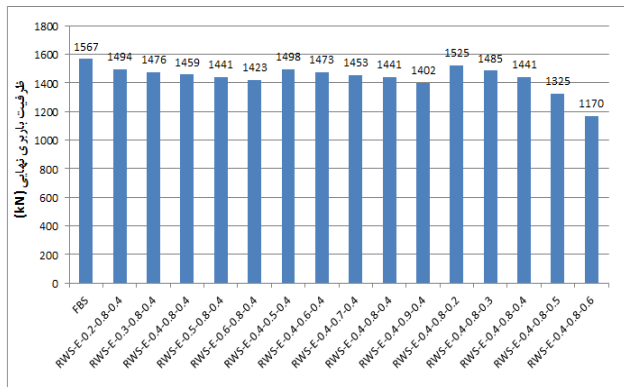


شکل ۹ تغییر شکل و توزیع تنش فون میز (Pa) رخ داده در تیرهای گروه ب



شکل ۱۰ تغییر شکل و توزیع تنش فون میز (Pa) رخ داده در تیرهای گروه ج

ظرفیت باربری مدل‌ها در نمودار میله‌ای شکل (۱۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج این شکل تغییرات عمق بازشو بیشترین تأثیر را بر ظرفیت باربری تیر دارد. به گونه‌ای که ایجاد بازشو با عمق ۲۰ تا ۶۰ درصد ارتفاع تیر سبب کاهش ظرفیت باربری تیر به میزان ۲/۷ تا ۲۵ درصد نسبت به تیر بدون مقطع کاهش یافته می‌شود.



شکل ۱۲ ظرفیت باربری مدل‌ها

مطالعه عددی بر عملکرد چرخه‌ای اتصالات RBS-R, FBS و RWS-E

در این بخش از تحقیق به بررسی تأثیر عمق برش بال و جان بر عملکرد چرخه‌ای این اتصالات پرداخته می‌شود. مدل‌ها مطابق جدول (۴) در نظر گرفته شده‌اند. در این جدول معرف اتصال مرسوم بدون مقطع کاهش یافته، RBS-R معرف اتصال کاهش یافته به روش برش شعاعی و RWS-E اتصال کاهش یافته به روش برش بیضوی در جان تیر است.

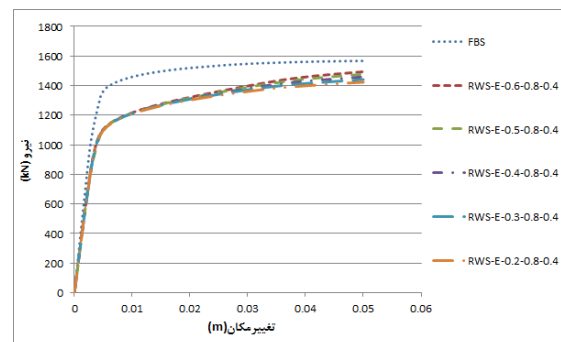
جدول ۴ مدل‌های مورد بررسی

مدل	a (mm)	b (mm)	h (mm)	4c (mm)
FBS	-	-	-	-
RWS-E-0.4-0.8-0.4	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	-
RBS-R-0.4-0.8-0.4	۸۱	۲۱۶	-	۲۴۰

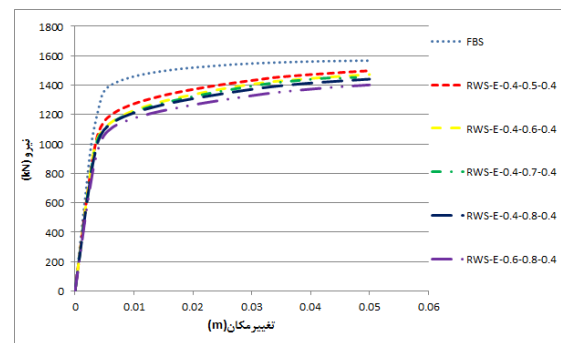
بررسی نتایج

کانتورهای تنش به دست آمده از تحلیل‌های چرخه‌ای برای اتصالات RBS-R و RWS-E و اتصال معمولی بدون مقطع کاهش یافته (FBS) بر اساس معیار تسلیم‌شدگی فون میز در گام نهایی بارگذاری در شکل (۱۳) ارائه شده است. تنش فون میز (q) مطابق رابطه (۱) تعریف می‌شود.

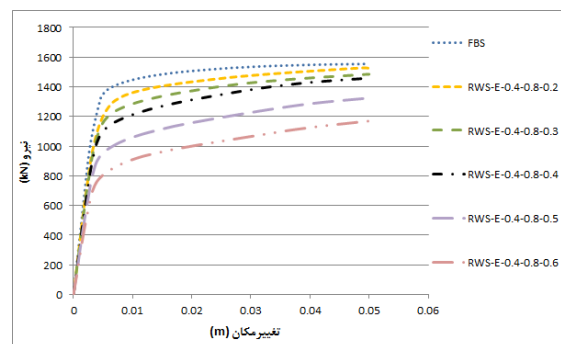
منحنی نیرو-تغییر مکان مدل‌های گروه الف در شکل (۱۱-الف) ارائه شده است. بر اساس این شکل با ایجاد بازشو در جان ظرفیت باربری تیر کاهش می‌یابد. همان‌طور که از نتایج این شکل مشخص است با دور شدن محل بازشو از تکیه‌گاه ظرفیت باربری مقداری افزایش می‌یابد. تأثیر طول بازشو بر منحنی نیرو-تغییر مکان تیر در مدل‌های گروه ب مطابق شکل (۱۱-ب) بررسی شده است. نتایج این شکل نشان می‌دهد که با افزایش طول بازشو ظرفیت باربری مقداری کاهش می‌یابد. منحنی نیرو-تغییر مکان مدل‌های گروه ج در شکل (۱۱-ج) ارائه شده است. بر اساس این شکل با افزایش عمق بازشو ظرفیت باربری تیر کاهش می‌یابد، (خصوصاً تیرهای با بازشوهایی به عمق‌های ۵۰ و ۶۰ درصدی ارتفاع تیر).



(الف)



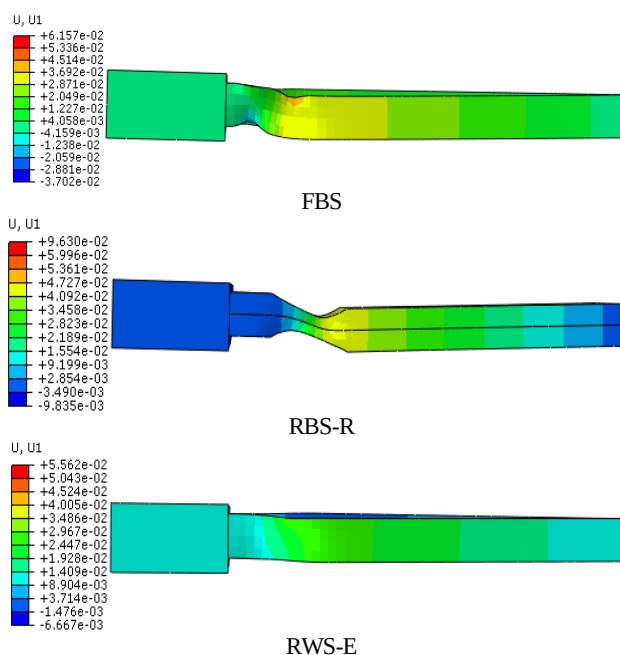
(ب)



(ج)

شکل ۱۱ منحنی نیرو-تغییر مکان: (الف) مدل‌های گروه الف؛ (ب) مدل‌های گروه ب؛ (ج) مدل‌های گروه ج

بروز پدیده تغییر شکل جانبی-پیچشی در تیر اشاره نمود. تغییر شکل جانبی اتصالات در شکل (۱۴) نشان داده شده است. بر اساس این شکل تحت اعمال بارگذاری چرخه‌ای، بیشترین تغییر شکل جانبی در اتصال RBS-R رخ داده است. ماکزیمم تغییر شکل جانبی رخ داده در اتصالات FBS، RBS-R و RWS-E به ترتیب ۶۱، ۹۶ و ۵۵ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱۴ تغییر شکل جانبی اتصالات

برای ارزیابی و مقایسه شکست شکل‌پذیر دو محل در یک مدل اجزاء محدود و یا بین مدل‌های مختلف در یک محل، اندیس شکست معیار مناسبی است. اندیس شکست (Rupture Index (RI) از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$RI = \frac{\left(\frac{PEEQ}{\epsilon_y}\right)}{\exp\left(1.5\frac{p}{q}\right)} \quad (2)$$

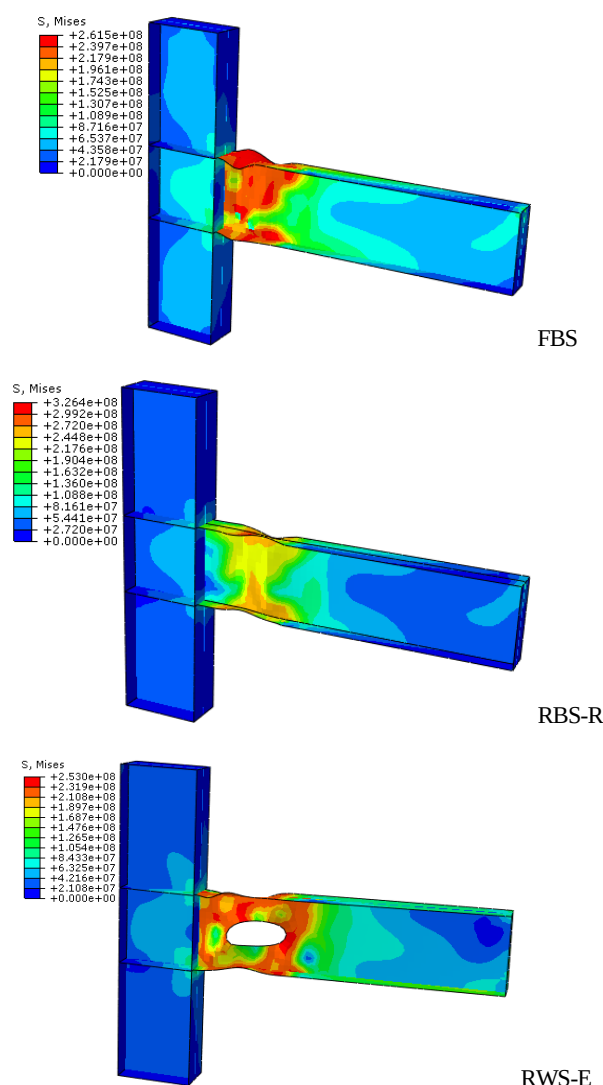
که ϵ_y کرنش تسلیم است. نرخ تنش هیدرواستاتیک (Hydrostatic stress) به تنش فون-میزز $\left(\frac{p}{q}\right)$ ، نرخ سه محوری (Triaxiality ratio) (TR) نامیده می‌شود. همچنین، کرنش پلاستیک معادل (Equivalent plastic strain) (PEEQ) را می‌توان از رابطه (۳) محاسبه کرد.

$$PEEQ = \sqrt{\frac{2}{3} \epsilon_{ij}^{pl} \epsilon_{ij}^{pl}} \quad (3)$$

در این رابطه، ϵ_{ij}^{pl} مولفه‌های کرنش پلاستیک در راستاهای i و j است.

$$q = \sqrt{\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij}} \quad (1)$$

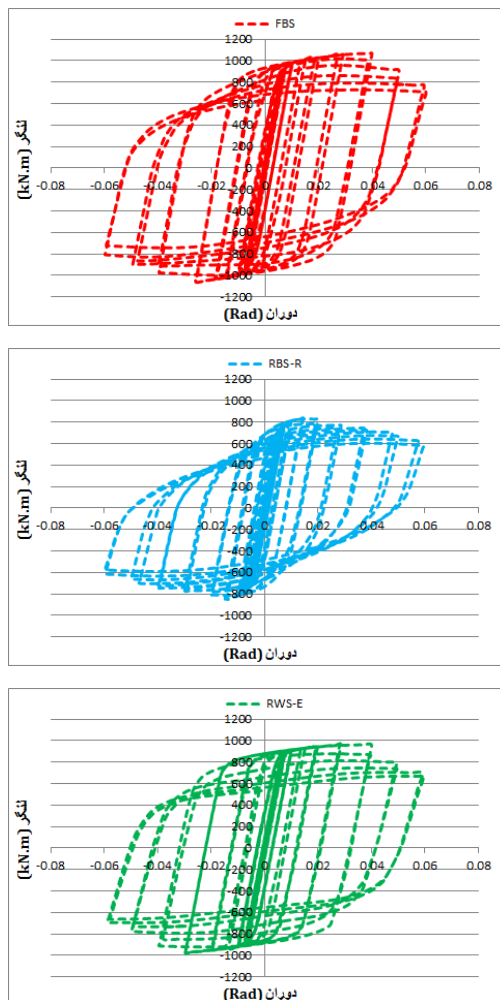
که $S_{ij} = \sigma_{ij} + p\delta_{ij}$ مؤلفه تانسور تنش انحرافی؛ p تنش هیدرواستاتیک و δ_{ij} دلتای کرونیگر می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱۳) دیده می‌شود، ماکزیمم تنش برای اتصالات RBS-R و RWS-E در ناحیه مقطع کاهش یافته در تیر رخ داده است و برای اتصال FBS تمرکز ماکزیمم در ناحیه اتصال می‌باشد. در اتصال بدون مقطع کاهش یافته ماکزیمم تغییر شکل‌ها در نزدیک بر اتصال رخ داده است در حالی که برای اتصالات کاهش یافته ماکزیمم تغییر شکل‌ها در محل مقطع کاهش یافته رخ می‌دهد. همچنین، مقدار تنش اتصالات RWS-E نسبت به اتصالات RBS-R کمتر می‌باشد.



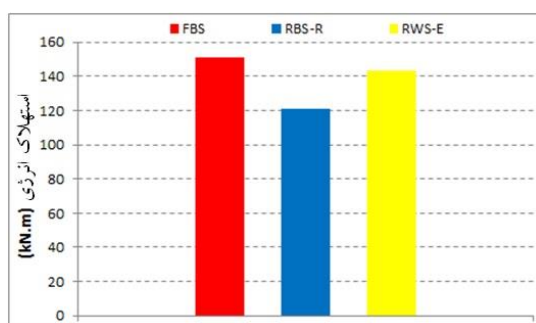
شکل ۱۳ توزیع تنش فون میز در گام نهایی بارگذاری

از جمله معایب اتصالات کاهش یافته در بال، می‌توان به امکان

می‌شود. شکل (۱۷) انرژی مستهلک شده‌ی مدل‌ها را نشان می‌دهد. استهلاک انرژی اتصالات RBS-R و RWS-E به ترتیب حدود ۲۰٪ و ۵٪ نسبت به اتصال FBS کمتر است. واضح است که مدل FBS استهلاک انرژی بیشتری داشته است که دلیل آن این است که اتصال FBS دارای مدول مقطع پلاستیک بالاتر نسبت به اتصال کاهش یافته می‌باشد.

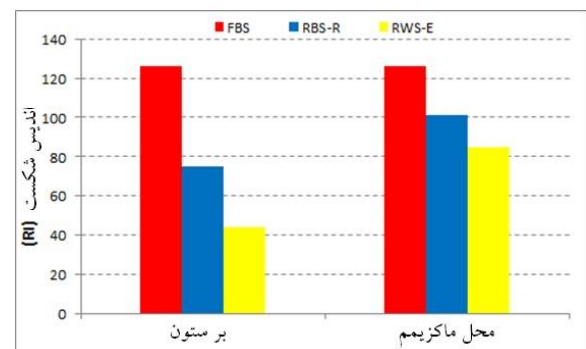


شکل ۱۶ منحنی‌های چرخه‌ای



شکل ۱۷ استهلاک انرژی اتصالات

با توجه به شکل (۱۳) بیشترین تمرکز تنش‌ها برای اتصال FBS در ناحیه بر ستون می‌باشد و برای اتصالات RBS-R و RWS-E در ناحیه مقطع کاهش یافته رخ داده است. محل‌های تمرکز تنش‌ها نواحی مستعد رخ دادن شکست می‌باشند. بنابراین در این بخش مقدار اندیس شکست در ناحیه رخ دادن ماکزیمم تنش برای اتصالات محاسبه شد. همچنین به منظور ارزیابی امکان رخ دادن شکست جوش اتصال، اندیس شکست در ناحیه بر ستون نیز محاسبه شد. مقدار اندیس شکست در نواحی ذکر شده در شکل (۱۵) ارائه شده است. اتصال FBS دارای بیشترین مقدار اندیس شکست می‌باشد. مقدار RI برای اتصال RBS-R نسبت به اتصال RWS-E بیشتر است. اندیس شکست بالا احتمال رخ دادن پارگی در دررفت‌های پایین را افزایش می‌دهد، بنابراین پتانسیل شکست برای اتصال RBS-R و اتصال FBS نسبت به اتصال RWS-E بیشتر می‌باشد.

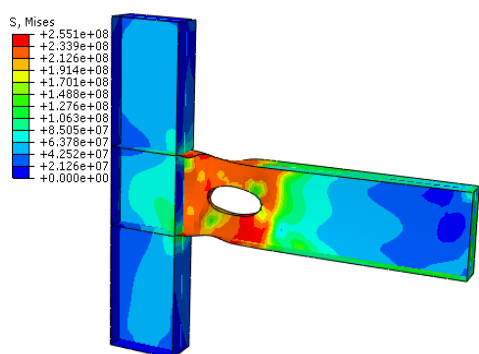


شکل ۱۵ اندیس شکست در بر ستون و محل ماکزیمم PEEQ

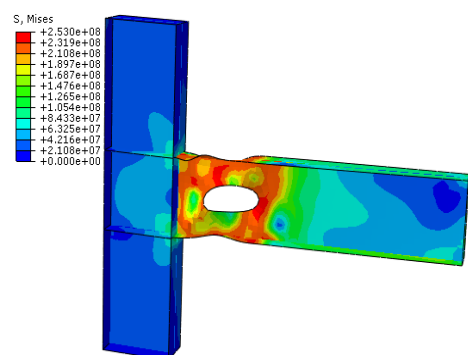
پاسخ هیستریزس لنگر-دوران اتصالات در شکل (۱۶) نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج این شکل مشخص است ماکزیمم مقاومت خمشی برای اتصالات FBS و RWS-E در زوایه دررفت ۰/۰۴ رادیان رخ داده است و برای اتصال RBS-R در زوایه دررفت ۰/۰۲ رادیان رخ داده است و بعد از این زوایای دررفت اتصال دچار تنزل مقاومت می‌شود. نسبت مقاومت ماکزیمم به مقاومت در ۰/۰۶ رادیان برای اتصالات FBS, RBS-R و RWS-E به ترتیب برابر ۰/۶۶، ۰/۶۴ و ۰/۷۰ می‌باشد که نشان‌دهنده تنزل مقاومت کمتر اتصال RWS-E است.

طراحی شکل‌پذیر اتصالات، نیاز به استهلاک انرژی ایجاد شده در سازه ناشی از زلزله دارد. انرژی مستهلک شده از طریق سطح محصور شده به وسیله‌ی حلقه‌های هیستریزس در هر سیکل محاسبه

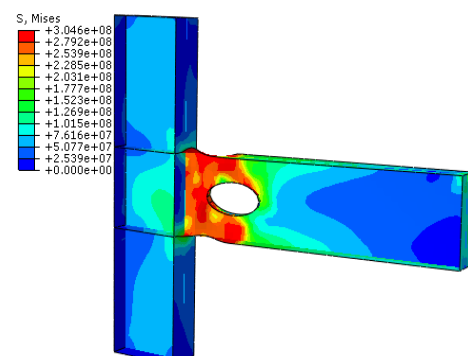
بر ستون نزدیک تر می شوند.



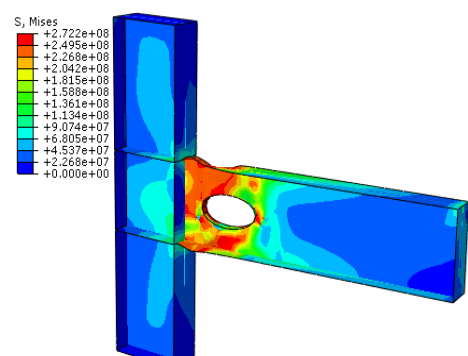
RWS-E



RWS-E-St5



RWS-E-St8



RWS-E-St10

شکل ۱۹ توزیع تنش فون میز در گام نهایی بارگذاری

پاسخ هیستریزیس لنگر-دوران اتصالات در شکل (۲۰) نشان

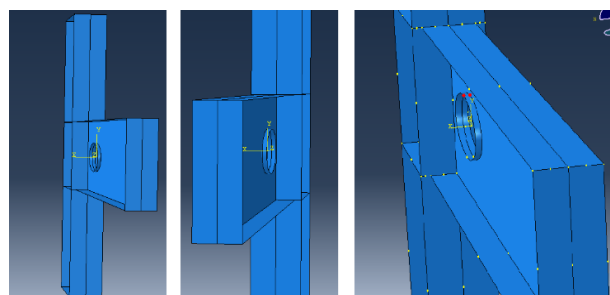
بررسی تأثیر استفاده از سخت کننده بر عملکرد اتصال

RWS-E

در این بخش از تحقیق به بررسی تأثیر استفاده از سخت کننده بر عملکرد چرخه ای اتصالات RWS-E پرداخته می شود. مدل ها مطابق جدول (۵) در نظر گرفته شده اند. مدل RWS-E مدل بدون سخت کننده و مدل های RWS-E-St5، RWS-E-St8 و RWS-E-St10 مدل های دارای سخت کننده هستند که در آنها ضخامت سخت کننده به ترتیب ۵، ۸ و ۱۰ میلی متر است. شکل (۱۸) محل تعبیه سخت کننده و نوع آن را نشان می دهد. در مدل های فوق الذکر، سخت کننده حلقوی بیضوی از هر دو طرف جان تیر به اندازه ۲٫۵ سانتی متر (پهنای کل ۵ سانتی متر)، دور تا دور ناحیه برش خورده تعبیه شده اند. عرض بال تیر ۲۲ سانتی متر و عمق مقطع تیر ۶۰ سانتی متر است و عرض بال ستون ۳۰ سانتی متر و عمق مقطع ستون ۶۰ سانتی متر می باشد.

جدول ۵ مدل های مورد بررسی

مدل	a (mm)	b (mm)	h (mm)	سخت کننده (mm)
RWS-E	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	-
RWS-E-St5	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	۵
RWS-E-St8	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	۸
RWS-E-St10	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	۱۰

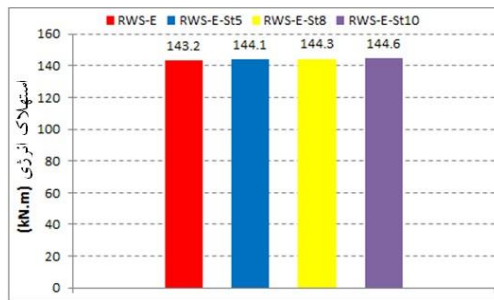


شکل ۱۸ جزئیات سخت کننده

بررسی نتایج

شکل (۱۹) توزیع تنش فون میز در اتصالات را نشان می دهد. همان طور که از این شکل مشخص است، استفاده از سخت کننده عملکرد اتصال را از لحاظ دور کردن تنش ها از بر ستون چندان بهبود نبخشیده است. با دقت در نتایج مشاهده می شود که با افزایش ضخامت ورق سخت کننده تنش ها و تغییر شکل ها به مقدار جزئی به

شده است.



شکل ۲۱ استهلاک انرژی اتصالات

بررسی تأثیر استفاده از سخت کننده بر عملکرد قاب با اتصالات RWS-E

در این بخش از تحقیق به بررسی تأثیر استفاده از سخت کننده بر عملکرد چرخه‌ای قاب با اتصالات RWS-E پرداخته می‌شود. مدل‌ها مطابق جدول (۶) در نظر گرفته شده‌اند. در این مدل‌ها که در شکل (۲۲) نیز نشان داده شده‌اند، جزئیات قاب‌ها عبارتند از: ارتفاع کامل ستون‌ها ۳٫۲ متر است؛ عمق مقطع ستون‌ها ۶۰ سانتیمتر می‌باشد؛ عرض بال ستون‌ها نیز ۳۰ سانتیمتر انتخاب شده است. همچنین، طول خالص تیر ۴٫۸ متر است؛ عرض بال تیر ۲۲ سانتیمتر می‌باشد؛ عمق مقطع تیر نیز ۶۰ سانتیمتر انتخاب شده است. علاوه بر این، در مدل‌های مذکور، سخت کننده‌های حلقوی بیضوی شکل از هر دو طرف جان تیر به اندازه ۵ سانتیمتر (پهنای کل ۱۰ سانتیمتر)، و ضخامت ۵ میلیمتر، دور تا دور ناحیه برش خورده تعبیه شده‌اند. اقطار بیضی برش خورده نیز ۲۴ سانتیمتر (قطر قائم) در ۴۸ سانتیمتر (قطر افقی) می‌باشند.

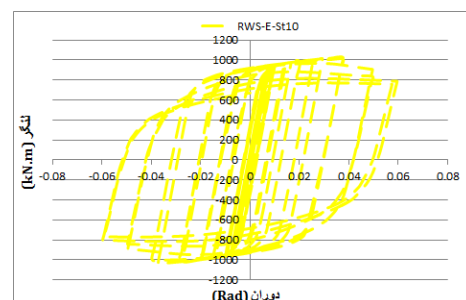
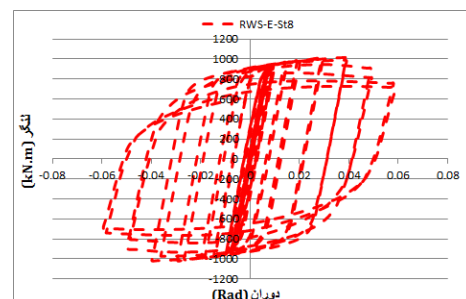
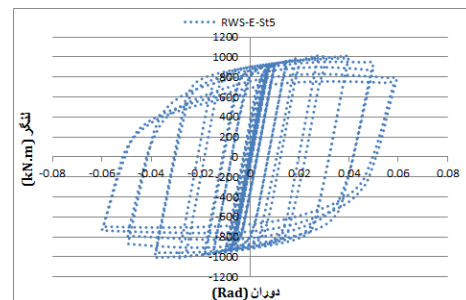
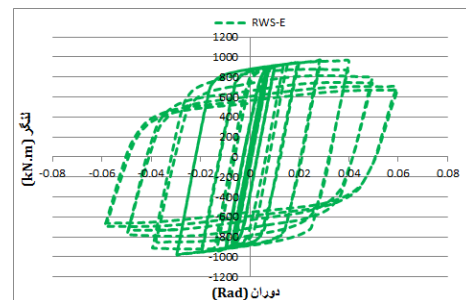
جدول ۶ مدل‌های مورد بررسی

مدل	a (mm)	b (mm)	h (mm)	4c (mm)	سخت کننده (mm)
F-FBS	-	-	-	-	-
F-RBS-R	۲۴۰	۴۸۰	-	۲۴۰	-
F-RWS-E	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	-	-
F-RWS-E-St5	۲۴۰	۴۸۰	۲۴۰	-	۵

بررسی نتایج

توزیع تنش فون میزز در اتصالات در شکل (۲۲) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، در قاب‌های F-FBS، F-RBS-R و F-RWS-E-St5 بیشترین تنش‌ها و تغییر شکل‌ها

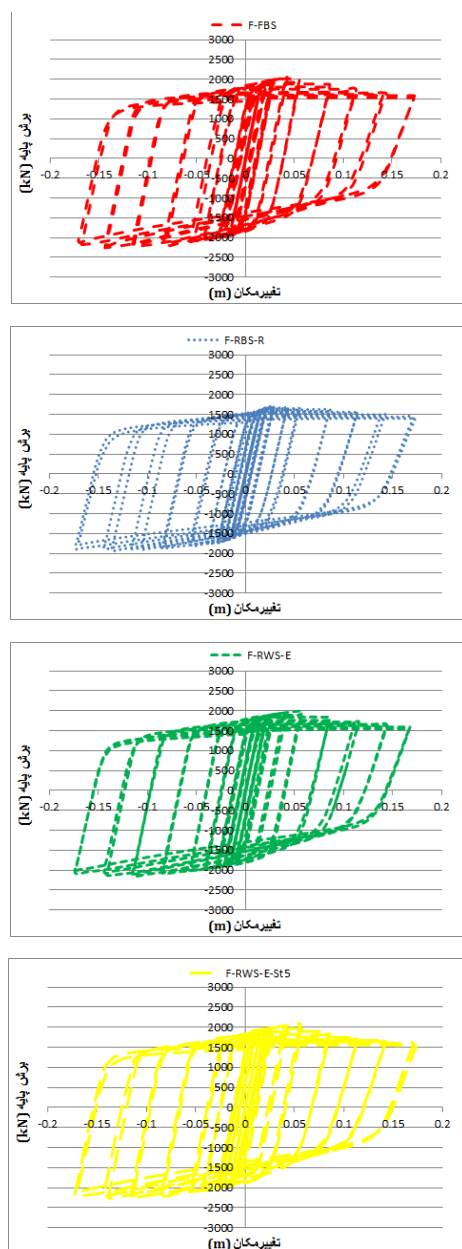
داده شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است ماکزیمم مقاومت خمشی اتصالات در زوایه دریافت ۰/۰۴ رادیان رخ داده و بعد از این زوایه اتصال دچار تنزل مقاومت می‌شود. با دقت در نتایج این منحنی‌ها درمی‌یابیم وجود سخت کننده بر کاهش عملکرد چرخه‌ای اتصال تأثیر جزئی دارد. تأثیر افزایش ضخامت ورق سخت کننده نیز بر کاهش عملکرد چرخه‌ای اتصال ناچیز است.



شکل ۲۰ منحنی‌های چرخه‌ای اتصالات

شکل (۲۱) انرژی مستهلک شده‌ی اتصالات را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج این شکل مشخص است استفاده از ورق سخت کننده به مقدار کم سبب افزایش استهلاک انرژی در اتصالات

سخت کننده بر کاهش عملکرد چرخه‌ای تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

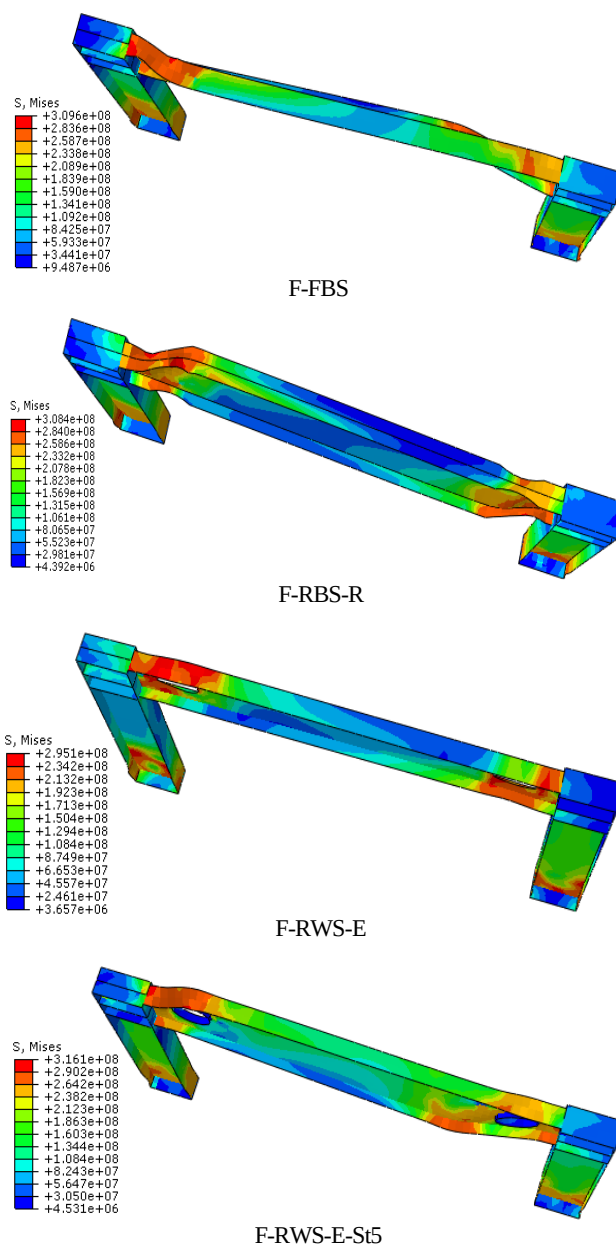


شکل ۲۳ منحنی‌های چرخه‌ای برش پایه-تغییر مکان

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثرات برش بیضوی در جان تیر، برش شعاعی در بال تیر و نیز اثر وجود سخت کننده تیر، بر رفتار تیر، اتصال و قاب خمشی فولادی RBS و RWS مطالعه شد. با استفاده از روش اجزاء محدود غیرخطی با المان‌های سه بعدی در نرم افزار ABAQUS، تحلیل‌های قاب تحت بارگذاری چرخه‌ای انجام شد. از معیار شکست فون-میزز و کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) جهت ارزیابی

در نواحی نزدیک به اتصال رخ داده است. همچنین این قاب‌ها دچار کماتش‌های پیچشی جانبی شده‌اند. اما در قاب F-RWS-E علاوه بر دور کردن تنش‌ها از بر ستون تغییر شکل و کماتش کمتری در آن رخ داده است.



شکل ۲۲ توزیع تنش فون میز در گام نهایی بارگذاری

پاسخ هیستریزس برش پایه-تغییر مکان قاب‌ها در شکل (۲۳) نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج این شکل مشخص است قاب با تیر مقطع کاهش یافته ظرفیت برشی کمتری نسبت به سایر قاب‌ها از خود نشان داده است. عملکرد چرخه‌ای سایر قاب‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. با دقت در نتایج این منحنی‌ها درمی‌یابیم استفاده از

استفاده از سخت‌کننده تاثیر کمی در ارتقاء عملکرد قاب‌های خمشی با تیر مقطع کاهش یافته دارد، زیرا علاوه بر این که محل تشکیل مفصل پلاستیک را از بر ستون خیلی دور نمی‌کند، عملکرد چرخه‌ای قاب را نیز چندان بهبود نمی‌بخشد.

با افزایش ضخامت ورق سخت‌کننده تنش‌ها و تغییرشکل‌ها به بر ستون نزدیک‌تر می‌شوند. تأثیر استفاده از سخت‌کننده و نیز افزایش ضخامت ورق سخت‌کننده بر کاهش عملکرد چرخه‌ای اتصال ناچیز است. همچنین، استفاده از سخت‌کننده، به مقدار کم، سبب افزایش استهلاک انرژی در اتصال می‌شود.

