Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 55(6) (2023) 269-272
DOI: 10.22060/ceej.2023.20571.7469

Study and Analysis of Lands for Physical Development of Coastal Cities Based on Geotechnical Criteria (Case Study: Bandar Abbas)

A. Khatibi[1], M. Amiri[2]*, M. Faghihi[3]

[1] Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Qeshm Branch, Qeshm Island, Iran.
[2] Faculty of Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
[3] Research Center of Islamic legislative Assembly, Tehran, Iran.

ABSTRACT: Determining suitable lands for urban development is one of the most important and complex decisions of city managers. The main approach of the present study is to determine suitable lands for the physical development of Bandar Abbas, to achieve which, one of the effective components including geological criteria (6 sub criteria), geotechnical (13 sub criteria) and environmental (4 sub criteria) Was used. ANP method was used to weight the criteria. After creating the information layers, fuzzy operators AND, OR, SUM, Product, gamma 0.9, gamma 0.7, and gamma 0.5 were used to superimpose the criteria. OLS was used to select the best operator to show suitable lands for urban development and the clustering of neighborhoods was done by K-mean method. The results showed that the weights of geotechnical, environmental, and geological criteria were 0.584, 0.280, and 0.135, respectively. The results of OLS showed that among the fuzzy operators, the SUM algebraic operator had the highest correlation with the research criteria and provided the best map for determining urban development lands. The results of K-mean method showed 4 clusters for urban development of Bandar Abbas. In the first cluster, 53.6% (30.5 km2) of the lands located in the eastern and northeastern regions of Bandar Abbas, are quite suitable for the physical development of the city. 30.7% (17.5 km2) of suitable land is located in the northwestern part; About 13.1 percent (7.5 km2) of unsuitable land and 2.4 percent (1.4 km2) of completely unsuitable lands. Therefore, the lands located in the east-northeast and then northwest are the most suitable lands for the construction and physical development of Bandar Abbas.

Review History:

Received: Sep. 18, 2021
Revised: Nov. 18, 2022
Accepted: Mar. 27, 2023
Available Online: May, 29, 2023

Keywords:

Network analysis
OLS
fuzzy functions
geotechnics
Bandar Abbas

1- Introduction

Coastal areas offer favorable conditions for human settlement, agriculture, tourism, industry, transportation, and communication on a global scale. These areas are dynamic ecological resources that support economic and social activities [1]. Currently, approximately 3.8 billion people reside within 200 kilometers of coastal lines, and projections indicate that this number will double by 2050 [2, 3]. Given the projected population growth and potential for socioeconomic development in coastal areas, it is crucial to identify suitable locations for the physical expansion of coastal cities [4, 5]. Therefore, managers and experts utilize various environmental and geographical factors to identify lands that are suitable for the development of coastal cities. Urban geology in coastal areas is one such parameter that influences the selection of lands for city construction and physical development [6]. Due to limited availability of suitable land, urban constructions in coastal areas often involve multistoried buildings and apartments, making it critical to consider geotechnical issues and soil structure [7]. Selecting lands with appropriate geotechnical and geological parameters can be challenging in coastal areas where the groundwater level is often high and the substrate soil has plasticity properties. Improper substrate and soil conditions in lands earmarked for urban development can lead to geotechnical hazards such as soil liquefaction, landslides, and subsidence, resulting in irreversible damage to urban infrastructure. Therefore, ensuring the safety of construction projects is of paramount importance for urban development, especially in coastal areas worldwide. Urban development without proper geotechnical studies can result in significant costs in the future. Therefore, geotechnical studies can provide a valuable model for urban planners to make informed decisions.

While most urban studies focus on barren lands, land value, and distance from environmental barriers for city development, this study also considers the vertical development of Bandar Abbas due to the environmental constraints on horizontal expansion. Therefore, this study aims to examine the geotechnical properties of lands suitable for urban development and propose an optimal growth trajectory for Bandar Abbas, taking into account the geotechnical aspects of construction and development of

*Corresponding author's email: amirii@hormozgan.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

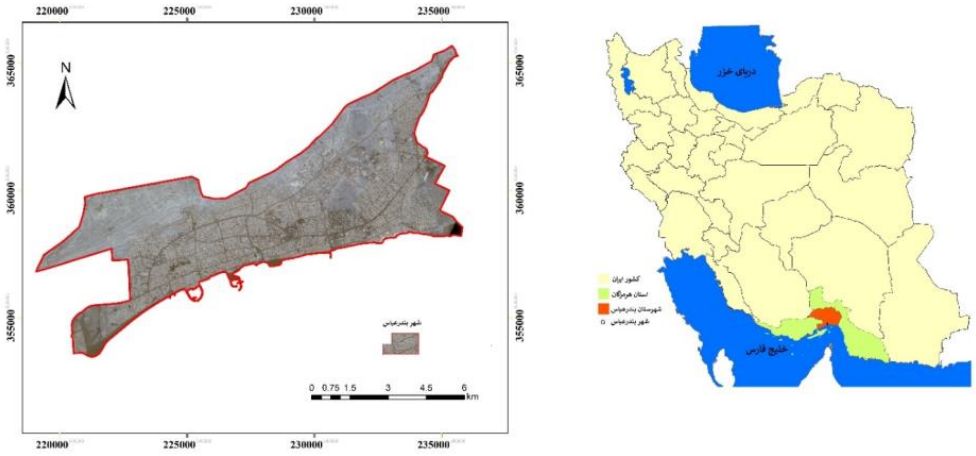


Fig. 1. The geographical situation of the studied area (Bandar Abbas)

technical structures.

2- Materials and methods

The geology of Bandar Abbas is characterized by the Aghajari formation, which consists of marl-silt sandstone rocks that have eroded in high areas and sedimented in low-lying areas, resulting in marl-sandy layers. Bandar Abbas is located in an area that is part of the central Iran region to the north, the high Zagros structural area to the west and northwest, the Zagros fold structural area to the east, the Mokran area to the southeast, and the Persian Gulf to the south.

The city of Bandar Abbas is situated on the northern latitude of 26° and 58 minutes and eastern longitude of 55° and 88 minutes from the Greenwich meridian. It has an urban area of approximately 5323.5 hectares according to the master plan. The southern and northern boundaries of Bandar Abbas are defined by the sea, serving as a natural and limiting edge from the south, and high heights that act as a natural barrier from the north. The average elevation of the city above sea level ranges from 0.6 to 4 meters.

Bandar Abbas is surrounded by natural features such as the sea to the south, high heights to the north, the airport and aerial station to the east, and naval facilities to the west. The city has seen significant growth due to its economic potential as an economic hub in Iran and increasing tourism, resulting in an influx of population. However, the geotechnical properties of the area, including the soft soil with clay and fine-grained sand on the Persian Gulf coast, the high depth of underground water, and the potential for liquefaction due to numerous faults, pose challenges for urban development and construction.

Considering the environmental limitations of horizontal development due to natural and man-made barriers, this study aims to evaluate the geotechnical properties of the lands suitable for urban development and select an optimal growth trajectory for Bandar Abbas, taking into account the construction and development of technical structures, as well as the potential for liquefaction and other geotechnical hazards.

3- Results and discussion

3- 1- Geological Criteria The geological

criterion consisted of six sub-criteria. Pearson correlation analysis revealed that geological formations had the highest correlation with other sub-criteria. This parameter was found to have a significant relationship with soil texture, depth of the earthquake, and slope of land. Additionally, a significant correlation (at a 99% confidence level) was observed between the depth of earthquakes that occurred in Bandar Abbas over the past 50 years and soil texture, geological formations, and faults (Table 1).

According to the results of the weighted criteria and sub-criteria based on ANP, the slope of lands and surface topography were found to be the most important factors in identifying suitable lands for urban development in Bandar Abbas, with weights of 0.357 and 0.284, respectively. The study revealed that urban construction is not feasible in areas where the subgrade slope is more than 10%. The increased slope in Bandar Abbas leads to higher land levels, making these high-height areas unsuitable for urban development. However, lands with a slope of 2-10% are deemed suitable for this purpose.

4- Conclusion

After conducting geotechnical studies using borehole drilling to assess soil and subgrade properties in subsurface layers, including soil density, granulation, liquefaction risk, and resistance against construction loads on foundations, the following results were obtained:

Four clusters for development were identified based on the results of the geotechnical studies.

The first cluster, located in the east and northeast of Bandar Abbas, comprises 53.6% (30.5 km^2) of land that is suitable for the city's physical development.

The second cluster, located in the northwest of the city,

Table 1. Correlation between geological sub-criteria based on Pearson correlation coefficient

	Soil texture	Geological formations	Fault	Depth of earthquake	Slope	Topography
Soil texture	1					
Geological formations	0.684**	1				
Fault	-0.003	0.068	1			
Depth of earthquake	0.472**	0.383**	-0.420**	1		
Slope	-0.263*	-0.334**	0.010	-0.146	1	
Topography	0.154	0.096	-0.010	0.029	-0.068	1

includes 30.7% (17.5 km^2) of suitable land.

Approximately 13.1% (7.5 km^2) of land was deemed improper for urban development.

Therefore, the lands in the east and northeast areas are identified as the most geotechnically suitable lands for the construction and physical development of Bandar Abbas City.

References

[1] G. McGranahan, D. Balk, B. Anderson, Risks of climate change for urban settlements in low elevation coastal zones, in: The New Global Frontier, Routledge, 2012, pp. 179-196.

[2] C. Small, R.J. Nicholls, A global analysis of human settlement in coastal zones, Journal of coastal research, (2003) 584-599.

[3] M. de Andrés, J.M. Barragán, M. Scherer, Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage?, Land use policy, 71 (2018) 121-128.

[4] B. Neumann, A.T. Vafeidis, J. Zimmermann, R.J. Nicholls, Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment, PloS one, 10(3) (2015) e0118571.

[5] S. Nadizadeh Shorabeh, N. Neysani Samani, M.R.J.-N. Jelokhani-Niaraki, Determination of optimum areas for the landfill with emphasis on the urban expansion trend based on the combination of the Analytical Hierarchy Process and the Ordered Weighted Averaging model, Journal of Natural Environment, 70(4) (2017) 949-969.

[6] S. Abdeltawab, A geotechnical evaluation of Minia-Maghagha area, Upper Egypt, Earth Sciences, 7(1) (1994).

[7] A.M. Saad, M.A. Sakr, A.E. Omar, A.W. Mohamed, Y.A. Temsah, Assessment of radioactivity and geotechnical characteristics of soil foundation for suitability of safe urban extension using geospatial technology New Sahl Hasheesh Marin Port, Eastern Desert, Egypt, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102(17) (2022) 5715-5737.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Khatibi, M. Amiri, M. Faghihi, Study and Analysis of Lands for Physical Development of Coastal Cities Based on Geotechnical Criteria (Case Study: Bandar Abbas), Amirkabir J. Civil Eng., 55(6) (2023) 269-272.

DOI: 10.22060/ceej.2023.20571.7469

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۵، شماره ۶، سال ۱۴۰۲، صفحات ۱۲۶۳ تا ۱۲۸۴
DOI: 10.22060/ceej.2023.20571.7469

بررسی و تحلیل اراضی جهت توسعه ی فیزیکی شهرهای ساحلی برمبنای معیارهای ژئوتکنیکی (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)

علی خطیبی[۱]، محمد امیری[۲*]، مهدی فقیهی[۳]

۱-گروه مهندسی عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران
۲-گروه مهندسی عمران، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
۳- مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی، تهران، ایران

خلاصه: تعیین اراضی مناسب برای گسترش شهرها، یکی از تصمیم‌گیری‌های مهم و پیچیده‌ی مدیران شهری است. متأسفانه در معیارهای توسعه شهری به پارامترهای ژئوتکنیکی توجه نشده که این پارامتر در توسعه شهرهای ساحلی حائز اهمیت است. بر این اساس، هدف اصلی مقاله حاضر، بررسی توسعه فیزیکی شهر بندرعباس با نگرش ویژه به معیارهای ژئوتکنیکی است. رهیافت اصلی پژوهش حاضر، تعیین اراضی مناسب برای توسعه‌ی فیزیکی شهر بندرعباس است که برای دستیابی به آن، از مؤلفه‌های تأثیرگذار مشتمل بر سه معیار ژئولوژیکی (۶ زیر معیار)، ژئوتکنیکی (۱۳ زیر معیار) و محیطزیستی (۴ زیر معیار) استفاده گردید. برای وزن‌دهی معیارها از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. پس از ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، برای رویهم‌گذاری معیارها از عملگرهای فازی Product، SUM، OR، AND، گامای ۰/۹، گامای ۰/۷ و گامای ۰/۵ استفاده شد. از رگرسیون حداقل مربعات در انتخاب بهترین عملگر برای نشان دادن اراضی مناسب جهت توسعه شهری استفاده شد و خوشه‌بندی محلات با روش K-Mean انجام شده است. نتایج نشان داد که وزن معیارهای ژئوتکنیکی، محیطزیستی و ژئولوژیکی به ترتیب ۰/۵۸۴، ۰/۲۸۰ و ۰/۱۳۵ بود. بر اساس نتایج حاصل شده، معیارهای ژئوتکنیکی در بحث توسعه شهری دارای بیشترین وزن است که در اکثر مطالعات مورد توجه قرار نگرفته است. نتایج رگرسیون OLS نشان داد که از میان عملگرهای فازی، عملگر جمع جبری SUM بیشترین همبستگی را با معیارهای پژوهش داشت و بهترین نقشه را برای تعیین اراضی توسعه شهری ارائه نمود. نتایج روش K-Mean چهار خوشه را برای توسعه شهری بندرعباس نشان داد که در خوشه‌ی اول ۵۳/۶٪ (۳۰/۵ کیلومترمربع) از اراضی که در نواحی شرقی و شمال شرقی بندرعباس قرار دارند، برای توسعه فیزیکی شهر کاملاً مناسب است؛ ۳۰/۷٪ (۱۷/۵ کیلومترمربع) اراضی مناسب است که در بخش شمال‌غربی قرار دارد؛ حدود ۱۳/۱٪ (۷/۵ کیلومترمربع) اراضی نامناسب و ۲/۴٪ (۱/۴ کیلومترمربع) از اراضی کاملاً نامناسب است. بنابراین اراضی واقع در بخش شرقی- شمال شرقی و سپس شمال‌غربی، مناسب‌ترین اراضی برای ساخت‌وسازها و توسعه‌ی فیزیکی شهر بندرعباس می‌باشد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۶
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