در قاب‌های جوشی با تیر مقطع کامل، با تیر با برش شعاعی و با تیر با برش بیضوی همراه با سخت‌کننده، بیشترین تنش‌ها و تغییرشکل‌ها در نواحی نزدیک به اتصال رخ می‌دهد. همچنین این قاب‌ها دچار کماتش‌های پیچشی-جانبی می‌شوند. اما در قاب با برش بیضوی در جان تیر علاوه بر دور کردن تنش‌ها از بر ستون، تغییرشکل و کماتش کمتری در آن رخ می‌دهد.

قاب با تیر مقطع کاهش یافته به روش برش شعاعی، ظرفیت برشی کمتری نسبت به سایر قاب‌ها از خود نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

نتایج استفاده شد. همچنین، به منظور اطمینان از صحت نتایج مدل-سازی‌های عددی انجام یافته، نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی پژوهش‌های پیشین تطبیق داده شد.

اهم نتایج به دست آمده از این تحقیق، به صورت زیر قابل نتیجه‌گیری هستند:

اتصال با تیر مقطع کامل، بیشترین مقدار اندیس شکست را دارد. مقدار اندیس شکست برای اتصال با تیر با مقطع کاهش یافته به روش برش شعاعی در بال نسبت به اتصال با برش بیضوی در جان بیشتر است. اندیس شکست بالا احتمال رخ دادن پارگی در دریافت-های پایین را افزایش می‌دهد، بنابراین پتانسیل شکست برای اتصال با برش بیضوی کمتر می‌باشد.

نسبت مقاومت ماکزیمم به مقاومت در گام نهایی بارگذاری برای اتصالات با مقطع کامل و با مقطع کاهش یافته به روش برش شعاعی و برش بیضوی به ترتیب برابر $0/66$ ، $0/64$ و $0/70$ می‌باشد که نشان‌دهنده تنزل مقاومت کمتر اتصال با برش بیضوی است.

اتصال با برش بیضوی در جان حدود ۱۵ درصد انرژی بیشتری نسبت به اتصال با برش شعاعی مستهلک می‌کند، که بیانگر شکل-پذیری بیشتر این اتصال می‌باشد.

مراجع

- [1] Jones SL, Fry GT, Engelhardt MD. Experimental evaluation of cyclically loaded reduced beam section moment connections. *Journal of Structural Engineering*. vol. 128, no. 4. Pp.441-51, 2002.
- [2] Bertero VV. Performance of steel building structure during the Northridge earthquake. Report No. UCB/EERC-94/09. 1994.
- [3] S. J. Chen, C. H. Yeh, J. M. Chu, "Ductile steel beam-to-column connections for seismic resistance," *Journal of Structural Engineering*, vol. 122, no. 11, pp. 1292-1299, 1996. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:11\(1292\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:11(1292))
- [4] S. L. Jones, G. T. Fry, M. D. Engelhardt, "Experimental Evaluation of Cyclically Loaded Reduced Beam Section Moment Connections," *Journal of Structural Engineering*, vol. 128, no. 4, pp. 948-953, 2002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:4\(441\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:4(441))
- [5] Zhang X, Ricles JM. "Experimental evaluation of reduced beam section connections to deep columns". *Journal of Structural Engineering*. vol. 132, no.3, pp346-57. 2006;
- [6] S. Kumar, and D. Rao, "RHS beam-to-column connection with web opening—experimental study and finite element modeling," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 62, no. 8, pp. 739-46, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.11.016>

- [7] SAC Joint Venture. Guidelines Development Committee, SAC Joint Venture, Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council, California Universities for Research in Earthquake Engineering. Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-frame Buildings. Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [8] D. T. Pachoumis, E. G. Galoussis, C. N. Kalfas, and I. Z. Efthimiou, "Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections experimental analysis and finite element model simulation," *Engineering Structures*, vol. 32, no. 9, pp. 2683-2692, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.04.038>
- [9] C. E. Sofias, C. N. Kalfas, and D. T. Pachoumis, "Experimental and FEM analysis of reduced beam section moment end plate connections under cyclic loading," *Engineering Structures*, vol. 59, pp. 320-329, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.11.010>
- [10] Code P. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance—Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. Incorporating Corrigendum March. 2010.
- [11] S. El-Tawil, T. Mikesell, E. Vidarsson, S. Kunnath, "Strength and Ductility of FR Welded Bolted Connections," Report No. SAC/BD-98/01, SAC Joint Venture, Sacramento, CA, 1998.
- [12] ANSI/AISC 358-16. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications.
- [13] M. Davarpanah, H. R. Ronagh, P. Memarzadeh, and F. Behnamfar, "Cyclic behaviour of elliptical-shaped reduced web section connection," *Journal of Structural Design*, vol. 24, pp. 955–973, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.016>
- [14] M. Davarpanah, H. Ronagh, P. Memarzadeh, and F. Behnamfar, "Cyclic behavior of welded elliptical-shaped RWS moment frame," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 175, pp. 106319, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106319>
- [15] H. R. Nazaralizadeh, H. Ronagh, P. Memarzadeh, and F. Behnamfar, "Cyclic performance of bolted end-plate RWS connection with vertical-slits," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 173, pp. 106236, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106236>
- [16] D. D. Yan, B. L. Zhou, X. Guo, F. Lai, X. Wei, Y. P. Xu, and M. Esfandi-Jahani, "Investigation of behavior of interior steel connections with openings in beam web and flange under monotonic loading," *Advanced Steel Construction*, vol. 17, no. 4, pp. 340-348, 2021. <https://doi.org/10.18057/IJASC.2021.17.4.2>
- [17] H. R. Nazaralizadeh, H. Ronagh, P. Memarzadeh, and F. Behnamfar, "A practical design approach to bolted end-plate vertical-slits RWS connection," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 20, pp. 547-586, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01238-2>
- [18] K. D. Tsavdaridis, C. K. Lau, and A. Alonso-Rodríguez, "Experimental behaviour of non-seismical RWS connections with perforated beams under cyclic actions," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 183, pp. 106756, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106756>
- [19] F. F. Almutairi, K. D. Tsavdaridis, A. Alonso Rodriguez, P. G. Asteris, and M. E. Lemonis, "Hysteretic Behaviour of Composite Reduced Web Section (RWS) Connections for Seismic Applications," *Journal of Earthquake*

- Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1080/13632469.2023.2204172>
- [20] H. Y. Chang, C. T. Liao, S. Y. Kang, S. Y. Ho, and C. M. Lai, "Seismic performance of RWS moment connections to steel box-columns and H-beams with general sections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 201, pp. 107691, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107691>
- [21] H. Yu, and W. Li, "Comparison of steel frames with RWS and WFP beam-to-column connections through seismic fragility analysis," *Advances in Structural Engineering*, vol. 24, no. 8, pp. 1583-1598, 2021. <https://doi.org/10.1177/1369433220977284>
- [22] I. Kanao, T. He, Z. Yu, K. Morisako, "Behavior of RBS Beams Reinforced by Stiffeners Subjected to Cyclic Loading," *Journal of Engineering*, vol. 2018, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6173873>
- [23] M. Tahamouli-Roudsari, H. Jamshidi, and M. M. Zangeneh, "Experimental and numerical investigation of IPE reduced beam sections with diagonal web stiffeners," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 533-552, 2018. <https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1234422>
- [24] American Institute of Steel Construction. Seismic provisions for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction; 2002.

Numerical Investigation of Concrete and Helical Pile-Supported Embankments under Railway Traffic Loading

Research Article

Mohammad Amin Mashayekhi¹, Mohammadreza Khanmohammadi² 

DOI: 10.22067/jfcei.2023.80622.1209

1. Introduction

Designing and constructing road or railway embankments are not possible on problematic soils like soft soils due to excessive total and differential settlements, low bearing capacity, high lateral displacement, and slope instability. As a rapid and economical solution, pile-supported embankments have been employed instead of traditional improvement methods of soft soils over recent years. Studies have investigated different piles to be used in pile-supported embankments. Some examples are in-situ concrete piles, precast concrete piles, and prestressed concrete piles. Each type of conventional piles has several issues such as construction problems, damaging the environment and incur large costs that make them deficient in some civil engineering projects. A helical pile is a deep steel foundation system, consisting of one or more helices connected to a central shaft. The easy and rapid installation, recyclability and reusability, eliminated problems of concreting, and low noises during installation are some merits of these piles, resulting in the widespread use of large-scale helical piles in industrial and building projects. The use of helical piles in pile-supported embankments is an alternative whose performance evaluation requires further studies. The shaft diameter of a large-scale helical pile varies between 73 mm and 965 mm, and the diameter of helices connected to it ranges within 152-1219 mm. Some resources consider the ratio of helix diameter to shaft diameter between two and three. The main factor responsible for the load transfer mechanism in pile-supported embankments is the stiffness difference between the soil and piles, and mobilizing the shear strength of the soil. As a result, the stress caused by the weight of embankment layers is transferred from the soft soil to the piles. Terzaghi named this load transfer mechanism, arching. The arching mechanism is evaluated using the arching ratio and efficiency definitions. The arching ratio is defined as follows:

$$SAR = \frac{\sigma_s}{(\gamma H + q)} \quad (1)$$

in which σ_s is the stress imposed on the soil around the pile, γ is the embankment unit weight, H is the embankment height, and q is the uniform surcharge imposed on the embankment

crest. The SAR ranges within zero and one. $SAR = 0$ indicates that the whole load caused by the embankment weight is transferred to the piles, and the arching has occurred thoroughly. On the other hand, $SAR = 1$ shows that the arching has not occurred thoroughly, and no load has been transferred to piles. The efficiency parameter indicates the ratio of the load supplied by piles to the load caused by the embankment weight and surcharge.

$$E = \frac{Q}{s^2(\gamma H + q)} \quad (2)$$

where Q equals the total forces imposed on a pile and s is the spacing of piles. $E=0$ indicates that no arching has happened, while $E=100\%$ shows occurrence of full arching.

2. Numerical modelling

In this study, the behaviour of Helical pile embankment and Concrete pile embankment is determined using a 3-D finite element analysis software ABAQUS. Figure 1 depicts a sample of the meshing of the developed numerical model. The problem considered is composed of 6m high embankment, a crest length of 7.5 m, and lateral slope of 10:1.5, modelled on a uniform clay layer with a depth of 30 m. The piles were considered with cylindrical sections. Table 1 lists the properties of the materials used in the numerical modelling. The soil and piles modelled with eight-noded linear brick with reduced integration elements (C3D8R). Certain assumptions are made in this study to simplify the numerical modelling. Some are as follows. The piles installation process is not considered and the helical plates are modelled as flat plate.

Table 1. Summary of the material parameters used in the finite element analyses

Material	E	γ	ϕ	ν	C
Embankment	15	20	30	0.3	5
Soft soil	5	18.4	22	0.3	8
Concrete	35000	2400	-	0.2	-
Steel	210000	7850	-	0.15	-

*Manuscript received January 15, 2023, Revised, May 31, 2023, Accepted, September 18, 2023.

¹. MSc Student, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

². Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Email: mkhanmohammadi@iut.ac.ir

Regarding the boundary conditions, the displacements in the bottom boundary of the model were considered zero in three directions ($U_x = U_y = U_z = 0$). Moreover, the displacements of the model were considered zero on two sides of the model in the x-axis and two sides of the model in the y-axis ($U_x = U_y = 0$).

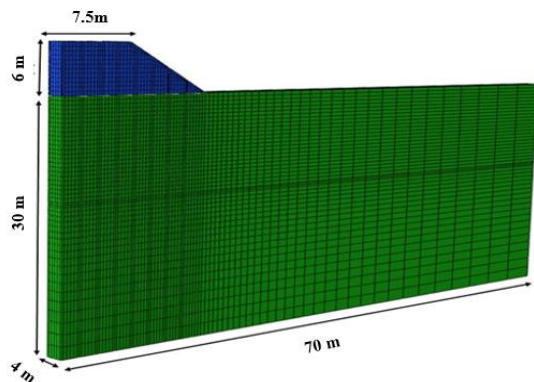


Fig. 1. Schematics of the 3D model meshing

3. Conclusion

Based on the numerical results, the following conclusions are drawn:

1. Helical piles show better performance than concrete piles in controlling embankment settlements and foundation soil,

so that the amount of settlement in the middle of the embankment decreases by 10%, and this difference decreases with distance from the center of the embankment;

2. Examining the stresses on the surface of the foundation soil, which is shown by the stress reduction ratio in this study, indicates that concrete piles are better because of their larger cross-sectional area compared to the helical pile shaft, which is tubular. The load transfer mechanism is formed in the embankment;
3. The control of horizontal and vertical settlements in an embankment system is not directly related to the improvement of the load transfer mechanism;
4. By increasing the height of the embankment, the load transfer mechanism is improved and as this height increases, the percentage of its changes decreases;
5. Using a cap on screw piles makes the force in the pile better distributed. Moreover, due to the better transfer of stresses to the pile and the reduction of pressure from the foundation soil, the cap reduces the amount of vertical settlements by 19% compared to the case without the cap;
6. Adding blades to the pile body is not effective in improving the performance of embankments based on helical piles. Only the load transfer mechanism is improved in the distance ratio of 1.5.



مطالعه عددی خاکریزهای متکی بر شمع‌های پیچی و بتنی تحت بارگذاری ترافیکی راه آهن*

مقاله پژوهشی

محمد رضا خانمحمادی^(۲) محمد امین مشایخی^(۱)

DOI: 10.22067/jfcej.2023.80622.1209

چکیده امروزه استفاده از المان‌های سازه‌ای مانند شمع‌ها، به عنوان یک راه‌حل مؤثر در بهبود عملکرد کلی یک سیستم خاکریزی به لحاظ پایداری و کنترل نشست در نظر گرفته می‌شوند. در سال‌های اخیر استفاده از شمع‌های پیچی به دلیل عملکرد مناسب تحت بار فشاری و کششی، نصب سریع و آسان شمع و حذف مشکلات بتن‌ریزی مورد توجه قرار گرفته است. این مقاله یک بررسی عددی از مقایسه عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع‌های پیچی و بتنی ساخته شده بر روی خاک نرم، ارائه می‌دهد. برای این منظور مدل‌های المان محدود سه بعدی به‌طور جداگانه از خاکریزهای متکی بر شمع‌های پیچی و بتنی در حالی که طول و قطر شفت شمع‌های آن‌ها یکسان است، در نرم‌افزار آباکوس توسعه داده می‌شوند. نتایج مدل‌سازی‌های عددی با مشاهدات میدانی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی دیگر پژوهشگران اعتبارسنجی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد استفاده از شمع‌های پیچی در مقایسه با شمع‌های بتنی، باعث کاهش قابل قبول نشست در خاکریز و خاک نرم پی خواهد شد، و حرکات جانبی خاکریز را کنترل می‌کند. همچنین توزیع نیروی محوری در شمع حاکی از آن است که شمع پیچی ظرفیت باربری بیشتری نسبت به شمع بتنی دارد و شمع‌ها به صورت اصطکاکی رفتار می‌کنند. حضور کلاهک شمع، باعث کنترل قابل قبول نشست‌ها در سیستم خاکریز متکی بر شمع می‌شود و ظرفیت باربری بیشتری در شمع بسیج خواهد شد. همچنین اضافه کردن پره به بدنه شمع در فواصل مختلف، تأثیر چشمگیری در بهبود عملکرد سیستم خاکریزهای متکی بر شمع نمی‌گذارد و حتی ممکن است باعث افزایش نشست و پایین آمدن مکانیزم انتقال بار شود.

واژه‌های کلیدی نشست‌های کلی و تفاضلی، خاکریزهای متکی بر شمع، شمع‌های پیچی، ظرفیت باربری، مدل‌سازی عددی.

Numerical Investigation of Concrete and Helical Pile-supported Embankments Under Railway Traffic Loading

Mohammad Amin Mashayekhi

Mohammadreza Khanmohammadi

Abstract The use of structural elements such as piles are considered as an effective solution in improving the overall performance of an embankment system in terms of stability and settlement control. In recent years using helical piles has been considered due to their proper performance. This research presents a numerical investigation to compare the performance of embankments rested on concrete and helical piles. A 3D finite element models are developed separately in ABAQUS software for embankments based on helical and concrete piles while the length and diameter of their pile shafts are the same. The model was validated via comparing the obtained numerical results with the field and laboratory measurements (observation). The results show that the helical piles have significantly reduced the settlement in the embankments and the soft foundation soil and controlled lateral embankment displacement. Also, the distribution of axial force along the embedment depth of the pile indicates that the helical pile has higher bearing capacity than the concrete pile and behaves frictionally. The presence of the cap on the helical pile was also examined and the results show that it causes adequate control of the settlement in the embankment system and increases the bearing capacity of the piles. In addition, adding the blade to the pile body at different distances does not have a significant effect on improving the performance of the pile-supported embankment system while it could lead to embankment settlement and lower load transmission.

Key Words Absolute and differential settlement, Pile-supported, Helical pile, Bearing Capacity, Numerical modelling.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۱۰/۲۵ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۴/۳ می‌باشد.

(۱) دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

(۲) نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

مقدمه

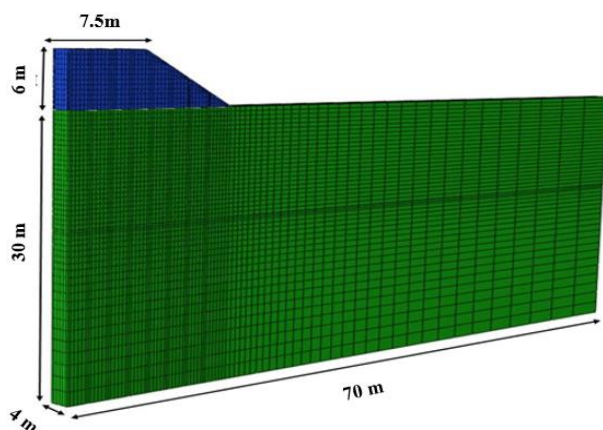
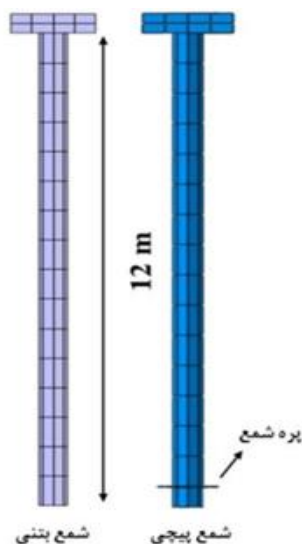
ساخت خاکریزها بر روی خاک‌های رسی نرم به دلیل ظرفیت باربری پایین، نشست پذیری بالا و ناپایداری شیب خاکریز، برای مهندسان ژئوتکنیک موضوعی چالش برانگیز است. روش‌های مختلفی برای بهبود خواص مهندسی این نوع خاک‌ها استفاده شده است. خاکریزهای متکی بر شمع به دلیل ساخت سریع و ارزان و کاهش نشست‌های کلی و تفاضلی در مقایسه با سایر روش‌های سنتی بهسازی خاک‌های نرم، بیشتر استفاده می‌شود [1]. تحقیقات مختلفی بر روی خاکریزهای متکی بر شمع و بررسی عوامل موثر بر عملکرد آن‌ها تحت بارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی انجام شده است. تمرکز اکثر مطالعات انجام شده بر روی استفاده از شمع‌های بتنی که به صورت درجا یا پیش‌ساخته استفاده می‌شوند، است. فام و دیاز (Pham and Dias) (۲۰۲۱) [2] به ارائه یک مطالعه پارامتریک گسترده با استفاده از مدل‌سازی عددی سه‌بعدی بر روی خاکریزهای تقویت شده با شمع و ژئوسنتتیک پرداختند. تحلیل عددی بر روی خاکریز چسبنده و غیرچسبنده به منظور تاکید بر انسجام خاک بر کارایی عملکرد خاکریز در انتقال بار و نشست انجام شده است. ناوین کومار (Naveen kumar) و همکاران (۲۰۲۰) [3]، در پژوهشی بر روی عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع‌های بتنی تحت بار ترافیکی راه‌آهن پرداختند؛ در این مطالعه مدول الاستیسته شمع و خاکریز، زاویه اصطکاک داخلی مصالح خاکریز و فاصله شمع‌ها مطالعه شد و اثرات آن‌ها بر عملکرد سیستم خاکریز متکی بر شمع مورد بررسی قرار گرفت. وو و همکاران (Wu et al) و همکاران [4] (۲۰۱۹) به مطالعه میدانی یک سیستم خاکریزی متکی بر شمع پرداختند. خاکریز با ارتفاع ۴۰ متر بر روی شمع‌های پیش‌تنیده بتنی ساخته شده بود. مجموعه‌ای از آزمایش‌های میدانی شامل بارگذاری سر شمع، نشست و جابجایی‌های جانبی انجام شد. بهاسی و راجاگوپال (Bhasi and Rajagopal) (۲۰۱۵) [5]، با بررسی عددی عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع‌های با باربری انتهایی و اصطکاک، نشان دادند که استفاده از شمع‌های اصطکاک می‌تواند به طور قابل توجهی نشست را کاهش دهد و مشخص شد که بار خاکریز منتقل شده از شمع به خاک پی، به طور قابل ملاحظه‌ای بستگی به طول شمع دارد. جیانگ (Jiang et al) و همکاران (۲۰۱۴) [6] یک تجزیه و تحلیل عددی از یک خاکریز با تکیه گاه دال-شمع برای راه‌آهن سریع السیر پکن-تیانجین در چین را ارائه می‌دهند. در این پروژه از شمع‌های خاکستر-شن سبک (Cement-flyash-gravel) (CFG) استفاده شد و نتایج با داده‌های میدانی مقایسه

شد. نتایج نشان می‌دهد که ستون‌های (CFG) بیشتر بار خاکریز را حمل می‌کردند و ترکیب شمع‌های صلب و دال بتنی مسلح به طور قابل توجهی تنش‌های عمودی اعمال شده به خاک بین شمع‌ها را کاهش می‌دهد. براینکون و سیمون (Briancon and Simon) (۲۰۱۲) [7] و چن (Chen et al) و همکاران (۲۰۱۰) [8] به مطالعه تمام مقیاس عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع در پروژه‌های میدانی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد استفاده از شمع‌ها می‌تواند فشار اعمالی بر روی خاک نرم زیر خاکریز را کاهش دهد و سهم بار بیشتری بر روی شمع‌ها وارد شود. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که استفاده از شمع‌های پیچی در خاکریزهای متکی بر شمع نیازمند مطالعه بیشتری است. شمع پیچی یک سیستم پی عمیق ساخته شده از فولاد است و شامل یک یا چند صفحه باربر مارپیچ متصل شده می‌باشد که در فواصل مختلف در امتداد یک شفت مرکزی متصل شده‌اند. در شکل (۱) یک نمونه شمع پیچی با دو مارپیچ نمایش داده شده است. ابعاد قطر شفت (D) معمولاً بین ۱۷۸ میلیمتر تا ۹۱۴ میلیمتر می‌باشد و قطر پره (DP) معمولاً به اندازه ۲ تا ۳ برابر قطر صفحه مارپیچ است [9,10]. استفاده از شمع‌های پیچی به علت ظرفیت باربری بالا برای تحمل بار فشاری در کاربردهای مهندسی در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته است. یک شمع پیچی می‌تواند در هر عمق و در هر زاویه ای (با توجه به شرایط خاک) از طریق نیروی محوری و گشتاور پیچشی که توسط یک موتور گشتاور هیدرولیکی به بالای شمع اعمال می‌شود، وارد زمین شود. مزایای استفاده از شمع‌های پیچی در مقابل شمع‌های بتنی عبارتند از: ۱. قابلیت حذف و نصب مجدد، ۲. کاهش خطرات حفاری و حذف مشکل بتن ریزی، ۳. سر و صدای کم و ایجاد ارتعاش حداقل و سازگاری بیشتر با محیط زیست، ۴. عدم ایجاد نخاله حین حفاری و قابلیت استفاده مجدد، ۵. استفاده در طیف وسیعی از خاک‌ها [11,12].

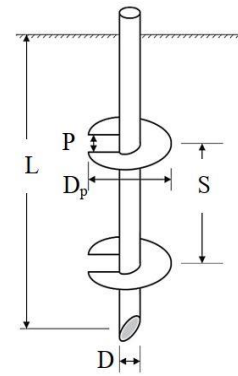
محققان مختلفی به مطالعه عملکرد شمع‌های پیچی پرداخته‌اند. الشربینی و النگار (Elsherbiny and El Naggar) (۲۰۱۳) [13] رفتار فشاری محوری شمع پیچی را در ماسه و خاک رس مطالعه کرده‌اند. آن‌ها روشی را برای طراحی شمع‌های پیچی با استفاده از نتایج مدل‌های عددی پیشنهاد کردند. همچنین پاون کومار و همکاران (Elsherbiny and El Naggar) (۲۰۲۱) [14] به مقایسه عملکرد شمع‌های پیچی با شمع‌های بتنی تحت بار جانبی و محوری پرداختند.

ابعاد $۱/۵ \times ۱/۵ \times ۰/۵$ متر، استفاده شده است. در این مطالعه با توجه مطالعه کومار و همکاران برای مقایسه، طول شمع‌ها برابر در نظر گرفته شد و همچنین قطر شفت شمع پیچی با قطر شمع بتنی توپر نیز یکسان فرض شد [14]. شکل (۲) ابعاد هندسه شمع و خاکریز مدل شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

همچنین مشخصات هندسی شمع‌ها به طور کامل در جدول (۱) خلاصه شده است. شرح روند مدل‌سازی به ترتیب زیر می‌باشد که در گام اول تحلیل با استفاده از استپ ژئواستاتیک تنش‌های برجا به خاک وارد می‌شود و سپس شمع‌ها در خاک قرار می‌گیرند و جابجایی‌ها و تنش‌های ایجاد شده برابر با صفر می‌شود. در گام بعدی، خاکریزی با ارتفاع ۶ متر در ۳ مرحله با اندازه‌های ۲ متر تحت وزن خاک خاکریز بارگذاری می‌شود و سپس در گام آخر، معادل تنش بارگذاری ترافیکی بر روی تاج خاکریز اعمال می‌شود.



شکل ۲ شبکه‌بندی مدل المان محدود و ابعاد استفاده شده در مدل



شکل ۱ نمونه شمع پیچی دوپره

مرور ادبیات فنی نشان می‌دهد که رفتار خاکریزهای متکی به شمع‌های پیچی نیازمند مطالعه بیشتری است و با توجه به مزایا ذکر شده شمع‌های پیچی می‌توان از آن‌ها به عنوان جایگزینی مناسب برای شمع‌های بتنی اسم برد. در این مطالعه با فرض یکسان بودن مشخصات ژئوتکنیکی خاک و شرایط بارگذاری، عملکرد شمع‌های پیچی و بتنی مقایسه می‌شود و ساز و کار انتقال بار در خاکریز و همچنین میزان نشست‌ها و جابجایی‌های قائم و افقی خاکریز بررسی شده است، و در نهایت به بررسی کلاهک شمع و اثرات آن در عملکرد شمع‌های پیچی و کاهش میزان نشست‌های افقی و قائم خاکریز مطالعه می‌شود.

مدل‌سازی عددی

به منظور ساخت مدل خاکریز متکی بر شمع مورد مطالعه در این مقاله از نرم افزار المان محدود آباکوس (Abaqus) استفاده شده است. جهت بررسی دقیق مطالعات انجام شده، مدل‌های ایجاد شده به صورت سه بعدی می‌باشد و با توجه به تقارن مدل، تنها نیمی از مدل ساخته شده است.

هندسه مدل

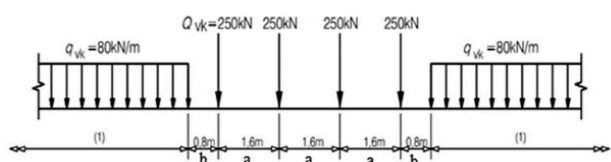
در این مطالعه یک خاکریز با شیب $۱:۱/۵$ با ارتفاع ۶ متر که دارای $۷/۵$ متر طول تاج خاکریزی می‌باشد، برای بررسی و مدل سازی انتخاب شده است. خاکریز ذکر شده بر روی یک لایه یکنواخت خاک نرم رسی با ارتفاع ۳۰ متر ساخته شده است. ابعاد خاک پی تا طول ۷۰ متر به منظور شرایط مرزی و کاهش اثر آن بر میدان‌های جابجایی و تنش و کرنش سازه امتداد یافته است و بعد عمود بر صفحه به دلیل استفاده از یک ردیف شمع برابر با ۴ در نظر گرفته شده است [15]. از شمع‌های پیچی با شفت توخالی و شمع‌های بتنی توپر که روی آن یک کلاهک به

شبکه‌بندی و شرایط مرزی

شکل (۲) نمای خاکریز متکی بر شمع شبکه‌بندی شده در مدل المان محدود را نمایش می‌دهد. اندازه المان‌ها در اطراف شمع و سطح تماس خاک و خاکریز، ریزتر در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی شمع و خاک از المان‌های ۸ گرهی با انتگرال‌گیری کاهش یافته (C3D8R) استفاده شده است. به منظور کاهش اثر شرایط مرزی بر روی نتایج، مرزهای مدل امتداد یافته است. شرایط مرزی مدل به این صورت می‌باشد که مرز پایینی مدل، جابجایی‌ها در سه جهت ($U_x = U_y = U_z = 0$) برابر با صفر تنظیم شده است. همچنین در جهت x در دو سمت مدل جابجایی برابر با صفر در نظر گرفته شده است ($U_x = 0$) و در جهت y، در دو سمت مدل نیز مقدار جابجایی برابر با صفر در نظر گرفته شده است ($U_y = 0$).

شبیه‌سازی بارگذاری ترافیکی

اثر حالت تنش-کرنش سازه تحت بار ترافیکی قطار به صورت سربار عمودی اعمال می‌شود، که به‌طور مساوی در عرض تراورس توزیع شده است. برای شبیه‌سازی بارگذاری از مدل قطار LM71 که در شکل (۳) آمده است با توجه به نشریه ۲۷۹ مشخصات فنی و عمومی زیرسازی راه‌آهن استفاده شده است [3, 18-20].



شکل ۳ مدل بارگذاری قطار LM71

به‌منظور توزیع یکنواخت تنش در عرض تراورس از رابطه زیر برای تبدیل بارمحوری چرخ به بار یکنواخت گسترده، با توجه به مقادیر بارگذاری LM71 استفاده شده است:

$$q = \frac{4 \times Q_{vk}}{(3 \times a + 2 \times b) \times B} \quad (1)$$

که در آن مقدار Q_{vk} بار متمرکزی است که مطابق با شکل مقدار آن ۲۵۰ کیلو نیوتون در نظر گرفته شده است. همچنین پارامترهای a و b؛ پارامترهای هندسی می‌باشند که مقدار آن با توجه به نشریه ۲۷۹، به ترتیب ۱/۶ و ۰/۸ متر در نظر گرفته

جدول ۱ پارامترهای هندسی شمع‌های استفاده شده در مدل المان محدود

مشخصات هندسی	شمع پیچی	شمع بتنی
طول شمع (m)	۱۲	۱۲
قطر شفت (m)	۰/۵	۰/۵
ضخامت شفت (m)	۰/۰۱	-
قطر مارپیچ (m)	۱	-
ضخامت مارپیچ (m)	۰/۰۲۵	-

پارامتر مصالح و مدل رفتاری

جنس مصالح خاکریز عموماً از جنس خاک‌های دانه‌ای است، که در این مطالعه خشک در نظر گرفته شده است. همچنین خاک پی از خاک رسی نرم با مشخصات ژئوتکنیکی ضعیف ساخته شده است. برای خاک رسی فرض شده است زهکشی رخ داده است و از پارامترهای زهکشی برای خاک استفاده می‌شود. مشخصات مهندسی متفاوتی برای خاک‌ها در مقالات مختلف گزارش شده است. پارامترها و ابعاد فرض شده برای شمع و خاک در این مطالعه از مقالات ذکر شده در سوابق تحقیق انتخاب شده است. پارامترهای مکانیکی و ژئوتکنیکی مورد استفاده برای خاک و شمع در این مطالعه به صورت کلی در جدول (۲) بیان شده است. برای مدل‌سازی خاک دانه‌ای و رسی از مدل رفتاری الاستو-پلاستیک موه‌ر کلمب استفاده شده است و شمع‌های بتنی و پیچی به صورت الاستیک خطی مدل‌سازی شده است. رفتار مماسی سطح بین خاک و شمع با استفاده از مدل اصطکاکی کولمب و از نوع جریمه تعریف شده است که در آن حرکت نسبی مماسی تا زمانی که تنش برشی به یک مقدار بحرانی برسد برابر با صفر می‌باشد و زمانی که مقدار تنش برشی از مقاومت از مقاومت برشی سطح تماس و یا فشار سطح تماس بالاتر برود، لغزش رخ می‌دهد. ضریب اندرکنش بین خاک و شمع در این مطالعه برابر مقدار ۰/۷ در نظر گرفته شده است [16-17].

جدول ۲ پارامترهای مصالح استفاده شده در مدل المان محدود

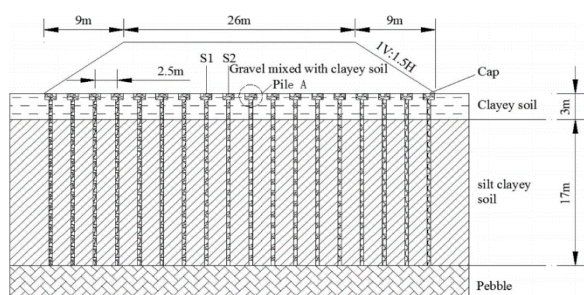
Material	E (MPa)	$\gamma (\frac{kN}{m^3})$	ϕ'	ν	C (KPa)
Embankment	15	20	30	0.3	5
Soft soil	5	18.4	22	0.3	8
Concrete	35000	2400	-	0.2	-
Steel	210000	7850	-	0.15	-

جدول ۳ پارامترهای استفاده شده خاک در مدل‌های اعتبارسنجی

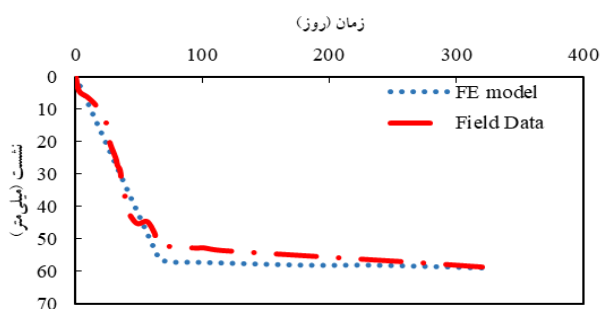
Pile embankment					
Material	E (MPa)	$\gamma (\frac{kN}{m^3})$	ϕ'	ν	C (KPa)
Embankment	21	15	32	0.3	0
ML	6.5	19.3	21	0.35	0
CL	2.4	16.7	24	0.3	0
GM	40	19.4	30	0.27	0
Helical pile					
Depth (m)	E (MPa)	$\gamma (\frac{kN}{m^3})$	ϕ'	ν	Ψ
0-5	50	20	24	0.3	10
5-9	50	20	21	0.3	10

جدول ۴ مشخصات هندسی شمع‌های استفاده شده در مدل‌های اعتبارسنجی

Parameter	Helical pile	Pile embankment
Shaft diameter (mm)	273	400
Depth of pile (m)	5.5	20
Helix diameter (mm)	610	-
Number of helix	1	-
Thickness of the shaft (mm)	9.3	50
Thickness of the helix (mm)	20	-



شکل ۴ مقطع عرضی از خاکریز بزرگ راه TJ



شکل ۵ نشست سر کلاهک شمع نسبت به زمان

شده است. همچنین B پارامتر نشان دهنده عرض بارگذاری می‌باشد. مقدار B در این مسئله برابر با ۲/۵ متر که معادل با طول استاندارد یک تراورس است در نظر گرفته شده است. α ضریب ضربه دینامیکی می‌باشد که روابط تجربی مختلفی برای آن گزارش شده است. برای تاثیر اثرات دینامیکی بارگذاری راه آهن، بار گسترده به دست آمده از رابطه (۱) در مقدار α ضرب می‌شود. در این مطالعه از استاندارد (AREA) (American Railway Engineering Association) متعلق به سازمان راه آهن آمریکا استفاده شده است که رابطه آن به صورت ذیل است:

$$\alpha = 1 + \frac{0.00521 + V}{D_w} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، D_w قطر چرخ که مقدار آن ۱ متر و (km/h) سرعت قطار می‌باشد که در این مطالعه ۱۶۰ فرض شده است.