کلمات کلیدی:
معیارهای ژئوتکنیکی
بندرعباس
تحلیل شبکه
توابع فازی

۱- مقدمه

مناطق ساحلی به‌طور خاص در سراسر جهان، ارائه دهنده‌ی شرایط ایده‌آل برای اسکان و گسترش سکونت‌گاه‌های انسانی، کشاورزی، گردشگری، صنعت، حمل‌ونقل و ارتباطات می‌باشد و از پویاترین منابع اکولوژیکی و بستر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هستند [۱]. بر اساس آمار موجود، حدود سه میلیارد و هشتصد میلیون نفر در فاصله‌ی ۲۰۰ کیلومتری از خط ساحلی زندگی می‌کنند که مطابق پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰، این رقم با رشد دو برابری مواجه خواهد شد [۲, ۳]. به‌دلیل تراکم جمعیت و پیش‌بینی رشد اجتماعی- اقتصادی در نواحی ساحلی، تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های مناسب جهت گسترش فیزیکی شهرهای ساحلی و تعیین اراضی مناسب برای توسعه حائز اهمیت است [۴, ۵]. به‌این دلیل، مدیران و کارشناسان سعی در استفاده از معیارهای مختلف علوم محیطی- جغرافیایی به‌منظور تعیین اراضی مناسب برای توسعه شهرهای ساحلی هستند. زمین‌شناسی شهری در نواحی ساحلی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده در انتخاب اراضی برای ساخت‌وساز و توسعه‌ی فیزیکی شهر محسوب می‌شود [۶]. ساخت‌وسازهای شهری با توجه به کمبود زمینِ مناسب، عمدتاً به‌صورت چندطبقه و آپارتمانی است که توجه به مسائل ژئوتکنیکی و ساختار خاک را حائز اهمیت می‌کند [۷]. در اراضی ساحلی که عمدتاً سطح آب زیرزمینی بالا بوده و خواص خمیری خاکِ بستر اراضی زیاد است، انتخاب اراضی که از لحاظ پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مطلوب باشد، بسیار محدود است. در صورت نامناسب بودن بستر و خاک اراضی که در مسیر توسعه فیزیکی شهر قرار دارد، احتمال وقوع خطرات ژئوتکنیکی همچون روان‌گرایی خاک، لغزش و فرونشست‌ها زیاد بوده که می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری را

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: amirii@hormozgan.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

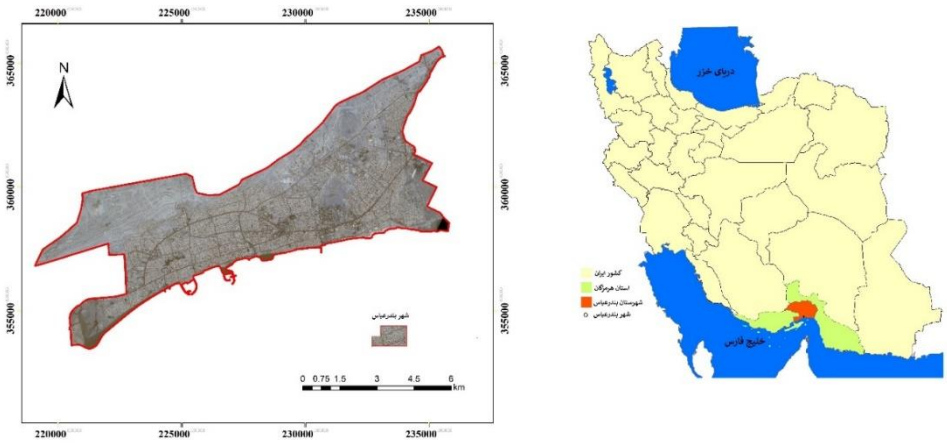
بر ساخت‌وساز شهری وارد کند [۸]. بنابراین، ایمنی در پروژه‌های ساختمانی برای توسعه‌ی شهری به‌ویژه در نواحی ساحلی، یک نگرانی اساسی در سراسر جهان محسوب می‌شود. توسعه شهری بدون انجام مطالعات ژئوتکنیکی می‌تواند در آینده موجب ایجاد هزینه‌های بسیار زیاد شود. از این‌رو انجام مطالعات ژئوتکنیکی می‌تواند مدل مناسبی در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.

بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی اراضی برای توسعه فیزیکی شهر به‌ویژه شهرهای ساحلی یک مرحله‌ی اساسی بوده و به عنوان یک مؤلفه‌ی تأثیرگذار در ساخت‌وساز در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور تعیین اراضی مناسب برای توسعه‌ی فیزیکی شهر، شناخت زمین یکی از مؤلفه‌های مهم است. در شناسایی زمین، پارامترهای ژئوتکنیکی باید گردآوری و تجزیه‌وتحلیل و در نهایت تفسیر شوند. شناخت ویژگی‌های ژئوتکنیکی، عملکرد تنش و تغییر شکل خاک‌ها، وضعیت زمین‌شناسی، وضعیت گسل‌ها، لرزه‌خیزی و روان‌گرایی در ارزیابی زمین برای ساخت‌وساز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و این موارد به مشخصات ژئوتکنیکی خاک شامل خواص فیزیکی خاک (دانه‌بندی، خاصیت خمیری، ضریب فشردگی، مقاومت برشی) و رفتار آن تحت بارهای وارده وابسته است [۹]. از این‌رو، به‌منظور آگاهی از مشخصات ژئوتکنیکی خاک محل احداث سازه‌های شهری، انجام مطالعات ژئوتکنیکی اجتناب‌ناپذیر است [۱۰].

پژوهشگران در اصفهان با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی ۳۸۴ گمانه، نقشه‌های محدوده تقریبی گسترش رسوبات درشت‌دانه رودخانه زاینده‌رود را بررسی کردند و نشان دادند که ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات درشت‌دانه نسبت به عمق تغییر معناداری ندارد و محدوده‌ی تقریبی گسترش زیرسطحی شن و ماسه‌ی رودخانه‌ای در گذشته، در محل‌هایی غیر از مسیر فعلی رودخانه بوده است [۱۱]. سرعت موج برشی جهت ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک‌های شهر اردبیل مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن نشان داد که بخش‌هایی از منطقه ۱ و ۲ این شهر با خطر زیاد روان‌گرایی مواجه‌اند. روان‌گرایی باعث خسارت‌های وسیعی بر تأسیسات شهری، سازه‌های ساحلی، منابع آبی و خطوط انتقال آب و گاز می‌شود [۱۲]. در شهر ابرکوه یزد، حدود ۱۰۰ کیلومترمربع از وسعت شهرستان در معرض خطر بالای وقوع روان‌گرایی است که عمدتاً نواحی شمال شرقی، شرق و جنوب‌شرقی شهرستان را در بر می‌گیرد [۱۳]. در شهر پیشاور پاکستان، اراضی حومه‌ای به تسلط ساخت‌وسازهای بی‌رویه درآمده و خطرات ژئوتکنیکی محل موجب خسارت‌های زیادی بر ساختمان‌سازی در این شهر شده است [۱۴]. در شهر سوئز در کشور مصر، گسترش افقی و پراکندگی شهری بدون ارزیابی‌های زمین‌شناسی و خصوصیات ژئوتکنیکی محل موجب رخداد خطرات ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی متعددی شده که بر ساختمان‌های شهری خسارت زیادی وارد ساخته است [۱۵]. در کلان‌شهر تونس، به‌منظور توسعه‌ی شهری و انتخاب اراضی بهینه برای ساختمان‌سازی‌های گسترده، ابتدا مخاطرات ژئوتکنیکی محل مبتنی بر سنگ‌شناسی منطقه، توپوگرافی و شیب محل، لرزه‌سنجی عمقی، حساسیت سیلاب و اثرات ناشی از زمین‌لرزه در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ذخیره گردید و بر مبنای خصوصیات ژئوتکنیکی و مخاطرات محل، اراضی برای توسعه طبقه‌بندی گردید که در آن چهار محل ۱) منطقه با احتمال بالقوه‌ی خطر لغزش زمین، ۲) منطقه با خطر سیلاب، ۳) منطقه با خطر فرونشست و ۴) منطقه با خطر گل‌ولای سیلاب شناسایی گردید [۱۶]. در شهر تانتای مصر، عمق آب زیرزمینی بین ۰ تا ۵/۵ متر؛ حد خمیری خاک بین ۱۲/۸ تا ۳۶/۲٪؛ پتانسیل تورم و روانگرایی بین ۰/۱۶ تا ۰/۷۳٪؛ ضریب فشردگی بین ۰/۱۶ تا ۰/۳۳ و مقاومت آن بین ۰/۸۷ تا ۳/۱۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که برای توسعه‌ی شهری در این منطقه، سه ناحیه انتخاب گردید که از لحاظ خصوصیات ژئوتکنیکی و خاک بستر، برای ساختمان‌سازی مناسب است [۱۷].

در شهر ساحلی Puerto Vallarta در سواحل اقیانوس آرام، پژوهشگران با انجام آزمایش نفوذ استاندارد، آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مقاومت خاک را ارزیابی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که زمین‌های ماسه‌ای حاشیه‌ی ساحل دارای روان‌گرایی زیادی بوده و دارای آسیب‌پذیری زیادی در برابر زمین‌لرزه است، اما با فاصله از ساحل مقاومت زمین در برابر زمین‌لرزه و روان‌گرایی افزایش می‌یابد که برای توسعه و ساخت‌وسازهای شهری مناسب است [۱۸]. آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌ها، به‌ویژه ساختمان‌های قدیمی و فرسوده که تأثیر زلزله را در نظر نگرفته‌اند، بسیار مهم است. در شهر نجف در عراق، پژوهشگران از ۱۳۰ گمانه در عمق ۳۰ متری توزیع شده در نجف برای بررسی لرزه‌ای استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که مقاومت ساختمان‌های قدیمی نجف در برابر زلزله بسیار پایین است [۱۹]. به‌منظور احداث خط متروی ۱۹ کیلومتری شهر ریاض در عربستان، بیش از ۵۰۰ گمانه مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای سطح ایستایی آب، سرعت موج برشی، عمق سنگ‌بستر و ضخامت خاک تحلیل شد [۲۰].

ارزیابی خصوصیات ژئوتکنیکی محل برای ساخت و ساز و احداث ابنیه‌های شهری یکی از مؤلفه‌های پیش‌نیاز در تدوین برنامه‌ریزی‌های شهری است. در بین ویژگی‌های ژئوتکنیکی، خصوصیات خاک، عمق آب زیرزمینی، پتانسیل روان‌گرایی و مقاومت لایه‌های خاک از اهمیت زیادی برخوردار بوده که پیش‌بینی این پارامترها موجب کاهش خسارت‌های ناشی از ساختمان‌سازی و توسعه‌ی شهرها می‌شود. شهر بندرعباس بر روی آبرفت‌های کواترنری با خاک نرم حاوی رس و ماسه ریزدانه در ساحل خلیج‌فارس گسترش یافته است که با توجه به بالا بودن عمق آب زیرزمینی و وجود گسله‌های فراوان در محل، از پتانسیل بالای روان‌گرایی برخوردار است و احتمال فرونشست و زمین‌لغزش در آن وجود دارد. از طرف دیگر، شهر بندرعباس



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه (شهر بندرعباس)

Fig. 1. The geographical situation of the studied area (Bandar Abbas).

طی سال‌های گذشته به قطب اقتصادی ایران تبدیل‌شده و هر ساله خیل عظیمی از جمعیت وارد این شهر می‌شود. پتانسیل گردشگری و توریستی نیز در افزایش تراکم جمعیتی در شهر بندرعباس نقش دارد. شهر بندرعباس رو به رشد بوده، اما از جنوب و شمال به موانع طبیعی دریا و ارتفاعات پولادین محصور است و از غرب نیز به نواحی صنعتی و شهرک‌های نظامی محدود است. از سوی دیگر احتمال وقوع روان‌گرایی و دیگر خطرات ژئوتکنیکی و از طرف دیگر، موانع طبیعی و مصنوعی توسعه‌ی فیزیکی شهر باعث شده تا مدیران شهری به‌دنبال شناسایی اراضی مساعد برای ساخت‌وساز و گسترش شهری باشند. در اغلب مطالعات شهری، وضعیت اراضی بایر، ارزش زمین و دوری از موانع محیطی برای توسعه فیزیکی شهر بررسی می‌شود، اما در این پژوهش با توجه به اینکه محدودیت‌های محیطی در توسعه افقی شهر بندرعباس وجود دارد و بایستی به توسعه عمودی شهر نیز توجه نمود، ویژگی‌های ژئوتکنیکی بستر برای توسعه شهری مورد بررسی قرار گرفت که می‌تواند نوآوری این مطالعه باشد. بنابراین در پژوهش حاضر به‌منظور دستیابی به این رهیافت، اراضی مناسب برای توسعه شهری و انتخاب مسیر رشد بهینه‌ی شهر بندرعباس، بر اساس خصوصیات ژئوتکنیکی اراضی بررسی شد و ازلحاظ توسعه‌ی ساخت‌وساز و احداث ابنیه‌های فنی ارزیابی شده است.