اعتبارسنجی مدل سازی عددی

در این قسمت دو مدل با توجه به داده‌های میدانی گزارش شده از خاکریز متکی بر شمع و داده‌های آزمایشگاهی مربوط به بارگذاری یک شمع پیچی که در ابعاد واقعی آزمایش شده است، برای اعتبارسنجی مدل سازی عددی انتخاب شده است.

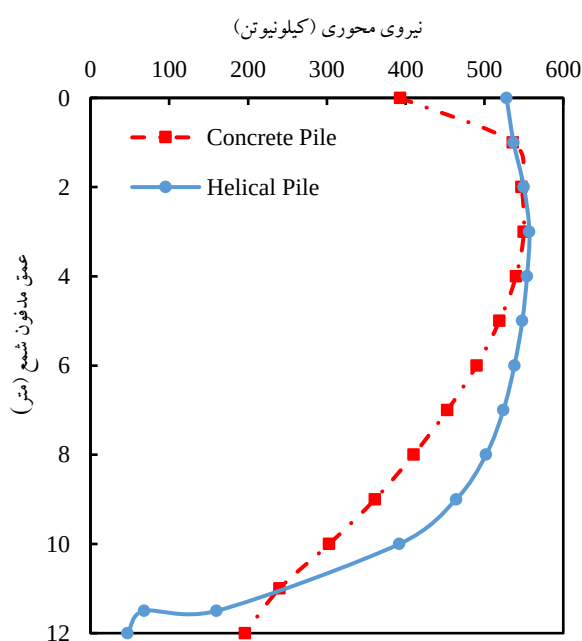
خاکریز متکی بر شمع

به منظور اطمینان از نحوه مدل سازی و بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی، داده‌های گزارش شده از یک پروژه میدانی یک سیستم خاکریزی متکی بر شمع توسط چن و همکاران (۲۰۱۰) [8]، استفاده می‌شود. جدول (۳) و (۴) به ترتیب خصوصیات خاک و هندسه شمع مدل صحت سنجی را نشان می‌دهد. مدل عددی خاکریز با نرم افزار المان محدود آباکوس توسعه داده شده است و نتایج عددی با نتایج گزارش شده توسط داده‌های میدانی، مقایسه شد. شکل (۴) ابعاد خاکریزی و شمع‌ها و نحوه استقرار آن‌ها را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج تطابق خوبی را بین نتایج مدل عددی و داده‌های میدانی نشان می‌دهد. شکل (۵) میزان نشست در کلاهک شمع و شکل (۶) میزان نشست سطح خاک نرم پی مابین شمع‌ها را نسبت به زمان ساخت خاکریز نشان می‌دهد. با توجه به اینکه خاکریز در یک دوره ۶۵ روزه احداث شده است، از کمی بعد از انتهای این زمان شکست در روند نمودارهای فوق مشاهده می‌شود.

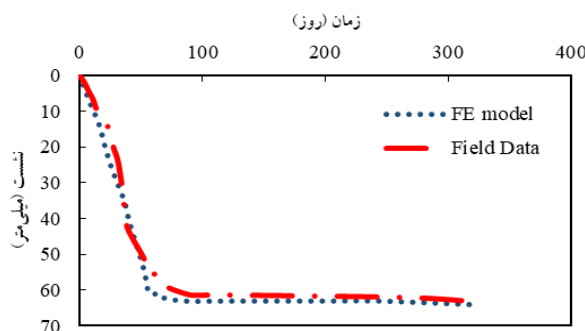
پیچی و بتنی مقایسه شده است و با تعریف پارامتر نسبت کاهش تنش میزان ساز و کار انتقال بار بین این دو شمع مقایسه شده است. همچنین اثر کلاهک بر روی شمع پیچی مطالعه می‌شود.

مقایسه عملکرد شمع‌های بتنی و پیچی

گروه شمع‌های بتنی و پیچی در یک خاکریز متکی بر شمع مطالعه شده‌است، شمع‌ها در فواصل ۲ متری از یکدیگر مدل‌سازی شده‌اند و تمام پارامترها و ابعاد خاک در مدل به صورت یکسان فرض شده است و فقط نوع شمع تغییر کرده است. همچنین برای مدل‌سازی بار راه‌آهن میزان تنش یکنواخت به مقدار ۱۱۵ کیلونیوتون بر متر مربع بر روی سطح خاکریز توزیع شده است. شکل (۸) میزان توزیع نیروی محوری در راستای عمق مدفون شمع پیچی و بتنی نزدیک به مرکز خاکریز را نشان می‌دهد. شکل (۸) نشان می‌دهد شمع پیچی ظرفیت باربری بیشتری را در سر شمع و جداره شمع نسبت به شمع بتنی دارد و باعث بهبود سیستم خاکریزی می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد با توجه به سطح مقطع کوچک‌تر شمع پیچی در مقایسه با شمع بتنی در انتهای شمع، ظرفیت باربری نوک در شمع بتنی بیشتر است. اما با توجه به رفتار اصطکاکی شمع‌ها این موضوع تاثیری در مقادیر نشست خاکریز و خاک پی نمی‌گذارد و بیشترین تاثیر را ظرفیت جداری شمع در کاهش نشست‌ها دارد.



شکل ۸ توزیع نیروی محوری در راستای عمق مدفون شمع



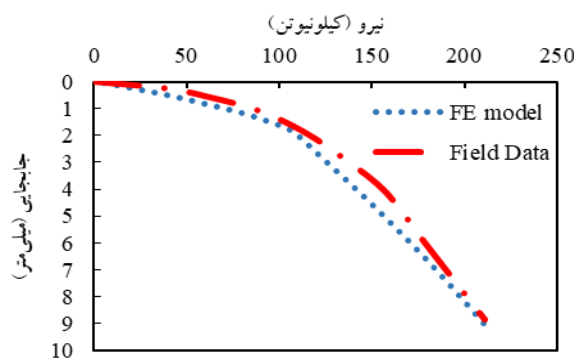
شکل ۶ نشست سطح خاک نسبت به زمان

شمع پیچی

همچنین برای اطمینان از نحوه صحیح مدل سازی شمع پیچی یک نمونه شمع پیچی (Site A - PA1) گزارش شده توسط الشربینی و الذگار (۲۰۱۳) [13] توسط نرم افزار آباکوس مدل‌سازی شد.

اکثر مطالعات عددی انجام شده به صورت یک دیسک استوانه‌ای مدل‌سازی شده است. علت اینکه یک مارپیچ ایده‌آل مدل‌سازی مشخصات خاک و شمع پیچی مدل‌سازی شده به ترتیب در جدول (۳) و (۴) قرار گرفته است.

مارپیچ شمع پیچی در نشده است این است که امکان مدل‌سازی در شرایط تقارن محوری فراهم شود و پیچیدگی مدل در ساخت و شبکه‌بندی کاهش یابد [10]. نمودار بار نشست شمع در شکل (۷) به نمایش درآمده است.



شکل ۷ مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های میدانی آزمایش PA-1

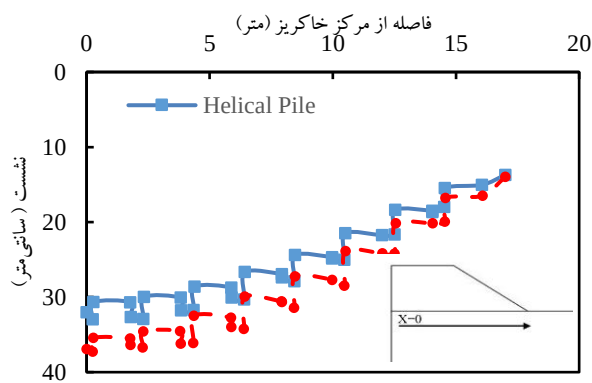
بحث و تحلیل نتایج المان محدود

در این قسمت به بررسی میزان جابجایی‌های قائم و افقی در یک سیستم خاکریزی متکی بر شمع پیچی و بتنی پرداخته شده است و توزیع نیروی محوری در راستای عمق مدفون شمع

در ادامه مکانیزم انتقال بار در خاکریزهای متکی به شمع با نسبت قوس زدگی (SAR) (Soil arching Ratio) تعریف شده است. این نسبت عددی بین ۰ و ۱ است، که مقدار $SAR=0$ ، نشان می‌دهد ساز و کار انتقال بار به صورت کامل رخ داده است و $SAR=1$ نشان می‌دهد که ساز و کار انتقال بار رخ نداده است و تمام بار خاکریزی بر روی خاک زیر خاکریز وارد می‌شود [21]:

$$SAR = \frac{\sigma_s}{\gamma_e H + q} \quad (۳)$$

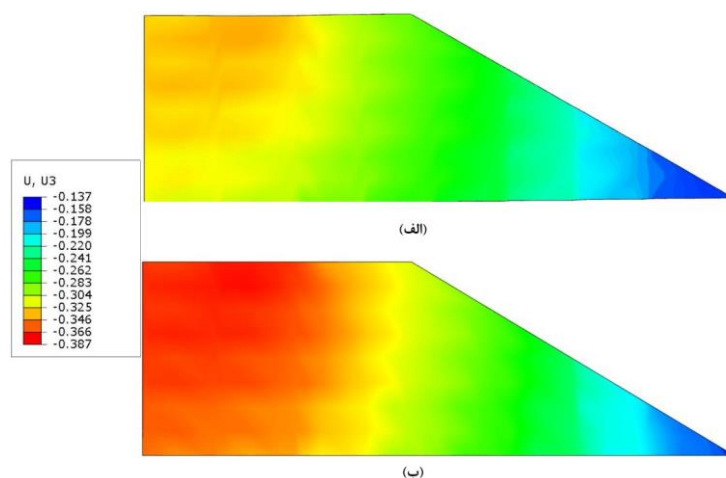
در رابطه (۳) بار گسترده به صورت یکنواخت روی کل سطح خاکریز در نظر گرفته می‌شود؛ در این مقاله به دلیل اینکه بار ترافیکی شبیه‌سازی شده بر روی مقطعی از خاکریز وارد می‌شود و به صورت یکنواخت به طول تاج خاکریز اعمال نمی‌شود، از آن صرف نظر شده است و فقط وزن لایه‌های خاکریزی در نظر گرفته شده است.



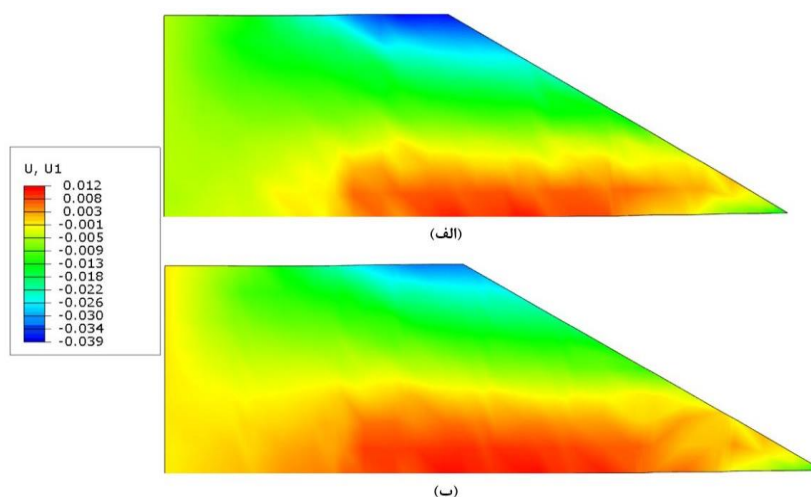
شکل ۹ نشست خاک زیر خاکریز از فاصله مرکز خاکریز تا انتهای خاکریز

میزان نشست در سطح خاک پی در شکل (۹) نشان داده شده است؛ نتایج نشان می‌دهد که شمع‌های پیچی در مقایسه با شمع‌های بتنی توپر عملکرد موثرتری در میزان کنترل نشست‌ها بر روی سطح خاک پی دارند. بیشترین مقدار نشست برای مرکز خاکریز متکی بر شمع می‌باشد و با فاصله گرفتن از مرکز مدل هم میزان نشست خاک پی کاهش پیدا می‌کند و هم میزان اختلاف نشست بین شمع‌های بتنی و پیچی کاهش پیدا می‌کند که می‌توان نتیجه گرفت با کاهش تنش وارده ناشی از وزن خاک و بارگذاری ترافیکی، تفاوت عملکرد بین شمع‌های پیچی و بتنی نیز کاهش پیدا می‌کند.

همچنین میزان نشست‌های افقی و قائم خاکریز دانه‌ای در توضیح عملکرد شمع‌های بتنی و پیچی مقایسه شده است. شکل (۱۰) کانتور تغییرات نشست قائم و شکل (۱۱) کانتور تغییرات جابجایی افقی در خاکریز دانه‌ای را نشان می‌دهد. بیشترین میزان نشست عمودی در خاکریز در زیر بار ترافیکی و کمترین مقدار در پنجه خاکریز رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد شمع پیچی عملکرد بهتری را برای کنترل میزان نشست‌ها در طول خاکریز دارد به طوری که بیشترین میزان نشست برای خاکریز با شمع بتنی ۳۹ سانتی متر و برای شمع پیچی این مقدار به حدود ۳۵ سانتی متر می‌رسد. در مقایسه کانتورهای جابجایی افقی در خاکریز نیز شمع‌های پیچی در مقایسه با شمع‌های بتنی عملکرد مثبتی دارند. به طوری که گوه گسیختگی کوچکتری در بالای شیب خاکریز متکی بر شمع پیچی نسبت به خاکریز متکی بر شمع بتنی تشکیل می‌شود.

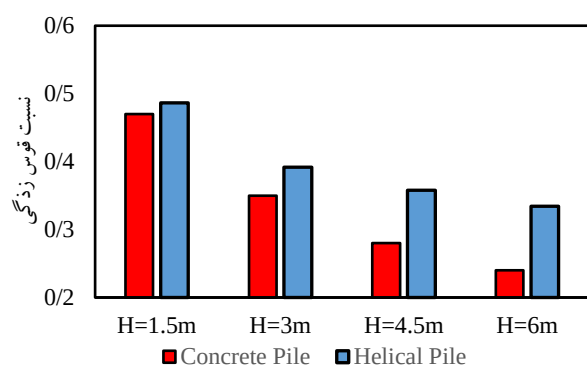


شکل ۱۰ کانتور جابجایی قائم خاکریز دانه‌ای: (الف) شمع پیچی، (ب) شمع بتنی



شکل ۱۱ کانتور جابجایی افقی خاکریز دانه‌ای: (الف) شمع بتنی، (ب) شمع پیچی

میزان بار وارد بر شمع‌های پیچی و بتنی نیز افزایش پیدا می‌کند بطوریکه این تفاوت در ۱/۵ متر خاکریزی ۴ درصد و در انتهای خاکریزی در ارتفاع ۶ متر به میزان ۲۷ درصد می‌رسد.

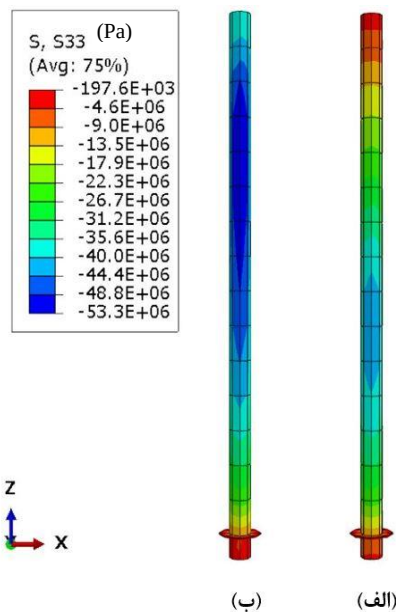


شکل ۱۲ مقایسه نسبت کاهش تنش با توجه به نوع شمع

مقایسه عملکرد شمع‌های پیچی با در نظر گرفتن کلاhek و عدم وجود کلاhek

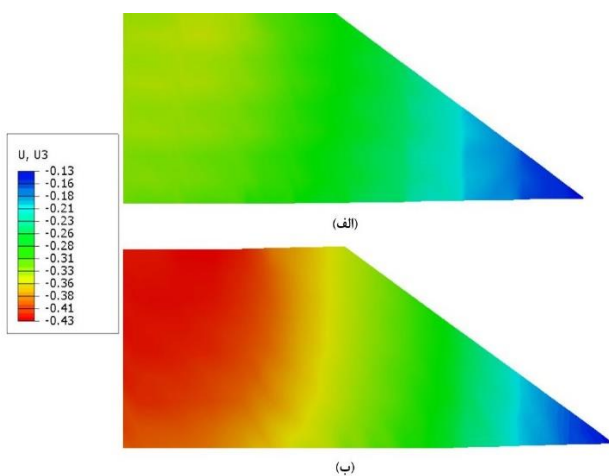
در این قسمت اثر کلاhek بر روی یک سیستم خاکریزی متکی به شمع پیچی مورد مطالعه قرار گرفته است، ابعاد شمع یکسان در نظر گرفته شده است و تمامی شرایط مدلسازی و بارگذاری و پارامترهای خاک یکسان فرض شده است. شکل (۱۳) تفاوت توزیع نیروی محوری در راستای شمع را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که کلاhek بتنی باعث انتقال بهتر تنش خاکریز و بارگذاری به سر شمع می‌شود. به همین جهت وجود کلاhek باعث بهتر شدن مکانیزم انتقال بار به سر شمع می‌شود که در نتیجه آن تنش کمتری بر روی خاک پی وارد می‌شود که باعث

شکل (۱۲) میزان نسبت کاهش تنش برای شمع‌های بتنی و پیچی را با در نظر گرفتن اثر شدت بارگذاری که، ناشی از وزن خاکریز در نظر گرفته شده است را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد شمع‌های بتنی بازده بیشتری را نسبت به شمع‌های پیچی دارند بر خلاف اینکه نتایج صفحه قبل نشان می‌دهد شمع‌های پیچی در کنترل نشست‌ها عملکرد قابل توجهی دارند. علت این موضوع می‌تواند به دلیل سطح مقطع بیشتر شمع‌های بتنی توپر نسبت به شمع‌های پیچی باشد که توزیع یکنواخت‌تر تنش در روی سطح خاک پی را ممکن می‌سازد. علاوه بر این می‌توان نتیجه گرفت لزوم شکل گرفتن پدیده قوس زدگی و کامل شدن درجه انتقال بار خاکریز به شمع‌ها و کاهش فشار از روی سطح خاک پی، ارتباط مستقیمی با میزان کاهش نشست‌ها در یک سیستم خاکریز متکی بر شمع ندارد. نتایج شکل (۱۲) نشان می‌دهد نسبت کاهش تنش در سیستم، با افزایش ارتفاع خاکریزی افزایش پیدا می‌کند. علت این پدیده این است که در ارتفاع‌های کمتر خاکریزی، وزن خاکریز مقاومت برشی کافی را ایجاد نمی‌کند تا قوس‌زدگی رخ دهد و فشار از روی خاک پی بین شمع‌ها کاهش یابد، بنابراین با افزایش ارتفاع خاکریزی تنش وارده افزایش می‌یابد و مقاومت برشی کافی برای ایجاد قوس‌زدگی و کاملتر شدن ساز و کار انتقال بار شکل می‌گیرد. همچنین اختلاف نمودارها حاکی از آن است که هرچه مقدار خاکریزی افزایش پیدا کند در نهایت درجه قوس زدگی به یک مقدار آستانه می‌رسد و اثر آن کاهش پیدا می‌کند. نکته حائز اهمیت دیگر این است که با افزایش میزان قوس زدگی تفاوت



شکل ۱۴ کانتور تنش های عمودی جداره شفت شمع: (الف) شمع بی کلاهک، (ب) شمع کلاهک دار

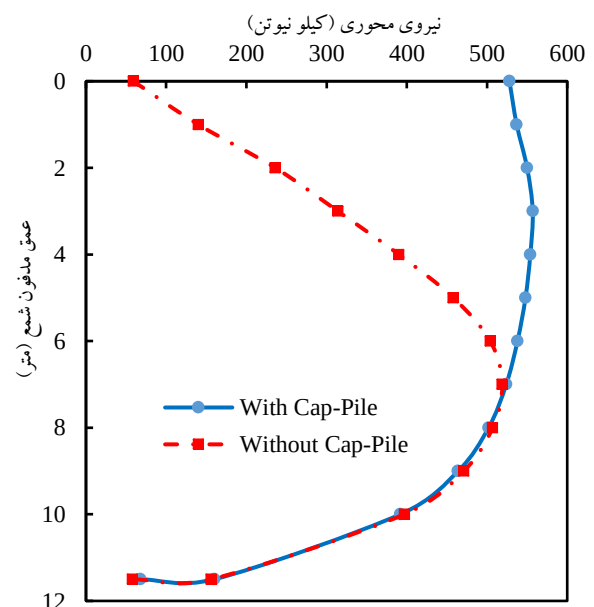
همچنین در تغییر شکل های افقی که در شکل (۱۶) نشان داده شده است، کلاهک اثر مثبتی دارد به طوری که هم میزان جابجایی افقی در پنجه خاکریز و هم گوه گسیختگی تشکیل شده در بالای خاکریز میزان جابجایی ها مقدار کمتری می باشد. از نتایج ارائه شده می توان نتیجه گرفت وجود کلاهک بتنی می تواند عملکرد و بازدهی سیستم را افزایش دهد و میزان نشست های کلی و تفاضلی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.



شکل ۱۵ کانتور تغییرات شکل قائم خاکریز دانه ای: (الف) شمع کلاهک دار، (ب) شمع بی کلاهک

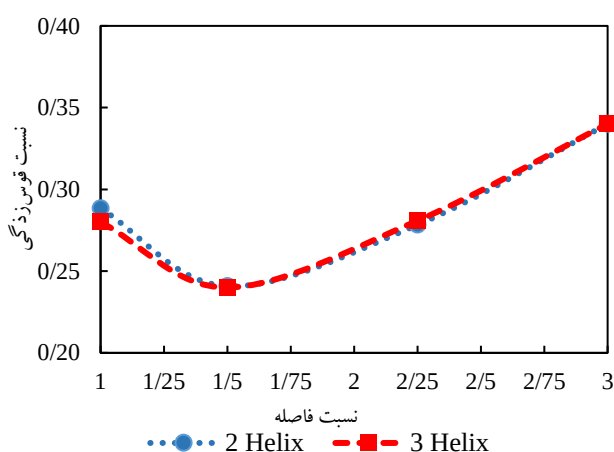
کنترل بهتر در کاهش نشست ها و جابجایی ها می شود. همچنین نتایج نشان داده شده در کانتور تغییرات تنش در شمع در شکل (۱۴) نشان می دهد که جداره شمع نقش اصلی در ظرفیت باربری شمع ها را نسبت به نوک و سر شمع عهده دار می باشد. در تحلیل شکل (۱۴) می توان اضافه کرد که به دلیل نشست تفاضلی بیشتری که در حالت بدون کلاهک رخ می دهد اصطکاک منفی در بخش پایینی شمع رخ می دهد در حالیکه برای حالت وجود کلاهک، شکم زدگی توزیع تنش و ایجاد اصطکاک منفی در بخش بالایی شمع رخ می دهد. که این موضوع بیانگر این است که از ظرفیت جداره شمع بیشتر استفاده شده است.

جابجایی های قائم و افقی در خاکریز نیز به هرچه بهتر توزیع شدن تنش در شمع و کاهش تنش فشاری بر روی سطح خاک پی بستگی دارد. شکل (۱۵) تغییرات قائم خاکریز را برای شمع پیچی در دو حالت کلاهک دار و بی کلاهک نشان می دهد. وجود کلاهک بر روی شمع ها می تواند نشست را تا مقدار قابل توجهی کاهش دهد به طوری که در مدل المان محدود ساخته شده در شرایط یکسان، وجود کلاهک به تنهایی می تواند مقدار نشست های قائم را در حدود ۸ سانتی متر کاهش دهد. با دور شدن از مرکز خاکریز و کاهش تنش فشاری وارده بر روی شمع و خاک پی تغییرات نشست تفاوت چندانی نخواهد کرد و می توان نتیجه گرفت استفاده از کلاهک بر روی شمع برای ردیف شمع های انتهایی کم اثر است.

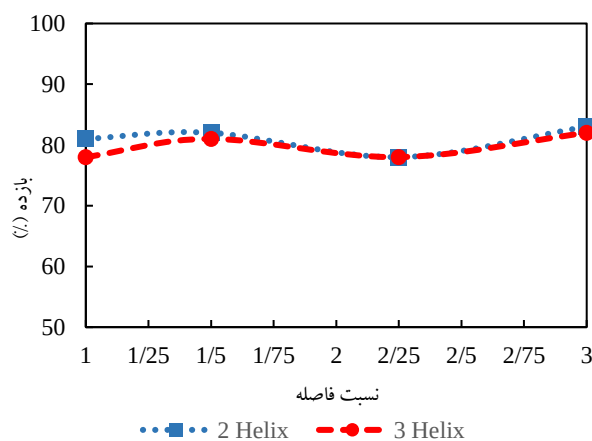


شکل ۱۳ توزیع نیروی محوری در راستای عمق مدفون شمع پیچی

تمامی حالت‌ها نشان می‌دهد. میزان تغییرات بازده برای شمع پیچی دو پره با نسبت فاصله $1/5$ نسبت به شمع پیچی تک پره، $1/2$ درصد بیشتر است. همچنین میزان تغییرات شمع پیچی دو پره نسبت به شمع پیچی سه پره با نسبت فاصله $1/5$ برابر با $1/2$ درصد است.

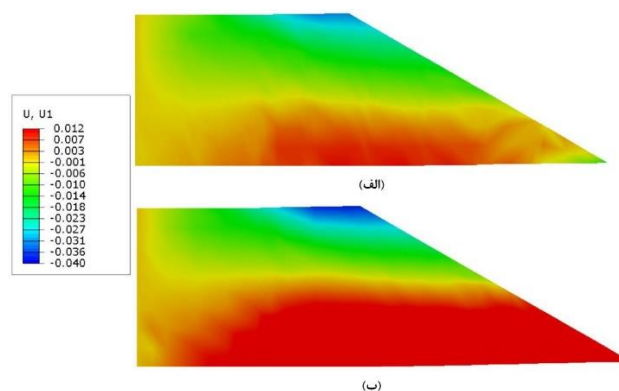


شکل ۱۶ نسبت کاهش تنش برای نسبت فاصله‌های مختلف در شمع‌های پیچی دوپره و سه پره



شکل ۱۷ بازده سر شمع برای نسبت فاصله‌های مختلف شمع پیچی دوپره و سه پره

بیشترین مقدار نشست خاک زیرین در شکل (۱۹) نشان داده شده است، نتایج حاکی از آن است که کمترین میزان نشست برای شمع دو پره با نسبت فاصله $1/5$ و شمع سه پره با نسبت فاصله 3 به دست می‌آید که برابر با مقدار نشست شمع پیچی تک پره است. از نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت به دلیل رفتار



شکل ۱۶ کانتور تغییرات شکل قائم خاکریز دانه‌ای: (الف) شمع کلاهک‌دار، (ب) شمع بی کلاهک

بررسی اثر تعداد و فاصله بین پره‌ها بر عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع پیچی

در این قسمت تاثیر تعداد پره‌های متصل به شمع پیچی با فواصل مختلف برای بررسی ساز و کار انتقال بار و نشست در یک سیستم خاکریز متکی بر شمع پیچی مطالعه می‌شود. فاصله بین پره‌های شمع پیچی با نسبت فاصله (Spacing Ratio) مشخص شده است که برابر با نسبت اندازه فاصله دو پره به قطر پره است. چهار نسبت فاصله 1 ، $1/5$ ، $2/25$ و 3 به منظور مطالعه انتخاب شده است و برای تعداد پره‌ها دو حالت 2 و 3 پره متصل به بدنه شمع فرض شده است. میزان قوس‌زدگی در شکل (۱۷) نشان می‌دهد تعداد 2 یا 3 پره متصل به شمع، تاثیری بر درجه قوس خاکریز ندارد و بهترین حالت در نسبت فاصله $1/5$ رخ می‌دهد که برابر با مقدار 0.24 است. با افزایش نسبت فاصله، مقدار نسبت قوس‌زدگی افزایش می‌یابد و با کاهش این مقدار در نسبت 1 این مقدار افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نسبت فاصله $1/5$ حالت بهینه برای کنترل نسبت قوس‌زدگی در خاک‌های رسی نرم است. نسبت قوس‌زدگی در حالت استفاده از شمع پیچی تک پره برابر با 0.32 است که نسبت به شمع پیچی 2 پره با نسبت فاصله $1/5$ ، حدود 25 درصد افزایش داشته است، درحالی‌که نسبت به شمع پیچی دو پره با نسبت فاصله 3 حدود $5/88$ درصد کاهش داشته است. بازده سر شمع در شکل (۱۸) رسم شده است، نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقدار بازده در نسبت فاصله $1/5$ رخ می‌دهد. همچنین نتایج مانند نسبت قوس‌زدگی، عملکرد مثبت شمع 2 پره در برابر شمع 3 پره را در

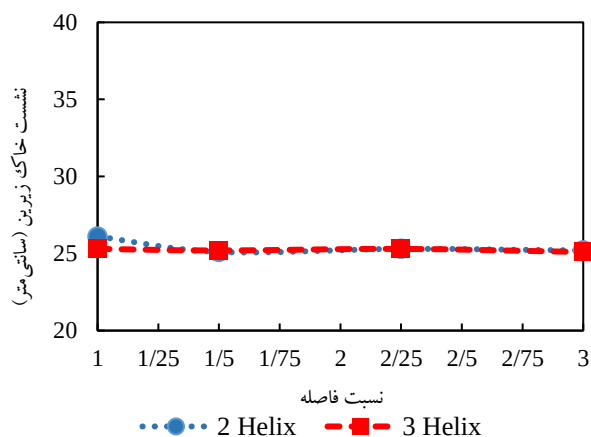
۳. کنترل نشست‌های افقی و قائم در یک سیستم خاکریزی ارتباط مستقیمی با بهبود مکانیزم انتقال بار ندارد.

۴. با افزایش ارتفاع خاکریزی مکانیزم انتقال بار بهبود می‌یابد و هرچه این ارتفاع افزایش پیدا کند درصد تغییرات آن کاهش پیدا می‌کند.

۵. استفاده از کلاهک بر روی شمع‌های پیچی باعث بهتر توزیع شدن نیرو در شمع می‌شود. همچنین کلاهک به دلیل انتقال بهتر تنش‌ها به شمع و کاهش فشار از روی خاک پی، میزان نشست‌های قائم را به میزان ۱۹ درصد نسبت به حالت عدم وجود کلاهک، کاهش می‌دهد.

۶. اضافه کردن پره به بدنه شمع در بهبود عملکرد خاکریزهای متکی بر شمع پیچی تاثیرگذار نمی‌باشد. و تنها ساز و کار انتقال بار در نسبت فاصله ۱/۵ بهبود می‌یابد.

اصطکاک شمع، جداره بدنه شمع نقش مهمی در کنترل میزان نشست‌ها در یک سیستم خاکریز متکی بر شمع دارد و اضافه کردن پره شمع تاثیری در کنترل میزان نشست‌ها در عملکرد کلی سیستم ندارد و حتی ممکن است شرایط را بحرانی کند.



شکل ۱۹ نشست خاک زیرین برای نسبت فاصله‌های مختلف شمع پیچی دو پره و سه پره

فهرست علائم

a	پارامتر هندسی مدل بارگذاری LM71، m
b	پارامتر هندسی مدل بارگذاری LM71، m
Q_{vk}	بار متمرکز مدل بارگذاری LM71، kN
B	عرض تراورس، m
V	سرعت حرکت قطار، Km/h
D_w	قطر چرخ قطار، m
E	بازده
S	فاصله مرکز به مرکز شمع‌ها، m
S/	فاصله لبه‌ی کلاهک شمع‌ها، m
H	ارتفاع خاکریز، m
γ_e	وزن مخصوص خاکریز، kN/m ²
σ_s	تنش عمودی وارد بر خاک پی، kN/m ²
q	بارگذاری یکنواخت بر روی تاج خاکریزی، kN

سپاسگزاری

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی امان محدود خاکریزهای متکی به شمع‌های پیچی و بتنی توپر و اثر وجود کلاهک بر روی شمع‌های پیچی با استفاده از نرم افزار آباکوس پرداخته شد. بعد از راستی آزمایی نتایج مدل عددی بر روی یک خاکریز متکی بر شمع‌های بتنی و مدل بار- نشست شمع پیچی به بررسی تفاوت شمع‌های پیچی و بتنی بر روی عملکرد سیستم تحت شرایط یکسان بارگذاری و پارامتری مهندسی خاک پرداخته شد. از مهمترین نتایج مطالعه حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. شمع‌های پیچی در کنترل نشست‌های خاکریز و خاک پی عملکرد بهتری را نسبت به شمع‌های بتنی نشان می‌دهد به‌طوری‌که میزان نشست میانه خاکریز به میزان ۱۰ درصد کاهش می‌یابد و با فاصله گرفتن از مرکز خاکریز، این تفاوت کاهش پیدا می‌کند.

۲. بررسی تنش‌های وارده بر روی سطح خاک پی که با نسبت کاهش تنش در این مطالعه نشان داده شده است حاکی از آن است که شمع‌های بتنی به دلیل سطح مقطع بیشتری که نسبت به شفت شمع پیچی دارد که به صورت لوله‌ای می‌باشد، باعث بهتر شکل گرفتن مکانیزم انتقال بار در خاکریزی می‌شود.