۲- روش پژوهش

شهر بندرعباس مرکز استان هرمزگان در منتهی‌الیه جنوب ایران در ۲۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۸۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). محدوده‌ی شهر بر اساس طرح جامع در حدود ۵۳۲۳/۵ هکتار مساحت است. محدوده‌ی شهری بندرعباس از شمال به کنارگذر شهید رجایی، از جنوب به ساحل دریا، از شرق به فرودگاه و پایگاه هوایی و از غرب به تأسیسات نیروی دریایی محدود شده است. دریا به‌عنوان لبه طبیعی و محدود کننده شهر از سمت جنوب و ارتفاعات پولادین در شمال به‌لحاظ طبیعی، مناظر جنوبی و شمالی شهر بندرعباس را تشکیل می‌دهند. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا در حدود ۰/۶ تا ۴۰ متر است. بندرعباس بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌شناسی–ساختاری ایران، گستره‌ای است که از شمال به پهنه ایران مرکزی، از غرب و شمال‌غرب به واحد ساختاری زاگرس مرتفع، از شرق به واحد ساختاری زاگرس چین‌خورده و از جنوب‌شرقی به واحد ساختاری مکران و از جنوب به خلیج‌فارس محدود می‌شود. بندرعباس از سازند آغاجاری که دارای سنگ‌های مارنی– سیلتی و ماسه‌سنگی است تشکیل شده و از فرسایش این سنگ‌ها در ارتفاعات و رسوب‌گذاری در نواحی پست، لایه‌های سیلتی– ماسه‌ای تشکیل شده است.

۲– ۱– تهیه معیارها و زیرمعیارهای پژوهش

در گام اول این مطالعه، به‌منظور تهیه و شناسایی معیارهای اثرگذار در توسعه شهری، از روش پیمایشی و توزیع پرسشنامه بین متخصصین شهری و کارشناسان عمران و ساخت‌وساز شهری استفاده شد. شایان ذکر است از بین متخصصین ۵ نفر دارای مدرک دکتری تخصصی ژئوتکنیک (۳) و زمین‌شناسی (۲) با بیش از ۱۵ سال سابقه، ۲۰ نفر متخصص با مدرک کارشناسی ارشد و حداقل ۱۰ سال سابقه اجرایی و ۲۵ نفر نیز کارشناسان مهندسی عمران استان هرمزگان با حداقل ۱۵ سابقه تخصصی بوده‌اند. قابل توجه است بین نظرات متخصصین اختلافات جدی مشاهده نشد. در این مطالعه ابتدا پارامترهای مهم تهیه شد و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. حجم پرسشنامه‌ها با فرمول کوکران به‌دست آمد. برای پایایی پرسشنامه‌ها

از ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار ضریب a، ۰/۸۲ به‌دست آمد. پارامترهای ژئوتکنیکی مؤثر در توسعه شهری که از پرسشنامه‌ها به‌دست آمد، در قالب ۳ معیار و ۲۳ زیر معیار طبقه‌بندی گردید و به‌عنوان پایگاه اطلاعاتی به شرح ذیل، در GIS دسته‌بندی شد.

1) **معیار ژئوتکنیکی:** شامل زیرمعیارهای عدد نفوذ استاندارد، درصد ذرات هم اندازه رس، سرعت موج برشی، سطح ایستایی آب، تراکم لایه خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، مدول الاستیسیته، ظرفیت باربری خاک، ضریب واکنش بستر خاک، پتانسیل روان‌گرایی خاک، دانسیته خاک، حد روانی و حد خمیری خاک؛

2) **معیار ژئولوژیکی:** شامل زیرمعیارهای شیب طبقات زمین، کانون و عمق زمین‌لرزه، فاصله از گسل، تشکیلات زمین‌ساختی ، بافت خاک سطحی و توپوگرافی منطقه؛

3) **معیار محیط‌زیستی:** شامل زیرمعیارهای فاصله از پهنه‌های سیلابی، فاصله از مناطق آلودگی به‌ویژه آلودگی پساب، کاربری اراضی یا پهنه عملکردی و فاصله از صنایع و کارخانه‌ها.

4)

۲- ۲- پارامترهای ژئوتکنیکی مؤثر در توسعه شهری

عدد نفوذ استاندارد SPT یکی از پارامترهای مهم در مطالعات ژئوتکنیکی است. دیگر پارامترهای ژئوتکنیکی (مدول الاستیسیته) ظرفیت باربری، پتانسیل روانگرایی، مقاومت فشاری خاک را می‌توان از عدد نفوذ استاندارد N_{SPT} به‌دست آورد که این شرایط موجب شده است که این پارامتر به‌عنوان یکی از معیارهای در طراحی توسعه شهری در نظر گرفته شود. زاویه اصطکاک داخلی خاک (ϕ) از دیگر پارامترهایی است که در مقاومت برشی خاک و تحلیل مسائل پایداری خاک نظیر ظرفیت باربری و پایداری شیروانی‌ها و روان‌گرایی خاک مؤثر است. مدول الاستیسیته خاک از دیگر پارامترهای مؤثری است که در این مطالعه استفاده شده است. علت انتخاب این پارامتر، نقش مهم آن در محاسبه میزان نشست الاستیک سازه است. به منظور تخمین ظرفیت باربری مجاز نهایی و بررسی معیار گسیختگی خاک، پارامتر مقاومت فشاری محدود نشده (q_a) حائز اهمیت است. ضریب واکنش بستر (K_S) نیز از دیگر پارامترهای مؤثر در طراحی‌های ژئوتکنیکی است که در مطالعات توسعه شهری حائز اهمیت باشد [۲۱].

از مهم‌ترین پدیده‌های ویرانگر و عامل اصلی خسارت وارده به سازه‌ها و ابنیه فنی در حین وقوع زلزله یا ایجاد ارتعاشات، پدیده روان‌گرایی است. در مناطقی که بر روی خاک‌های ماسه‌ای اشباع بنا شده‌اند، کاهش مقاومت خاک در اثر وقوع روان‌گرایی حائز اهمیت است. گام نخست در هر روشِ ارزیابی روان‌گرایی لرزه‌ای، تعیین موضوع استعداد روان‌گرایی در ساختگاه مورد نظر است. روش‌های گزینشی مختلفی برای جداسازی ساختگاه‌هایی که به‌طور مشخص نسبت به وقوع پدیده روان‌گرایی بی‌خطر هستند از ساختگاه‌هایی که نیاز به مطالعات تفصیلی بیشتر دارند، وجود دارد. بر اساس نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی و نیز مشاهدات و مطالعات محلی انجام شده، معیارهای تراز آب زیرزمینی، نوع خاک، تراکم نسبی، دانه‌بندی، وضعیت زه‌کشی، شکل ذرات، سن زمین‌شناسی و خصوصیات زمین ریخت‌شناسی، شرایط تاریخچه‌ای (سیمانی‌شدن) و فشار همه‌جانبه، مهم‌ترین عواملی هستند که روان‌گرایی را کنترل کرده و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی استعداد روان‌گرایی بر اساس آن‌ها تعریف می‌شوند [۲۲, ۲۳]. روش‌های ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی بر اساس اصل مقایسه تنش‌های ایجاد شده بر اثر زلزله (CSR=L) و مقاومت خاک (CRR=R) می‌باشد. روش‌های مبتنی بر دانه‌بندی و عدد SPT (استاندارد ژاپن)، روش مبتنی بر عدد SPT سید و ادریس (۱۹۸۳)، روش ارزیابی خاک‌های ماسه‌ای چسبنده با استفاده از معیار چینی‌ها و روش سه محوری سیکلی می‌باشد.

پارامترهای ژئوتکنیکی مؤثر در طراحی توسعه شهری از نتایج حفاری و گزارش‌ها و پارامترهای ارائه شده ۶۰ گمانه به عمق ۳۰ متر در محدوده مورد مطالعه که توسط "شرکت مهندسین مشاور صادق کاوان فارس" تهیه شده بود، استفاده شده است. شایان ذکر است برای طبقه‌بندی خاک، از سیستم طبقه‌بندی متحد (USCS) استفاده شده است. در این سیستم طبقه‌بندی که بر مبنای خاصیت خمیری و پلاستیک خاک و همچنین اندازه‌ی ذرات خاک انجام می‌گیرد، میزان حد روانی اهمیت دارد. پس از تهیه‌ی پایگاه اطلاعاتی در خصوص معیارها و زیرمعیارهای پژوهش، ارتباط و همبستگی بین زیرمعیارها از طریق ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد و در سطح ۹۵ و ۹۹٪، معنی‌داری آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفت.

۲- ۳- وزن‌دهی معیارها

میزان اثرگذاری و درجه اهمیت هر یک از زیرمعیارها و معیارها در توسعه شهری، از طریق تدوین و توزیع پرسشنامه با سوال‌های مربوط به ارزش زیرمعیارها در مقیاس ۹ کمیتی ساعتی بین همان متخصصین، به‌دست آمد. در مدل تصمیم‌گیری مورد مطالعه، ابزاری برای اندازه‌گیری و مقایسات زوجی بین زیرمعیارهای پژوهش نیاز بود تا بتوان دیدگاه‌های خبرگان نسبت به اهمیت زیرمعیارها در توسعه شهری بر اساس آن اندازه‌گیری کرد که در این مطالعه از ابزار ۹ کمیتی ساعتی استفاده گردید. سپس درجه‌ی اهمیت زیرمعیارها که از پرسشنامه‌ها به‌دست آمد، وارد نرم‌افزار Super Decision گردید و با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل تحلیل شبکه (ANP)، وزن نهایی هر زیر معیار محاسبه گردید. با توجه به اینکه تکنیک تحلیل شبکه، ارتباط زوجی بین پارامترها و اثرگذاری یک معیار بر معیارهای دیگر را نیز

محاسبه می‌کند، در این مطالعه، از این تکنیک به‌جای تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها استفاده گردید. فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: ۱) سلسله‌مراتب کنترلی و ۲) ارتباط شبکه‌ای. سلسله‌مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تأثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود. فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را در چهار مرحله می‌توان خلاصه نمود.

1) **ساخت مدل و تبدیل موضوع به یک ساختار شبکه‌ای:** در این مرحله موضوع مورد نظر به یک ساختار شبکه‌ای که در آن گره‌ها به‌عنوان خوشه‌ها مطرح هستند، تبدیل می‌شود. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند (تحت تأثیر آن‌ها بوده یا بر آن‌ها اثرگذار باشند). همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی).

2) **تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت:** عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف، دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. اثر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی سنجیده می‌شود.

3) **تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد:** برای دستیابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با اثرهای متقابل، بردارهای اولویت داخلی در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه، یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به‌دست می‌آید. این نوع ماتریس را سوپر ماتریس اولیه می‌نامند. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سوپر ماتریس ناموزون به‌دست می‌آید. در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه‌کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. در ادامه، سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی‌که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار)، یا به عبارت‌دیگر تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود.

4) **انتخاب گزینه برتر:** اگر سوپر ماتریس تشکیل‌شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر گرفته باشد، یعنی گزینه‌ها نیز در سوپر ماتریس لحاظ شده باشند، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپر ماتریس حد نرمالیزه‌شده قابل حصول است. اگر سوپر ماتریس فقط بخشی از شبکه که وابستگی متقابل دارند را شامل شود و گزینه‌ها در سوپر ماتریس در نظر گرفته نشوند، محاسبات بعدی لازم است صورت بگیرد تا اولویت کلی گزینه‌ها به‌دست آید. گزینه‌ای که بیشترین اولویت را داشته باشد، به‌عنوان برترین گزینه انتخاب می‌شود. در پژوهش حاضر، به‌دلیل محدودیت صفحات، وزن نهایی زیرمعیارها و معیارها ارائه شده است.

بنابراین، نتایج پرسشنامه وارد تحلیل شبکه شده و با استفاده از این تکنیک، وزن نهایی زیرمعیارها به‌دست آمد که میزان اهمیت آن‌ها در توسعه شهری بندرعباس می‌باشد.

۲- ۴- عضویت‌دهی فازی زیرمعیارهای پژوهش

اطلاعات مربوط به هر زیر معیار در توسعه شهری بندرعباس، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات میدانی، آمارنامه‌ها، سرشماری‌ها و گزارش‌های شهرداری بندرعباس به‌دست آمد. اطلاعات وارد نرم‌افزار ArcGIS گردید و برای هر زیر معیار یک لایه‌ی اطلاعاتی تشکیل شد. سپس با توابع Reclassify و فاصله اقلیدسی (Euclidean Distance) برای هر زیر معیار، یک نقشه رقومی (دیجیتالی) تهیه گردید. به‌منظور ارزش‌گذاری به هر زیر معیار و نقش آن‌ها در توسعه شهری، از توابع عضویت‌دهی فازی شامل Gaussian، Linear، Small، Large و Near استفاده گردید و با اعمال هر یک از این توابع بر روی نقشه‌های هر زیر معیار، نقشه‌ی درجه عضویت فازی برای هر زیر معیار در توسعه شهری به‌دست آمد (جدول ۱). در گام نهایی، نقشه‌ی فازی برای هر زیر معیار، در وزن به‌دست آمده‌ی خود از تحلیل شبکه، ضرب شد و نقشه‌ی نهایی برای هر زیر معیار به‌دست آمد.

۲- ۵- رویهم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی

به‌منظور رویهم‌گذاری نقشه‌های وزن‌دار فازی، از عملگرهای رویهم‌گذاری فازی شامل AND، OR، SUM، Product، گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ استفاده گردید و برای هر عملگر فازی، یک نقشه‌ی حاصل از رویهم‌گذاری ۲۳ زیر معیار (۳ معیار) در بررسی توسعه شهری به‌دست آمد. با استفاده از عملگر فازی OR در هر موقعیت، حداکثر مقدار عضویت پیکسل در تمام نقشه‌های ترکیب شده، به‌عنوان مقدار عضویت در نقشه‌ی نهایی وارد می‌شود. در نتیجه، به‌دلیل صرف‌نظر نمودن از وزن‌های پایین، پیکسل‌های یک خروجی بسیار خوش‌بینانه خواهد بود. عملگر اشتراک فازی AND در یک موقعیت مشخص، حداقل درجه‌ی عضویت

جدول ۱. وزن‌دهی و ارزش‌گذاری زیرمعیارهای پژوهش.

Table 1. Weighing and valuing sub-criteria.

معیار	زیر معیار	واحد	تابع عضویت فازی	ارزش زیرمعیارها		
				مناسب	متوسط	نامناسب
ژئوتکنیکی	عدد نفوذ استاندارد	–	Linear	۶۸–۹۹	۳۸–۶۸	۷–۳۸
	درصد رس ذرات خاک	٪	Small	۲–۶	۶–۱۱	۱۱–۱۵
	سرعت موج برشی	متر بر ثانیه	Large	۳۷۲–۴۲۰	۳۲۶–۳۷۲	۲۸۰–۳۲۶
	سطح ایستابی آب	متر	Large	۱۵–۲۵	۱۰–۱۵	۰–۱۰
	تراکم لایه خاک	سانتی‌متر	Linear	۸۲–۱۲۰	۴۵–۸۲	۸–۴۵
	زاویه اصطکاک داخلی خاک	درجه	Large	۳۳–۳۷	۲۹–۳۳	۲۳–۲۹
	مدول الاستیسیته	پاسکال	Large	۵۵۱–۶۹۰	۲۷۱–۵۵۱	۶۱–۲۷۱
	ظرفیت باربری خاک	کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	Linear	۱۹–۲۶	۱۱–۱۹	۴–۱۱
	ضریب واکنش بستر خاک	کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	Linear	۱/۵ –۱/۲	۱/۲ –۰/۸	۰/۸ –۰/۳
	پتانسیل روان‌گرایی خاک	٪	Small	۰/۴ – ۰/۱	۰/۷ – ۰/۴	۱ –۰/۷
	دانسیته خاک	گرم در سانتی‌متر مکعب	Linear	۱/۸۶ – ۱/۸۰	۱/۸۰ – ۱/۷۱	۱/۷۱ –۱/۶
	حد روانی خاک	درصد	Large	۰ – ۱۵	۱۵ – ۳۰	بیش از ۳۰
	حد خمیری خاک	درصد	Large	۰ – ۱۰	۱۰ – ۲۰	بیش از ۲۰
ژئولوژیکی	شیب طبقات اراضی	٪	Gaussian	۵ تا ۱۵	۱۵ تا ۳۰	۵–۰ و بیش از ۳۰
	کانون و عمق زمین‌لرزه	کیلومتر	Large	۲۶–۳۳	۱۶–۲۶	۳–۱۶
	فاصله از گسل	کیلومتر	Large	بیش از ۴	۲–۴/۵	کمتر از ۲
	تشکیلات زمین‌ساختی	جنس سازند	-	رسوبات کواترنر	سازند آغاجاری	سازند میشان
	بافت خاک سطحی	نوع خاک	-	خاک عمیق سنگین	خاک نیمه عمیق	بدون خاک سطحی
	توپوگرافی منطقه		-	۲۰–۵۰	۱۰–۲۰	۱۰–۰ و بیش از ۵۰
محیط‌زیستی	فاصله از پهنه‌های سیلابی	متر	Large	بیش از ۳۰۰۰	۱۵۰۰–۳۰۰۰	۱۵۰۰ – ۰
	فاصله از مناطق آلودگی	متر	Large	بیش از ۳۰۰۰	۱۵۰۰–۳۰۰۰	۱۵۰۰ – ۰
	پهنه عملکردی	کاربری اراضی	-	اراضی بایر– مسکونی	تجاری و اداری	نظامی
	فاصله از صنایع	متر	Large	بیش از ۳۰۰۰	۱۵۰۰–۳۰۰۰	۱۵۰۰ – ۰

پیکسل‌ها در نقشه‌ی ترکیبی را برای نقشه‌های نهایی در نظر می‌گیرد که منجر به یک نتیجه‌ی محافظه‌کارانه شده و از وزن‌های بالای پیکسل‌ها چشم‌پوشی می‌کند. ضرب فازی Product درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این عملگر باعث کاهش عضویت نهایی شده و نتیجه‌ی آن تعلق وزن بسیار کوچکی به هر موقعیت است که در صورت زیاد بودن نقشه‌های ورودی، این عدد به صفر میل می‌کند. با اعمال عملگر جمع جبری فازی SUM، مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در نقشه‌ی خروجی بزرگ شده، در صورت زیاد بودن ورودی‌ها، به یک میل می‌کند. به‌دلیل بزرگ بودن اوزان موقعیت‌های نهایی اثر این عملگر افزایشی است و در مواردی که پارامترهای مسئله همدیگر را تقویت می‌کنند، برای حل آن مناسب است. رابطه‌ی عملگر فازی حالت کلی عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما (۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵) پارامترهای کاهشی و افزایشی را هم‌زمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهشی دو عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشند [۲۴]. در تئوری فازی، مقادیری که گاما می‌تواند اختیار کند، از صفر تا یک بوده که معمولاً از ۰/۵ تا ۰/۹ برای آن در نظر گرفته می‌شود. مقادیر گاما کوچک‌تر به عملگر ضرب فازی و مقادیر گامای بزرگ‌تر به عملگر جمع فازی نزدیک می‌شود. بنابراین گاماهای بزرگ‌تر حالتی خوش‌بینانه خواهند داشت. بنابراین در این پژوهش از مقادیر ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ برای پراکنش گاما در بازه‌ی ۰/۵ تا ۰/۹ در تئوری فازی مورد مطالعه استفاده گردید.

۲- ۶- رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS[1])

برای شناسایی بهترین عملگر فازی در رویهم‌گذاری زیرمعیارهای پژوهش و پهنه‌بندی اراضی به‌منظور توسعه شهری، از تجزیه‌وتحلیل روابط مکانی و فضایی بین متغیرهای مستقل (۳ معیار اصلی) و متغیر وابسته (نقشه‌های رویهم‌گذاری شده با عملگرهای فازی) به روش رگرسیون حداقل مربعات (OLS) استفاده گردید. در بین مدل‌های رگرسیون متداول، روش حداقل مربعات معمولی، ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش است. طرح اولیه این روش معمولاً با SLO[2] نشان داده می‌شود. زیربنای فکری روش حداقل مربعات معمولی این است که ضرایب مدل مقادیری اختیار کنند که مدل رگرسیون نمونه بیشترین نزدیکی را به مشاهدات داشته باشد، به عبارت دیگر کمترین انحراف را از مشاهدات فوق نشان دهد. در مدل‌سازی مکانی با روش SLO فرض می‌شود که ضرایب یا پارامترهای مدل آماری نسبت به مکان (مختصات جغرافیایی) ثابت می‌باشد. بنابراین مقدار متغیر وابسته که با این مدل تخمین زده می‌شود، برای کل منطقه موردمطالعه بوده و در نقاط مختلف حوزه نیز مقداری یکسان را تخمین می‌زند که به عنوان نقطه ضعف این روش در مدل‌سازی مکانی محسوب می‌شود. مدل رگرسیون خطی ساده یک متغیره به روش رابطه (۱) می‌باشد:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \qquad (۱)$$

که y متغیر وابسته (برآورد شده)، x متغیر مستقل (برآورد کننده)، خطا ε_i یا انحراف مدل در برآورد، β_0 و β_1 پارامترها یا ضرایب مدل می‌باشند. برای تمام سطح منطقه موردمطالعه، مقادیر β_0 و β_1 ثابت فرض می‌شود. مدل آماری SLO و ماتریس تخمین ضرایب مدل، با روابط (۲) بیان می‌شود:

$$y = X\beta + \varepsilon \qquad \hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \qquad (۲)$$

که در آن T ترانهاده ماتریس، $(X^TX)^{-1}$ معکوس ماتریس واریانس-کوواریانس و X ماتریس متغیرهای مستقل می‌باشد. ضرایب مدل رگرسیونی چند متغیره SLO در سراسر مکان ثابت است.

در نهایت برای طبقه‌بندی محلات از دیدگاه توسعه و ساخت‌وساز شهری، از روش خوشه‌بندی کلاسیک K-mean استفاده گردید [۲۵]. مراحل روش کار برای دستیابی به هدف اصلی پژوهش حاضر در شکل (۲) به‌صورت دیاگرام ارائه شده است.

۳- بحث و بررسی نتایج

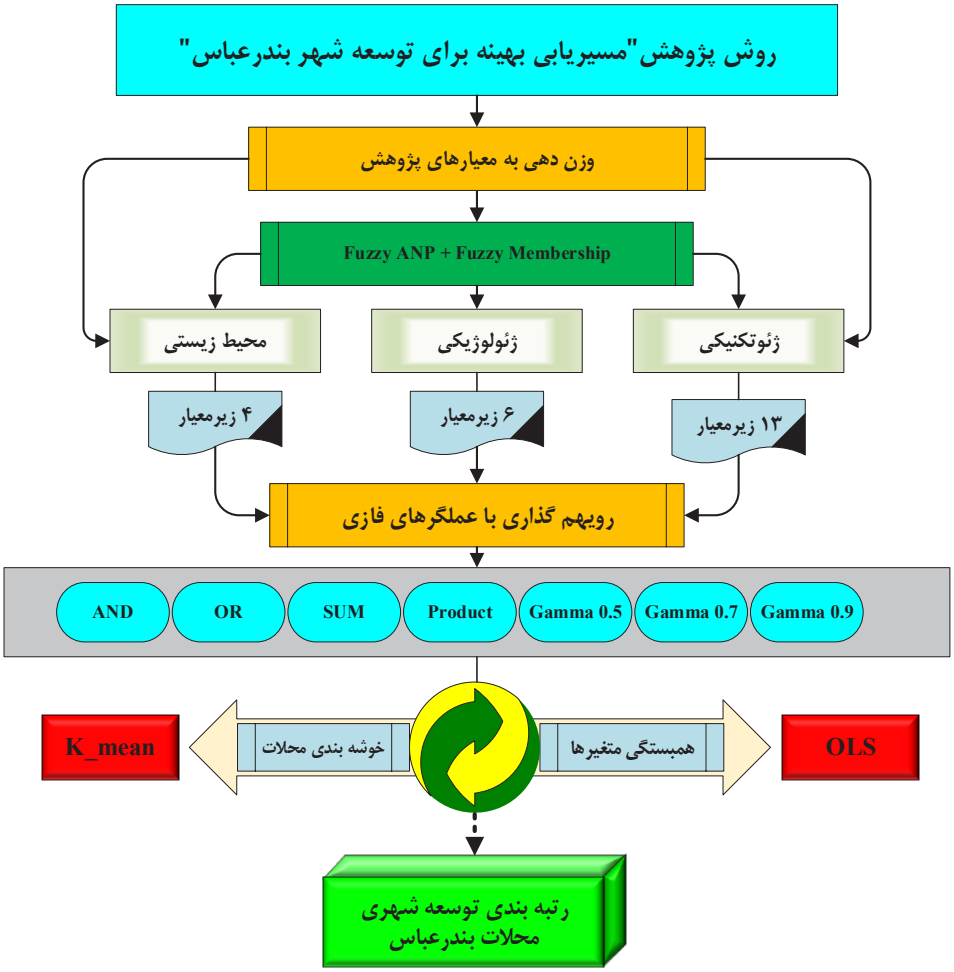
۳- ۱- معیار ژئولوژیکی

معیار ژئولوژیکی مشتمل بر ۶ زیر معیار می‌باشد و تحلیل همبستگی پیرسون بین آن‌ها نشان داد که سازندها و تشکیلات زمین‌ساختی بیشترین همبستگی را با دیگر زیرمعیارها دارد و ارتباط آن با بافت خاک، عمق زمین‌لرزه‌ها و شیب اراضی معنادار است. عمق زمین‌لرزه‌هایی که طی ۵۰ سال اخیر در بندرعباس اتفاق افتاده است نیز با بافت خاک، تشکیلات زمین‌ساختی و گسل بندرعباس ارتباط داشته و همبستگی آن‌ها در سطح ۹۹٪ معنادار است (جدول ۲).

نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای پژوهش با مدل تحلیل شبکه نشان داد که شیب طبقات اراضی و توپوگرافی سطحی در محدوده مورد مطالعه به‌ترتیب با وزن ۰/۳۵۷ و ۰/۲۸۴، بیشترین اهمیت را در شناسایی اراضی مناسب جهت توسعه شهری بندرعباس دارند. در محدوده مورد مطالعه، اراضی که شیب بستر زمین بیشتر از ۱۰٪ است، ساخت و ساز شهری قابلیت اجرایی ندارد، به‌ویژه این‌که در بندرعباس با افزایش شیب، ارتفاع سطح زمین نیز افزایش می‌یابد و این نواحی مرتفع برای توسعه شهری بندرعباس مناسب نیستند؛ اما اراضی با شیب بین ۲ تا ۱۰٪ برای توسعه شهری بندرعباس مناسب هستند. فاصله از گسل نیز یکی از پارامترهای مهم در توسعه شهری است که پس از شیب و توپوگرافی قرار گرفته و اهمیت آن به‌گونه‌ای است که با افزایش فاصله از گسل، احتمال وقوع زمین‌لرزه و فرونشست زمین نیز کاهش می‌یابد و اراضی دور از گسل، برای توسعه شهری مناسب است (جدول ۳).

برای هر یک از زیرمعیارهای ژئولوژیکی، یک نقشه‌ی فازی شده‌ی وزن‌دار حاصل از عملگرهای فازی و تحلیل شبکه ترسیم شد. توپوگرافی شهر ساحلی بندرعباس به‌گونه‌ای است که دامنه‌ی ارتفاعی آن بین ۳- تا ۹۵ متر است و ارتفاعات پولادین در نواحی شمالی شهر قرار دارد. اراضی پست در نواحی ساحلی بوده و محلات قدیمی و تجاری در این نواحی گسترش یافته است؛ اما مناسب‌ترین اراضی برای توسعه شهری، در دامنه‌ی ارتفاعی ۱۰ تا ۵۰ متر قرار دارد که می‌توان گفت این دامنه ارتفاعی در بین نواحی ساحلی و نوار کوهستانی شمال بندرعباس قرار دارد که در شکل (۳)، وزن و اهمیت توپوگرافی را در توسعه شهری نشان می‌دهد. بافت خاک نیز از پارامترهای مهمی در توسعه شهری است و اراضی با بافت خاک نفوذپذیر مناسب‌ترین اراضی برای ساخت‌وساز و توسعه‌ی شهری است که این اراضی در بخش مرکزی و جنوب‌غربی شهر بندرعباس گسترده شده است، ولی

1 - Ordinaly Least Squares Regression
2 - Slow regression



شکل ۲. دیاگرام روش مورد استفاده در پژوهش حاضر

Fig. 2. The method used in this study.

جدول ۲. ارتباط بین زیرمعیارهای ژئولوژیکی با ضریب همبستگی پیرسون.

Table 2. Correlation between geological sub-criteria based on Pearson correlation coefficient.

	بافت خاک	تشکیلات زمین‌ساختی	گسل	عمق زمین‌لرزه	شیب	توپوگرافی
بافت خاک	۱					
تشکیلات زمین‌ساختی	۰/۶۴۸**	۱				
گسل	-۰/۰۰۳	۰/۰۶۸	۱			
عمق زمین‌لرزه	۰/۴۷۲**	۰/۳۸۳**	-۰/۴۲۰**	۱		
شیب	-۰/۲۶۳*	-۰/۳۳۴**	۰/۰۱۰	-۰/۱۴۶	۱	
توپوگرافی	۰/۱۵۴	۰/۰۹۶	-۰/۰۱۰	۰/۰۲۹	-۰/۰۶۸	۱

*: همبستگی بین زیرمعیارها در سطح ۹۵٪ معنادار است.

**: همبستگی بین زیرمعیارها در سطح ۹۹٪ معنادار است.

جدول ۳. وزن معیار و زیرمعیارهای ژئولوژیکی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری با مدل تحلیل شبکه.

Table 3. Weight of geological criterion and sub-criteria in developing urban constructions using ANP.

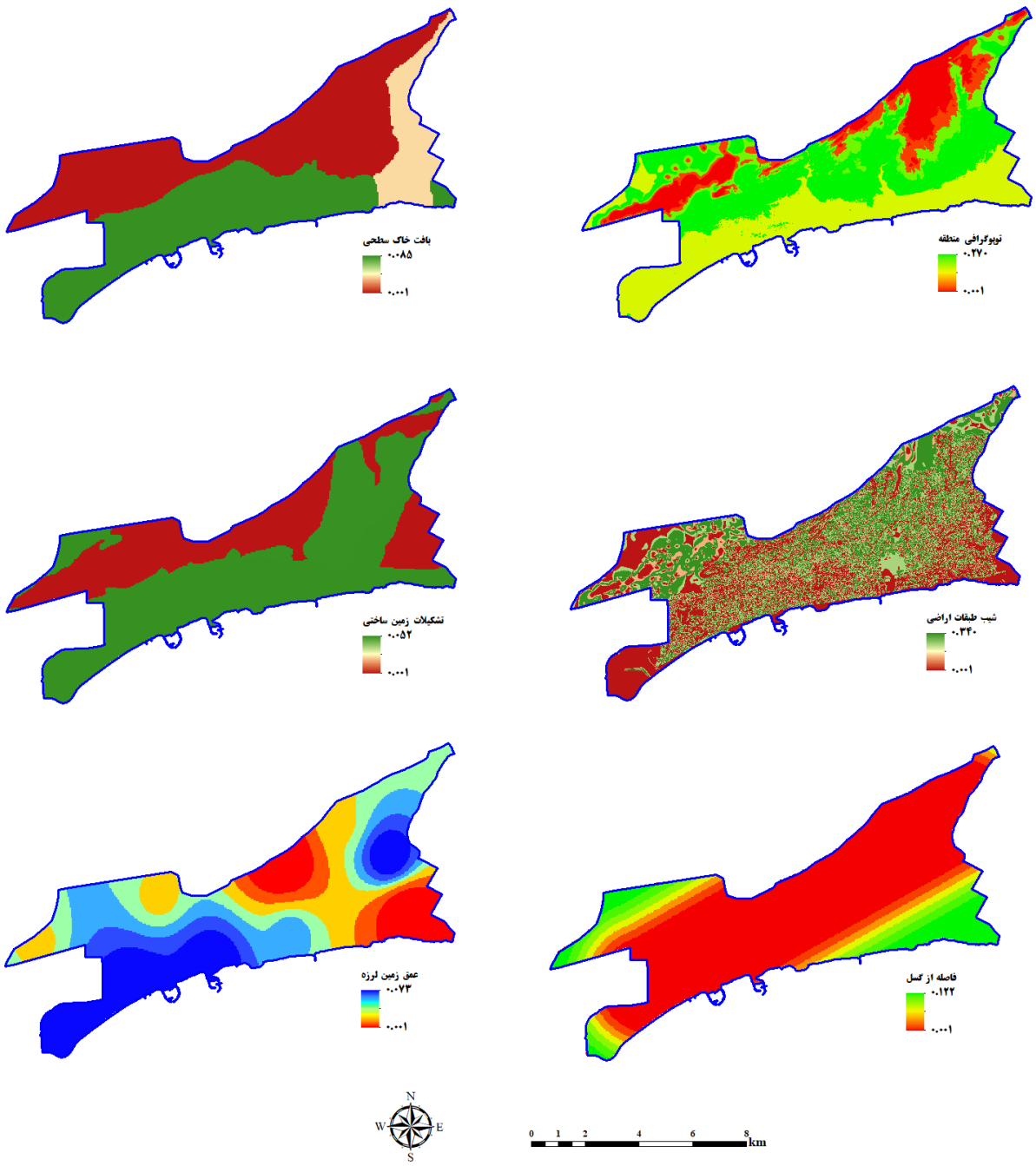
معیار	وزن معیار	زیر معیار	وزن زیر معیار
معیار ژئولوژیکی	۰/۱۳۵	بافت خاک	۰/۰۹۲
		زمین‌شناسی	۰/۰۵۷
		فاصله از گسل	۰/۱۲۹
		عمق زمین‌لرزه	۰/۰۷۷
		شیب اراضی	۰/۳۵۷
		توپوگرافی	۰/۲۸۴

اراضی شمالی شهر به‌دلیل ارتفاعات با نفوذپذیری سخت، برای توسعه شهری مناسب نیست. شیب اراضی ۲ تا ۱۰٪ در بندرعباس برای توسعه شهری مناسب است که این اراضی در محدوده موردمطالعه پراکنده بوده، اما در شمال شرقی و شمال‌غربی بیشتر مشاهده می‌شود. از دیدگاه زمین‌شناسی، نهشته‌های کواترنری به‌دلیل بافت نرم سطحی، نفوذپذیری مناسب و آب‌دار بودن لایه‌ی زیرسطحی آن، برای توسعه و ساخت‌وسازهای شهری مناسب است که عمدتاً در نواحی جنوبی شهر بندرعباس مشاهده می‌شود. فاصله از گسل که باعث وقوع زمین‌لرزه و فرونشست‌های عمیقی در اراضی شهری می‌شود، در توسعه ساخت‌وسازهای شهری مؤثر است و در شهر بندرعباس، فاصله‌ی ۲۰۰۰ متری از گسل، برای توسعه بسیار مناسب است. عمق زمین‌لرزه‌ها نیز در توسعه اراضی شهری بسیار تأثیرگذار است و در بندرعباس عمق آن بین ۳ تا ۳۳ کیلومتر است که کم‌عمق‌ترین و مخرب‌ترین آن در نواحی شمالی و جنوب‌شرقی بندرعباس قرار دارد. کم‌عمق بودن زمین‌لرزه در این نواحی باعث کاهش ارزش آن‌ها برای توسعه ساخت‌وسازهای شهری می‌شود (شکل ۳).

۳- ۲- معیار ژئوتکنیکی

معیار ژئوتکنیکی مشتمل بر ۱۳ زیر معیار است. ارتباط بین زیرمعیارهای ژئوتکنیکی توسط همبستگی پیرسون بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصل شده، آزمایش نفوذ استاندارد با پارامترهای مهم ژئوتکنیکی همچون حد خمیری و حد روانی خاک، پتانسیل روان‌گرایی، مدول الاستیسیته، سرعت موج برشی، تراکم لایه خاک و درصد ذرات هم اندازه رس در حدود ۹۵ تا ۹۹٪ همبستگی مثبت دارد. قابل توجه است بین دانسیته‌ی خاک با دیگر پارامترها ارتباط معناداری وجود ندارد و همبستگی آن‌ها نیز معنادار نیست. مدول الاستیسیته، به‌جز دانسیته‌ی خاک، با دیگر پارامترهای ژئوتکنیکی ارتباط معناداری دارد. سرعت موج برشی نیز به‌جز دانسیته خاک و زاویه اصطکاک داخلی، با دیگر پارامترها ارتباط مثبت و معناداری در سطح ۹۵ تا ۹۹٪ دارد. زاویه اصطکاک داخلی تنها با ضریب واکنش بستر ارتباط معناداری دارد. پتانسیل روان‌گرایی نیز با آزمایش نفوذ استاندارد، تراکم لایه خاک، مدول الاستیسیته، حد روانی و حد خمیری ارتباط معنادار و مثبتی دارد. درصد رس نیز با زیرمعیارهای حد روانی، حد خمیری و روان‌گرایی همبستگی مثبتی دارد، اما با زیرمعیارهای نفوذ استاندارد، واکنش بستر، مدول الاستیسیته، تراکم لایه و سرعت موج برشی ارتباط منفی و معکوسی دارد. در جدول (۴) همبستگی مثبت به‌معنای ارتباط مستقیم بین زیرمعیارها است که با افزایش مقدار یک پارامتر، میزان پارامتر دیگری نیز افزایش می‌یابد و با کاهش آن، مقدار پارامتر دیگر نیز کاهش می‌یابد. اما همبستگی منفی نشان دهنده‌ی ارتباط معکوس بین پارامترها می‌باشد.

معیار ژئوتکنیکی با وزن ۰/۵۸۴ بیشترین وزن را در بین معیارهای اصلی پژوهش حاضر در توسعه شهری دارد. در بین زیرمعیارهای آن نیز، آزمایش نفوذ استاندارد و پتانسیل روان‌گرایی بیشترین وزن و اهمیت در انتخاب اراضی برای توسعه شهری را دارد. از آنجایی‌که با آزمایش نفوذ استاندارد، بسیاری از پارامترهای ژئوتکنیکی قابل محاسبه است، با داشتن این پارامتر می‌توان پارامترهای دیگر را نیز برآورد نمود. به همین دلیل، بیشترین اهمیت را در توسعه شهری دارد. روان‌گرایی که به‌عنوان یک مخاطره‌ی محیطی شناخته می‌شود، احتمال وقوع آن باعث کاهش ارزش اراضی برای ساخت‌وسازهای شهری می‌گردد. سطح ایستابی یا عمق آب زیرزمینی نیز از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بوده که در رتبه‌ی سوم اهمیت قرار دارد. دیگر پارامترهای ژئوتکنیکی با وزنی کمتر از ۰/۱ در رتبه‌های بعدی قرار دارند (جدول ۵).



شکل ۳. نقشه‌ی وزن‌دار زیرمعیارهای ژئولوژیکی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری بندرعباس.

Fig. 3. The weighted map of geological sub-criteria affecting the development of urban constructions in Bandar Abbas.