مراجع

- [1] J. Han and M. Gabr, "Numerical analysis of geosynthetic-reinforced and pile-supported earth platforms over soft soil," *geotechnical geoenvironmental engineering*, vol. 128, no. 1, pp. 44-53, 2002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2002\)128:1\(44\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:1(44))
- [2] T. A. Pham and D. Dias, "3D numerical study of the performance of geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments," *Soils and Foundations*, vol. 61, no. 5, pp. 1319-1342, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.07.002>
- [3] N. K. Meena, S. Nimbalkar, B. Fatahi, and G. Yang, "Effects of soil arching on behavior of pile-supported railway embankment: 2D FEM approach," *Computers and Geotechnics*, vol. 123, pp. 103601, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103601>
- [4] J. T. Wu, X. Ye, J. Li, and G. W. Li, "Field and numerical studies on the performance of high embankment built on soft soil reinforced with PHC piles," *Computers and Geotechnics*, vol. 107, pp. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.11.019>
- [5] A. Bhasi and K. Rajagopal, "Numerical study of basal reinforced embankments supported on floating/end bearing piles considering pile-soil interaction," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 43, no. 6, pp. 524-536, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2015.05.003>
- [6] Y. Jiang, J. Han, and G. Zheng, "Numerical analysis of a pile-slab-supported railway embankment," *Acta Geotechnica*, vol. 9, no. 3, pp. 499-511, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11440-013-0285-9>
- [7] L. Briançon and B. Simon, "Performance of Pile-Supported Embankment over Soft Soil: Full-Scale Experiment," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 138, no. 4, pp. 551-561, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000561](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000561)
- [8] R. P. Chen, Z. Z. Xu, Y. M. Chen, D. S. Ling, and B. Zhu, "Field Tests on Pile-Supported Embankments over Soft Ground," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 136, no. 6, pp. 777-785, 2010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000295](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000295)
- [9] G. Spagnoli and C. de Hollanda Cavalcanti Tsuha, "A review on the behavior of helical piles as a potential offshore foundation system," *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 38, no. 9, pp. 1013-1036, 2020. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2020.1729905>
- [10] M. Alwalan and A. Alnuaim, "Axial Loading Effect on the Behavior of Large Helical Pile Groups in Sandy Soil," *Arabian Journal for Science and Engineering*, no. 4, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06422-9>
- [11] H. A. Perko, *Helical piles: a practical guide to design and installation*. John Wiley & Sons, 2009. [E-book]
- [12] M. J. Nowkandeh and A. J. Choobbasti, "Numerical study of single helical piles and helical pile groups under compressive loading in cohesive and cohesionless soils," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 80, no. 5, pp. 4001-4023, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02158-w>
- [13] Z. H. Elsherbiny and M. H. El Naggar, "Axial compressive capacity of helical piles from field tests and numerical study," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50, no. 12, 2013. <https://doi.org/10.1139/cgj-2012-0487>

- [14] P. P. Kumar, S. Patra, S. Halder, M. J. Brown, J. A. Knappett, and Y. U. Sharif, "3D numerical analysis of screw pile subjected to axial compressive and lateral load," in *Indian Geotechnical Conference (IGC 2021)*, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6998-0_8
- [15] F. Azizi, *Applied Analyses in Geotechnics: CRC Press*. 1999.[E-book]
- [16] M. Khanmohammadi and K. Fakharian, "Evaluation of performance of piled-raft foundations on soft clay: A case study," *Geomechanics and Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 43-50, 2018. <https://doi.org/10.12989/gae.2018.14.1.043>
- [17] K. Fakharian and M. Khanmohammadi, "Evaluation of the effect of geometric characteristics of a piled-raft on its behavior on soft clay under drained conditions," *Sharif Civil Engineering Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 71-76, 2013.
- [18] G. Lazorenko, A. Kasprzhitskii, A. Kukharskii, A. Kochur, and V. Yavna, "Failure analysis of widened railway embankment with different reinforcing measures under heavy axle loads: A comparative FEM study," *Transportation Engineering*, vol. 2, pp. 100028, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100028>
- [19] M. Esmaeili, B. Naderi, H. K. Neyestanaki, and A. Khodaverdian, "Investigating the effect of geogrid on stabilization of high railway embankments," *Soils and Foundations*, vol. 58, no. 2, pp. 319-332, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.02.005>
- [20] Technical and general specifications of railway infrastructure, No 279. Tehran: Management and Planning Organization, 2004 (in Persian)
- [21] S. W. Abusharar, J.-J. Zheng, B.-G. Chen, and J.-H. Yin, "A simplified method for analysis of a piled embankment reinforced with geosynthetics," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 27, no. 1, pp. 39-52, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2008.05.002>



Ferdowsi
University of
Mashhad

Journal of Ferdowsi Civil Engineering

Page Journal: civil-ferdowsi.um.ac.ir



Iranian
Concrete
Institute



Pavement
Engineering
Association of Iran

The Impact of Tidal Conditions, Supplementary Cementitious Material and Marine's Material on Some of Concrete's Durability Parameters

Research Article

Mohammad Jahani^{*1}, Shore Shahnoori², Saeed Moradi³, Mohammad Yazdani⁴, Cyrus Ershadi⁵

DOI: [10.22067/jfcej.2023.83067.1239](https://doi.org/10.22067/jfcej.2023.83067.1239)

1. Introduction

Although sea water (SW) and dredged marine sand (DMS) due to their vast scale resources, addressing numerous environmental concerns, and considering fresh water (FW) shortage crisis, have potential benefits to be widely used in marine concrete structures, the durability and service life of seawater-seasand concrete (SWSSC/SwC) structures exposed to marine environment strongly demand long-term field exposure research. Due to the presence of $MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$ salts in SW and DMS, slump is reduced, brittleness, and accordingly, compressive strength (CS) of concrete at early ages increase. While, in the long run, due to the chemical reaction between hydration products and sulfates, more ettringite are formed; so, considerable decrease in the mechanical properties and durability parameters of concrete happens.

Chemical impacts of SW as mixing water or curing water on hydration products of cement mainly attributes to micro-cracks formation due to crystallization pressure of existing salt, and could be intensified if concrete is affected by consecutive wet/dry cycles. In tidal conditions, consecutive dry/wet cycles, temperature and humidity gradients intensify over time the carbonation and diffusion of chlorides as well as sulfates ingress. By contrast, degradation mechanisms of tidal exposed concrete could be significantly suppressed by the addition of high reactive supplementary cementitious materials (SCMs) such as metakaolin (MK) and silica fume (SF), and industrial wastes like ground granulated blast furnace slag (GGBS), which can curb carbonation, chloride binding capacity, and sulfate resistance in cement matrix. Meanwhile, the effect of chloride attacks combined with carbonation leads to a higher corrosion rate. This combination causes the instability and the decomposition of Friedel's salt, and the decrease in chloride binding capacity in cement matrix. However, the desired physical properties of C-S-H also contributes to suppress chloride diffusion, and to physically increase chloride binding capacity. In the carbonation reaction, CO_2 reacts with calcium hydroxide and C-S-H, and forms $CaCO_3$, which is physically weaker than gel phases. The high concentration of CO_2 affects the pH or alkalinity of the cement paste which may be decreased from 12 to about 9 to 8, resulting in the dissolution of phases that

basically increase the chloride binding capacity. Moreover, the carbonation reaction in concrete composites exposed to unsaturated environments strongly depends on relative humidity (RH). Therefore, due to consecutive wet/dry cycles, tidal zone (RH: $80 \pm 20\%$) has ideal conditions for severe carbonation reaction compared to other zones (submerged or atmospheric).

Furthermore, in sulfate-rich conditions, destructive sulfate attacks are associated with the expansive products such as ettringite (AFt) or gypsum. The pressure imposed by the growth of expansive crystals causes pore formation and micro-crack propagation, which can be diminished through applying fundamental alterations in mechanical and chemical properties of concrete by adding SCMs. This research focuses on suppressing the degradation mechanism of SwC exposed to a tidal zone of the Persian Gulf for 180 days.

2. Materials and method

The main materials used in this study were DMS, mineral aggregates, FW, SW, cement, MK, SF and GGBS which were used after determination of their main properties. A brief description is as follows:

Optimum percentage of DMS (25%) was replaced with mineral fine aggregates (#4>). SW was replaced with FW at w/c: 0.4 ratio. MK, SF and GGBS were replaced optimally with cement at 5%, 10%, and 15%, respectively. Two reference mixtures were designed for comparison: The First made with FW and mineral sand, and the Second made with SW and DMS, without any pozzolan. Samples were cured until 28-days of age in FW, then, transported to tidal zone and preserved for 180 days, as seen in Figure 1.

2. Experimental program

In order to evaluate some of durability parameters of tidal exposed samples, following tests were conducted: CS, Electrical Resistance (ER), Carbonation depth, permeability under pressured water, and SEM.

*Manuscript received June 25, 2023, Revised, July 15, 2023, Accepted September 17, 2023 .

1. Corresponding author. MSc in Marine Structures, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: Jahani.m.edu@gmail.com

2. Department of the Built Environment, Eindhoven University of Technology (TU Eindhoven), Eindhoven, Netherlands

3. The Persian Golf Branch, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Bandar Abbas, Iran

4. MSc in Marine Structures, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

5. Department of Civil Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran



Figure 1. Tidal exposed samples

3. Results and discussion

Using SW and 25% DMS in the concrete mixture increased the 7-day CS of concrete by 6.8%, compared to the reference sample. The reason is the presence of chloride salts (Figure 2). Moreover, $MgSO_4$ in SW, formed expansive products in the cement paste, which in the early ages reduced the porosity, and resulted in the improvement of mechanical properties. The changes in the CS of the reference sample after 28 days of exposure to tidal conditions were more significant, indicating less porosity owing to the lesser formation of ettringite or gypsum. Morphologically, the cement paste made with SW formed a needle-shape texture, which reduced the effective contact surface with the aggregate in ITZ, and weak bonding with the aggregate in this section, which eventually led to the separation of the aggregate from the cement paste in the environmental pressures. $MgSO_4$ contributed to the formation of ettringite, which caused microcracks propagation and porous cement paste. Therefore, through these microcracks, capillary pores caused by the expansion of ettringite crystals, CO_2 penetrated into the concrete texture, causing carbonation to be progressed within concrete, and therefore, decrease in chloride binding capacity.

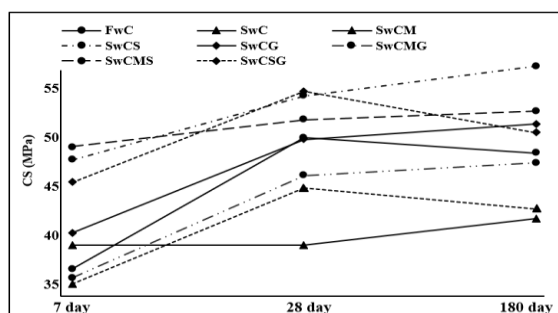


Figure 2. Compressive strength of samples

Having more than 90% SiO_2 in its chemical composition, SF dramatically improved mechanical and chemical properties of gel phases in cement matrix of SwC, and through filling the capillary pores, prevented the sulfate ingress and chloride diffusion and the formation of ettringite and microcracks propagation. Moreover, by forming a dense C-S-H with large specific area, SF suppressed the transfer of conductive ions, and (mainly) physically increased chloride binding capacity of SwC. SF contains small amounts of alumina (Al_2O_3 : 0.9) in its chemical compounds, therefore, SF could not chemically increase chloride binding capacity and mainly increased through gel phases. SF accelerated $Ca(OH)_2$ consumption and therefore, decreased alkalinity (pH) at the beginning of hydration. By preventing the formation of $Ca(OH)_2$, SF eventually caused less $CaCO_3$ formation at the presence of natural CO_2 in tidal conditions. Adding 10% SF to SwC caused reduction in the number and depth of pores as well as $Ca(OH)_2$ crystals and their rough edges in the concrete transition area. This indicates that

process of consumption (decomposition) of $Ca(OH)_2$ has been accelerated. Moreover, ITZ in the SF-mixed sample showed a coherent and dense texture of C-S-H, which can be due to the property of fineness, high source of SiO_2 , and reactivity of SF. The addition of 5% MK to SwC (SwCM) increased the CS by 14.8% at 28-days period, then experienced a 5% decrease at 180-days age. In this regard, the impact of MK on the SwC's CS is different and does not always have a stable or positive effect on concrete's physical properties in long-term exposure to harsh conditions. MK improved the chloride resistance of SwC at all measured ages (Figure 3). This is due to the filling properties of MK, as well as the presence of high amounts of alumina in its chemical composition ($Al_2O_3 > 40\%$), which has the ability to absorb and trap chloride ions. Therefore, MK has increased the chloride binding capacity of SwC primarily through chemical compounds, and then by increasing the specific surface area and density of the C-S-H.

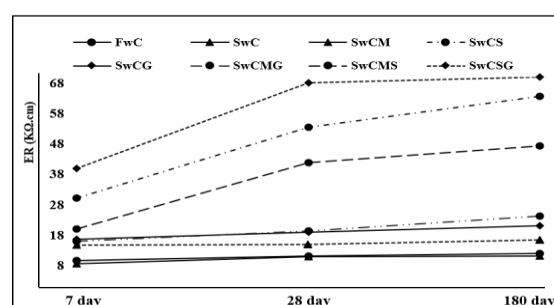


Figure 3. Electrical resistance of samples

GGBS had not significant impact on the CS of SwC at 7-day age. Generally, GGBS does not have a strong pozzolanic property and rapid reactivity, and therefore, should be "activated" with other pozzolans or additives. This issue is well displayed in the combination of SF and GGBS, and due to the addition of SF, GGBS was effectively activated and the CS of this combination increased. Moreover, the chemical compounds of GGBS cannot absorb chloride; therefore, GGBS primarily through physical properties of cement matrix curbed chloride diffusion. However, the high amount of lime in GGBS led to the formation of more calcium hydroxide and more reaction with sulfates, which eventually formed more cracks and capillary pores, by which the mobility of conductive ions was accelerated.

3. Conclusion

Using DMS and SW, due to chloride salts, improved mechanical properties (CS) of concrete about 6% at early ages, while, due to porosity caused by ettringite and gypsum, CS gradually decreased. MK formed C-S-H with relatively large specific area, and due to its high source of alumina increased the resistance of SwC in chloride-rich conditions, but in sulfate conditions mainly caused ettringite formation. Having high source of SiO_2 and reactivity, SF accelerated $Ca(OH)_2$ consumption, curbed carbonation and sulfate attacks, and through forming high dense C-S-H, physically increased chloride binding capacity and mechanical properties of SwC. Using 15% GGBS, despite the slight improvement of mechanical properties, due to the high source of CaO in, leads to the severe carbonation and expansive products formation caused by $MgSO_4$ attacks in marine environments. Thus, GGBS-mixed concrete in tidal conditions will not improve durability parameters.



اثر ناحیه جزرومدی، مکمل‌های سیمانی و مصالح دریایی بر برخی از پارامترهای دوام بتن*

مقاله پژوهشی

محمد جهانی^(۱)، شهره شاهنوری^(۲)، سعید مرادی^(۳)، محمد یزدانی^(۴)، سیروس ارشادی^(۵)

DOI: 10.22067/jfeci.2023.83067.1239

چکیده استفاده از ماسه لایروبی شده و آب دریا در تولید بتن با توجه به منابع اولیه این مواد، عملاً در محیط‌های دریایی، جزایر و بنادر توجیه پذیرتر است. از طرفی، بررسی پارامترهای دوام سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی خصوصاً در شرایط جزرومدی بسیار حساس می‌باشد. بدلیل آنکه در این مناطق چرخه‌های متوالی خشک/مرطوب، گرادیان دما و رطوبت در طول زمان، روند کربناسیون و انتشار یون‌های رسانی را تشدید، و نهایتاً زوال فیزیکی و شیمیایی بتن را تسریع می‌کند. هدف این تحقیق بررسی تأثیر پوزولان‌های متاکائولن، دوده سیلیس و سرباره کوره ذوب آهن بر خواص مکانیکی و ریز ساختار بتن ساخته شده از ماسه و آب دریا در شرایط جزرومدی می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از آب و ماسه دریا در بتن، به دلیل حضور نمک‌های کلرید و همچنین پرشدن خلل و فرج توسط اترینگایت ناشی از حمله سولفات‌ها، بهبود ۶/۸٪ خواص مکانیکی در سنین اولیه را به دنبال داشت، ولی پس از آن افت چشمگیری را تجربه کرد. دوده سیلیس به دلیل منبع بالای SiO_2 و همینطور واکنش پذیری بالا، با تسریع روند مصرف کلسیم هیدروکسید، ضمن جلوگیری از پیشروی کربناسیون، باعث تشکیل ژل کلسیم-سیلیکات-هیدرات متراکم با سطح مخصوص بالا در ریز ساختار ناحیه انتقال بتن ساخته شده از آب و ماسه دریا شد. همچنین در حضور سولفات منیزیم، دوده سیلیس بهتر از سرباره و متاکائولن، از تشکیل اترینگایت و نهایتاً گسترش حفرات و ریز ترک‌ها جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی دوام بتن، خواص مکانیکی، ریز ساختار بتن، ماسه لایروبی شده، شرایط جزرومدی.

Effect of Tidal conditions, Supplementary Cementitious Material and Marine's Material on Some of Concrete Durability Parameters

Mohammad Jahani Shore Shahnoori Saeed Moradi, Mohammad Yazdani Cyrus Ershadi

Abstract The use of dredged-marine-sand and seawater for concrete production is practically more justified in marine environments due to the primary sources of these materials. Also, it is very crucial to examine the durability parameters of concrete structures in marine environments, especially in tidal conditions, because in these area, consecutive dry/wet cycles, temperature and humidity gradients over time, intensify carbonation and diffusion of conductive ions, therefore physical and chemical deterioration accelerated accordingly. The aim of this research is to investigate the effect of metakaolin, silica fume, and slag on the mechanical properties and microstructure Seawater-seasand concrete in tidal conditions. The results showed that the use of seawater and sand in concrete, due to the presence of chloride ions as well as the filling of voids by ettringite caused by the sulfates attacks, led to the improvement of mechanical properties in the early ages, but after that, a significant drop was occurred. Due to the high source of SiO_2 and its high reactivity, silica fume accelerated the consumption of calcium hydroxide, prevented carbonation progress, and formed a dense calcium-silicate-hydrate gel in the microstructure of Seawater-seasand-concrete, and in the presence of magnesium sulfate, better than slag and metakaolin, prevented the formation of ettringite and therefore, propagation of pores and microcracks.

Key Words Durability of concrete, Mechanical properties, Concrete microstructure, Dredged marine sand, Tidal conditions.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۴/۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۵/۱۴ می‌باشد.

Email: Jahani.m.edu@gmail.com

(۱) نویسنده مسئول، کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی، دانشگاه هرمزگان

(۲) مدرس و محقق دانشکده ساختمان، دانشگاه صنعتی آینده‌پژوهان - هلند

(۳) کارشناس راه و ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد بندرعباس

(۴) کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی، دانشگاه هرمزگان

(۵) هیئت علمی گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه هرمزگان

مقدمه

در مناطق جزر و مدی، عمر مفید سازه‌های بتنی شدیداً به پارامترهای دوام و تعامل مکانیسم‌های شیمیایی و خواص فیزیکی آنها وابسته است. در این مناطق، انتقال یون‌های کلرید تحت تأثیر گرادیان دما و رطوبت، زوال فیزیکی و شیمیایی سازه‌های بتنی را در طول زمان تسریع می‌کند. همچنین، بتن در این مناطق، خواص مکانیکی بیشتری را نسبت به شرایطی که در مدت مشابه در معرض شرایط اتمسفری، غوطه‌وری (غرقابی) یا عمل‌آوری مرطوب قرار می‌گیرد، از دست می‌دهد [1]. به طور کلی، بتن غوطه‌ور در آب دریا عمدتاً به واسطه‌ی واکنش‌های شیمیایی ناشی از حملات یون‌های موجود، صدف‌ها و میکروارگانیسم‌ها آسیب می‌بیند، اما اثرات مخرب شرایط جزر و مدی بر بتن شامل حمله یون‌های رسانی (کلریدها و سولفات‌ها)، کربناسیون، میکروارگانیسم‌ها و آسیب فیزیکی ناشی از گرادیان دما و رطوبت و همچنین فشار اعمال شده توسط امواج نیز می‌باشند. [2], [3].

استفاده از منابع دریایی مانند ماسه لایروبی شده و آب دریا در صنایع ساخت و ساز مخصوصاً بتن، با توجه به منابع اولیه مواد خام آن، عملاً در جزایر و بنادر توجیه پذیرتر است. از این رو، پارامترهای دوام (خواص مکانیکی و شیمیایی) بتن ساخته شده از ماسه لایروبی شده و آب خلیج فارس در مناطق دریایی باید از طریق آزمایش‌های میدانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. ماسه لایروبی شده دریا از جمله منابع فراوانی است که به کارگیری آن نه تنها موجب مدیریت حجم وسیعی از سنگدانه‌های لایروبی و دپو شده در ساحل، و احیای زمین‌های با ارزش ساحلی می‌گردد، بلکه منجر به لایروبی مداوم کریدورهای دریایی و تسهیل در شرایط عبور و مرور کشتی‌های تجاری و ماهی‌گیری شده و همچنین از تشکیل ریزگردهای حاصله از وزش باد نیز جلوگیری می‌کند [4].

منشا زیست‌شناسی ماسه دریا شبیه منشا ترکیباتی است که به عنوان سنگدانه رودخانه‌ای (معدنی) در بتن استفاده می‌شوند، و تفاوت اصلی بین ماسه معدنی با ماسه دریا، علاوه بر ابعاد، وجود مواد ارگانیک، نمک‌ها و صدف‌ها هستند [3].

یکی از نگرانی‌های مهم در حال حاضر در رابطه با مصرف ماسه دریا، وجود نمک‌های کلرید در آن است که میبایست به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر دوام و عمر مفید و بلندمدت سازه‌های بتنی مدنظر قرار گیرد. از طرفی، دانه‌بندی

یکنواخت ماسه دریا در صورت استفاده بیش از مقدار بهینه، ممکن است ساختار، یکپارچگی و اسکلت‌بندی بتن را تحت تأثیر قرار دهد [5]. در مناطق ساحلی و بنادر، استفاده از آب و ماسه لایروبی شده، با توجه به دسترسی آسان و عدم صرف هزینه‌های اضافی، اقتصادی، و در آینده‌ای نه چندان دور با وجود بحران کمبود آب شیرین اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد [4], [3]. از طرفی، استفاده از آب دریا در مخلوط بتن نیازمند اقداماتی به منظور کنترل رفتار مخرب آب دریا بر فاز عمل‌آوری و نفوذپذیری بتن بوده که نیازمند انجام آزمایشات گسترده در زمینه دوام و پایداری آن می‌باشد. مهم‌ترین تفاوت آب دریا با آب شرب، وجود نمک و سایر املاح است که عموماً میزان نمک آن $3/5\%$ و ترکیبات اصلی آن نیز شامل کلریدهای سدیم و پتاسیم، سولفاتهای سدیم، کلسیم و منیزیم و آهن است [6]. این املاح می‌توانند ضمن افزایش خلل و فرج در بلندمدت در بافت بتن، فاز عمل‌آوری شدن و میزان نفوذ کلرید را تحت تأثیر قرار دهند [7]. بررسی تحقیقات انجام شده در رابطه با تأثیر آب دریا بر خصوصیات مکانیکی بتن غیرمسلح نشان می‌دهد که آب دریا به دلیل دارا بودن نمک‌های NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 ، باعث کاهش اسلامپ، گیرش سریع‌تر، ترد شدگی بیشتر (در حالت بتن سخت شده) و نهایتاً افزایش مقاومت فشاری بتن در سنین اولیه می‌شود، اما در بلندمدت به دلیل اثر یون‌های خورنده مانند سولفات‌ها و ایجاد تخلخل بیشتر، شاهد افت پارامترهای دوام و خواص مکانیکی این نوع بتن خواهیم بود [9], [8], [3]. استینور نیز نشان داد که در ابتدا مقاومت فشاری نمونه‌های بتن معمولی (بتن ساخته شده با ماسه معدن)، کمتر از مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب دریا بودند، ولی پس از گذشت زمان، مقاومت فشاری بتن ساخته شده با آب دریا حدود $8-15\%$ کمتر از مقاومت فشاری بتن معمولی بود [7]، که این موضوع به دلیل کاهش نسبی تخلخل در کوتاه مدت می‌باشد [8]. از طرفی، تأثیر یون‌های کلرید در ترکیب با کربناسیون، منجر به نرخ خوردگی بالاتری می‌شود، از این رو، بررسی تأثیر یون‌های کلرید علاوه بر بتن‌های مسلح به میلگردهای فولادی، در موارد حضور CO_2 نیز ضروری به نظر می‌رسد. این ترکیب در درجه اول باعث ناپایداری نمک فرایدل (Friedel's salt) می‌شود که با انتشار بعدی کلریدها در بافت بتن، منجر به تجزیه آن می‌شود و در نهایت ظرفیت اتصال کلرید (Chloride binding capacity)

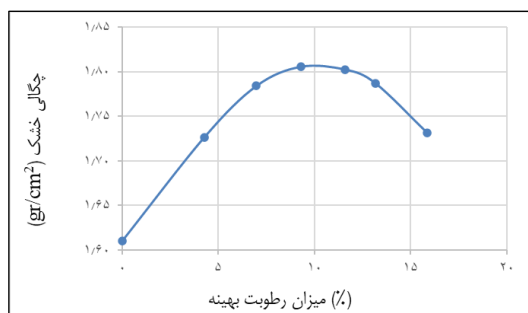
به عنوان یکی از مخرب ترین سولفات ها در محیط های دریایی در نظر گرفته می شود.

تحقیقات نشان داده اند که افزودن مقادیری از پوزولان های سیمانی (درصد بهینه)، منجر به بهبود خصوصیات مکانیکی بتن در بلندمدت و کوتاه مدت شده و به میزان چشمگیری باعث تثبیت و یا حتی بهبود پارامترهای دوام (خواص فیزیکی و شیمیایی) در شرایط سولفاتی و کلریدی می گردد [18]-[13], [4], [3]. به عنوان مثال، متاکاؤلن یک پوزولان طبیعی مبتنی بر سیلیس و از کلاس N است که به دلیل حضور منبع غنی SiO_2 و Al_2O_3 در ترکیبات شیمیایی خود می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی ماتریس سیمان را بهبود بخشد. دوده سیلیس به عنوان یک پوزولان ریزدانه با واکنش پذیری بالا و تصفیه کننده ساختار منافذ، ضمن داشتن ۹۰٪ SiO_2 ، خواص فیزیکی بتن را بهبود می بخشد [19]. سرباره کوره ذوب آهن (GGBS) (Ground granulated blast furnace slag)، به عنوان یک محصول جانبی و ضایعاتی، به دلیل حضور منابع بیشتر آهک (CaO) در ترکیبات شیمیایی خود در مقایسه با متاکاؤلن و دوده سیلیس، قلیائیت بالاتری دارد که باعث واکنش پذیری کم با رطوبت، به ویژه در کوتاه مدت می شود. بنابراین، خواص مکانیکی بتن حاوی سرباره در سنین اولیه باید توسط یک فعال کننده مانند اکسید منیزیم یا دوده سیلیس بهبود یابد [20] و [21].

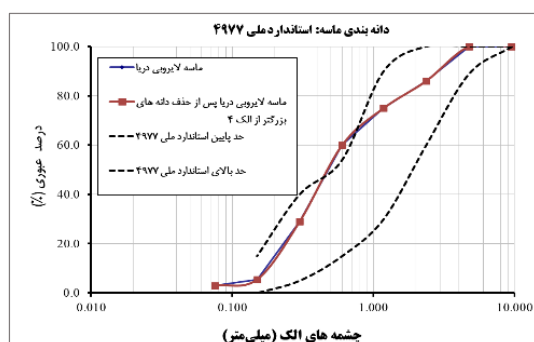
با بررسی منابع گذشته مشاهده شد که استفاده از این مصالح دریایی (ماسه لایروبی شده و آب دریا) به دلیل وجود منابع یون-های کلرید و سولفات، دوام بتن را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. به علاوه، محققان نشان دادند ترکیبات شیمیایی سیمان که حاوی میزان زیادی آهک است، مکانیزم های فرسایش این نوع بتن را تشدید می کند که در این خصوص افزودن پوزولان هایی به منظور کاهش سیمان مصرفی و تغییر خواص شیمیایی و فازهای هیدراسیون و عمل آوری بتن را پیشنهاد دادند. بنابراین، توسعه ای دامنه ای تحقیقات در رابطه با بهبود دوام این نوع بتن، مخصوصا در محیط های دریایی، با در نظر داشتن مزایای اقتصادی و زیست محیطی اشاره شده، و همچنین محدودیت های تامین مصالح در جزایر و مناطق دریایی برای تولید بتن، راه حل کاربردی به نظر می رسد که نیازمند تحقیقات گسترده و آزمایش های میدانی می باشد. لذا ضروری است با جایگزینی مقادیر بهینه مصالح پوزولانی با ترکیبات شیمیایی مختلف با هدف تغییر

ماتریس خمیر سیمان کاهش پیدا می کند [10]. با کاهش ظرفیت اتصال کلرید خمیر سیمان، کلریدهای آزاد در خمیر سیمان پخش شده و به سمت میلگردها حرکت می کنند که منجر به خوردگی آنها و نهایتا کاهش عمر مفید سازه های بتنی در محیط های دریایی می شوند. البته، خواص فیزیکی مطلوب فازهای ژلی مانند C-S-H نیز بر نرخ انتشار این یون ها موثر است. در واکنش کربناسیون، CO_2 با برخی از قسمت های جامد محصولات هیدراتاسیون مواد سیمانی به عنوان مثال هیدروکسید کلسیم و C-S-H واکنش می دهد و باعث تشکیل کلسیت و نهایتا پیشروی کربناسیون در بافت می شود [11]. غلظت بالای CO_2 بر pH یا قلیائیت خمیر سیمان تأثیر می گذارد و ممکن است از ۱۲ به حدود ۹ الی ۸ کاهش یابد که حل شدن فازهای افزایش دهنده ی ظرفیت اتصال کلرید (مانند نمک فریدل و نمک کوزل (Kuzel's salt)) را به دنبال خواهد داشت [10]. همچنین، واکنش کربناسیون در کامپوزیت های سیمانی و بتنی در معرض محیط های غیر اشباع، شديداً به رطوبت نسبی بستگی دارد و رطوبت نسبی کم یا زیاد به شکلی موثر از آزاد شدن کلریدهای متصل شده جلوگیری می کند [11]. لازم به ذکر است که کلریدهای متصل شده (Bound chlorides) (به دام انداخته شده) توسط فازهای ژلی یا فازهای آلومینا، توانایی جدا شدن از این فازها و پیشروی به عمیق بتن (میلگردهای فولادی) را ندارند. بنابراین، شرایط جزر و مدی، و رطوبت نسبی ۸۰±۲۰٪، و با توجه به چرخه های تر/خشک متوالی، رطوبت نسبی ایده آل تری برای وقوع کربناسیون شدید و خوردگی بیشتر ناشی از حملات یون کلرید در مقایسه با سایر مناطق (غوطه ور یا اتمسفری) را دارد [3].

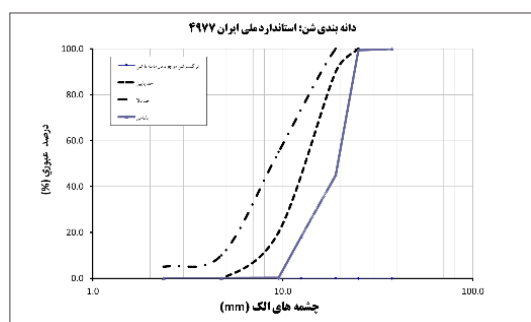
به طور کلی، در محیط های دریایی، نرخ زوال بتن هایی که تماماً از سیمان ساخته شده اند، می تواند به میزان پرتلندیده یا هیدروکسید کلسیم مرتبط باشد که آسیب پذیرترین محصول هیدراسیون سیمان در برابر حملات سولفات است [12]. در محیط های دریایی، حملات مخرب سولفات عمدتاً به محصولات هیدراسیون منبسط شونده مانند اترینگایت و Ca(OH)_2 و یا بعضاً دولومیت (Dolomite) یا فازهای آلومینا (Alumina) (Al_2O_3) نسبت داده می شود. در موارد حضور سولفات ها، فشار ناشی از رشد کریستال های منبسط شونده باعث تشکیل منافذ و گسترش ریزترک ها شده، و نهایتاً منجر به جذب آب در محیط های قلیایی می شود [3]، که معمولاً در این بین، اثر سولفات منیزیم (MgSO_4)



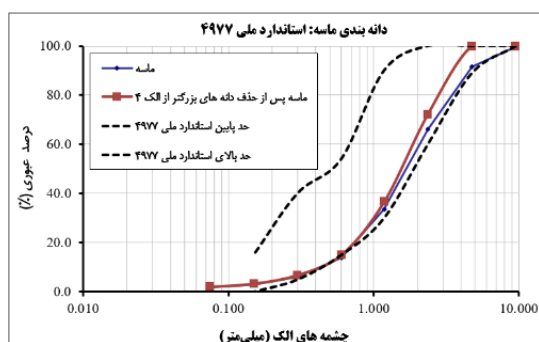
شکل ۱ منحنی رطوبت بهینه ماسه خلیج فارس



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲ منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی؛ (الف) ماسه خلیج فارس،

(ب) شن معدنی، (ج) ماسه معدنی

خواص بنیادی بتن (مکانیکی و شیمیایی)، و کنترل مکانیزم‌های فرسایشی بتن در محیط‌های دریایی، دوام و عمر مفید سازه‌های بتنی در این مناطق را بهبود بخشید.

هدف انجام این پژوهش به طور خلاصه شامل موارد زیر می‌شود:

۱. ارزیابی اثربخشی پوزولان‌های متاکائولن، دوده سیلیس و سرباره کوره ذوب آهن در بهبود مقاومت فشاری، ریز ساختار و تخلخل بتن ساخته شده از آب و ماسه خلیج فارس در شرایط جزرومدی.

۲. ارزیابی تاثیر پوزولان‌های متاکائولن، دوده سیلیس و سرباره کوره ذوب آهن بر پی‌شروی واکنش کربن سیون و نرخ حرکت یون‌های رسانا (مانند کلرید و سولفات) در بافت بتن، و تشکیل فازهای حجیم شونده (مانند اترینگایت و گچ) ناشی از حمله سولفات منیزیم.

۳. توسعه رویکرد علمی و کاربردی به منظور استفاده از آب و ماسه لایروبی شده خلیج فارس در تولید بتن غیر مسلح با دوام و سازگار در محیط‌های دریایی.