آزمایش نفوذ استاندارد که درجه‌بندی تراکم زمین را نشان می‌دهد، در نواحی شمالی و شمال‌غربی شهر بندرعباس بیشتر از سایر نواحی بوده که نشان از تراکم خاک در این ناحیه از بندرعباس دارد و این نواحی برای ساخت‌وساز مناسب است. سرعت موج برشی (V_s) که موجب رده‌بندی تیپ خاک بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌گردد، یکی دیگر از مؤلفه‌های ژئوتکنیکی اثرگذار در توسعه‌ی شهری است و هرچه میزان آن بیشتر باشد، آن محل برای ساخت‌وساز مناسب است که در بندرعباس اراضی واقع در نواحی شمال شرقی از لحاظ سرعت موج برشی، بیشترین اهمیت و وزن

جدول ۴. ارتباط بین زیرمعیارهای ژئوتکنیکی با ضریب همبستگی پیرسون.

Table 4. Correlation between geotechnical sub-criteria using Pearson correlation coefficient.

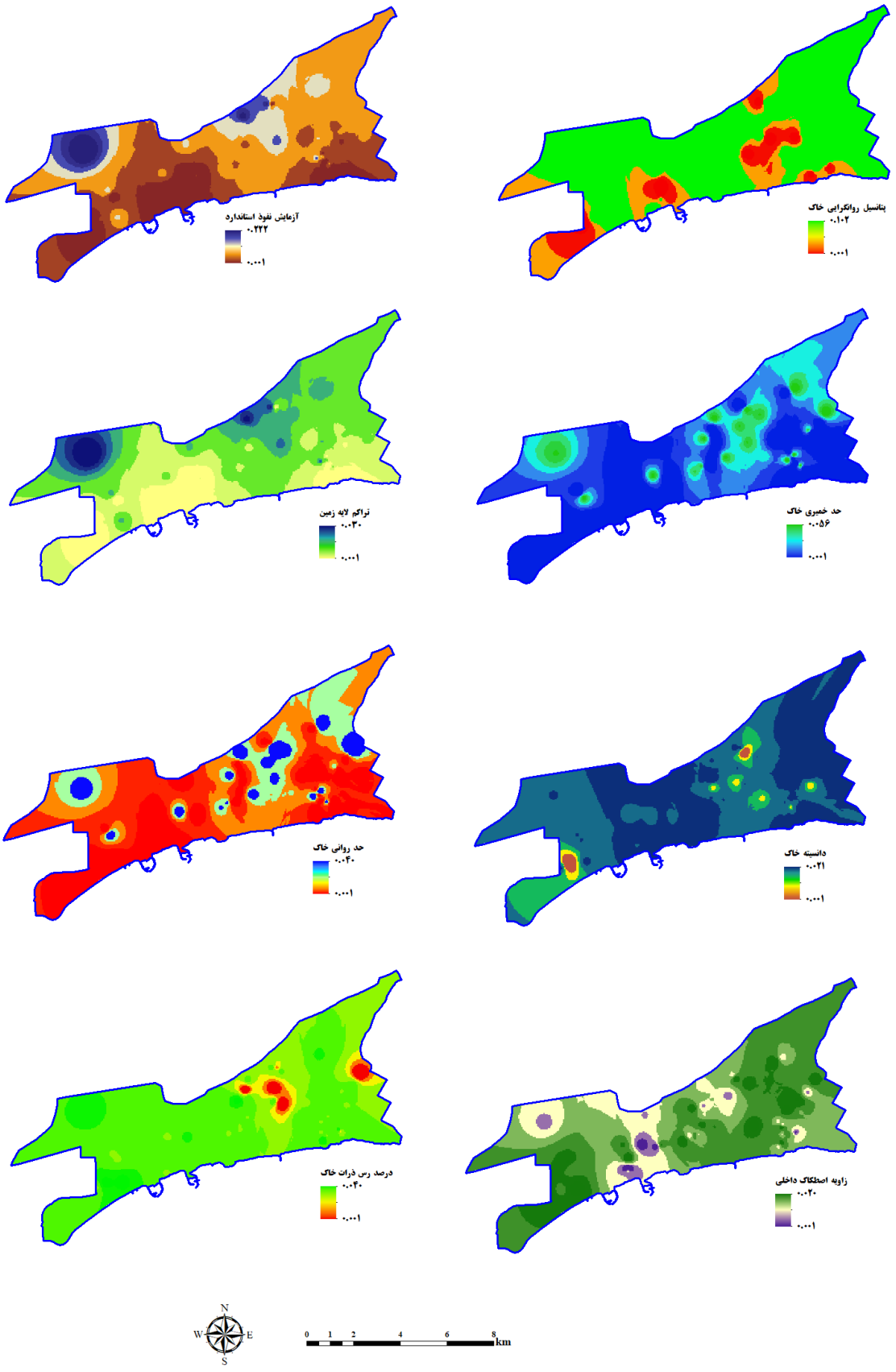
	نفوذ استاندارد	دانسیته	حد روانی	حد خمیری	روانگرایی	واکنش بستر	ظرفیت باربری	مدول الاستیسیته	زاویه اصطکاک داخلی	تراکم لایه	سطح ایستابی	سرعت موج برشی	درصد رس
نفوذ استاندارد	۱												
دانسیته	۰/۰۳۵	۱											
حد روانی	۰/۷۱۲**	-۰/۰۶۰	۱										
حد خمیری	۰/۷۱۳**	-۰/۰۶۲	۰/۹۱۹**	۱									
روانگرایی	۰/۲۵۸*	۰/۱۴۳	۰/۳۳۱*	۲۸۵*	۱								
واکنش بستر	۰/۰۹۱	۰/۰۴۸	۰/۱۷۵	۰/۲۸۳*	۰/۱۶۷	۱							
ظرفیت باربری	۰/۱۱۴	۰/۰۹۳	۰/۲۶۸*	۰/۳۲۲**	۰/۱۸۲	۰/۴۱۶**	۱						
مدول الاستیسیته	۰/۷۲۰**	۰/۰۷۵	۰/۶۱۹**	۰/۶۷۶**	۰/۲۸۹*	۰/۴۹۱**	۰/۴۵۱**	۱					
زاویه اصطکاک داخلی	-۰/۲۳۶	-۰/۱۹۵	-۰/۱۳۷	-۰/۰۳۷	۰/۰۱۳	۰/۵۱۰**	۰/۲۲۸	۰/۰۹۱	۱				
تراکم لایه	۰/۹۹۰**	-۰/۰۳۵	۰/۷۱۲**	۰/۷۱۲**	۰/۲۵۸*	۰/۰۹۱	۰/۱۱۴	۰/۷۲۰**	-۰/۲۳۶	۱			
سطح ایستابی	۰/۱۰۸	-۰/۱۳۰	۰/۳۲۵**	۰/۲۹۵*	۰/۱۱۲	۰/۱۵۴	۰/۴۱۹**	۰/۳۲۶**	۰/۲۴۴*	۰/۱۰۸	۱		
سرعت موج برشی	۰/۵۶۷**	۰/۰۲۴	۰/۵۸۰**	۰/۶۴۰**	۰/۲۲۸	۰/۵۸۹**	۰/۵۲۴**	۰/۷۸۰**	۰/۲۱۵	۰/۵۶۷**	۰/۳۶۴**	۱	
درصد ذرات هم اندازه رس	-۰/۲۵۳*	-۰/۱۲۷	۰/۴۴۹**	۰/۵۱۳**	۰/۲۸۸*	-۰/۲۷۳*	-۰/۱۱۹	-۰/۳۲۱**	۰/۰۴۴	-۰/۲۵۳*	-۰/۰۳۴	-۰/۴۲۵**	۱

جدول ۵. وزن معیار و زیرمعیارهای ژئوتکنیکی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری با مدل تحلیل شبکه.

Table 5. Weight of geotechnical criterion and sub-criteria in developing urban constructions using ANP.

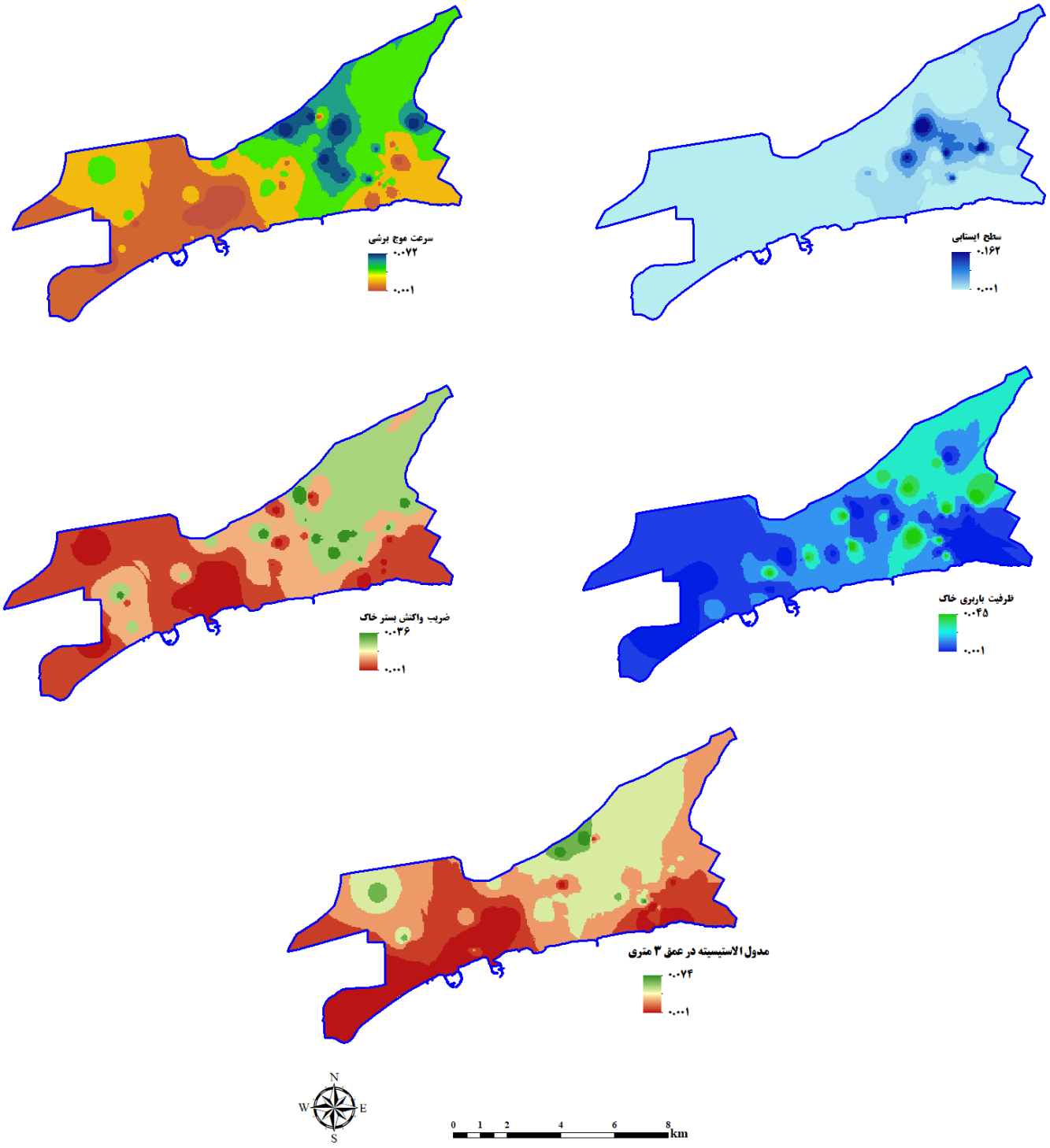
معیار	وزن معیار	زیر معیار	وزن زیر معیار
معیار ژئوتکنیکی	۰/۵۸۴	آزمایش نفوذ استاندارد	۰/۲۳۴
		دانسیته خاک	۰/۰۲۳
		حد روانی	۰/۰۵۹
		حد خمیری	۰/۰۴۳
		پتانسیل روانگرایی	۰/۱۳۲
		واکنش بستر خاک	۰/۰۳۸
		ظرفیت باربری خاک	۰/۰۴۴
		مدول الاستیسیته در عمق ۳ متری	۰/۰۷۸
		زاویه اصطکاک داخلی	۰/۰۲۲
		تراکم لایه خاک	۰/۰۳۲
		سطح ایستابی	۰/۱۷۱
		سرعت موج برشی	۰/۰۷۶
		درصد ذرات هم اندازه رس	۰/۰۴۲

را در توسعه دارند. پارامتر مدول الاستیسیته (E_s) که برای محاسبه نشست الاستیک خاک کاربرد دارد، نقش مهمی در ساختمان‌سازی دارد و میزان بالای آن موجب افزایش مقاومت خاک در برابر فشارهای ناشی از بار فونداسیون و ساختمان‌سازی می‌شود که در بندرعباس، بر اساس مدول الاستیسیته در عمق سه متری از سطح زمین، اراضی واقع در نواحی شمال شرقی و شمال‌غربی بیشترین اهمیت را در توسعه شهری به خود اختصاص داده‌اند. زاویه اصطکاک داخلی خاک برای مقابله با گسیختگی یا لغزش خاک حائز اهمیت است. بر مبنای این مؤلفه‌ی ژئوتکنیکی، اراضی واقع در نواحی شمال شرقی و جنوب‌غربی شهر بندرعباس، بیشترین پتانسیل را برای توسعه شهری و ساخت‌وسازها دارد. عمق آب زیرزمینی یکی دیگر از پارامترهای مهمی بوده که در ساخت‌وسازهای شهری دارای اهمیت بسزایی می‌باشد و هرچه عمق آب زیرزمینی در نواحی ساحلی پایین‌تر باشد، آن محل برای ساخت‌وساز مناسب است. اراضی واقع در بخش شرقی بندرعباس به‌ویژه محلات دامایی و گلشهر شمالی عمق سطح ایستابی بیشتر از سایر نواحی بوده و این اراضی از لحاظ سطح ایستابی برای ساخت‌وساز مناسب است. ظرفیت‌های باربری خاک و ضرایب واکنش‌های بستر از مؤلفه‌های ژئوتکنیکی تأثیرگذار در توسعه‌ی فیزیکی شهر و احداث ابنیه‌های شهری می‌باشد که در شهر بندرعباس با توجه به تراکم خاک، تیپ و رده‌ی خاک و دیگر خاصیت‌های ژئوتکنیکی، ظرفیت باربری خاک برای فونداسیون‌های ساختمانی و دیگر ابنیه‌های شهری همچون پُل، ساختمان و جاده در نواحی شمال شرقی زیاد بوده و بستر این اراضی برای ساخت‌وسازهای شهری و توسعه‌ی کالبدی- فیزیکی شهر بندرعباس مناسب است. دانسیته‌ی خاک نیز یکی دیگر از پارامترهای ژئوتکنیکی مؤثر در ساختمان‌سازی‌های شهری است که هرچه میزان دانسیته‌ی خاک بیشتر باشد، آن خاک متراکم‌تر بوده و برای ساخت‌وسازهای شهری مناسب است که نقشه‌ی وزن‌دار و فازی آن نشان داد که بهترین دانسیته خاک برای توسعه فیزیکی و ساخت‌وساز شهری در نواحی شمال شرقی، مرکزی و شمالی بندرعباس قرار دارد. گروه‌بندی خاک که از طریق سیستم طبقه‌بندی متحد برمبنای اندازه‌ی ذرات خاک و خاصیت خمیری و حد روانی خاک به‌دست می‌آید، بیان‌گر این است که نواحی شمال شرقی و جنوب‌غربی بندرعباس از لحاظ خصوصیات خاک برای توسعه و ساخت‌وساز شهری مناسب است؛ اما شهرک پیامبر اعظم در شمال‌غربی شهر بندرعباس به‌دلیل خاصیت بالای حد خمیری و پلاستیکی خاک، برای توسعه و ساختمان‌سازی چندان مناسب نمی‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. نقشه‌های وزن‌دار زیرمعیارهای ژئوتکنیکی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری بندرعباس

Fig. 4. Weighted maps of geotechnical sub-criteria for the development of urban constructions in Bandar Abbas



شکل ۵.نقشه‌های وزن‌دار زیرمعیارهای ژئوتکنیکی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری بندرعباس.

Fig. 5. Weighted maps of geotechnical sub-criteria for the development of urban constructions in Bandar Abbas.

جدول ۶. ارتباط بین زیرمعیارهای محیطزیستی با ضریب همبستگی پیرسون.

Table 6. Correlation between environmental sub-criteria using Pearson correlation coefficient.

	فاصله از صنایع	پهنه عملکردی	فاصله از مناطق آلوده	فاصله از پهنه‌های سیلابی
فاصله از صنایع	۱			
پهنه عملکردی	۰/۲۷۷*	۱		
فاصله از مناطق آلوده	۰/۰۹۸	-۰/۰۷۴	۱	
فاصله از پهنه‌های سیلابی	۰/۴۶۳**	۰/۰۶۶	۰/۱۵۰	۱

جدول ۷. وزن معیار و زیرمعیارهای محیطزیستی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری با مدل تحلیل شبکه.

Table 7. Weight of environmental criterion and sub-criteria for development of urban constructions using ANP.

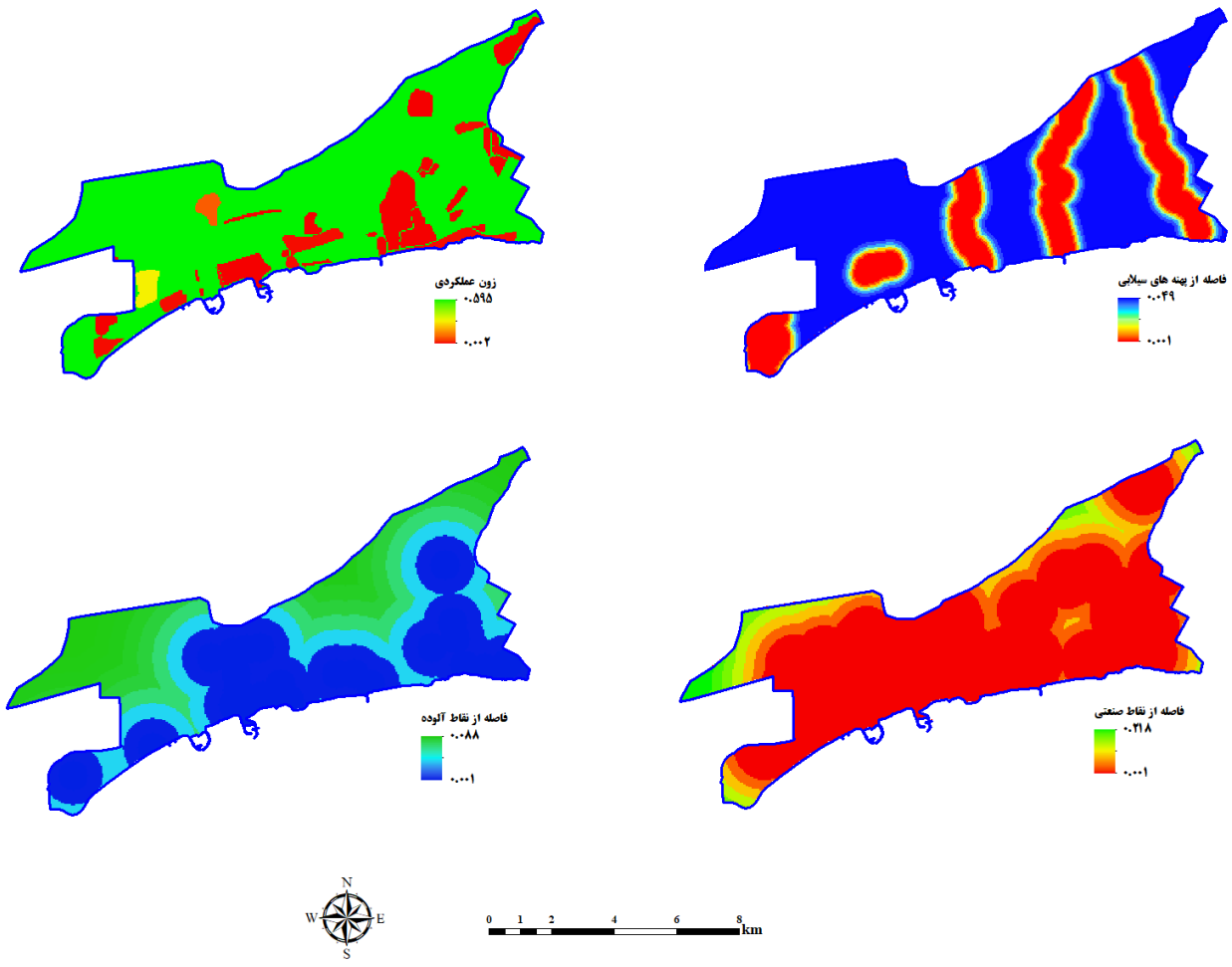
تابع فازی	معیار ژئوتکنیکی	معیار ژئولوژیکی	معیار محیطزیستی
Gamma 0.9	-۰/۵۴۵	۰/۸۴۷	۰/۴۹۸
Gamma 0.7	۰/۲۱۷	۰/۴۹۸	۰/۲۲۸
Gamma 0.5	۰/۰۸۴	۰/۲۳۵	۰/۰۹۶
SUM	۰/۸۵۲	۰/۸۷۷	۰/۶۸۷
Product	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹
AND	۰/۰۱۵	۰/۹۱۵	۰/۱۵۴
OR	۰/۷۶۰	۰/۰۹۳	۰/۲۹۷

۳- ۳- معیار محیطزیستی

در بین زیرمعیارهای محیطزیستی، همبستگی بین پهنه عملکردی و فاصله از پهنه‌های سیلابی با زیر معیار فاصله از صنایع در سطح ۹۵ و ۹۹٪ معنادار است؛ اما ارتباط دیگر پارامترها معنادار نیست (جدول ۶). پهنه عملکردی قابلیت و نقش کاربری‌های شهری در مقیاس محلی، منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای می‌باشد. در بحث پهنه عملکردی شهر بندرعباس بر اساس ماهیت و ساختار نظام شهر مهم‌ترین عوامل بر اساس خواسته‌ها و نیازهای جمعیت تعیین‌کننده می‌باشد، از این‌رو که بر اساس نیازهای جمعیت اولویت هر عملکرد و اثرگذاری نقش آن تعیین می‌گردد.

معیار محیطزیستی با وزن ۰/۲۸۰، پس از معیار ژئوتکنیکی و بالاتر از معیار ژئولوژیکی قرار دارد و اهمیت زیادی در انتخاب اراضی برای توسعه و ساخت‌وسازهای شهری دارد. پهنه عملکردی که از کاربری و تیپ اراضی محاسبه شده است، بیشترین وزن و اهمیت را در توسعه شهری دارد. پس از آن نیز فاصله از صنایع که موجب انتشار آلاینده‌های جوی، صوتی و پساب می‌شود، در رتبه‌ی دوم اهمیت قرار دارد (جدول ۷).

برمبنای پهنه عملکردی، اراضی بایر و فضاهای باز بیشترین وزن و اهمیت را در توسعه ساخت‌وسازهای شهری دارند که در نواحی مختلفی از شهر بندرعباس پراکنده شده‌اند. پهنه‌های سیلابی در شهر بندرعباس، در واقع همان خورهای چهارگانه هستند که در مواقع بارش‌های رگباری، کانال‌های اصلی این خورها از رواناب‌ها پُر شده و حتی موجب پس‌زدگی آب فاضلاب و سرریز شدن آن به مناطق مجاور خور می‌شود. بنابراین اراضی نزدیک به خورهای چهارگانه‌ی بندرعباس برای توسعه مناسب نیستند و اراضی با فاصله‌ی ۵۰۰ متری از خورها، از اهمیت مناسبی برای توسعه برخوردارند. نقاط آلوده در شهر بندرعباس حاصل‌از آلودگی آب و فاضلاب، نقاط ترافیکی و حادثه‌خیز و آلودگی صوتی می‌باشند که یک محدوده‌ای به عرض (پهنای) ۱۰۰۰ متر برای این نقاط در نظر گرفته شد و اراضی خارج از این محدوده، برای توسعه مناسب هستند. مراکز کارگاهی و صنعتی نیز در شهر بندرعباس پراکنده بوده و این مراکز موجب انتشار آلودگی صوتی، آلودگی فاضلاب و ترافیک جاده‌ای می‌شوند که برای توسعه شهری مناسب نیست. برای این نقاط صنعتی نیز محدوده‌ی ۱۰۰۰ متری در نظر گرفته شد



شکل ۶. نقشه‌های وزن‌دار زیرمعیارهای محیط‌زیستی در توسعه ساخت‌وسازهای شهری بندرعباس.

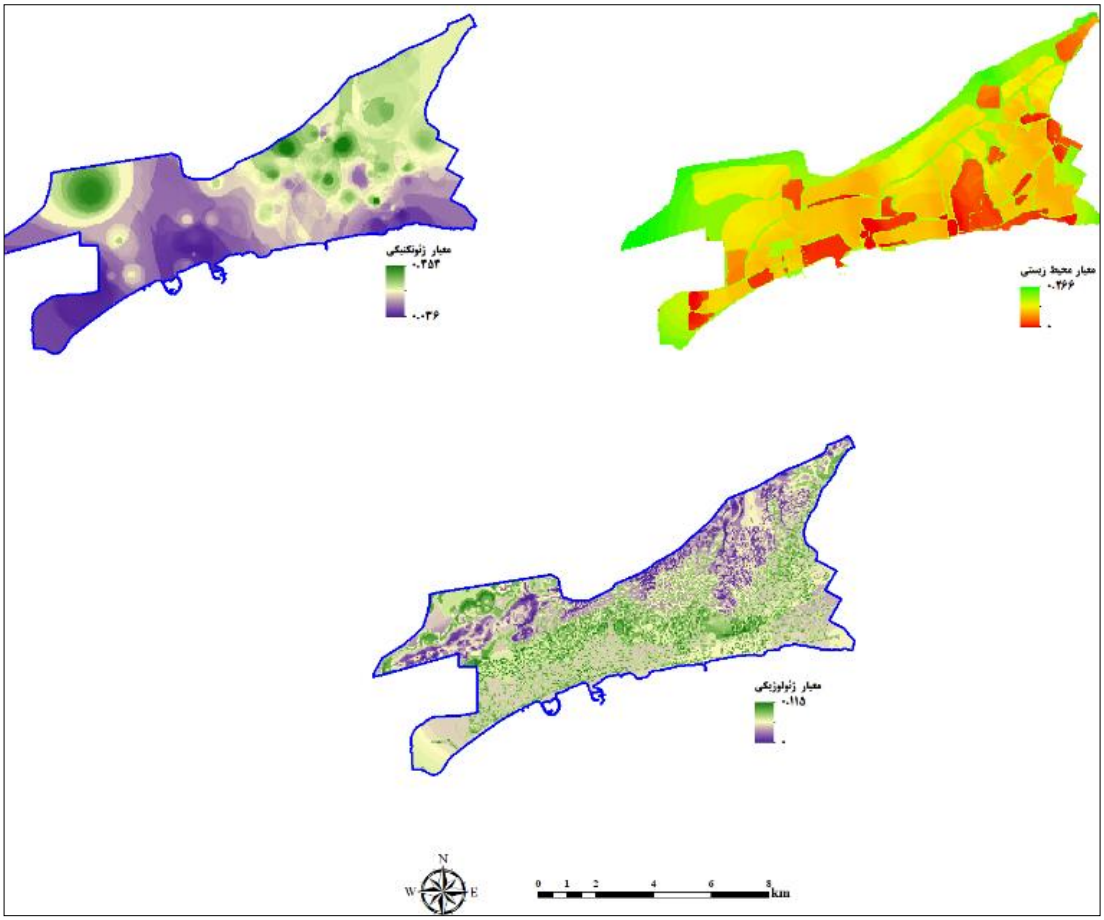
Fig. 6. Weighted maps of environmental sub-criteria for the development of urban constructions in Bandar Abbas.