۴. جایگزینی آب دریا با آب شرب در تولید بتن غیر مسلح، و مقابله با بحران کمبود آب آشامیدنی

۵. کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از ریزگردهای حاصله از دپوهای گسترده ماسه لایروبی شده در حاشیه‌ی سواحل

مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی

مصالح مصرفی

سنگدانه

سنگدانه‌های استفاده شده در این تحقیق شامل درشت‌دانه معدنی مستخرج از معدن میناب (۷۶-۴/۱۹ میلیمتر)، ریزدانه معدنی (۴/۷۶ میلیمتر)، ماسه لایروبی شده دریا (۴/۷۶ میلیمتر)، حاصل از عملیات لایروبی فاز سوم بندر شهید رجایی در استان هرمزگان می‌باشند. منحنی رطوبت بهینه ماسه دریا در شکل (۱)، و منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است. مقادیر فلزات سنگین موجود در ماسه دریا در جدول (۱)، مشخصات و ترکیبات شیمیایی مصالح سیمانی و سنگدانه‌های مصرفی نیز در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر فلزات سنگین موجود در ماسه لایروبی شده خلیج فارس (ppm)

Ag	As	Ca	Cd	Ce	La	Li	Mn	Y
<۰/۱	۱۰	<۳	<۰/۵	۹	۵	۴	۵۷۱	۵
Mo	Ni	Co	Cr	Cu	Fe	P	Pb	V
۲	۲۱	۶	۲۶	۱۰	>۳	۴۶۹	۷	۲۴
S	Sb	Yb	Zn	Sc	Sn	Th		
۱۴۲۸	۴	۱	۱۷	۲	<۱	۲		

جدول ۲. ترکیبات شیمیایی سنگدانه‌ها و مصالح پوزولانی

سرباره	دوده سیلیس	متاکائولن	سیمان	شن معدن	ماسه معدن	ماسه دریا	اکسید (%)
۳۶/۵	۹۲	۵۱	۲۱	۱۲/۰۵	۳/۸	۱۳/۵	SiO ₂
۱۲/۵	۰/۹	۴۱/۱	۵	۲/۰۵	۱/۲	۲/۵۵	Al ₂ O ₃
۳۸/۱	۱	۱/۴۶	۶۴	۳۹/۰۵	۴۵/۱	۳۹/۸	CaO
۹/۶	۱/۲۵	۰/۰۵	۲	۵/۳۱	۱۰/۲	۲/۹۵	MgO
۰/۴۵	۰/۴	۰/۰۱	۰/۴	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۷۵	Na ₂ O
۰/۷۵	۰/۳	۰/۰۴	۰/۶	۰/۳	۰/۱۶	۰/۵۳	K ₂ O
۰/۶۵	-	۰/۱۲	۲	۰/۲۷	۲/۳۵	۰/۶۱	SO ₃
۰/۳۵	۰/۸	-	۰/۷۵	۱/۹	۰/۹۲	۲/۶۲	Fe ₂ O ₃
-	-	-	-	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۸	Cl

آب مصرفی و فوق روانکننده

در این تحقیق آب شرب شهر بندرعباس به عنوان آب طرح اختلاط آزمونه شاهد FWC (آب شرب + ماسه معدن) مورد استفاده قرار گرفته است. آب خلیج فارس نیز به عنوان آب طرح اختلاط آزمونه شاهد SWC (آب دریا + ۲۵٪ ماسه ماسه لایروبی شده) در نظر گرفته شد که حاوی منیزیم: ۱۶۰۰، کلسیم: ۴۸۰، سدیم: ۱۲۶۰۰، پتاسیم: ۴۸۰، سولفات: ۳۳۰ و کلرید: ۲۳۴۰۰ (ppm) می‌باشد. فوق روان کننده مورد استفاده در این تحقیق PC-۵۰۰۰، بصورت مایع و قهوه‌ای رنگ، با دانسیته ۱/۲ کیلوگرم بر لیتر و تهیه شده از شرکت رزین سازان فارس می‌باشد که بر پایه پلیمرهای نفتالین‌های سولفات تولید شده است.

مصالح سیمانی

در این تحقیق سیمان پرتلند تپ ۲، متاکائولن، دوده سیلیس و سرباره کوره ذوب آهن به عنوان مواد سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است که به ترتیب از کارخانه سیمان هرمزگان (بندر خمیر)، شرکت جهان پودر دلیجان، کارخانه فروآلیاژ ایران و کارخانه ذوب آهن اصفهان تهیه گردیده‌اند. مشخصات فیزیکی

این مواد در جدول (۳)، و مشخصات شیمیایی آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۳. مشخصات فیزیکی پوزولانها

پوزولان	LOI	وزن مخصوص	سایز دانه	سطح مخصوص
(%)	(gr/cm ³)	(μm)	(m ² /gr)	
۰/۴	۲/۲	۰/۲۲۹	۲۰	دوده سیلیس
۰/۱۹	۲/۷۴۵	۵۰-۱۰	۰/۲۲	سرباره
۱	۲/۶	۲-۱	۲/۲	متاکائولن

ساخت نمونه‌ها و برنامه‌ی آزمایشگاهی

ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها

در این تحقیق تمامی نمونه‌های مکعبی بتن، به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر ساخته شده و در شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی در دمای ۲۶°C و میانگین رطوبت محیطی ۶۸٪ به دو صورت: ۱- مرطوب: با استفاده از پوشش کتانی خیس بر روی آزمونه‌های قالب‌گیری شده به مدت ۲۴ ساعت و ۲- غرقاب، در سنین ۷ و ۲۸ روز عمل‌آوری شدند (شکل ۳). سپس آزمونه‌ها به شرایط جزرومدی در خلیج فارس (خط ساحل)

رطوبت نسبی سنگدانه‌ها، مطابق ASTM C56 [22] و همچنین چگالی مصالح و میزان جذب آب آنها بر اساس ASTM C128-15 [23] تعیین و پس از اصلاح طرح اختلاط، مصالح مجدداً توزین و مخلوط شدند. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های فوق در جدول (۴) نمایش داده شده است. آزمایش اسلامپ بر روی تمامی طرح اختلاط‌های بتن تازه، طبق استاندارد ASTM C143 [24] انجام و در حدود ۱۵۰-۱۰۰ mm اندازه‌گیری شدند.

منتقل، و به مدت ۶ ماه نگهداری و پایش شدند (شکل ۴). الگوریتم روش تحقیق حاضر نیز در شکل (۵) ارائه شده است. در این تحقیق کلیه طرح اختلاط‌ها با نسبت آب به سیمان ۰/۴ ساخته شدند که مجموعاً شامل ۸ طرح اختلاط می‌باشند. دو نمونه طرح اختلاط شاهد، ۱: آب شرب و ماسه معدن، ۲: شامل آب دریا و ماسه لایروبی شده، فاقد هرگونه افزودنی پوزولانی در نظر گرفته و ساخته شدند. همچنین دمای بتن تازه حدود ۵°C ۲۷-۳۲ اندازه‌گیری شد. در هر مرحله از ساخت نیز ابتدا درصد



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳ آزمون‌های بتنی ساخته شده با آب دریا؛ (الف) قالب‌گیری آزمون‌ها، (ب) اثرات چشمی استفاده از آب دریا به عنوان آب اختلاط بر بتن تازه، (ج) عمل‌آوری آزمون‌ها در حوضچه آب شرب تا سن ۲۸ روز



(ج)

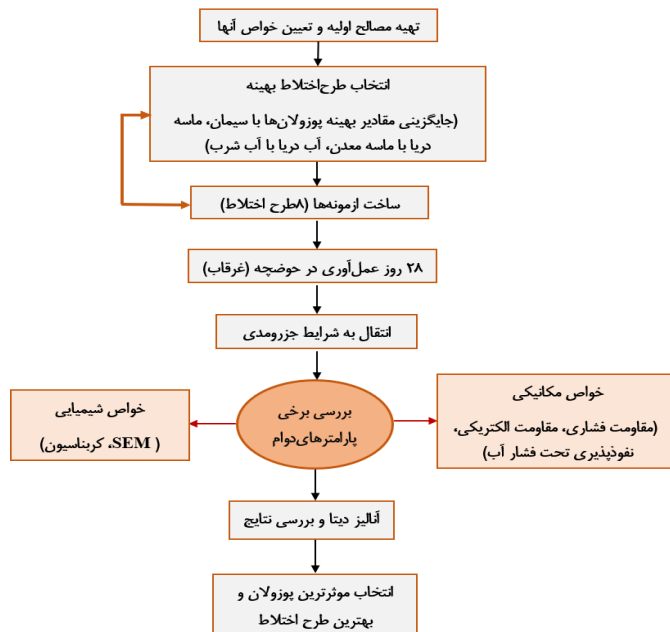


(ب)



(الف)

شکل ۴ آزمون‌ها در شرایط جزرومدی خلیج فارس هنگام جزر، (ب) نمونه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس هنگام مد، (ج) پوسته‌ها، صدف‌ها و میکروارگانیسم‌ها رشد کرده بر سطوح نمونه‌های بتن پس از ۶ ماه



شکل ۵ الگوریتم روش انجام تحقیق

جدول ۵ معرفی ترکیب‌های مورد بررسی

اسلامپ (mm)	سرباره (kg/m ³)	دوده سیلیس (kg/m ³)	متاکائولن (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	ماسه دریا (%)	ماسه معدنی (%)	شن معدنی (%)	آب دریا (kg/m ³)	آب شرب (kg/m ³)	w/cm	کد نمونه
۱۲۰	-	-	-	۴۰۰	۰	۵۵	۴۵	-	۱۶۰	۰/۴	FwC
۱۲۰	-	-	-	۴۰۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwC
۱۲۰	-	-	۲۰	۳۸۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCM
۱۲۰	-	۴۰	-	۳۶۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCS
۱۲۰	۶۰	-	-	۳۴۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCG
۱۰۰	-	۴۰	۲۰	۳۴۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCMS
۱۲۰	۶۰	-	۲۰	۳۲۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCMG
۱۱۰	۶۰	۴۰	-	۳۰۰	۱۳/۷۵	۴۱/۲۵	۴۵	۱۶۰	-	۰/۴	SwCSG

در این تحقیق از مقادیر بهینه پوزولان‌ها شامل: دوده سیلیس ۱۰٪ [3]، سرباره ۱۵٪ [5]، و متاکائولن ۵٪ وزنی سیمان با عیار (۴۰۰ kg/m³) [25]، جایگزین سیمان شدند تا تاثیر هر یک به صورت دقیق بر خواص مکانیکی و ریزساختار بتن ساخته شده از ماسه لایروبی شده و آب دریا ارزیابی گردد. درصد بهینه ماسه لایروبی شده به میزان ۲۵٪ وزن مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) می‌باشد [3-5]. ترکیب‌های مورد بررسی و کد آنها، به همراه نسبت‌های اختلاط مصالح و افزودنی‌ها و نسبت آب به مواد سیمانی (w/cm)، و میزان اسلامپ آنها در جدول (۵) ارائه شده است.

برنامه‌ی آزمایشگاهی

مقاومت فشاری بتن. آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد BS 1881 [26] بر روی آزمون‌هایی ۷ و ۲۸ روز بصورت غرقاب عمل‌آوری شده، و آزمون‌هایی ۱۸۰ روز قرار گرفته در شرایط جزرومدی، انجام شد.

مقاومت الکتریکی ویژه بتن. آزمایش مقاومت الکتریکی بر روی آزمون‌های ۷ و ۲۸ روز بصورت غرقاب عمل‌آوری شده، و آزمون‌های ۱۸۰ روزه جزرومدی مطابق با استاندارد ACI 222 [27] به روش ۴ نقطه‌ای Wenner انجام شد. در این روش از چهار نقطه استفاده می‌شود که با سطوح نمونه در تماس هستند، سپس یک جریان برق متناوب بین الکترودها برقرار می‌شود، و اختلاف پتانسیل (V) بین الکترودها اندازه‌گیری می‌شود.

گردد. در مطالعات صورت گرفته بر روی سازه‌های در معرض خوردگی مشخص شده که رابطه‌ی نزدیکی بین سرعت خوردگی و مقاومت الکتریکی بتن وجود دارد، در همین راستا ACI 222 استاندارد جهت تفسیر نتایج مقاومت الکتریکی و تخمین کیفیت بافت بتن ارائه کرده است که در جدول (۶) نشان شده است و همچنین به عنوان معیار بررسی نتایج آزمایش در این تحقیق در نظر گرفته شده است. به طور کلی این آزمایش، مقاومت بافت بتن در برابر حرکت، نفوذ و پخش یون‌های رسانا مانند کلرید و سولفات را مورد بررسی قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که نفوذ و پخش این یون‌ها درون بافت بتن از دو طریق کنترل می‌گردد: (۱) فیزیکی: خواص فیزیکی مطلوب فازهای ژلی مانند C-S-H که یونها را به دام می‌اندازد و از حرکت و انتشار آنها جلوگیری می‌کنند، (۲) شیمیایی: وجود فازهای آلومینا و به طور کلی ترکیبات حاوی آلومینیوم که حرکت یون‌های کلرید را مختل می‌کنند و اصطلاحاً به صورت شیمیایی باعث افزایش ظرفیت اتصال کلرید خمیر سیمان می‌گردند.

جدول ۶ ارتباط بین نرخ خوردگی و نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

نرخ خوردگی	قاومت الکتریکی
	kΩ/cm
کم	>۲۰
متوسط	۲۰-۱۰
زیاد	۱۰-۵
خیلی زیاد	<۵

یکدیگر، در ساختار بتن و حتی بررسی محصولات نهایی فرایند هیدراسیون در بتن استفاده می‌شود. میکروسکوپ اسکنر الکترونی استفاده شده در این تحقیق مدل Tescan vega ساخت کشور جمهوری چک بوده و تصاویر با دقت ۱۰ هزار برابری اندازه‌گیری شدند.

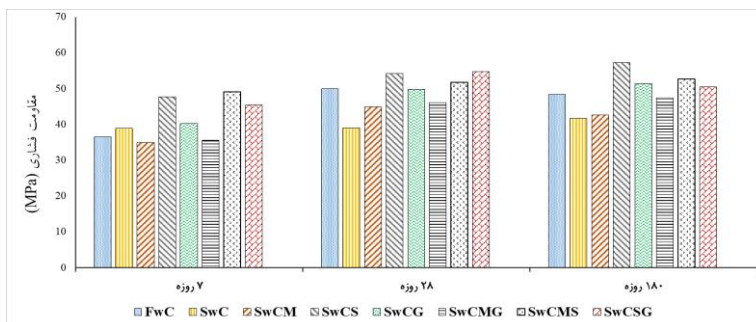
نتایج و بحث مقاومت فشاری بتن

استفاده از آب دریا و ۲۵٪ ماسه لایروبی شده خلیج فارس در مخلوط بتن (جایگزین ماسه معدن)، مقاومت فشاری ۷ روزه بتن را در مقایسه با نمونه شاهد به میزان ۶/۸٪ افزایش داده است، که این افزایش مقاومت به دلیل حضور نمک‌های کلرید ($MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$) است که فاز عمل‌آوری و گیرش بتن را تسریع می‌کنند (شکل ۶) [30]. همچنین وجود سولفات منیزیم در آب دریا باعث تشکیل گسترده‌تر محصولات منبسط شونده (مانند اترینگایت) در خمیر سیمان شده که در سنین اولیه تخلخل را کاهش می‌دهند و به همین دلیل باعث بهبود نسبی خواص مکانیکی شده‌اند [30]. بررسی نتایج نشان می‌دهد مقاومت فشاری بتن SwC، پس از سن ۷ روزگی، افزایش قابل توجهی را تا سن ۱۸۰ روز تجربه نکرده است، که این تثبیت ناشی از افزایش حجم محصولات منبسط شونده در خمیر سیمان (افزایش ریزترک‌ها و حفرات) در سنین اولیه، و در طرف مقابل، هیدراسیون کامل مصالح سیمانی در محیط مرطوب و گیرش نهایی بتن بوده است. تغییرات مقاومت فشاری در نمونه شاهد پس از ۲۸ روز قرارگیری در شرایط جزرومدی چشمگیرتر بوده است که نشان‌دهنده تخلخل کمتر، به واسطه عدم تشکیل بیش از حد اترینگایت و گچ ناشی از حضور سولفات‌ها بوده است [3].

نفوذپذیری بتن تحت فشار آب. این آزمایش، عمق نفوذ آب در آزمون‌ها تحت فشار آب را اندازه‌گیری می‌کند که شدیداً وابسته به توزیع خلل و فرج، ریزترک‌ها و حفرات مویینه انتقال رطوبت و میزان پیچیدگی اتصالات آنها با یکدیگر می‌باشد. این آزمایش بر روی نمونه‌های بتنی با سن ۲۸ روز بر اساس استاندارد BS EN 12390-8 [28] انجام شد. آزمون‌ها پس از انجام آزمایش، از مرکز آن به دو نیم تقسیم شدند تا حداکثر میزان عمق نفوذ آب در بتن اندازه‌گیری گردد.

عمق کربناسیون بتن. فنل فتالین (تولید شرکت مرک، آلمان) با غلظت ۱٪ (محلول در الکل) بر روی سطح داخلی آزمون‌های دو نیم شده اسپری گردید تا عمق کربناسیون آزمون‌ها پس از خشک شدن سطوح، مشاهده و اندازه‌گیری شود [29]. نتایج این آزمایش به طور کلی به سه ناحیه: ۱- کربناته نشده (رنگ قرمز-صورتی)، ۲- نیمه کربناته یا نسبتاً کربناته شده (صورتی روشن)، ۳- کربناته شدید (بدون رنگ) تقسیم می‌شود. pH این نواحی از ۱۲ (در مناطق قرمز رنگ) تا حدود ۸ (کربناته شدید) متغیر است که عمدتاً به علت میزان هیدروکسید کلسیم موجود در ماتریس خمیر سیمان بوده است. حداکثر فاصله از لبه در هر طرف نمونه‌ها تا منطقه کربناته شدید با استفاده از کولیس (با دقت ۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد و میانگین چهار فاصله اندازه‌گیری شده، به عنوان عمق کربناسیون آزمون در نظر گرفته شد.

بررسی ریزساختار بتن (SEM). ریزساختار بتن سخت شده توسط دستگاه عکسبرداری الکترونی روبشی (SEM) (Scanning electron microscope) بررسی شد تا به عنوان مبنایی به منظور بررسی ریزساختار بتن در نظر گرفته شود. از این آزمایش برای بررسی ویژگی‌ها و توزیع منافذ، تغییرات مورفولوژیکی و روابط شکل گرفته شده بین اجزای در تماس با



شکل ۶ نتایج آزمون مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روز بصورت غرقاب عمل‌آوری شده، و ۱۸۰ روز نگهداری شده در شرایط جزر و مدی خلیج فارس

دوده سیلیس به بتن منجر به نرخ جذب رطوبت بیشتر در مقایسه با سرباره و متاکائولن شد و هنگامی که با آب دریا ترکیب می-شود، خمیر سیمان سریعتر از افزودن متاکائولن و سرباره سخت می-گردد (گیرش سریعتر) [32]. دوده سیلیس به دلیل دارا بودن بیش از ۹۰٪ SiO_2 در ترکیبات شیمیایی خود، منجر به بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی فازهای ژلی (مانند C-S-H) شده، و همچنین با پر کردن حفرات مویینه باعث جلوگیری از نفوذ یون سولفات و تشکیل اترینگایت و گسترش ریزترک‌ها شده، و در نهایت نیز تراکم و مقاومت فشاری بتن را افزایش داده است.

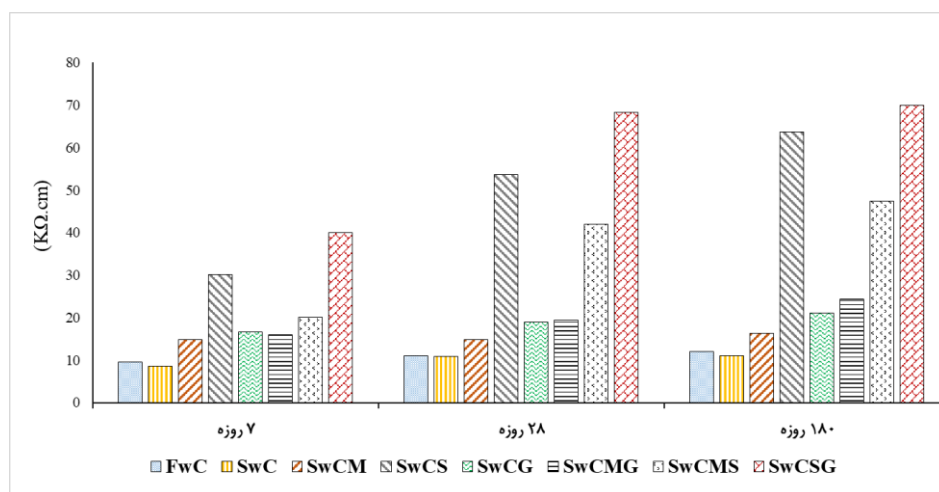
استفاده از ترکیب پوزولان‌های متاکائولن، دوده سیلیس و سرباره در بتن ساخته شده از آب و ماسه خلیج فارس (SwC) عمدتاً باعث افزایش مقاومت فشاری در تمام سنین شده، که حضور دوده سیلیس (۱۰٪) در افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط‌های ترکیبی موثرتر به نظر می‌رسد.

مقاومت الکتریکی ویژه بتن

دو نوع بتن شاهد FwC (آب شرب و ماسه معدن) و SwC (آب دریا و ماسه لایروبی شده) تقریباً به نتایج مشابهی دست یافتند (شکل شماره ۷)، که نشان می‌دهد نوع آب اختلاط تفاوت چشمگیری در نتایج آزمون مقاومت الکتریکی نمونه‌ها نداشته و تغییرات اساسی در نتایج به واسطه حضور پوزولان‌ها بوده است [3].

افزودن متاکائولن به طرح اختلاط SwC، باعث افزایش مقاومت فشاری به میزان ۱۴/۸٪ در سن ۲۸ روزگی بتن شد و پس از آن کاهش ۵٪ مقاومت فشاری را در سن ۱۸۰ روزگی تجربه کرد. در این خصوص مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که اثر متاکائولن بر مقاومت فشاری SwC متفاوت بوده و تاثیر یکنواخت و ثابتی ندارد و عمدتاً باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای مقاومت فشاری بتن نخواهد شد [25].

افزودن ۱۵٪ سرباره، زمان گیرش اولیه بتن SwC را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت فشاری آن در سنین ۲۸ و ۱۸۰ روزگی به میزان حدود ۲۰٪ شده است، با این حال افزودن سرباره تاثیر چشمگیری در مقاومت فشاری ۷ روزه بتن SwC نداشته است. در این خصوص تحقیقات گذشته بیان کردند که سرباره خاصیت شدید پوزولانی و سرعت واکنش‌پذیری مناسبی ندارد و در صورت استفاده از آن می‌بایست با پوزولان‌های دیگر (مانند اکسید منیزیم و یا دوده سیلیس)، اصطلاحاً "فعال" (Active) گردد که این موضوع در ترکیب دوده سیلیس و سرباره به خوبی قابل مشاهده است و به دلیل حضور دوده سیلیس، سرباره فعال شده و مقاومت فشاری این ترکیب افزایش یافته است. از طرفی، استفاده از ۱۰٪ دوده سیلیس در بتن SwC منجر به کاهش چشمگیر زمان گیرش و افزایش قابل توجه مقاومت فشاری آن در تمام سنین شده است [31]. لازم به ذکر است مشاهدات تجربی حین ساخت نمونه‌های بتنی آزمایشگاهی نیز نشان داد که افزودن



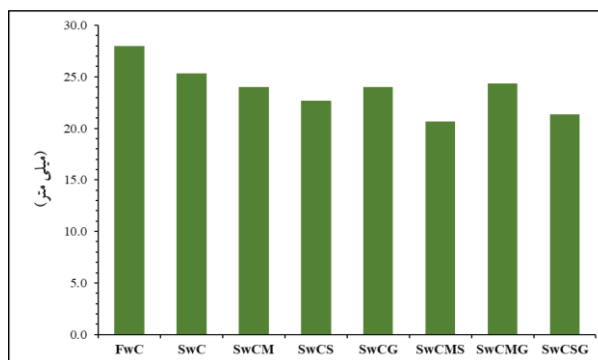
شکل ۷ نتایج آزمون مقاومت الکتریکی آزمون‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روز بصورت غرقاب عمل‌آوری شده، و ۱۸۰ روز نگهداری شده در شرایط جزر و مدی

خلیج فارس مطابق با [27] ACI 222

سرباره کوره ذوب آهن، توانایی جذب و مختل کردن حرکت یون‌های رسانا را ندارند، بنابراین، این پوزولان عمدتاً به لحاظ فیزیکی قادر به کند کردن حرکت و انتشار این یون‌هاست. اما مقادیر بالای آهک در سرباره نسبت به دوده سیلیس و متاکائولن، منجر به تشکیل بیشتر هیدروکسید کلسیم و واکنش‌پذیری بیشتر با سولفات‌های موجود شده که در نهایت ترک و حفرات موینه بیشتری را ایجاد کرده است که حرکت این یون‌های رسانا از طریق آنها تسریع گردیده است. از طرفی، به نظر می‌رسد ترکیب سرباره و دوده سیلیس (SwCSG) و ترکیب دوده سیلیس و متاکائولن (SwCMS) به دلیل حضور دوده سیلیس در این نمونه‌ها منجر به افزایش مقاومت الکتریکی بیشتری شد. بررسی نتایج به طور کلی نشان داد که استفاده از آب دریا و ۲۵٪ ماسه لایروبی شده در مخلوط بتن باعث تغییر چشمگیری در نتایج این آزمون نشده و تغییرات در نتایج سایر مخلوط‌های ساخته شده با آب و ماسه دریا، عمدتاً به دلیل حضور مکمل‌های سیمانی (پوزولان‌ها) بوده است که هر یک با توجه به خواص خود به لحاظ شیمیایی و فیزیکی، حرکت (انتشار) یون‌های رسانا را در بافت بتن مختل کردند. این آزمایش نشان داد که خواص مکانیکی بتن (شامل: تخلخل، حفرات و نوع اتصالات آنها با یکدیگر، ...) در حرکت و انتشار یون‌های رسانا نسبت به خواص شیمیایی (شامل: نمک-های کوزل و فرایدل، ترکیبات حاوی عنصر آلومینیوم و ترجیحا آلومینا) موثر تر بوده است.

نفوذپذیری بتن تحت فشار آب

نمودار ارائه شده در شکل (۸) میزان عمق نفوذ نمونه‌ها تحت فشار آب را نشان می‌دهد.

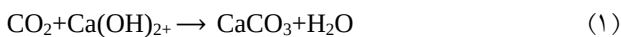


شکل ۸ نتایج آزمون تعیین عمق نفوذ نمونه‌ها تحت فشار آب در سن ۲۸ روز (عمل‌آوری بصورت غرقاب)

نتایج نشان می‌دهد متاکائولن مقاومت SwC در برابر انتشار یون کلرید و سولفات را در تمام سنین بهبود بخشیده است. این موضوع به دلیل خاصیت پرکنندگی موثر این پوزولان، و همچنین حضور مقادیر بالای Al_2O_3 در ترکیبات شیمیایی آن بوده (جدول ۲)، که توانایی جذب و به دام انداختن یون‌های رسانا مانند کلرید را دارد و از حرکت آنها بدین وسیله جلوگیری کرده است. لذا متاکائولن در وهله‌ی اول به واسطه‌ی ترکیبات شیمیایی و سپس با افزایش سطح مخصوص و سپس با بهبود تراکم ریزساختار ژل C-S-H باعث افزایش ظرفیت اتصال کلرید شده است. حضور دوده سیلیس تأثیر قابل توجهی بر مقاومت الکتریکی SwC داشته است [8]. دوده سیلیس، با توجه به ذرات بسیار ریز خود، حفرات موینه بتن را پر کرده و با تشکیل ژل C-S-H متراکم، مانع عبور یون‌های رسانا مانند کلرید و سولفات در محیط دریا شده است و به این دلیل که ترکیبات آن حاوی مقادیر اندکی آلومینا است، به لحاظ شیمیایی تأثیری در جذب یون کلرید نداشته و عمدتاً به لحاظ فیزیکی ظرفیت اتصال کلرید بتن SwC را به میزان چشمگیر ۴۷۰٪ افزایش داده است. به علاوه، این پوزولان، مقاومت الکتریکی SwC را تا $60\text{ k}\Omega/\text{cm}$ افزایش داده، که نشان می‌دهد از لحاظ تئوری، این نوع بتن در محیط‌های خورنده بسیار مقاوم است [27]. ویلیام و همکاران، نتایج مشابهی را در مورد افزایش مقاومت الکتریکی بتن با استفاده از دوده سیلیس در بتن گزارش کردند [33]. علاوه بر این، ارتباط معنا داری بین نتایج این آزمایش و مقاومت فشاری، مخصوصاً برای نمونه SwCS وجود دارد؛ این موضوع به این دلیل است که هر دو آزمایش تابع ماتریس تخلخل بتن هستند. مشاهدات نشان داد که سرباره، تأثیر مثبت و قابل توجهی در طول زمان در نتایج این آزمایش نداشته است. این موضوع احتمالاً به این دلیل است که ترکیبات شیمیایی

عمق کربناسیون بتن

این آزمایش بر روی نمونه ها پس از قرارگیری به مدت ۱۸۰ روز در شرایط جزرومدی انجام شد. واکنش کربناسیون در سازه های بتنی در معرض رطوبت، شامل تشکیل کربنات کلسیم یا کلسیت (CaCO_3) با مصرف (تجزیه) Ca(OH)_2 بوده (رابطه (۱))، و در این واکنش ژل C-S-H به دلیل کاهش قلیائیت خمیر سیمان به سیلیس آمورف یا کلسیت تبدیل می شود که به مراتب دارای تخلخل بیشتری از ژل C-S-H می باشد.



میزان عمق کربناسیون آزمون های بتنی در شکل (۹) نشان داده شده است. عمق کربناسیون در بتن شاهد (FWC) کمتر از بتن SWC بوده است که نشان می دهد آب شرب نسبت به آب دریا در برابر پیشروی کربناسیون مقاومتر است. این موضوع به دلیل وجود یون سولفات منیزیم در آب دریا است که باعث تسریع در تشکیل هیدروکسید کلسیم به عنوان یکی از محصولات هیدراسیون سیمان می شود، و ترکیب شیمیایی کلسیم هیدراته شده با CO_2 منجر به تشکیل CaCO_3 و یا واکنش کربناسیون میگردد. از طرفی نتایج این آزمایش رابطه مستقیمی با تخلخل و ترک های مویرگی در ریزساختار بتن دارد [36]. زیرا حضور توام سولفات منیزیم در آب و ماسه لایروبی شده دریا نیز باعث تشکیل حجم زیادی اترینگایت شده که نهایتا با گذر زمان منجر به گسترش ریزترک ها و متخلخل شدن ریزساختار بتن گردیده است. بنابراین، از طریق این ریزترک ها، حفرات مویینه ناشی از منبسط شدن کریستال های اترینگایت، CO_2 نیز به درون بافت بتن نفوذ کرده و باعث پیشروی کربناسیون در اعماق بتن، و نهایتا کاهش ظرفیت اتصال کلرید خمیر سیمان شده است [37]. این موضوع به این دلیل است، که در نواحی کربناته شده، انحلال پذیری نمک های فرایدل و کوزل افزایش می یابد که در صورت تداوم کربناسیون نهایتا تجزیه خواهند شد. این مکانیسم در نمونه های بتن شاهد (FWC)، بتن ساخته شده از آب و ماسه لایروبی شده (SWC) و نمونه حاوی سرباره (SWCG) بیشتر رخ داده است، زیرا در این نمونه ها، نواحی نیمه کربناته شده (به رنگ صورتی روشن) بعضا تا مرکز بتن نیز پیشروی داشته است.

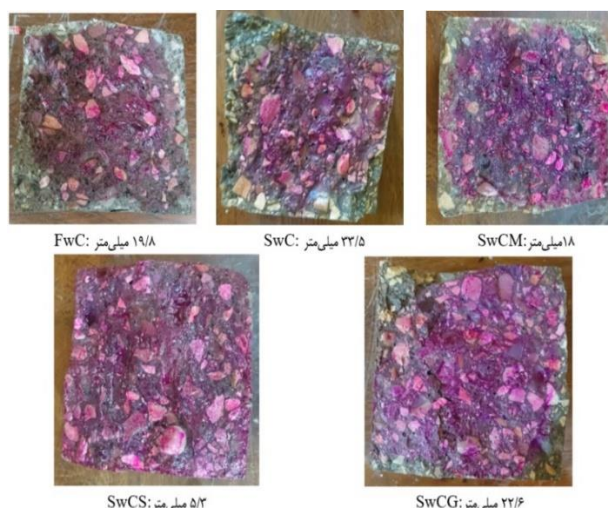
همانطور که مشاهده می شود، بتن شاهد SWC از نظر عمق نفوذ، تفاوتی چشمگیری با بتن شاهد (FWC) نداشته است، در همین راستا، یونس و همکاران بیان کردند که استفاده از آب دریا به عنوان آب اختلاط در بتن بر نفوذپذیری و مقاومت در برابر نفوذ کلرید بتن سخت شده تاثیر چشمگیری نمی گذارد [30]. در این آزمایش، نتایج شدیدا به پیوستگی، اتصال، ارتباط حفرات و عمل آوری صحیح (فرآیند هیدراسیون کامل) وابسته بوده که نشان می دهد ارتباط حفرات با یکدیگر در بتن ساخته شده از آب و ماسه دریا پیچیده تر بوده که باعث اختلاف ۱۰/۶٪ حداکثر عمق نفوذ آب با بتن شاهد شده است.

اتربخشی مقادیر بهینه یوزولان های متاکائولن و دوده سیلیس در بهبود تراکم و ریزساختار ماتریس سیمان در این آزمایش قابل ملاحظه بوده است. عملکرد این یوزولان ها عمدتا بر اساس پر کردن ترک ها و حفرات مویینه انتقال رطوبت در ماتریس خمیر سیمان می باشد که به این شکل در تعیین نتایج این آزمایش موثر بوده اند. افزودن متاکائولن ضمن داشتن خاصیت یوزولانی و پرکنندگی نسبی، حداکثر میزان عمق نفوذپذیری بتن SWC را ۲ میلی متر کاهش داد که مشابه با عملکرد سرباره بوده است. دوده سیلیس نیز باعث کاهش نفوذپذیری بتن SWC در سن ۲۸ روزگی به میزان ۱۱/۴٪ شده است که همانند متاکائولن، باعث کاهش میزان نفوذپذیری بتن SWC نسبت به بتن شاهد شده است. دوده سیلیس علاوه بر پر کردن خلل و فرج و حفرات مویینه انتقال رطوبت، باعث پیچیدگی (غیر یکنواختی) اتصالات و ارتباط آنها نیز با یکدیگر شده است. سونگ و همکاران نیز نشان دادند که دوده سیلیس نفوذپذیری بتن را در صورتی که نسبت جایگزینی آن بیش از ۸٪ باشد، شدیدا کاهش می دهد [34]. اکرم نیز نشان داد که دوده سیلیس و سرباره، با اصلاح خلل و فرج و ریزساختار بتن، نفوذپذیری آن را در سن ۲۸ روزگی کاهش می دهند [35]. استفاده از ترکیب ۱۰٪ دوده سیلیس و ۵٪ متاکائولن، منجر به کاهش حداکثر میزان عمق نفوذ در خمیر سیمان بتن SWC به میزان ۲۲٪ شده است. از طرفی افزودن ۱۵٪ سرباره به خمیر سیمان، تاثیر قابل توجهی بر بتن ساخته شده از آب و ماسه لایروبی شده دریا نداشته است. همانطور که اشاره شد، دلیل این موضوع، میزان ترک های مویینه بیشتر به واسطه ی انبساط ترکیبات شیمیایی مانند اترینگایت ناشی از حملات سولفات ها بوده است که از طریق آنها رطوبت و یون های رسانا در بافت بتن منتقل می شوند.

داشت. زیرا در نواحی کربناته شده، ظرفیت اتصال کلرید عملاً ناچیز است، این موضوع به این دلیل است که کربناسیون در ابتدا با کاهش pH و قلیائیت، باعث تجزیه نمک‌های فرایدل و کوزل می‌گردد که به این صورت ظرفیت اتصال شیمیایی کلرید در خمیر سیمان را کاهش می‌دهد. از طرفی با تبدیل ژل C-S-H به سیلیس آمورف و کلسیت، تراکم و وزن مخصوص ماتریس خمیر سیمان را کاهش داده و به لحاظ فیزیکی نیز ظرفیت اتصال کلرید خمیر سیمان را کاهش می‌دهد. بنابراین، کلریدهای آزاد به سهولت و آزادانه در بافت بتن پخش (منتشر) می‌شوند و در صورت وجود میلگرد فولادی منجر به خوردگی آن خواهند شد. در سایر نمونه‌ها به علت جایگزین شدن سیمان با متاکائولن و دوده سیلیس، از آهک موجود در خمیر سیمان کاسته شده و CaCO_3 کمتری در نتیجه‌ی واکنش شیمیایی بین آهک و CO_2 تشکیل شده است [12].

بررسی ریزساختار بتن

نتایج این آزمایش در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در ریزساختار نمونه‌های شاهد (FwC و SwC)، بافت پیوندهای بین ذرات سیمان و آب شرب از اشکال متبلور هیدروکسید کلسیم منظم همراه با حفره‌های سطحی تشکیل شده است. بررسی آنالیز ریزساختار نشان می‌دهد که ماتریس خمیر سیمان به دلیل عدم وجود پوزولان‌ها کاملاً متراکم نشده است. به طور کلی، خمیر سیمان آزمونه‌های حاوی آب دریا، دارای ریزساختاری متراکم‌تر، با مقادیر کمتر منافذ و حفرات با ابعاد بزرگ، اما عمیق‌تر نسبت به خمیر بتن شاهد FwC مشاهده شد. این موضوع را می‌توان به واکنش هیدراسیون سریع‌تر در سنین پایین خمیر آب دریا نسبت به خمیر سیمان آب شرب نسبت داد که منجر به تشکیل یک ریزساختار متخلخل با اتصالات پیچیده بین حفرات شده است [39]، [40]. همانطور که در نمونه شاهد FwC مشاهده می‌شود، ژل کلسیم سیلیکات هیدرات (C-S-H) توزیع پراکنده‌ای در خمیر آب شرب دارد. از طرفی، خمیر سیمان ساخته شده با آب دریا بافتی سوزنی شکل تشکیل داده است که موجب کاهش سطح تماس مفید با سنگدانه در ناحیه انتقال (مرز مشترک بین سنگدانه و خمیر سیمان)، و اتصال ضعیف با سنگدانه در این ناحیه شده است. این موضوع در نهایت جدا شدن سنگدانه از خمیر سیمان در فشارهای محیطی را در پی خواهد داشت. اترینگایت نیز در



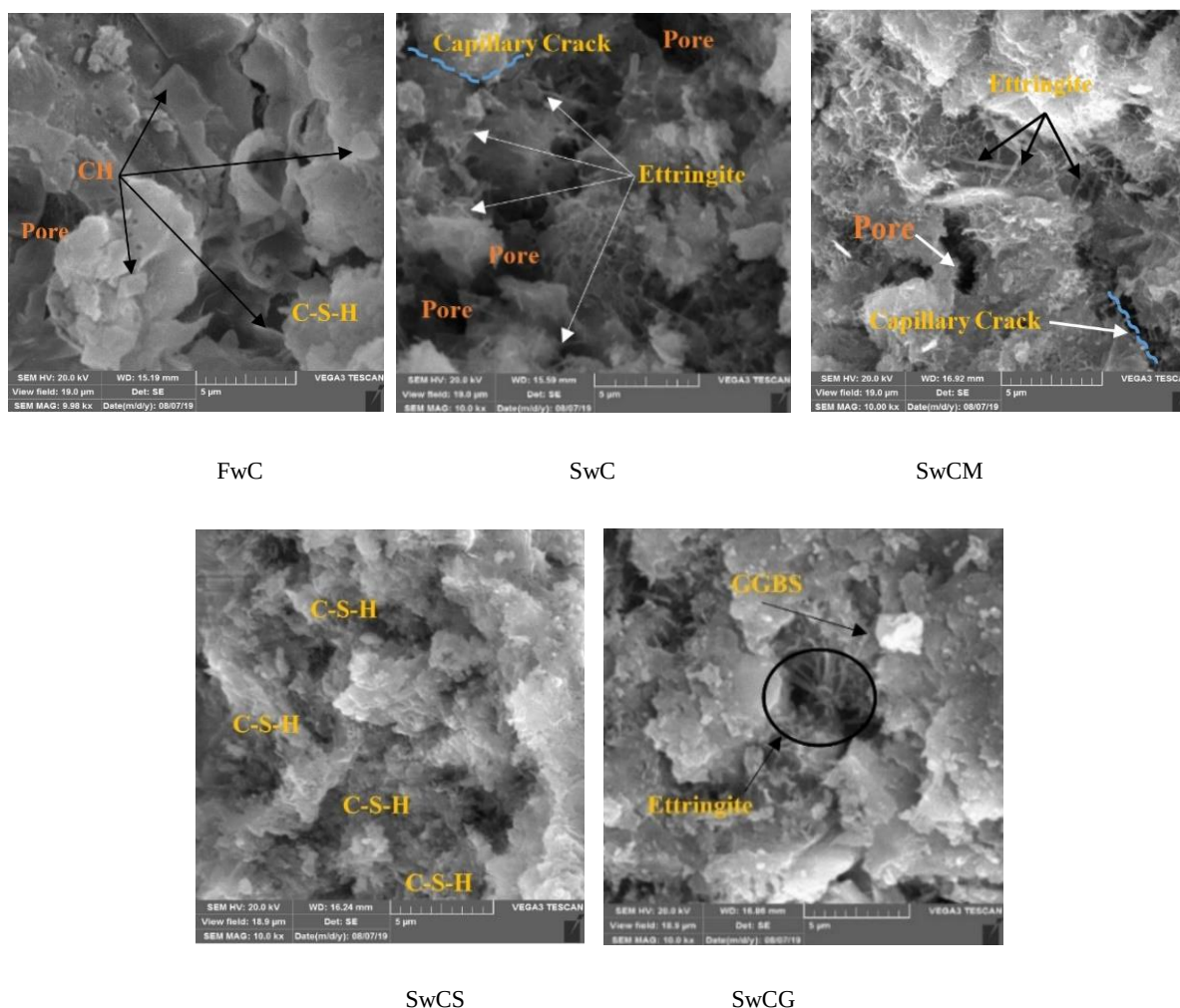
شکل ۹ نتایج آزمایش تعیین عمق کربناسیون آزمونه‌های بتنی پس از قرارگیری به مدت ۱۸۰ روز در شرایط جزرومدی خلیج فارس

همانطور که گفته شد، به دلیل CO_2 موجود در اتمسفر، واکنش کربناسیون از سطوح خارجی بتن آغاز شده و پیشروی آن بسته به پارامترهای ریزساختاری مانند تخلخل، میزان هیدروکسید کلسیم، قلیائیت (مناثر از افزودنی‌ها و مکمل‌های سیمانی نظیر پوزولان‌ها)، ممکن است تحت تاثیر قرار گیرد. مشاهده می‌شود که افزودن پوزولان‌ها، با تغییر ریزساختار فیزیکی و تراکم خمیر سیمان، باعث کنترل پیشروی و کاهش شدت کربناسیون شده‌اند. در نمونه‌های حاوی دوده سیلیس، عمق کربناسیون کمتر از مخلوط‌های دیگر بود، که نشان می‌دهد بتن حاوی دوده سیلیس در برابر کربناسیون مقاوم‌تر است. این موضوع به این دلیل است که دوده سیلیس با تسریع مصرف کلسیم هیدراته شده $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ، باعث تجزیه‌ی آن شده و میزان آن را شدیداً کاهش می‌دهد و در ابتدای هیدراسیون باعث کاهش قلیائیت بتن می‌شود، و با جلوگیری از تشکیل هیدروکسید کلسیم، در نهایت CaCO_3 کمتری در حضور CO_2 تشکیل خواهد شد. [38]. از طرفی، سرباره با توجه به میزان بالای کلسیم در ترکیبات شیمیایی خود، منجر به تشکیل بیشتر هیدروکسید کلسیم و ترکیب با CO_2 شده و در نهایت پتانسیل خوردگی بیشتری در رابطه با تشکیل CaCO_3 یا کربناسیون به نسبت متاکائولن و دوده سیلیس از خود نشان داده است. به علاوه، سرباره باعث افزایش سطح ناحیه‌ی "نیمه کربناته" شده است که نشان می‌دهد قلیائیت بتن کاهش یافته است. لذا استفاده از سرباره در مناطق دریایی، خطر افزایش کربناسیون شدید و حملات بعدی کلریدها را به دنبال خواهد

شود، و از لحاظ مورفولوژیکی اندکی بزرگ‌تر از کریستال‌های اترینگایت است، اما در این تحقیق، با توجه به پایداری بیشتر اترینگایت در محیط‌های غنی از سولفات‌ها این فاز مشاهده نشد [30].

افزودن مکمل سیمانی متاکائولن به میزان ۵٪، تا حدودی موجب کاهش تخلخل، اندازه و مقدار کریستال‌های هیدروکسید کلسیم در ناحیه انتقال SwC شده است. در طرح اختلاط مذکور (SwCM)، بافت ناحیه انتقال، سوزنی شکل تا حدودی ثابت باقی مانده است، اما متاکائولن پس از پر کردن نسبی فضاهای خالی، موجب تراکم بیشتر نسبت به SwC شده است [25].

طول فرآیند هیدراسیون خمیر سیمان تشکیل شده است که از لحاظ مورفولوژیکی باعث سوزنی‌تر شدن ریزساختار در ناحیه انتقال خمیر سیمان و سنگدانه شده که عمدتاً به واسطه واکنش شیمیایی بین هیدروکسید کلسیم و سولفات‌های موجود بوده است. به طور کلی، اترینگایت بیشتر در طرح اختلاط‌هایی مشاهده می‌شود که هیدروکسید کلسیم بیشتری در ترکیب شیمیایی مصالح سیمانی خود داشته‌اند، که شامل سرباره می‌شود. لازم به ذکر است خود سیمان نیز به دلیل وجود مقادیر بالای آهک، در معرض با محیط‌های سولفاتی، پتانسیل زیادی برای تشکیل اترینگایت یا گچ دارد. گچ ممکن است از تجزیه دکامپوزیت) شدن اترینگایت در محیط‌های سولفاتی شدید تولید



شکل ۱۰ ریزساختار و مورفولوژی نمونه‌ها در سن ۲۸ روز با بزرگنمایی ۱۰ هزار برابری. هیدروکسید کلسیم: (CH)، کلسیم-سیلیکات-هیدرات: (C-S-H)، اترینگایت: (Ettringite)، سرباره: (GGBS)، حفرات و ترک‌های مویینه: Pore & Capillary crack

۱. استفاده از ۲۵٪ ماسه لایروبی شده و آب خلیج فارس، به دلیل حضور نمک‌های کلرید، خواص مکانیکی بتن را حدود ۶٪ در سنین اولیه (۷ روزه) بهبود بخشید، اما تا سن ۲۸ روزگی به دلیل افزایش تدریجی تخلخل ناشی از تورم اترینگایت و گچ در نتیجه‌ی حملات سولفات‌ها، کاهش تدریجی مقاومت فشاری را به دنبال داشت.

۲. دوده‌سیلیس (۱۰٪) به علت مقادیر بالای SiO_2 و واکنش پذیری شدید با کلریدهای آب دریا، ضمن افزایش چشمگیر سرعت گیرش اولیه و کاهش اسلامپ، باعث تشکیل ریزساختار متراکم C-S-H شد. از طرفی ترکیبات شیمیایی دوده‌سیلیس باعث جلوگیری از تشکیل بیش از حد هیدروکسید کلسیم شد، که در نهایت با توجه به تراکم قابل قبول و کمبود هیدروکسید کلسیم برای تشکیل کلسیت، باعث جلوگیری از پیشروی کرناسیون و تشکیل اترینگایت و گچ در بافت بتن شد.

۳. نتایج نشان داد افزودن متاکائولن (۵٪)، خواص مکانیکی ریزساختار بتن ساخته شده از آب و ماسه دریا را به میزان ناچیزی ارتقا می‌دهد، ولیکن استفاده از این پوزولان به علت حضور منبع بالای آلومینا در مواردی که حضور کلریدها بحرانی است موثرتر خواهد بود و در مواردی که علاوه بر کلریدها، سولفات‌ها نیز حضور داشته باشند، تاثیر چشمگیری ندارد و عمدتاً باعث تشکیل محصولات منبسط شونده مانند اترینگایت می‌گردد.

۴. استفاده از ۱۵٪ سرباره، علیرغم بهبود جزئی خواص مکانیکی، به دلیل منبع بالای CaO در ترکیبات شیمیایی خود، در محیط‌های دریایی، منجر به تشدید (پیشروی) کرناسیون، و همچنین افزایش محصولات حجیم شونده ناشی از حملات منیزیم سولفات (MgSO_4) می‌شود. بنابراین، استفاده از سرباره با این شرایط، در بتن‌های مورد استفاده در شرایط دریایی (جزرومدی خلیج فارس) منجر به بهبود پارامترهای مقاومت و دوام نخواهد شد.

سپاسگزاری

افزودن ۱۰٪ دوده‌سیلیس به SwC باعث کاهش تعداد و عمق منافذ و مقدار کریستال‌های هیدروکسید کلسیم و لبه‌های ناهموار آنها در ناحیه انتقال بتن شده است. این موضوع نشان می‌دهد که روند مصرف (تجزیه) هیدروکسید کلسیم با افزودن دوده‌سیلیس سرعت یافته است و همچنان ادامه دارد و این ناحیه از لحاظ مکانیکی تقویت شده است. از طرفی، ناحیه انتقال در مخلوط SwCS یک بافت منسجم و متراکم از C-S-H نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل خاصیت ریزدانه‌گی، منبع بالای SiO_2 و واکنش-پذیری دوده‌سیلیس باشد. آنالیز SEM نشان می‌دهد که افزودن دوده‌سیلیس به بتن SwC ، منجر به تراکم بیشتر خمیر سیمان در ناحیه‌ی انتقال، به نسبت دو پوزولان دیگر شده است؛ این موضوع باعث اتصال و سطح تماس بیشتر سنگدانه و شیریه‌ی سیمان شده که دلیل دیگری بر مقاومت فشاری مطلوب این طرح اختلاط می‌باشد. افزودن ۱۵٪ سرباره به خمیر سیمان ساخته شده از آب دریا منجر به تشکیل یک بافت لایه‌ای زیر در ناحیه‌ی انتقال بتن شده است. این ترکیب باعث ایجاد یک سطح ناهموار با تخلخل سطحی کم، ولی گسترش ریزترک‌ها و منافذ عمیق در میان این بافت لایه‌ای گردیده است [5]. همانطور که پیشتر بیان شد، در این آنالیز می‌توان مشاهده نمود که حضور آهک (CaO) بیش از حد در این پوزولان، منجر به تشکیل هیدروکسید کلسیم حین فرآیند هیدراسیون و واکنش شیمیایی آن با سولفات منیزیم شده که نهایتاً باعث تشکیل محصولات منبسط شونده مانند کریستال‌های اترینگایت شده است. در خمیر سیمان این طرح اختلاط (SwCG)، کریستال‌های اترینگایت به وضوح قابل مشاهده هستند که در نهایت منجر به تشکیل حفره و تشدید تخلخل در اطراف خود و افت خواص مکانیکی بتن شده‌اند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور بررسی میدانی تاثیر پوزولان‌های متاکائولن (۵٪)، سرباره (۱۵٪)، دوده‌سیلیس (۱۰٪) بر پارامترهای دوام بتن ساخته شده از ماسه لایروبی شده و آب خلیج فارس (مستخرج از بندر شهید رجایی بندرعباس) در شرایط جزرومدی صورت گرفت که نتایج زیر حاصل شدند:

مراجع

[1] M. Khatibmasjedi, S. Ramanathan, P. Suraneni, and A. Nanni, "Compressive strength development of

- seawater-mixed concrete subject to different curing regimes,” *ACI Mater. J.*, vol. 117, no. 5, 2020. doi: 10.14359/51725973.
- [2] U. Ebead, D. Lau, F. Lollini, A. Nanni, P. Suraneni, and T. Yu, “A review of recent advances in the science and technology of seawater-mixed concrete,” *Cement and Concrete Research*, vol. 152, p. 106666, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106666>
- [3] M. Jahani, S. Shahnoori, S. Moradi, and C. Ershadi, “Cleaner Production Towards a Green Concrete ; Multi-scale Experimental Study on Long-Term Performance of a Sustainable Modified-SWSSC,” vol. 6, no. 6, pp. 43–59, 2022. <https://doi.org/10.11648/j.ajcbm.20220601.14>
- [4] S. Moradi, S. Shahnoori, S. T. Tabatabaei Aghda, and C. Ershadi, “Study of resistance and durability parameters of Roller Compacted Concrete Pavement made of Dredged Marine Sand extracted from the coastal areas of Persian Gulf (Shahid Rajaee port),” *Concr. Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 41–53, 2018. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/jcr.2018.7437.1239>
- [5] S. Moradi, and S. Shahnoori, “Eco-friendly mix for Roller-Compacted Concrete: Effects of Persian-Gulf-Dredged marine sand on durability and resistance parameters of concrete,” *Construction and building Materials*, vol. 281, pp. 122555, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122555>.
- [6] A. Shayan, A. Xu, G. Chirgwin, and H. Morris, “Effects of seawater on AAR expansion of concrete,” *Cement Concrete Research*, vol. 40, no. 4, pp. 563-568, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.008>
- [7] H. H. Steinour, “Concrete Mix Water--How Impure Can It Be?,” 1960.
- [8] M. Jahani, S. Shahnoori, and S. Moradi, “Long Term observations in an Experimental study on durability of a Sustainable Concrete Made with Sea-water and Sea-sand in Tidal Conditions,” 2022.
- [9] M. Khatibmasjedi, S. Ramanathan, P. Suraneni, and A. Nanni, “Shrinkage behavior of cementitious mortars mixed with seawater,” *Adv. Civ. Eng. Mater.*, vol. 8, no. 2, pp. 64–78, 2019. <https://doi.org/10.1520/ACEM20180110>
- [10] A. M. Rashad, and A. S. Ouda, “Effect of tidal zone and seawater attack on high-volume fly ash pastes enhanced with metakaolin and quartz powder in the marine environment,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 324, pp. 111261, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111261>
- [11] X. Shen, Q. F. Liu, Z. Hu, W. Q. Jiang, X. Lin, D. Hou, and P. Hao, “Combine ingress of chloride and carbonation in marine-exposed concrete under unsaturated environment: A numerical study,” *Ocean Engineering*, vol. 189, pp. 106350, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106350>
- [12] Y. Yi, D. Zhu, S. Guo, Z. Zhang, and C. Shi, “A review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the marine environment,” *Cement Concrete Composites*, vol. 113, pp. 103695, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103695>
- [13] X. Jiang, S. Mu, Z. Yang, J. Tang, and T. Li, “Effect of temperature on durability of cement-based material to physical sulfate attack,” *Construction and Building Materials*, vol. 266, pp. 120936, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120936>

- [14] J. Liu, G. Ou, Q. Qiu, X. Chen, J. Hong, and F. Xing, "Chloride transport and microstructure of concrete with/without fly ash under atmospheric chloride condition," *Construction and Building Materials*, vol. 146, pp. 493–501, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.018>
- [15] R. M. De Gutiérrez, L. N. Diaz, and S. Delvasto, "Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars," *Cement Concrete Composites*, vol. 27, no. 5, pp. 593–598, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.010>
- [16] S. Cheng, Z. Shui, T. Sun, Y. Huang, and K. Liu, "Effects of seawater and supplementary cementitious materials on the durability and microstructure of lightweight aggregate concrete," *Construction and building Materials*, vol. 190, pp. 1081–1090, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.178>
- [17] D. L. Pillay, O. B. Olalusi, M. W. Kiliswa, P. O. Awoyera, J. T. Kolawole, and A. J. Babafemi, "Engineering performance of metakaolin based concrete," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 6, p. 100383, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100383>
- [18] M. Valipour, F. Pargar, M. Shekarchi, and S. Khani, "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study," *Construction and building Materials*, vol. 41, pp. 879–888, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.054>
- [19] W. A. Al-Kutti and N. M. Al-Akhras, "The durability of partially-damaged concrete with the addition of silica fume and ground granulated blast furnace slag," *Key Engineering Materials*, vol. 711, pp. 277–284, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.711.277>
- [20] Jahani, A., Estabragh, A. R., Khajepour, H., & Amini, M. (2022). Comparison of the Effect of Cement, Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBS), and Activated GGBS on Stabilization of a Clay Soil. *Ferdowsi Civil Engineering*, vol.35, no.3. doi:10.22067/jfcei.2022.74908.1115
- [21] A. R. Estabragh, A. Jahani, A. A. Javadi, and M. Babalar, "Assessment of different agents for stabilisation of a clay soil," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 23, no. 2, 2022. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1736293>
- [22] ASTM Committee, "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, ASTM C566-97," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 97, no. Reapproved 2004, pp. 5–7, 1997.
- [23] C128/C128M, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption," *ASTM International*, pp. 1–6, 2001.
- [24] ASTM C143/C143M, "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete," *Astm C143*, no. 1, pp. 1–4, 2015.
- [25] Z. Shi, Z. Shui, Q. Li, and H. Geng, "Combined effect of metakaolin and sea water on performance and microstructures of concrete," *Construction and building Materials*, vol. 74, pp. 57-64, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.023>
- [26] "Bs 1881 Part 124 Pdf 14l 1 / 3," pp. 3–5, 1881.
- [27] ACI Committee 222, "Protection of Metals in Concrete Against Corrosion," *Aci 222R-01*, pp. 1–41, 2001.

- [28] Limeira, J., Etxeberria, M., Agulló, L., & Molina, D. (2011). Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand. *Construction and building materials*, 25(11), 4165-4174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.053>
- [29] O. Cascudo, P. Pires, H. Carasek, A. De Castro, and A. Lopes, "Evaluation of the pore solution of concretes with mineral additions subjected to 14 years of natural carbonation," *Cement Concrete Composites*, vol. 115, pp. 103858, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103858>
- [30] A. Younis, U. Ebead, P. Suraneni, and A. Nanni, "Fresh and hardened properties of seawater-mixed concrete," *Construction and building Materials*, vol. 190, pp. 276–286, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.126>
- [31] P. Sikora, K. Cendrowski, M. Abd Elrahman, S. Y. Chung, E. Mijowska, and D. Stephan, "The effects of seawater on the hydration, microstructure and strength development of Portland cement pastes incorporating colloidal silica," *Applied Nanoscience*, vol. 10, no. 8, pp. 2627-2638, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13204-019-00993-8>
- [32] Y. Demir, H. Yaprak, and O. ŞİMŞEK, "The effect of sea water on the properties of concrete with silica fume admixture," *Cem. Wapno Bet.*, vol. 15, no. 1, 2010.
- [33] M. Williams, J. M. Ortega, I. Sánchez, M. Cabeza, and M. Á. Climent, "Non-destructive study of the microstructural effects of sodium and magnesium sulphate attack on mortars containing silica fume using impedance spectroscopy," *Applied Science*, vol. 7, no. 7, p. 648, 2017. <https://doi.org/10.3390/app7070648>
- [34] H. W. Song, S. W. Pack, S. H. Nam, J. C. Jang, and V. Saraswathy, "Estimation of the permeability of silica fume cement concrete," *Construction and building Materials*, vol. 24, no. 3, pp. 315–321, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.033>
- [35] M. R. Akram, and S. Raza, "Effect of micro silica and ggbs on compressive strength and permeability of impervious concrete as a cement replacement," *Eur. Acad. Res.*, vol. 3, no. 7, pp. 7456–7468, 2015.
- [36] S. A. Barbhuiya, P. A. M. Basheer, M. W. Clark, and G. I. B. Rankin, "Effects of seawater-neutralised bauxite refinery residue on properties of concrete," *Cement Concrete Composites*, vol. 33, no. 6, pp. 668–679, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.03.010>
- [37] S. Sadati, M. K. Moradillo, and M. Shekarchi, "Long-term durability of onshore coated concrete—chloride ion and carbonation effects," *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 150–161, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11709-016-0341-2>
- [38] H. Li, N. Farzadnia, and C. Shi, "The role of seawater in interaction of slag and silica fume with cement in low water-to-binder ratio pastes at the early age of hydration," *Construction and building Materials*, vol. 185, pp. 508-518, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.091>
- [39] M. Guo, B. Hu, F. Xing, X. Zhou, M. Sun, L. Sui, and Y. Zhou, "Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis," *Construction and building Materials*, vol. 234, pp. 117339, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117339>

- [40] M. Jahani, S. Moradi, S. Shahnoori, "4-year monitoring of degradation mechanisms of seawater sea-sand concrete exposed to tidal conditions: development of chemical composition and micro-performance," Constr. Build. Mater., vol. 409, pp. 133475, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133475>

A Policy Model in the Field of Municipal Urban Services using a Mixed Method

Research Article

Morteza Sharifi¹, Hassan Amiri², Mahmoud Modiri³, Farzaneh Beigzadeh⁴

DOI: [10.22067/jfcej.2023.83093.1240](https://doi.org/10.22067/jfcej.2023.83093.1240)

1. Introduction

The stability and development of any developed city depend on the policy makers. This issue shows the importance of policy making, planning, construction and implementation in analyzing the efficiency and effectiveness of statesmen and city managers. Considering the importance of municipalities in creating or limiting sustainable cities, there is a need to create a macro policy framework to support urban development and provide urban services. Policy is an action plan designed by the government, political and commercial units to influence decisions, actions, and other issues. From management perspective, policy making process has many stages and includes agenda preparation, policy formation, policy implementation, policy evaluation, policy change, and policy end. Nargesian et al. emphasized the features of self-interaction, feedback, and strict policy implementation. Some believe that human resource management and professionalism, as well as support and organizational conditions are the most important factors in every policy. Moreover, some believe that an appropriate policy should emphasize the individual factors, support, culture, economy, supervision, as well as social, legal, organizational issues. Researches have shown that due to the lack of public participation, data, resources, and regulations, there is a gap between the implementation and the ideal conditions of policy making, and the gap should be minimized through culture in order to implement a more optimal policy. Among the limitations of implementing policies are the lack of economic incentive policies and insufficient financial support, weakness in laws and regulations and supervision, lack of coordination between government institutions and lack of public awareness in participation and finally control and evaluation measures. Accordingly, a policy in urban environmental control measures has been introduced.

There are many challenges in urban policy-making that cause ineffectiveness of the policy. Therefore, it is very important to provide a suitable policy model in the field of urban services in the current competitive environment. Using appropriate policies to provide urban services for the development of the city and improving the provision of urban

services is an issue that municipalities are facing. Therefore, the main question of the research is: What is the pattern of policy making in the field of urban services in the municipalities?

2. Method

According to the type of data, the current research is mixed (qualitative-quantitative) of exploratory type, and cross-sectional according to the time of data collection. The research community consisted of 12 experts, including senior managers of Rasht Municipality, who responded in a targeted, theoretical, and snowball method until theoretical saturation was reached. These experts have more than 15 years of work experience in executive positions related to urban services and have a master's degree or higher and were totally familiar with the subject of the research. A semi-structured in-depth interview with experts was conducted and then the interview data was analyzed using content analysis in open, central, and selective coding stages. Reliability of qualitative content analysis was examined using credibility, dependability, conformability, transferability, and authenticity. Then, fuzzy Delphi method was used to determine and confirm the components and dimensions of the model. To determine the relationship between the dimensions and components and to determine the pattern, the design pairwise comparison questionnaire and the transient effects of the pattern were determined by analytical network process based on Fuzzy DEMATEL.

3. Analysis

The findings of the qualitative section showed that the urban service policy model has five dimensions and 20 components. Environmental, cultural, and economical dimensions are the causes, and environmental dimension is the most influenced. Also, content and operational dimensions are effects, among of which the operational dimension is the most influencing. These findings show that the operational dimension for formulating and implementing the policy model is a challenge that should be tackled as soon as possible by the effective dimensions and the managers should focus on the effective

*Manuscript received June 26, 2023, Revised, July 23, 2023, Accepted, November 6, 2023.

¹. Ph.D. student, Department of Public Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

². Corresponding author. Assistant Professor, Department of Public Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: H_Amiri@azad.ac.ir

³. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Business Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

dimensions for formulating and implementing the policy model. The weighting findings showed that the highest weight is related to the operational dimension and the lowest weight is related to the environmental dimension. Among the components of the model, “human capacities” has the most weight, which gained the first importance. Among the twenty components, evaluation component is the second one in terms of importance, followed by functional, executives, and institutional coordination.

4. Conclusion and suggestions

The innovation of the research is to provide new “cultural” and “content” dimensions in urban policy that were not considered in previous studies. The results showed that environmental and external support factors guide policies towards organizational goals. Governments can improve policies in municipalities through appropriate and timely policies. Moreover, the results showed that the success of the policies of the municipality's urban services depends on the improvement of the “operational” dimension and proper implementation, and law enforcement and adequate infrastructure are important policy tools. Here, the role of coordination, implementation, and evaluation variables in the effective implementation of policies was highlighted. In addition, as the weight of human capacities is 9.24, which is the highest, the changing role of the capacities in the implementation of the policy proved to be so significant. Experienced and trained employees can help the implementation of policies. In the end, generalizing the findings of this research to other organizations should be done with caution. It is recommended that researchers pay attention to political factors in presenting policy models.



ارائه الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری با رویکرد آمیخته*

مقاله پژوهشی

مرتضی شریفی^(۱) حسن امیری^(۲) محمود مدیری^(۳) فرزانه بیگزاده^(۴)

DOI: 10.22067/jfpei.2023.83093.1240

چکیده خط‌مشی‌گذاری مناسب یکی از راهکارهای مناسب برای کسب اهداف توسعه شهری و ارائه خدمات بهتر به شهروندان می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف ارائه الگوی خط‌مشی‌گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری با رویکرد آمیخته (کیفی و کمی) انجام شده است. در بخش کیفی، ابعاد و مولفه‌های الگو با روش تحلیل محتوا استخراج شدند. در بخش کمی، داده‌ها با استفاده از ابزار پرسش‌نامه جمع‌آوری شده است. جامعه تحقیق تعداد ۱۰ نفر خبره شامل مدیران ارشد شهرداری هستند. با تکنیک دلفی فازی، ابعاد و مولفه‌ها غربالگری و انتخاب و با روش دیمتل فازی روابط بین آن‌ها تعیین و الگو طراحی و در نهایت با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. یافته‌های بخش کیفی نشان داد که الگو شامل پنج بعد «محیطی»، «اقتصادی»، «فرهنگی»، «محتوایی» و «عملیاتی» به همراه ۲۰ مولفه می‌باشد. یافته‌های بخش کمی و دیمتل فازی نشان داد که به ترتیب اولویت ابعاد «محیطی»، «فرهنگی»، «اقتصادی»، «محتوایی» و «عملیاتی» بر یکدیگر اثرگذار هستند به گونه‌ای که «محیطی» تأثیرگذارترین و «عملیاتی» تأثیرپذیرترین می‌باشد. یافته‌های وزن‌دهی نیز نشان داد که بعد «عملیاتی» بیشترین وزن و مولفه‌های «ظرفیت‌های انسانی»، «ارزیابی» و «اجرایی» به ترتیب اهمیت اول تا سوم را کسب کردند. مدیران شهرداری برای بهبود اجرای الگوی پیشنهادی بر توانمندسازی نیروی انسانی در بخش درون سازمانی و هماهنگی با بالادستی در بخش بیرون سازمانی تمرکز داشته باشند.

واژه‌های کلیدی خط‌مشی، خط‌مشی‌گذاری، خدمات شهرداری.

A Model for Policy in the Field of Municipal Urban Services with a Mixed Approach

Morteza Sharifi Hassan Amiri Mahmoud Modiri Farzaneh Beigzadeh

Abstract Policy making is one of the suitable approaches in acquiring city developing goals and providing better services for citizens. This research was accomplished by the objective of policy making in the city services in municipality by using mixed (quantity and quality) approach. In quantity area, data was gathered by questionnaire tool. The research population consisted of 10 persons of expert managers of municipality. Dimensions and components of screening and selecting were done by Fuzzy Delphi and utilizing Fuzzy DEMATEL method, their relationship was determined then the pattern was designed, and finally by using Fuzzy Analytical Network Process weighed and prioritized. The findings of the quality part indicated that the pattern included five dimensions including: "environmental", "economical", "cultural", "contextual", and "operational" dimensions orderly and 20 components. The findings of quantity part and Fuzzy DEMATEL indicated that there is a kind of relationship between dimensions, so that the "environmental", "economical", "cultural", "contextual", "operational" dimensions have mutual effects on each others, orderly. The weighing findings also showed that the "operational" dimension had the most weight, and the components "human capacity", "evaluation", and "implementation" acquired the first, second and third importance, orderly. So, it is proposed that the managers of municipality concentrate on human resources to implement the proposed pattern for enabling the human resources in interoffice part and have coordination with superiors in out of organization part.

Key Words Policy, Policy-making, Services in municipality.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۴/۵ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۸/۱۶ می‌باشد.

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت دولتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

Email: H_Amiri@azad.ac.ir

(۲) نویسنده مسنول، گروه مدیریت دولتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

(۳) گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

(۴) گروه مدیریت کسب و کار، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

مقدمه

امروزه، با پیچیده تر شدن اداره جوامع، ارزشیابی خط مشی های عمومی برای سازمان ها و دولت ها اجتناب ناپذیر شده است [1]. در خدمات عمومی شهری و خط مشی گذاری های شهری باید تعقل گرایی مدیریت و تعقل گرایی منافع عمومی در نظر گرفته شود [2]. ثبات و توسعه هر شهر توسعه یافته، وابسته به خط مشی گذاران آن است. این موضوع، ارتباط اهمیت خط مشی گذاری، برنامه ریزی، ساخت و اجرا در تجزیه و تحلیل کارایی و اثربخشی دولتمردان و مدیران شهری را نشان می دهد [3]. با توجه به اهمیت شهرداری های در ایجاد یا محدود کردن شهرهای پایدار، نیاز به ایجاد چارچوب خط مشی گذاری کلان برای حمایت از توسعه شهری و ارائه خدمات شهری وجود دارد [4]. سیاستگذاران شرایط موجود شهری را برای خط مشی گذاری در نظر نمی گیرند و موجب ناکارآمدی و شکست خطی مشی می گردد [5].

در خط مشی گذاری شهری چالش های بسیاری وجود دارد که موجب ناکارآمدی خط مشی گذاری می گردد. جدا در نظر گرفتن ابزار خط مشی گذاری (PI) (policy instruments) یکی از چالش ها است. در طراحی خط مشی ها باید یک چارچوب مناسبی را برای همراستایی ابزار خط مشی گذاری در نظر گرفت که با یکدیگر در تعامل باشند و سعی بر آن باشد تا ارتباط بین ذینفعان افزایش یابد [6]. همچنین خط مشی گذاری به شدت تحت تأثیر سطوح دولتی بالا در سطح شهر قرار دارند [4]. یکی از چالش های مهم پژوهش های شهری، نبود اعتماد کافی میان مدیران ارشد اجرایی و خط مشی گذاران (اعضای شورای شهر) به متخصصان است [7]. همچنین در موضوع خط مشی گذاری شهری، شناسایی بازیگران و ذینفعان مختلف حائز اهمیت است [8]. در خط مشی گذاری حوزه خدمات، اهداف بر کار واقعی یا عملکرد مقامات اجرایی تأثیر دارند. این یافته نشان می دهد که بین اهداف و خط مشی گذاری ها باید سازگاری وجود داشته باشد [9]. شواهد نشان می دهد یکی از مسائلی که امروزه کشورهای مختلف دنیا را در حوزه مدیریت دولتی تحت تأثیر خود قرار داده، نبود الگوی مفهومی کلان و ساختار کارآمد خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری است [10]. مطالعه شگری و همکاران [11] تاکید کرده است که بر اساس فرآیند خط مشی گذاری، مهمترین مراحل تأثیرگذار در

کیفیت خط مشی ها، مرحله تدوین خط مشی و مرحله مشروعیت بخشی به خط مشی می باشد و این یافته ها در تحقیق دانایی فرد و همکاران [1] تاکید شده است. هدف اصلی خط مشی های شهری این است که سیاست گذاران بتوانند خط مشی مبتنی بر شواهد را طراحی کنند [12]. امروزه تا حد زیادی موفقیت و شکست خط مشی ها را می توان از طریق شناسایی و بهبود شاخص های هر مرحله از فرآیند خط مشی گذاری تعیین کرد [11]. بنابراین، ارائه الگوی مناسب خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری در فضای رقابتی کنونی بسیار حائز اهمیت است.

امروزه برای پیشرفت و توسعه شهری، نیاز به شیوه های جدید الگوی خط مشی گذاری درحوزه خدمات شهری است. زیرا در سال های اخیر مشکلاتی مانند نارضایتی شهروندان از توسعه شهری و برنامه ریزی و نظارت نامناسب بر خدمات شهری سبب شده تا توسعه شهری و ارائه مناسب خدمات شهری به شهروندان در خطر بیافتد و منجر به عدم توسعه شهری گردد. چنین استنباط می گردد که مشکلات بوجود آمده مطرح شده ناشی از خط مشی گذاری ناقص و اشتباه است و موجب شده است که اجرای خط مشی ها با آن چه مورد نظر سازمان می باشد، همسان نباشد. ضعف در خط مشی، افزایش کیفیت و بهبود ارائه خدمات به شهروندان را متوقف کرده است. بنابراین بکارگیری خط مشی های مناسب برای ارائه خدمات شهری جهت توسعه شهر و بهبود ارائه خدمات شهری یک مسئله است که شهرداری ها با آن مواجه هستند. بنابراین، سوال اصلی تحقیق این است که الگوی خط مشی گذاری حوزه خدمات شهری در شهرداری چگونه است؟

اهداف تحقیق حاضر عبارتند از:

۱. تعیین ابعاد و مولفه ها الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری.
۲. تعیین ارتباط بین ابعاد و مولفه ها الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری.
۳. تعیین وزن و اهمیت ابعاد و مولفه های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری.

ادبیات و پیشینه نظری تحقیق

خط مشی

خط مشی فرایندی است که دولت با آن ایده های خود را به

[1] عوامل «تشخیص مسئله، تدوین خط مشی، مشروعیت بخشی به خط مشی، اجراء و ارزشیابی» را در فرآیند خط مشی گذاری نام برد. برمند (Bermand) (۱۹۸۰) بیان می دارد که میان محیط و پیامدهای اجراء خط مشی رابطه وجود دارد. بر این اساس بستر سازمانی، سیاسی، اجتماعی و قانونی ای که خط مشی در آن اجرا می شود تاثیر بسزائی بر احتمال موفقیت آن دارد [22]. همچنین آیاندا (Iyanda) و همکاران [23] عوامل خط مشی گذاری را شامل عوامل محتوایی، ساختار و نهاد، پشتیبانی، مجریان و سازمان های مجری و محیطی می دانند. شهرداری ها باید اهداف و اقدامات را در چهارچوب خطی مشی متشکل از چهار محور، یعنی ۱) محیط و کیفیت زندگی، ۲) سیاست اجتماعی، بهداشت، آموزش، فرهنگ و ورزش، ۳) اقتصاد محلی و اشتغال، و ۴) بهبود توان فنی، مدیریتی و مالی شهرداری تعریف کنند. علاوه بر این، آن ها باید شاخص های ورودی، خروجی و نتایج را تعیین کنند که بر اساس آنها پیشرفت را زیر نظر داشته باشد [24].

نرگیان و همکاران [25] در مطالعه خط مشی گذار در حوزه بانکداری بر ویژگی های خودتعاملی، بازخورد و اجرای دقیق خط مشی تاکید کرده اند. انصاری و همکاران [26] در خط مشی گذاری فرهنگی با رویکرد تحول در مراکز آموزش عالی به این نتیجه دست یافتند که مدیریت منابع انسانی و حرفه ای بودن، حمایت ها و شرایط سازمانی از مهم ترین عوامل در مدل می باشد. در مطالعه خط مشی فساد اداری که توسط حسن سلطان سولقانی و همکاران [27] انجام شده، مشخص گردید که در یک خط مشی مناسب باید بر عوامل فردی، حمایت ها، فرهنگ، اقتصاد، اجتماعی، قانون، سازمانی و نظارت تاکید شود. قیطاسی وند و همکاران [28] به واکاوی عوامل مؤثر بر موفقیت تدوین خط مشی های عمومی مدیریت شهری تهران پرداختند. نتایج نشان داد نحوه هماهنگی نهادها، شرایط محیطی، وظایف نهادها و ساختار نهادها به ترتیب مهم ترین عوامل مؤثر بر تدوین موفق خط مشی های حمل و نقل عمومی شهر تهران هستند. نتایج مطالعه صافی اصفهانی و بشیر [29] نشان داد که خط مشی «فرهنگ دینی- تدافعی»، خط مشی «نخبه محوری و تلفیقی» و خط مشی «مردم محوری و تلفیقی» بر خط مشی گذاری فرهنگی-اجتماعی در سازمان های فرهنگی شهری مهم هستند. باقر نژاد و همکاران [30] بر دو عامل «نظام یافتگی

برنامه ها و فعالیت های پیاده سازی برای دستیابی به نتایج و ایجاد تغییرات مطلوب در دنیای واقعی عملی می کند [13]. می توان گفت خط مشی، تعهد به انجام بعضی از کارها است. خط مشی به طور صرف، اتخاذ تصمیم نیست؛ بلکه فرایندی است، شامل تمام اقداماتی که از زمان احساس مشکل شروع می شود و به ارزیابی نتایج حاصل از اجرای خط مشی ختم می گردد [14]. المور (Elmore) (۱۹۷۹) و ساباتیر (Sabatier) (۱۹۸۶) بیان کردند که می توان برای خط مشی های کلیدی بخش های مختلف، تفاوت و تمایز قائل شد [9]. به اعتقاد لنون (Lennon) (۲۰۰۹) خط مشی، به عنوان برنامه عمل است که توسط دولت، واحدهای سیاسی و تجاری برای نفوذ در تصمیم ها، اقدامات و مسائل دیگر طراحی می شود [15]. یکپارچگی خط مشی همچنین می تواند با اتخاذ یک ابزار که اهداف سیاست را در بخش های مختلف برآورده می کند، حاصل شود [16]. فرایند خط مشی گذاری از نگاه علم مدیریت چرخ های چند مرحله ای دارد و شامل تهیه دستور کار، شکل گیری خط مشی، اجرای خط مشی، ارزیابی خط مشی، تغییر خط مشی و در نهایت پایان خط مشی است [10]. هدف ادغام خط مشی می تواند اجتناب از تعاملات منفی بین اهداف بخشی یا تلاش برای تعاملات مثبت بین آنها باشد تا متقابلاً یکدیگر را تقویت کنند [17]. در تدوین خط مشی باید به مسائل و مشکلات واحد پرداخته شود تا از پیچیدگی آن کاسته شود. همچنین تعریف واضح نقش ها و مسئولیت های بازیگران سیاست ها دارای اهمیت است [18].

در تحقیقات گذشته آمده است که شناسایی عوامل و موانعی که در خط مشی گذاری خدمات موثر هستند، دارای اهمیت است [19]. نوردتوم (Nordtømme) و همکارانش (۲۰۱۵) در بررسی موانع اجرای خط مشی های حمل نقل شهری به دو عامل الزامات مالی و پذیرش ذینفعان اشاره می کنند [9]. ادواردز (Edwards) (۱۹۸۰) چهار علت تأثیرگذار بر خط مشی را مطرح می کند که عبارت هستند از «ارتباطات، منابع، گرایش های مجریان و ساختار بوروکراسی» [10]. لپسکی (Lipsky) (۱۹۸۰)، اعتقاد دارد که «اجراء» از مهمترین موضوعات در فرایند خط مشی گذاری است [20]. شکاف اجرای خط مشی، فرایند دشوار حرکت از سیاست به عمل است [21]، که اغلب با کم توجهی مواجه می شود [14]. دانایی فر و همکاران

تحقیق آنها نشان می دهد که چگونه با نادیده گرفتن تعاملات پیچیده در طراحی و اجرای خط مشی ها، ترکیب خط مشی ها می تواند بر نتایج خدمات تاثیر منفی داشته باشد. ادوبودو (Ideobodo) و همکاران [3] به شکل گیری و اجرای خط مشی های عمومی پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که خط مشی های عمومی ابزارهای توسعه ای قدرتمندی در دست دولت ها و بخش های عملیاتی وابسته به دولت ها ارائه می دهد. همچنین ناهماهنگی در خط مشی ها موجب می شود که خدمات از لحاظ فنی و استراتژیک کارایی نداشته باشند.

روش شناسی

این تحقیق از منظر هدف کاربردی (توسعه ای) است. همچنین، پژوهش حاضر برحسب نوع داده، آمیخته (Mixed) (کیفی- کمی) از نوع اکتشافی، برحسب زمان گردآوری داده، مقطعی است. در این تحقیق در آغاز با مرور مبانی نظری و مطالعه ادبیات تحقیق و استفاده از روش تحلیل محتوا به مصاحبه عمیق نیمه ساخت یافته با خبرگان پرداخته شد و سپس گزاره های کلامی به دست آمده از مصاحبه با خبرگان به کمک روش تحلیل محتوا و در سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی مدل نظری، ارائه شد. روش گردآوری اطلاعات مطالعات کتابخانه ای است. روش جمع آوری داده ها، روش میدانی و با استفاده از ابزارهای مصاحبه و پرسش نامه است. جامعه تحقیق خبرگان شامل مدیران ارشد شهرداری رشت و آگاه به امر در زمینه خط مشی گذاری می باشند. در این تحقیق تعداد ۱۲ نفر از خبرگان شامل مدیران ارشد شهرداری رشت و به روش هدفمند، نظری و گلوله برفی تا رسیدن به اشباع نظری پاسخگو بودند. این خبرگان دارای تجربه کاری بالای ۱۵ سال در پست های اجرایی مرتبط با خدمات شهری و مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به بالا می باشد که به موضوع پژوهش آشنایی کامل داشتند.

برای شناسایی و استخراج ابعاد و مولفه های الگوی خط مشی گذاری از تحلیل محتوای کیفی عرفی با بهره گیری از رویکرد های ترکیبی استقرایی (مصاحبه باز) و به صورت سازماندهی اطلاعات ساخت یافته در بخش کیفی استفاده شده است. دلیل استفاده از تحلیل محتوای، کشف رفتارها، ادراکات و روندهای جدید در الگوی خط مشی گذاری و دریافت پاسخ

فنی و اجتماعی اجراء» و «پشتوانه محتوایی و عینی اجراء» بر اجرای موفق خط مشی عمومی حمایت از شرکت ها و موسسات دانش بنیان تاکید کردند. نتایج مطالعه رنگریز و همکاران [14] نشان داد که تعدد اهداف، هدف گذاری مبهم و خط مشی های غیر واقعی از مهم ترین موانع اجرای خط مشی های عمومی در سازمان های دولتی است.

چو (Chu) و همکاران [31] در تحلیل تطبیقی عملکرد اجرای خط مشی های پسماندهای جامد شهری به این نتیجه رسیدند که عملکرد اجرای خط مشی طبقه بندی اجباری (ابزارهای نظارتی و مداخله مستقیم دولت) بهتر از سیاست دفاعی است که در سرعت پیشرفت خط مشی، نرخ طبقه بندی و نرخ رشد و مزایای اقتصادی آشکار می شود. همچن (Hamjen) و همکاران [32] در مطالعه با هدف شناسایی خط مشی گذاری ها و اجرای آن نشان دادند که به دلیل عدم مشارکت عمومی، داده ها، منابع و مقررات بین اجرا و شرایط ایده آل خط مشی گذاری فاصله وجود دارد و شکاف باید از طریق فرهنگ سازی به حداقل برسد تا اجرای خط مشی بهینه تر شود. سیفونتس-فاورا (Cifuentes-Faura) و همکاران [33] در مطالعه خط مشی گذاری شهرداری نشان داد که هر چه شفافیت اقتصادی و مالی بیشتر باشد و اطلاعات بیشتری در مورد قراردادهای خدمات عمومی و برنامه ریزی شهری و کارهای عمومی وجود داشته باشد، شهرداری کارآمدتر است. رن (Ren) و همکاران [34] نبود سیاست های تشویقی اقتصادی و حمایت مالی ناکافی، ضعف در قوانین و مقررات و نظارت، ناهماهنگی بین نهادهای دولتی و نبود آگاهی عمومی در مشارکت و در نهایت اقدامات کنترل و ارزیابی را از محدودیت های اجرای خط مشی در اقدامات کنترل محیطی هوای شهری معرفی کرده اند. گولیا (Gulia) و همکاران [35] نشان داد که شکاف ها در سیاست های مدیریتی و استراتژی های کنترلی از مهمترین دلایل شکست خط مشی مدیریت شهری می باشد که سیاست ها و اقتصاد بدان دست زده اند. بازان (Bazzan) و همکاران [36] نشان می دهد که با انجام اقدامات هماهنگ و مشترک در بخش های مختلف، به مشکلات خط مشی گذاری غلبه کرد. لی یو (Lieu) و همکاران [7] ترکیب خط مشی، مشارکت کنندگان و ترکیب تعاملات متقابل برای ارزیابی یکپارچه در خط مشی های محیط زیست استفاده کرده اند.

پرسشنامه قادر می سازد تا کارشناسان نظرات خود را در طول دوره‌های متوالی بر اساس پاسخ های ارائه شده توسط سایر متخصصان اصلاح کنند [39]. روش دلفی فازی منطق مجموعه فازی را در روش دلفی ادغام می کند که ابهامات احتمالی و عدم قطعیت های مرتبط با پاسخ ها را کاهش می دهد. در روش دلفی فازی، معیارهای انتخاب کارشناسان برای تحقیق، سطح تحصیلات، زمینه تخصص، تجربه و آمادگی برای مشارکت در حوزه مورد مطالعه مربوطه است [40].

از روش تصمیم گیری چند معیاره فرآیند تحلیل شبکه ای بر اساس دیمتل فازی برای تعیین روابط بین ابعاد و مولفه ها و تعیین الگو استفاده شده است. چرا که دیمتل یک روش مناسب در ساختارهای پیچیده است که مدل ارتباطات بین پارامترهای موثر را مورد بررسی قرار می دهد و یک مدل ساختاری بصری را به صورت یک گراف علت و معلولی نشان می دهد. در این روش علاوه بر بررسی رابطه سطح بین معیارها، علت و معلول در یک نمودار طبقه بندی و نمایش داده می شود. دیمتل روشی جامع برای تعیین رابطه علی بین عوامل پیچیده است که درک روابط متقابل میان عوامل را امکان پذیر می کند [41]. برای وزن دهی و تعیین میزان اهمیت ابعاد و مولفه ها از روش فرآیند تحلیل شبکه ای استفاده می شود. ساعتی در سال ۱۹۹۶ روش فرآیند تحلیل شبکه ای را با در نظر گرفتن وابستگی بین ابعاد و معیار ارائه داد که برای دنیای واقعی مناسب بود [42]. روش فرآیند تحلیل شبکه ای وزن عوامل را بر اساس وابستگی متقابل بین عوامل به دست می آورد [43]. عدم قطعیت در پاسخگویی به صورت فازی استفاده می شود. مجموعه فازی عدم اطمینان و تردید را در تصمیم گیری امکان پذیر می کند و برای بسیاری از برنامه های کاربردی در دنیای واقعی مناسب است [42]. گام های اجرای روش ترکیبی در منبع [41-43] آمده است.

یافته های تحقیق

در ابتدا مصاحبه های نیمه عمیق با ۱۲ خبره صورت گرفت و داده های کیفی به روش تحلیل محتوا تجزیه و تحلیل شد. در این روش، در نخستین مرحله، داده ها از یکدیگر تفکیک شده و کدهای باز از دل آنها استخراج گردید. سپس کدهایی که در مرحله نخست از یکدیگر تفکیک شده اند براساس رابطه شان با سایر کد ها در ترکیبی جدید به هم متصل شدند و در مرحله

بهتر است که در آن شناسایی مضامین و استخراج تفسیرهای معنادار از داده ها صورت گرفته است. تحلیل محتوای به عنوان یک روش تحلیلی قدرتمند برای تفسیر ذهنی محتوای داده های کیفی به شیوه ای نظام مند و وابسته به زمینه مورد استفاده قرار می گیرد [37]. در تحلیل محتوای، داده ها به سه دسته کدگذاری باز، کدگذاری محوری، و کدگذاری انتخابی استخراج گردیده است. در کدگذاری باز که نکات کلیدی مصاحبه شوندگان می باشد، شاخص ها استخراج شدند. سپس شاخص هایی که ارتباط معنای و نزدیک به هم داشتند در دسته ای مولفه تحت کدگذاری محوری انتخاب شدند. در نهایت برای ارائه نظریه و شناسایی ابعاد در کدگذاری انتخابی اقدام به تشکیل دسته های بزرگ از مولفه های با مفهوم معنایی نزدیک به هم شد. قابل اطمینان تحلیل محتوای کیفی با استفاده از اعتبار (Credibility)، اطمینان پذیری (Dependability)، انطباق پذیری (Conformability)، قابلیت انتقال (Transferability) و اصالت (Authenticity) بررسی شده است [38] از نظر اعتبار، سؤالات مصاحبه برای به دست آوردن داده های غنی مناسب به تایید گروه های مرجع انتقادی رسید. اطمینان پذیری به تکرار پذیری مدام اشاره دارد که مصاحبه ها در زمان و در شرایط مختلف انجام شد. ارتباط، معنا و تکرار داده ها و کدها بین خبرگان برای تایید انطباق پذیری بررسی شد. برای انتقال پذیری و تعمیم یافته ها به گروه ها از ضریب توافق مانند ضریب لائوشه و روش دلفی فازی استفاده شد. در اصالت تحلیل محتوای کیفی محقق آنچه را که به تایید خبرگان رسیده بود، ارائه کرد.

برای تعیین و تایید مولفه ها و ابعاد الگو از روش دلفی فازی استفاده شده است. چرا که روش دلفی یکی از روش های مبتنی بر نظرات کارشناسان برای تعیین متغیرهای ورودی کلیدی است که برای استخراج نتایج آماری دقیق و قابل اعتماد از داده های کیفی استفاده می شود. روایی پرسش نامه روش دلفی فازی از روش اعتبار سازه ای استفاده شده است که در آن خبرگان نظرات خود را در خصوص اصلاح، ادغام، اضافه، و حذف مولفه ها اعلام کردند. هدف روش دلفی جمع آوری اطلاعات از کارشناسان و دستیابی به قابل اعتمادترین همگرایی نظرات در مورد یک موضوع خاص است. این روش به ویژه برای تحقیقات اکتشافی در تحقیقات پیچیده و میان رشته ای مفید است. ماهیت تکراری روش دلفی در دوره های چندگانه

در ادامه، برای الگوسازی نیاز است تا روابط بین ابعاد و مؤلفه‌ها مشخص شوند. بدین منظور، برای تعیین روابط از روش دیمتلفازی استفاده شده است. برای بررسی روابط درونی بین ابعاد و مؤلفه‌ها، ۱۰ نفر افراد خبره مقایسه‌های زوجی بین آن‌ها را از نقطه نظر میزان تأثیر عامل در سطر بر عامل در ستون بر اساس امتیاز "تأثیر خیلی زیاد (۴)"، "تأثیر زیاد (۳)"، "تأثیر کم (۲)"، "تأثیر بسیار کم (۱)"، و "بدون تأثیر (۰)" انجام دادند. سپس نظرات همه خبرگان جمع‌آوری و میانگین امتیازات محاسبه شد و ماتریس تصمیم‌فازی برای ابعاد و مؤلفه‌های شکل گرفت که در به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آمده است.

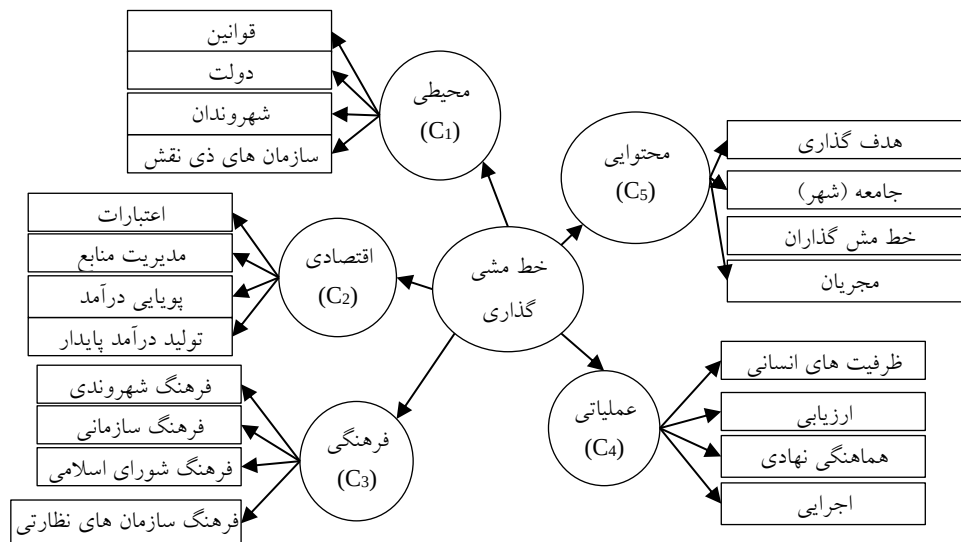
در ادامه مراحل از دیمتلفازی، ماتریس نرمال شده روابط مستقیم فازی تشکیل شد. سپس ماتریس روابط کلی به دست می‌آید. در نهایت مجموع عناصر ستون‌ها و سطرهای ماتریس روابط کلی برای ابعاد و مؤلفه‌های آن محاسبه و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها تعیین شدند. سپس تعامل ابعاد و مؤلفه‌ها با جمع مقادیر اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها به دست آمد و در نهایت از طریق تفریق آن‌ها، اثرگذاری/اثرپذیری خالص محاسبه شد. این یافته‌ها در جدول (۴) آمده است.

کدگذاری محوری، مفاهیم (مؤلفه‌ها) شکل گرفت. در مرحله سوم، مقوله اصلی مورد توجه قرار گرفت که در آن مرحله کدگذاری محوری مفاهیم که در مرحله قبل از یکدیگر تفکیک شده‌اند، براساس رابطه‌شان با سایر مفاهیم در ترکیبی جدید تحت مقوله اصلی در کدگذاری انتخابی به هم متصل شدند و ابعاد الگو تشکیل شد. جدول (۱) نمونه از مصاحبه با خبرگان و کدگذاری به روش تحلیل محتوا را نشان می‌دهد.

در ادامه از روش دلفی فازی برای غربالگری و تعیین مؤلفه‌های الگو استفاده شد. دلفی فازی در سه دور انجام شد و نظرات خبرگان جمع‌آوری و برخی از مؤلفه‌ها اصلاح گردید. خبرگان بر میزان مرتبط بودن هر یک از مؤلفه‌ها در الگو اعلام کردند. در طی سه مرحله نظرسنجی از ۲۷ مؤلفه، ۷ مؤلفه شامل «تعارض و چانه زنی»، «تشریک مساعی»، «بهره‌مندی از فناوری‌ها»، «شرایط اجتماعی»، «مناسب‌سازی عوارض و هزینه خدمات»، «موقعیت جغرافیایی»، و «فضای کالبدی» به دلیل کسب نظرات پایین خبرگان از مدل مفهومی تحقیق حذف گردیده و مدل نهایی دارای ۵ بعد اصلی با ۲۰ مؤلفه گردید. شکل (۱) ابعاد و مؤلفه‌های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری را نشان می‌دهد.

جدول ۱ کدهای باز استخراج شده از مصاحبه با خبرگان به روش تحلیل محتوا

گزاره‌های کلامی	کدگذاری باز	کد	کدگذاری محوری
فرهنگ تدوین کنندگان و مجریان و ناظران اگر مبتنی بر توسعه، احساس مسئولیت، انضباط، برنامه ریزی و برنامه محوری و اخلاق باشد قطعاً در جهت منافع عمومی تدوین و اجرا و نظارت خواهد شد ولی در غیر اینصورت در جهت منافع شخصی و گروهی و اقلیت خواهد بود	مسئولیت پذیری	EA16- EJ15	فرهنگ سازمانی
	برنامه ریزی	EA17- EB9- EI9- EA18	اجرایی
خط مشی گذاران از تخصص و دانش لازم و تجربه کافی باشند	تاکید بر منافع عمومی	EA19- EI34- EK9	خط مش گذاران
	تخصص و دانش لازم	ED23- EE26- EF31- EG29- EJ1	
	تجربه کافی	EG30- EI32- EJ2	
	اندیشه راهبردی	EG31- EI33- EJ39	
خط مشی گذاران باید توان تعیین راهبردهای بلند مدت را داشته باشند و قابلیت درک صحیح خط مشی گذاران از مسیر چشم انداز سازمان، اهداف بخشی و جزئی را عملیاتی و کاربردی تر می‌کند. همچنین، خط مشی باید با ظرفیت‌ها تطابق داشته باشد	اهداف واضح و روشن	EA31- EC8- EE1- EF21- EG11- EJ43	اهداف
	واقع بینی در خط مشی	EA43- EB13- EB29- EC15- EI38- EJ44	
برنامه‌های عملیاتی قابل اجرا باید در مدیریت شهری ملاک عمل قرار گیرد. برای اجرایی شدن، انتخاب درست افراد در تهیه و تدوین خط مشی موجب عدم سردرگمی می‌شود	تعریف درست و تخصصی گام‌های اجرایی	EA6- EG28- EI29	اجرایی
	انتخاب درست افراد	EA23- EA24- EB17	



شکل ۱ ابعاد و مولفه های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

جدول ۲ ماتریس روابط مستقیم فازی بین ابعاد

C5			C4			C3			C2			C1			
کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	
۰/۵۴۲	۰/۷۹۲	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۱	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰/۸۷۵	۰/۲۰۸	۰/۴۵۸	۰/۷۰۸	۰	۰	۰	C1
۰/۵	۰/۷۵	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۱	۰	۰/۲۵	۰/۵	۰	۰	۰	۰/۱۶۷	۰/۴۱۷	۰/۶۶۷	C2
۰/۴۵۸	۰/۷۰۸	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۰/۹۵۸	۰	۰	۰	۰/۴۱۷	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۰/۰۴۲	۰/۲۵	۰/۵	C3
۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰	۰	۰	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	۰/۵۴۲	۰	۰/۱۶۷	۰/۴۱۷	۰	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	C4
۰	۰	۰	۰/۵۸۳	۰/۸۳۳	۰/۹۵۸	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	۰/۵۴۲	۰	۰/۲۰۸	۰/۴۵۸	۰	۰/۰۸۳	۰/۳۳۳	C5

جدول ۳ ماتریس روابط مستقیم فازی بین مولفه ها

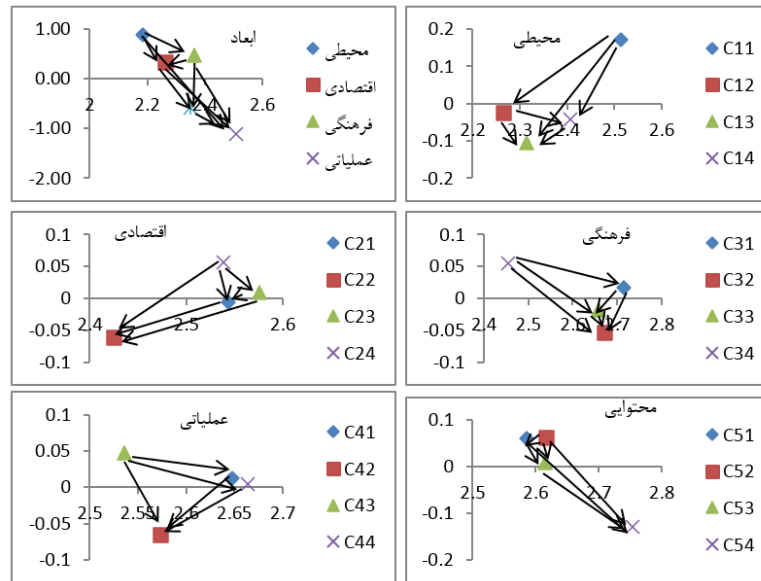
C54			C53			C...	C12			C11			
کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین		کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	
۰/۶	۰/۸۵	۱	۰/۵	۰/۷۵	۱	...	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰	۰	۰	C11
۰/۷	۰/۹۵	۱	۰/۶	۰/۸۵	۱	...	۰	۰	۰	۰/۶	۰/۸۵	۱	C12
۰/۷	۰/۹۵	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	...	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۶	۰/۸۵	۱	C13
۰/۶۵	۰/۹	۱	۰/۴۵	۰/۷	۰/۸۵	...	۰/۶	۰/۸۵	۱	۰/۵	۰/۷۵	۱	C14
۰/۶۵	۰/۹	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	...	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	C21
۰/۶۵	۰/۹	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	...	۰/۱۵	۰/۴	۰/۶۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	C22
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	C...
۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۶	۰/۸۵	۱	...	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۶	۰/۸۵	۱	C42
۰/۷۵	۱	۱	۰/۶	۰/۸۵	۱	...	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	C43
۰/۷۵	۱	۱	۰/۶۵	۰/۹	۱	...	۰/۶	۰/۸۵	۱	۰/۶	۰/۸۵	۱	C44
۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۵	۰/۷۵	۱	...	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱	۱	C51
۰/۶۵	۰/۹	۱	۰/۶	۰/۸۵	۱	...	۰/۶	۰/۸۵	۱	۰/۷	۰/۹۵	۱	C52
۰/۶۵	۰/۹	۱	۰	۰	۰	...	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	C53
۰	۰	۰	۰/۶	۰/۸۵	۱	...	۰/۶	۰/۸۵	۱	۰/۵	۰/۷۵	۱	C54

جدول ۴ مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل، و اثرگذاری/اثرپذیری خالص ابعاد و مولفه ها

ابعاد	اثرگذاری	اثرپذیری	تعامل	اثرگذاری/اثرپذیری خالص	نتیجه
محیطی	۱/۵۴	۰/۶۵	۲/۱۹	۰/۸۸۶	علت
قوانین	۱/۳۴	۱/۱۷۱	۲/۵۱۳	۰/۱۷۲	علت
دولت	۱/۱۲	۱/۱۴۵	۲/۲۶۵	-۰/۰۲۵	معلول
شهروندان	۱/۱	۱/۲۱	۲/۳۱۴	-۰/۱۰۵	معلول
سازمان های ذی نقش	۱/۱۸	۱/۲۲۴	۲/۴۰۶	-۰/۰۴۱	معلول
اقتصادی	۱/۳	۰/۹۶	۲/۲۶	۰/۳۳۷	علت
اعتبارات	۱/۲۷	۱/۲۷۵	۲/۵۴۴	-۰/۰۰۶	معلول
مدیریت منابع	۱/۱۸	۱/۲۴۳	۲/۴۲۴	۰/۰۶	معلول
پویایی درآمد	۱/۲۹	۱/۲۸۳	۲/۵۷۵	۰/۰۰۹۶	علت
تولید درآمد پایدار	۱/۳	۱/۲۴۱	۲/۵۳۸	۰/۰۵۶۶	علت
فرهنگی	۱/۴۱	۰/۹۵	۲/۳۶	۰/۴۶۴	علت
فرهنگ شهروندی	۱/۳۷	۱/۳۴۹	۲/۷۱۴	۰/۰۱۷۳	علت
فرهنگ سازمانی	۱/۳۱	۱/۳۶۲	۲/۶۷۰	-۰/۰۵۳	معلول
فرهنگ شورای اسلامی شهر	۱/۳۲	۱/۳۳۸	۲/۶۵۷	-۰/۰۱۹	معلول
فرهنگ سازمان های بالادستی و نظارتی	۱/۲۵	۱/۲۰۱	۲/۴۵۵	۰/۰۵۴۳	علت
عملیاتی	۰/۷	۱/۸۱	۲/۵۱	-۱/۱۱	معلول
ظرفیت های انسانی	۱/۳۳	۱/۳۱۷	۲/۲۶۴	۰/۰۱۳	علت
ارزیابی	۱/۲۵	۱/۳۱۹	۲/۵۷۲	-۰/۰۶۵	معلول
هماهنگی نهادی	۱/۲۹	۱/۲۴۴	۲/۵۳۵	۰/۰۴۷	علت
اجرایی	۱/۳۳	۱/۳۳	۲/۶۶۳	۰/۰۰۴۳	علت
محتوایی	۰/۸۹	۱/۴۶	۲/۳۵	-۰/۰۵۷	معلول
هدف گذاری	۱/۳۲	۱/۲۶۳	۲/۵۸۵	۰/۰۵۹	علت
جامعه (شهر)	۱/۳۴	۱/۲۷۷	۲/۶۱۵	۰/۰۶۲	علت
خط مشی گذاران	۱/۳۱	۱/۳۰۴	۲/۶۱۵	۰/۰۰۷۳	علت
مجریان	۱/۳۱	۱/۴۴۱	۲/۷۵۳	-۰/۱۲۹	معلول

در جدول (۴)، اثرگذاری/اثرپذیری خالص قدرت تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری هر بعد را نشان می دهد. به طور کلی، اگر خالص اثرپذیری/اثرگذاری مثبت باشد، بعد علت می باشد و اگر منفی باشد، معلول است. بنابراین، ابعاد "محیطی"، "فرهنگی" و "اقتصادی" به ترتیب علت هستند که بعد "محیطی" تاثیرگذارترین است. همچنین ابعاد "محتوایی"، و "عملیاتی" معلول هستند که بعد "عملیاتی" تاثیرپذیرترین است. این یافته ها نشان می دهد که بعد عملیاتی برای تدوین و

اجرای الگوی خط مشی گذاری یک مسئله و چالش است که باید هر چه سریعتر توسط ابعاد تاثیرگذار بهبود یابد و مدیران برای تدوین و اجرای الگوی خط مشی گذاری بر ابعاد تاثیرگذار تمرکز کنند. شکل (۲) نقشه شبکه روابط و چگونگی اثرگذاری و اثرپذیری های ابعاد و مولفه ها را نشان می دهد که مدیران می توانند از طریق شناخت این روابط برای بهبود تدوین و اجرای الگوی خط مشی کمک بگیرند.



شکل ۲. نقشه شبکه روابط بین ابعاد و موله های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری

گذاری (C51)، خط مش گذاران (C53) و مجریان (C54) تاثیر دارد. این یافته نشان می دهد که رضایتمندی عمومی مردم موجب می شود که مجریان عملکرد بهتری داشته باشد و عملیات اجرای خط مشی را با بهترین شکل انجام دهند.

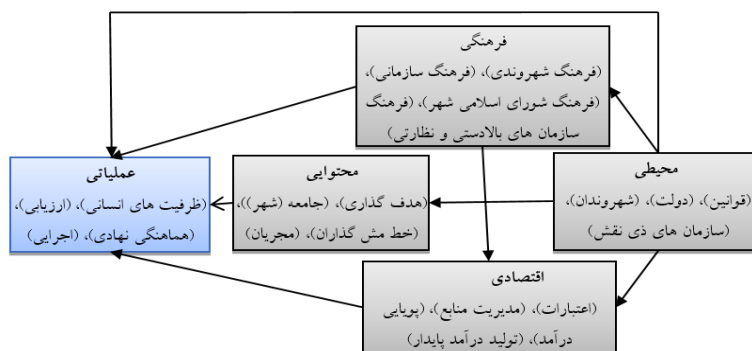
شکل (۳) الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری را نشان می دهد. روابط بین ابعاد الگو بر اساس شکل (۲) و نقشه شبکه روابط به دست آمده است. در این الگو مشخص شده است که عوامل محیطی تاثیرگذارترین در خط مشی گذاری می باشد و شهرداری ها به لحاظ ماهیت دولتی بودن خود از عوامل بیرونی و حکمرانی تاثیر می پذیرد. همچنین برای عملیاتی شدن مناسب خط مشی گذاری ها، باید به عوامل محتوایی خط مشی گذاری توجه کرد. عوامل محتوایی مناسب می توان عملیاتی شدن خط مشی را تضمین کند.

در ادامه، برای تعیین میزان اهمیت نسبی ابعاد و مولفه های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری، از روش فرآیند تحلیل شبکه ای فازی استفاده شده است. بدین منظور، از ماتریس روابط کلی که میزان اثرگذاری و اثرپذیری ابعاد و مولفه ها را نشان می دهد استفاده شده است. ماتریس روابط کلی نرمالیزه شد و سپس سوپر ماتریس فازی به دست آمد. سوپر ماتریس موزون در توان ۱۱ همگرا شد و سوپر ماتریس حددار تشکیل گردید و در نهایت وزن مولفه ها به دست آمد که یافته ها در جدول (۵) آمده است. همانگونه که جدول (۵) نشان می دهد، بیش ترین وزن مربوط به بعد

بر اساس شکل (۲)، در بعد محیطی، مولفه های قوانین مناسب و کارآمد (C11) به ترتیب بر دولت (C12)، شهروندان (C14) و سازمان های ذی نقش (C13) تاثیر دارد. این یافته نشان می دهد که وجود قوانین مناسب در نظام شهرداری موجب می شود تا هماهنگی و هم افزایی در اجرای طرح ها از طرف سازمان های ذی نقش بهتر صورت گیرد. در بعد اقتصادی، مولفه ی تولید درآمد پایدار (C24) به ترتیب بر پویایی درآمد (C23)، اعتبارات (C21) و مدیریت منابع (C22) تاثیر دارد. این یافته نشان می دهد که پتانسیل گردشگری و جاذبه فرهنگی و مذهبی موجب درآمد زائی مناسب برای شهرداری باشد و در مدیریت منابع و تخصیص صحیح منابع موفق بود. در بعد فرهنگی، مولفه ی فرهنگ سازمان های بالادستی و نظارتی (C34) به ترتیب بر فرهنگ شهروندی (C31)، فرهنگ شورای اسلامی شهر (C33) و فرهنگ سازمانی (C32) تاثیر دارد. این یافته نشان می دهد که وجود فرهنگ مناسب و نظارتی کامل بر فرهنگ سازمانی شهرداری تاثیرگذار می باشد. انتظار می رود که از بالادستی نظارت بهتر صورت گیرد. مولفه ی هماهنگی نهادی (C43) به ترتیب بر ظرفیت های انسانی (C41)، اجرایی (C44) و ارزیابی (C42) در بعد عملیاتی تاثیرگذار می باشد. این یافته نشان می دهد که همکاری و هماهنگی در خط مشی موجب می شود که خط مشی به طور مناسب اجرا گردد و در نهایت اجرای آن ارزیابی و اقدامات اصلاحی صورت گیرد. در بعد محتوایی، مولفه ی جامعه (شهر) (C52) به ترتیب بر هدف

"هماهنگی نهادی" اهمیت پنجم و در نهایت "هدف گذاری" اهمیت ششم در بین ۲۰ مولفه کسب کردند. همچنین مولفه های "دولت"، "قوانین"، و "شهروندان" کمترین وزن را به خود اختصاص دادند و کمترین اهمیت را دارد.

"عملیاتی" و کمترین وزن مربوط به بعد "محیطی" می باشد. در بین مولفه های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری، بیش ترین وزن را "ظرفیت های انسانی" دارد که اهمیت اول را کسب کرد. مولفه های "ارزیابی" اهمیت دوم، "اجرایی" اهمیت سوم، "مجریان" اهمیت چهارم و



شکل ۳ الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری رشت

جدول ۵ وزن و اهمیت مولفه های الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

ابعاد	وزن و اهمیت نسبی ابعاد	مولفه ها	وزن و اهمیت نهایی مولفه ها
محیطی	۰/۰۷۶۳	قوانین	۰/۰۱۸۵
		دولت	۰/۰۱۸۳
		شهروندان	۰/۰۱۹۴
		سازمان های ذی نقش	۰/۰۲
اقتصادی	۰/۱۲۶۸	اعتبارات	۰/۰۳۲۱
		مدیریت منابع	۰/۰۳۱۱
		پویایی درآمد	۰/۰۳۲۷
		تولید درآمد پایدار	۰/۰۳۰۹
فرهنگی	۰/۱۶۱۷	فرهنگ شهروندی	۰/۰۴۳
		فرهنگ سازمانی	۰/۰۴۳۴
		فرهنگ شورای اسلامی شهر	۰/۰۴۲
		فرهنگ سازمان های بالادستی و نظارتی	۰/۰۳۳۲
عملیاتی	۰/۳۵۰۷	ظرفیت های انسانی	۰/۰۹۲۴
		ارزیابی	۰/۰۹۰۳
		هماهنگی نهادی	۰/۰۸۱۴
		اجرایی	۰/۰۸۶۵
محتوایی	۰/۲۸۴۵	هدف گذاری	۰/۰۶۸۶
		جامعه (شهر)	۰/۰۶۶
		خط مش گذاران	۰/۰۶۸۴
		مجریان	۰/۰۸۱۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای طراحی الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری رشت از تکنیک دیمتل و با کسب نظرات از خبرگان استفاده شد. در این الگو مشخص گردید که چگونه یک مقوله با مقولات دیگر مرتبط است و ابعاد و پیامدهای تاثیرات آن‌ها به دقت جستجو شد. این الگو به نظریه پرداز کمک می‌کند تا فرآیند تئوری فرآیند تدوین و اجرای خط مشی در خدمات شهری شهرداری‌ها را به سهولت انجام دهد. یافته‌ها در دو بخش کیفی و کمی تفسیر شد.

نوآوری تحقیق توجه و اهمیت به ابعاد جدید "فرهنگی" و "محتوایی" در خط مشی گذاری است که در مطالعات پیشین توجه نشده است ولی در تحقیق حاضر در بخش کیفی مورد تاکید خبرگان بود. این ابعاد توانسته است که ادبیات نظری را غنی کند. کرنی (Cairney) [44] زیربنای یکپارچه‌سازی خط مشی گذاری را مشارکت و فرهنگ سازی می‌داند. در خط مشی گذاری یک نظام منسجم مجموعه‌ای از اهداف، باورها و اصول برای اجرای خط مشی در نظر گرفت. یافته‌های بخش کیفی نشان می‌دهد که آنچه که برای خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری رشت مهم است، توجه به پنج بعد محیطی، اقتصادی، فرهنگی، عملیاتی، محتوایی از طرف مدیران است.

یافته‌های بخش کمی و روش دیمتل فازی نشان داد که بعد "محیطی" تأثیرگذارترین بعد در خط مشی گذاری‌های حوزه خدمات شهری شهرداری می‌باشد که موجب بهبود خط مشی گذاری‌ها می‌گردد. این یافته نشان می‌دهد که عوامل محیطی و حمایتی بیرونی موجب هدایت خط مشی گذاری‌ها به سمت اهداف سازمانی می‌گردد. دولتمردان می‌توانند از طریق سیاست گذاری‌های مناسب و به هنگام، موجب بهبود خط مشی گذاری‌ها در شهرداری می‌گردد. یک سیستم متأثر از عوامل محیطی است و خط مشی گذاری‌های شهرداری از قوانین، دولت، شهروندان و سازمان‌های ذی‌نقش می‌تواند در خط مشی گذاری‌ها مؤثر باشند. سیف‌وشتس فاورا و همکاران [33] در مطالعه خود بر نقش و نظارت مقامات دولتی در اجرای خط مشی شهرداری‌ها تاکید کرده‌اند. همچنین وو (Wu) [45] دولت‌ها و قوانین به عنوان سیاست‌های حمایتی در اجرای خطی مشی گذاری معرفی کرده است و بر اساس وانگ

(Wang) و همکاران [46] مجموعه‌ای از سیاست‌های سختگیرانه مقرراتی در مدیریت موفق خط مشی نقش دارند. وو و همکاران [9] ایجاد و حفظ پشتیبانی سیاسی را برای اجرای خط مشی‌های یکپارچه ضروری می‌داند.

بعد "عملیاتی" تأثیرپذیرترین بعد خط مشی گذاری‌های حوزه خدمات شهری شهرداری می‌باشد. موفقیت/عدم موفقیت خط مشی گذاری‌های حوزه خدمات شهری شهرداری بستگی به ویژگی‌های بعد "عملیاتی" دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که موفقیت خط مشی گذاری‌های حوزه خدمات شهری شهرداری به بهبود این بعد وابسته است. در راستا مطالعه چو و همکاران [31]. نشان داد که اجرا و عملکرد درست در اجرای قانون و زیرساخت‌های کافی از ابزارهای مهم خط مشی گذاری است. رن و همکاران [34] بر وجود هماهنگی بین نهادهای دولتی و اقدامات کنترل و ارزیابی در اجرای خط مشی فعالیت‌های شهری معرفی کرده‌اند. همجن و همکاران [32] نیز اجرای دقیق خط مشی گذاری‌ها را بر جسته کرده است. ایاندا و بلو [23] نقش متغیرهای هماهنگی، اجرایی و ارزیابی در اجرای مؤثر خط مشی‌های عمومی به خوبی نشان داد.

خط مشی گذاری باید قابلیت عملیاتی شدن را داشته باشد و اجرای آن باید به عوامل انسانی توجه کرد. چرا که مهم‌ترین سرمایه هر سازمان عوامل انسانی است و این کارکنان هستند که فرآیند‌ها را به اجرا در می‌آورند. علاوه بر این، ارزیابی در حین اجرای خط مشی نیز موجب شناسایی نقاط ضعیف شده و اقدامات اصلاحی برقرار می‌شود.

یافته‌های تعیین وزن و میزان اهمیت نسبی مولفه‌ها نیز نشان داد که مولفه‌ی "ظرفیت‌های انسانی" با کسب وزن ۹/۲۴ درصد از کل اوزان، اهمیت اول را کسب کرده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری به افراد متخصص و توانمند باید تکیه کرد و کارکنان مجرب و آموزش دیده بهتر می‌توانند به انجام فعالیت‌ها بپردازند. کارکنان از طریق خلاقیت‌های خود در جو سازمانی مناسب می‌توانند برای بسیاری از چالش‌ها، راهکارها را ارائه دهند. نقش متغیرظرفیت‌های انسانی در اجرای خط مشی در مطالعه ایاندا و بلو [23] برجسته شده است. برای بهبود این متغیر پیشنهاد می‌شود: ۱. نیروی انسانی با تخصص‌های مختلف آموزش ببینند تا مهارت و تجربه آن‌ها در خصوص

نیاز به برنامه های اجرایی دارد. در برنامه های اجرایی باید تعریف درست منابع و ارزیابی ها از زمان اجرایی خط مشی وجود داشته باشد. سازمانی که بدون برنامه های اجرای شروع به پیاده سازی خط مشی کند، با مشکلات بسیاری از جمله کمبود منابع، اتلاف زمان، بی برنامه ریزی و تداخل فرآیندها رخ خواهد داد. بر اساس همجن و همکاران [32] فاصله بین تدوین و اجرای خط مشی گذاری ها موجب شکست طرح می گردد و اهمیت اجرا در این مطالعه و مطالعه ایاندا و بلو [23] نیز برجسته شده است. برای بهبود مولفه های اجرایی پیشنهاد می شود: ۱. برنامه ریزی و زمان بندی درست از اجرای خط مشی وجود داشته باشد. در برنامه ریزی مقدار منابع مالی و منابع انسانی به درستی پیش بینی شده و گام ها در خصوص تخصیص آن ها صورت گیرد. ۲. در اجرای خط مشی، گام های اجرایی به طور درست و تخصصی تعریف شود. وظایف افراد و بخش ها در اجرای خط مشی به طور واضح مشخص شود و هماهنگی در انجام وظایف بخشی صورت گیرد. ۳. در اجرای خط مشی از افراد مناسب و شایسته استفاده شود. در انتخاب این افراد وجدان کاری و متعهد لحاظ گردد. چرا که یکی از مشکلات انتخاب افراد، وجود اعمال شخصی است.

این مطالعه برای خدمات شهری و شهرداری انجام شده است که تعمیم یافته های این تحقیق به سایر صنایع و موسسات خدماتی باید با احتیاط صورت بگیرد. بنابراین، پیشنهاد می شود تا محققین در آینده به طراحی الگوی خط مشی گذاری برای سایر سازمان های خدماتی و صنعتی بپردازند. پیشنهاد می شود تا محققین در ارائه الگوی خط مشی به عوامل سیاسی توجه داشته باشند.

سیاسگذاری

اجرای خط مشی ها بهبود پیدا کند. ۲. اینکه در نیروی انسانی از طریق پرداختی ها و جبران خدمات نیروی انسانی انگیزش ایجاد کنند. علاوه بر این، می توان از تشویق های معنوی از جمله تقدیر و تشکر نیز در کارکنان انگیزش ایجاد کرد.

مولفه ی "ارزیابی" با کسب ۹/۰۳ درصد از کل اوزان اولویت دوم را برای خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری رشت کسب کرده است. این یافته ها نشان می دهد که در عملیاتی شدن خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری باید ارزیابی عملیات ها مدنظر قرار بگیرد. از طریق ارزیابی با شاخص های استاندارد می توان به نقاط ضعف اجرای خط مشی پی برد و در نتیجه اقدامات اصلاحی متناسب با آن می تواند از بروز مشکلات بعدی پیشگیری کند. ایاندا و بلو [23] نیز تاکید دارد که ارزیابی خط مشی گذاری یکی از عوامل موفقیت می باشد که از طرف مطالعات نیکاس و همکاران [47] و ادوبودوو و همکاران [3] حمایت می شود. پیشنهاد می شود: ۱. در هنگام اجرای خط مشی، برنامه ریزی برای ارزیابی و بهبود از طریق چرخه ی بهبود مستمر و اخذ بازخورد و اقدامات اصلاحی صورت بگیرد. در این چرخه نیاز است تا یک چرخه کاری چهار مرحله ای برای انجام تغییرات و بهبود فرایند ها در اجرای خط مشی در نظر گرفته شود. ۲. ارزیابی بر اساس شاخص های استاندارد و واقعی ارزیابی صورت گیرد. نیاز است تا از طریق کرسی خبرگان مهم ترین شاخص های استاندارد در راستای کسب اهداف سازمانی شناسایی و برای ارزیابی از آن استفاده شود. ۳. در ارزیابی به دانش و تخصص ممیزان توجه شود. ممیزان نباید اعمال شخصی در ارزیابی را وارد کنند و تصمیم گیری واقعی بر اساس تخصص و دانش باشد.

مولفه ی "اجرایی" با وزن نهایی ۸/۶۵ درصد، اولویت سوم را کسب کرده است. این یافته ها نشان می دهد که خط مشی

مراجع

- [1] H. Danaee Fard, Z. Shokri, A. Faani, and L. Forouzandeh, "Presenting a Model of Effective Factors on Quality Evaluation of Iran's General Policies," *Military Management Quarterly*, vol. 16, no. 64, pp. 42-66, 2017. (In Persian)
- [2] B. Mamivand, Z. Aminisabeg, E. Sadeh, and M. Khalaj, "Designing a Model for Environmental Policies in Iran," *Social Science Quarterly*, vol. 12, no. 40, pp. 31-58, 2018. (In Persian)

- [3] E. K. Tochukwu, I. Nwafor-Orizu, and O. M. Chinyere, "Public policy formulation and implementation in Nigeria: questions, challenges and prospects," *Global Journal of Management and Business Research: A Administration and Management*, vol. 18, no. 13, pp. 44-52, 2018.
- [4] P. Rode, C. Heeckt, R. Ahrend, O. Huerta Melchor, A. Robert, N. Badstuber, A. Hoolachan, and C. Kwami, "Integrating national policies to deliver compact," *Connected Cities: An Overview of Transport and Housing*.
- [5] C. Temenos, and J. Lauermann, "The urban politics of policy failure," *Urban Geography*, vol. 41, no. 9, pp. 1109-1118, 2020. <https://doi.org/10.1080/02723638.2020.1827194>
- [6] J. Lieu, N. A. Spyridaki, R. Alvarez-Tinoco, W. Van der Gaast, A. Tuerk, and O. Van Vliet, "Evaluating consistency in environmental policy mixes through policy, stakeholder, and contextual interactions," *Sustainability*, vol. 10, no. 6, pp. 1896, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10061896>
- [7] D. M. Alvani, S. H. Akhavan Alavi, and H. Mahmeli Abyaneh, "A Detailed Study of Research Role and Utilization in the Urban Management Case study: Tehran Urban Management System," *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, vol. 15, no. 63, pp. 5-16, 2018. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/bagh.2018.67363>
- [8] G. Kazemian, and Z. Mirabedini, "Pathology of Integrated Urban Management for Tehran in view of Policy and Decision Making," *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, vol. 3, no. 46, pp. 27-38, 2011. (In Persian) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286020.1390.3.46.3.7>
- [9] J. Wu, C. Zuidema, K. Gugerell, and G. Roo, "Mind the gap! Barriers and implementation deficiencies of energy policies at the local scale in urban China," *Energy Policy*, vol. 106, pp. 201-211, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.057>
- [10] H. Haji Mullamirzaee, "An Islamic-Iranian Model for Administrating IRI Cultural Policies," *Scientific Journal of Islamic Management*, vol. 24, no. 3, pp. 73-92, 2016. (In Persian)
- [11] Z. shokri, H. Danaee-Fard, M. Kheirgoo, and A. Asghar Fani, "How to evaluate the quality of public policies in Iran: Exploration's Mixed Methodology Research," *Quarterly Journal of Public Organizations management*, vol. 6, no. 2, pp. 79-94, 2018. (In Persian) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2322522.1397.6.0.25.4>
- [12] V. Rozhenkova, S. Allmang, S. Ly, D. Franken, and J. Heymann, "The role of comparative city policy data in assessing progress toward the urban SDG targets," *Cities*, vol. 95, pp. 102357, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.05.026>
- [13] M. M. Karimi Tararani, F. Sharifzadeh, and M. Seyyed Naqvi, "Daud Hosseinpour The policy model of science and technology parks in the innovation system," *quarterly journal of Innovation and entrepreneurship*, vol. 13, no. 7, pp. 40-54, 2018. (In Persian)
- [14] H. Rangriz, M. Kheirandish, and S. Latifi-Jaliseh, "Exploring of Public Policies Implementation Obstacles in Governmental Organizations Using the Meta Synthesis Method," *Iranian Journal of Public Policy*, vol. 4, no. 1, pp. 123-138, 2018. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ppolicy.2018.66852>
- [15] S. D. Bolaji, "overcoming the barriers to universal basic education policy implementation in Nigeria," A doctoral thesis submitted to the graduate research school of Edith Cowan University, Western Australia.

- [16] J. Tosun, "The behaviour of suppliers and consumers in mandated markets: the introduction of the ethanol–petrol blend E10 in Germany," *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 20, no. 1, pp. 1-15, 2018. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2017.1299624>
- [17] G. Bazzan, C. Daugbjerg, and J. Tosun, "Attaining policy integration through the integration of new policy instruments: The case of the Farm to Fork Strategy," *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 45, no. 2, pp. 803-818, 2023. <https://doi.org/10.1002/aepp.13235>
- [18] L. Husain, G. Bloom, and Y. Xiao, "Building policy capacity for managing rapid, complex change in China's health system," *Policy and Society*, vol. 42, no. 1, pp. 28-48, 2023. <https://doi.org/10.1080/14494035.2021.1933336>
- [19] H. L. Chen, "Performance measurement and the prediction of capital project failure," *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 6, pp. 1393-1404, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.009>.
- [20] M. Hill, and P. Hupe, *Implementing public policy: Governance in theory and in practice*. Sage. 2002.
- [21] M. Costa-Barbosa, K. Alam, and S. Mushtaq, "Water policy implementation in the state of São Paulo, Brazil: Key challenges and opportunities," *Environmental Science & Policy*, vol. 60, pp. 11-18, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.017>
- [22] V. Ghorbanizadeh, F. Sharifzadeh, D. Hosseinpour, and M. Moravvej, "Presenting Policy Making Model for the Cultural Organizations (in Case : Institute for the Intellectual Development of Children and Young Adult)," *Iranian Journal of Public Policy*, vol. 3, no. 3, pp. 61-78, 2017. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ppolicy.2017.64171>
- [23] K. A. Iyanda, and S. D. Bello, "Problems and Challenges of Policy Implementation for National Development," *Research on Humanities and Social Sciences*. vol. 6, no. 15, pp. 60-65, 2016.
- [24] A. Kelemenis, and P. Galiatsatou, "A methodological approach to identify policy priorities of municipalities in Greece," *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 376–382, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.051>
- [25] A. Nargesian, A. Pourezat, and S. Ayar, "Presenting an evidence-based policy model in the field of digital banking," *Journal of Advertising and Sales Management*, vol. 4, no. 3, 2023. (In Persian) <https://doi.org/JABM.3.2.15564.3569874>
- [26] M. Ansari, A. Ghaiyoomi, S. R. Salehi-Amiri, F. Azizabadi-Farahani, and M. Ghadami, "Presenting a model of cultural policy with a change approach (Case study: Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran)," *Strategic Studies of public policy*, vol. 11, no. 39, pp. 46-66, 2021. (In Persian)
- [27] M. Hassansoltan Solaghani, M. majidi, Z. Amini Sabegh, and E. Sadeh, "Presenting a Qualitative Model of Anti-Corruption Policy Making in Iranian Government Organizations (Case Study: Ministry of Industry, Mines and Trade)," *Political Sociology of Iran*, vol. 5, no. 10, pp. 2145-2159, 2022. (In Persian) <https://doi.org/10.30510/psi.2022.316739.2690>
- [28] F. gheytaşivand, F. Sharifzadeh, GH. Kazemian, and D. Hosseinpour, "Analysis of Factors Affecting the Success Policies Formulation of Tehran Urban Management," *Public Organizations Management*, vol. 8, no. 4, pp. 43-56, 2020. (In Persian) <https://doi.org/10.30473/ipom.2020.52617.4077>

- [29] M. V. Safi Esfahani, and H. Bashir, "The Model of Defining Cultural Issues for Socio-Cultural Policy Making in Urban Cultural Organizations (Comparative Study of Cultural Organizations of Tehran, Isfahan and Mashhad Municipalities)," *Strategic Management Thought*, vol. 14, no. 2, pp. 643-678, 2020. (In Persian)
- [30] P. baghernezhad, H. taherpoor kalantari, and H. bahrami, "Identifying and evaluating the factors affecting the successful implementation of the public policy of supporting knowledge-based companies and institutions in the country," *Innovation Management in Defensive Organizations*, vol. 1, no. 2, pp. 1-26, 2019. (In Persian)
- [31] X. Chu, Z. Chu, X. Wang, W. C. Huang, and Y. Ni, "Comparative analysis on the performances of implementing compulsory and advocative policies in municipal solid waste classification," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 99, pp. 106982, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106982>
- [32] H. Hamjen, T. Oktavianor, and T. Arbain, "Implementation of Smart Branding Policy in the River City of Banjarmasin," *Jurnal Bina Praja: Journal of Home Affairs Governance*, vol. 15, no. 1, pp. 163-179, 2023. <https://doi.org/10.21787/jbp.15.2023.163-179>
- [33] J. Cifuentes-Faura, B. Benito, M. D. Guillamón, and U. Faura-Martínez, "Relationship between Transparency and Efficiency in Municipal Governments: Several Nonparametric Approaches," *Public Performance & Management Review*, vol. 46, no. 1, pp. 193-224, 2023. <https://doi.org/10.1080/15309576.2022.2123007>
- [34] C. Ren, C. W. Yu, and S. J. Cao, "Development of urban air environmental control policies and measures," *Indoor and Built Environment*, vol. 32, no. 2, pp. 299-304, 2023. <https://doi.org/10.1177/1420326X221120380>
- [35] S. Gulia, N. Shukla, L. Padhi, P. Bosu, S. K. Goyal, and R. Kumar, "Evolution of air pollution management policies and related research in India," *Environmental Challenges*, vol. 6, pp. 100431, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100431>
- [36] G. Bazzan, C. Daughjerg, and J. Tosun, "Attaining policy integration through the integration of new policy instruments: The case of the Farm to Fork Strategy," *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 45, no. 2, pp. 803-818, 2023. <https://doi.org/10.1002/aepp.13235>
- [37] A. F. Selvi, "Qualitative content analysis". In *The Routledge handbook of research methods in applied linguistics*, J. McKinley and H. Rose. Eds. London: Routledge, 2002, pp. 440-452.
- [38] S. Elo, M. Kääriäinen, O. Kanste, T. Pölkki, K. Utriainen, and H. Kyngäs, "Qualitative content analysis: A focus on trustworthiness," *SAGE open*, vol. 4, no. 1, pp. 2158244014522633, 2014. <https://doi.org/10.1177/2158244014522633>
- [39] A. Tuni, W. L. Ijomah, F. Gutteridge, M. Mirpourian, S. Pfeifer, and G. Copani, "Risk assessment for circular business models: A fuzzy Delphi study application for composite materials," *Journal of Cleaner Production*, vol. 389, pp. 135722, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135722>
- [40] Y. K. Al-Rikabi, and G. A. Montazer, "Designing an E-learning Readiness Assessment Model for Iraqi Universities Employing Fuzzy Delphi Method," *Education and Information Technologies*, pp. 1-41, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11889-0>

- [41] M. Sufiyan, A. Haleem, SH. Khan, and M. I. Khan, "Evaluating food supply chain performance using hybrid fuzzy MCDM technique," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 20, pp. 40–57, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.03.004>
- [42] U. S. Mahtani, and C. P. Garg, "An analysis of key factors of financial distress in airline companies in India using fuzzy AHP framework," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 117, pp. 40–57, 87–102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.016>
- [43] H. Dinçer, S. Yüksel, and L. Martínez, "Interval type 2-based hybrid fuzzy evaluation of financial services in E7 economies with DEMATEL-ANP and MOORA methods," *Applied Soft Computing*, vol. 79, pp. 186–202, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.018>
- [44] P. Cairney, "The Concept of a Sectoral Policy Style," *In the Routledge Handbook of Policy Styles*, Routledge, M. Howlett and J. Tosun, Eds. London: Routledge, pp. 77–88, 2021.
- [45] Z. Wu, Y. Zhang, Q. Chen, and H. Wang, "Attitude of Chinese public towards municipal solid waste sorting policy: A text mining study," *Science of the total environment*, vol. 756, pp. 142674, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142674>
- [46] Y. Wang, Y. Shi, J. Zhou, J. Zhao, T. Maraseni, and G. Qian, "Implementation effect of municipal solid waste mandatory sorting policy in Shanghai," *Journal of Environmental Management*, vol. 298, pp. 113512, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113512>
- [47] A. Nikas, H. Doukas, and L. Martínez-López, "A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria," *Heliyon*, vol. 4, no. 3, pp. e00588, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00588>

CONTENTS

Evaluating the Spatial Effect of the Contribution of Different Types of Land Use in the Occurrence of Crashes (Case Study: Shiraz Metropolis)	Mohammad Sedigh Bavar - Ali Naderan Mahmoud Saffarzadeh	1
Identification of the Permeable Zones in the Takht-e-Gonbad Copper Mine Using the Flush Return	Fereshteh Movahedi – Reza Jahanshahi Naser Asadi – Sepideh Mali	17
Performance Evaluation of Welded Moment Frame with Reduced Beam Section and Stiffener	Mohammad-Amin Jalali - Amin Rafiee	29
Numerical Investigation of Concrete and Helical Pile-supported Embankments under Railway Traffic Loading	Mohammad Amin Mashayekhi Mohammadreza Khanmohammadi	47
Effect of Tidal conditions, Supplementary Cementitious Material and Marine’s Material on Some of Concrete Durability Parameters	Mohammad Jahani – Shore Shahnoori – Saeed Moradi, Mohammad Yazdani – Cyrus Ershadi	62
A Model for Policy in the Field of Municipal Urban Services with a Mixed Approach	Morteza Sharifi - Hassan Amiri - Mahmoud Modiri Farzaneh Beigzadeh	83



**JOURNAL OF
CIVIL ENGINEERING
FERDOWSI UNIVERSITY OF MASHHAD**

ISSN 2008-7454

General Director: F. Irani
Editor-Chief: M. R. Esfahani
Published: Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

M. Reza Esfahani	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
K. badv	Professor, Urmia University
J. Bolouri Bazaz	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
A. Pouya	Professor, Ecole des Ponts Paris tech
S. M. Hosseini	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
N. Hafezi Moghaddas	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
E. Seyedi Hosseininia	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Sh. Danesh	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Gh. Rakhshandehro	Professor, Shiraz University
M. H. Sebt	Professor, Amirkabir University of Technology
F. Shahabian Moghadam	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
A. Kavussi	Professor, Tarbiat Modares University
H. Ganji Doost	Professor, Tarbiat Modares University
M. Faghfour Maghrebi	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
F. Moghadas Nejad	Professor, Amirkabir University of Technology
A. Mohammadzadeh Moghaddam	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
M. Kianoush	Professor, University of Ryerson

Text Editor: M. Dehghan

Administrative Director: T. Hooshmand

Typist: A. Noie – T. Hooshmand

Journal of Civil Engineering

Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

P. O. Box. 91775-1111, Mashhad, I.R.IRAN

Tel: +98 51 38806024; **Email:** civil-ferdowsi@um.ac.ir

Web site: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir>

ISSN 2783-2805



Journal of Ferdowsi Civil Engineering

Serial No. 43

Evaluating the Spatial Effect of the Contribution of Different Types of Land Use in the Occurrence of Crashes (Case Study: Shiraz Metropolis)	1
Mohammad Sedigh Bavar - Ali Naderan Mahmoud Saffarzadeh	
Identification of the Permeable Zones in the Takht-e-Gonbad Copper Mine Using the Flush Return	17
Fereshteh Movahedi - Reza Jahanshahi- Naser Asadi Sepideh Mali	
Performance Evaluation of Welded Moment Frame with Reduced Beam Section and Stiffener	29
Mohammad-Amin Jalali - Amin Rafiee	
Numerical Investigation of Concrete and Helical Pile-supported Embankments under Railway Traffic Loading	47
Mohammad Amin Mashayekhi Mohammadreza Khanmohammadi	
Effect of Tidal conditions, Supplementary Cementitious Material and Marine's Material on Some of Concrete Durability Parameters	63
Mohammad Jahani - Shore Shahnoori - Saeed Moradi Mohammad Yazdani - Cyrus Ershadi	
A Model for Policy in the Field of Municipal Urban Services with a Mixed Approach	83
Morteza Sharifi- Hassan Amiri - Mahmoud Modiri Farzaneh Beigzadeh	

Vol. 36, No. 3
Autumn, 2023