که با فاصله از این نقاط متراکم صنعتی و آلوده، اراضی برای توسعه مناسب خواهد بود که در محدوده مورد مطالعه، نواحی شمال شرقی و شمال غربی بندرعباس از نقاط صنعتی فاصله دارد و برای توسعه شهری مناسب است (شکل ۶).

۳- ۴- رویهم‌گذاری معیارها

پس از رویهم‌گذاری زیرمعیارها، برای هر معیار یک لایه به دست آمد و آن لایه در وزن به‌دست آمده از تحلیل شبکه ضرب شد و نقشه‌ی نهایی هر معیار ترسیم شده است. بر مبنای معیارهای ژئوتکنیکی و محیط‌زیستی، اراضی واقع در نواحی شمال شرقی و شمال‌غربی برای ساخت‌وسازها و توسعه شهری مناسب هستند. بر اساس معیار ژئولوژیکی نیز اراضی واقع در بین نواحی ساحلی و ارتفاعات شمالی، به‌صورت نوار شرقی- غربی برای توسعه مناسب هستند (شکل ۷).

نقشه‌های نهایی از رویهم‌گذاری معیارهای مؤثر در توسعه شهری با عملگرهای فازی ترکیبی به‌دست آمد؛ به‌گونه‌ای که برای هر عملگر فازی یک نقشه‌ی ترکیبی حاصل از همه‌ی معیارها و زیرمعیارها به‌دست آمد. نتایج حاصل از رگرسیون حداقل مربعات در بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل (معیارها و زیرمعیارها) و متغیر وابسته (نقشه‌ی نهایی از عملگرهای فازی) نشان داد که عملگر جمع جبری SUM بیشترین همبستگی را با معیارهای پژوهش دارد (جدول ۸). نقشه‌ی آن که حاصل‌از رویهم‌گذاری معیارها و زیرمعیارهای پژوهش می‌باشد نشان داد که اراضی واقع در نواحی شمال شرقی و شمال‌غربی شهر بندرعباس برای ساخت‌وسازها و توسعه شهری مناسب است (شکل ۸).



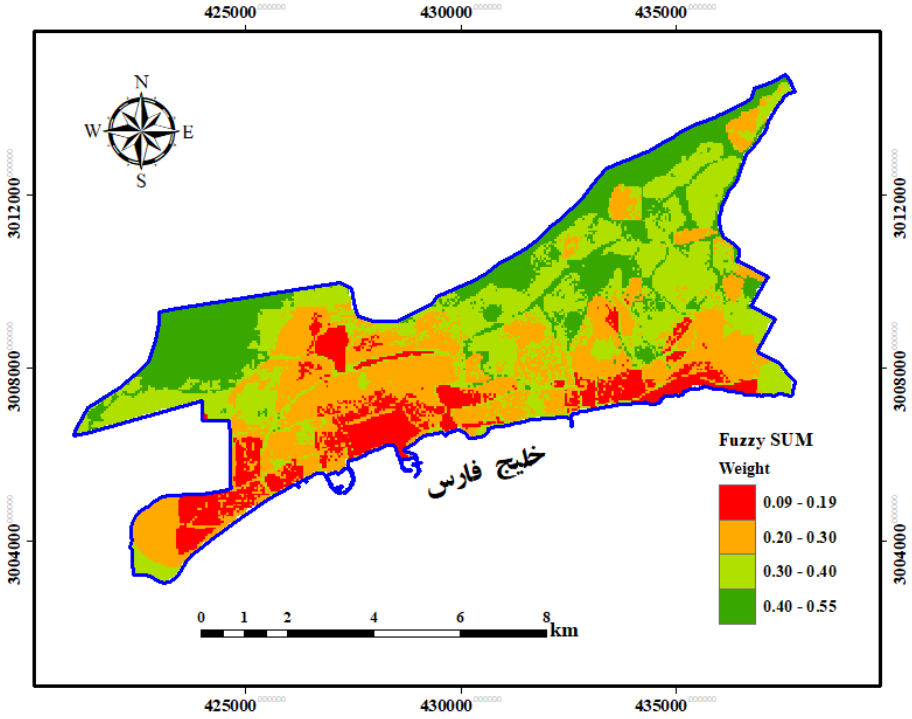
شکل ۷. نقشه‌های وزن‌دار معیارهای موردمطالعه در توسعه ساخت‌وسازهای شهری بندرعباس.

Fig. 7. Weighted maps of studied criteria for the development of urban constructions in Bandar Abbas.

جدول ۸. ضریب همبستگی بین عملگرهای رویهم‌گذاری فازی با معیارهای پژوهش با تحلیل رگرسیون OLS.

Table 8. Coefficient of correlation between fuzzy overlay operators with research criteria using OLS regression.

تابع فازی	معیار ژئوتکنیکی	معیار ژئولوژیکی	معیار محیط‌زیستی
Gamma 0.9	-۰/۵۴۵	۰/۸۴۷	۰/۴۹۸
Gamma 0.7	۰/۲۱۷	۰/۴۹۸	۰/۲۲۸
Gamma 0.5	۰/۰۸۴	۰/۲۳۵	۰/۰۹۶
SUM	۰/۸۵۲	۰/۸۷۷	۰/۶۸۷
Product	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰./۰۰۹
AND	۰/۰۱۵	۰/۹۱۵	۰/۱۵۴
OR	۰/۷۶۰	۰/۰۹۳	۰/۲۹۷

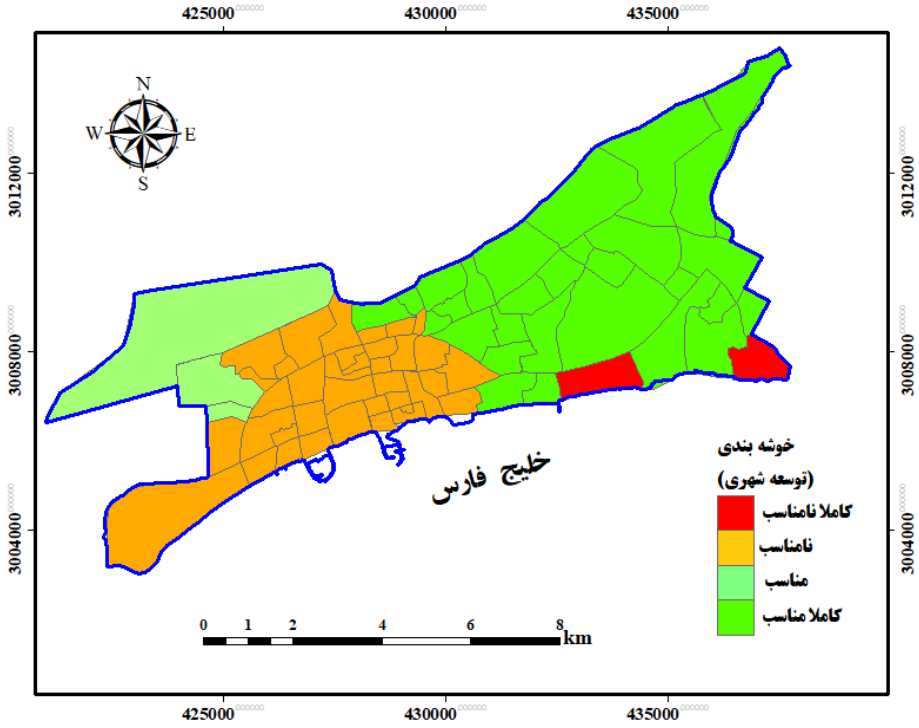


شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی اراضی مستعد برای توسعه فیزیکی شهر بندرعباس با عملگر جمع جبری SUM.

Fig. 8. Zoning map of lands suitable for the physical development of Bandar Abbas using fuzzy operator SUM.

در گام نهایی پژوهش حاضر که از مدل آماری- ریاضی k-mean برای خوشه‌بندی اراضی برای ساخت‌وسازها و توسعه فیزیکی شهر بندرعباس برمبنای معیارها و نقشه‌های حاصل از عملگرهای فازی استفاده گردید، نتایج آن بیان‌گر این است که از لحاظ معیارهای ژئوتکنیکی، ژئولوژیکی و محیطزیستی، اراضی واقع در مناطق ۱ و ۲ بندرعباس که عمدتاً نیمه‌ی شرقی و به‌ویژه شمال شرقی محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، برای توسعه و ساخت‌وساز شهری کاملاً مناسب هستند. بخش شمال غربی محدوده مورد مطالعه نیز در رتبه‌ی دوم و خوشه مناسب برای ساخت‌وساز شهری قرار دارد؛ اما محلات قدیمی و بافت فرسوده‌ی شهر بندرعباس که در نوار ساحل مرکزی و شرقی بندرعباس قرار دارد، برای توسعه مناسب نیست (شکل ۹).

در برنامه‌ریزی‌های ساخت‌وساز و توسعه‌ی شهری، مطالعات ژئوتکنیکی محل و اراضی در اولویت قرار دارد که موجب انتخاب اراضی ایمن برای توسعه می‌شود؛ اما اگر مطالعات ژئوتکنیکی صورت نگیرد، امکان وقوع مخاطرات ژئوتکنیکی و خسارت‌های آن وجود دارد. پارامترهای ژئوتکنیکی، ژئولوژیکی و محیطی نقش مهمی در توسعه‌ی ساخت‌وسازها و احداث ابنیه‌های شهری دارد [۲۶]. اولین گام در مطالعات ژئوتکنیکی محل برای ساخت‌وسازهای شهری، حفر گمانه و بررسی نتایج آزمایشگاهی است. استفاده از اعداد آزمایش نفوذ استاندارد سرعت موج برشی از راه‌های ساده برای طبقه‌بندی نوع زمین است؛ به‌گونه‌ای که سرعت موج برشی کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه باشد، بیان‌گر نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد براثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی است و شرایط را برای احداث ابنیه‌ی شهری نامناسب می‌کند [۴]؛ اما در مناطقی که سرعت موج برشی بیشتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه باشد، بیان‌گر خاک‌های بافت درشت و ریزدانه، سنگ‌های رسوبی و مقاوم است که برای ساخت‌وسازهای شهری مناسب است [۲۷]. بنابراین سرعت موج برشی بیان‌گر ویژگی‌های خاک و طبقه‌بندی زمین است که در انتخاب اراضی برای توسعه فیزیکی شهر مناسب است. تراز آب زیرزمینی نیز از مهم‌ترین پارامترهای ژئوتکنیکی در توصیف خاک محل برای ساخت‌وسازهای شهری است که در آن هرچه سطح آب زیرزمینی بالاتر باشد، موجب مرطوب شدن خاک زمین شده و باعث خمیری و پلاستیکی شدن خاک می‌شود؛ همچنین وجود آب زیرزمینی در شهرهای ساحلی، موجب افزایش خطر روان‌گرایی خاک محل می‌شود، به‌گونه‌ای که اگر عمق آب زیرزمینی کمتر از ۶ متر باشد (۱ تا ۶ متر)، خطر روان‌گرایی بسیار بالاست و برای توسعه فیزیکی شهر مناسب نیست [۲۸]. عدد نفوذ استاندارد در تخمین درجه تراکم لایه‌های خاک بسیار اثرگذار است؛ به‌گونه‌ای که اگر شاخص N_{SPT} کمتر از ۱۰ باشد، تراکم خاک بسیار



شکل ۹. خوشه‌بندی محلات و اراضی برای توسعه فیزیکی شهر بندرعباس.

Fig. 9. Clustering the neighborhoods and lands for the physical development of Bandar Abbas.

سُست خواهد بود که امکان روان‌گرایی و مخاطرات ژئوتکنیکی را افزایش می‌دهد [۲۹]. مدول الاستیسیته نیز یکی دیگر از پارامترهای ژئوتکنیکی مهم در توسعه شهری است که در مقاومت برشی خاک تأثیرگذار بوده و افزایش آن موجب متراکم‌شدن خاک شده و در توسعه‌ی ساختمان‌سازی مناسب خواهد بود [۳۰]. خطر روان‌گرایی نیز از عوامل اصلی خسارت بر سازه‌ها و ابنیه‌ی فنی و همچنین انتخاب اراضی مستعد برای توسعه فیزیکی شهرهای ساحلی، به‌گونه‌ای که اغلب پژوهشگران از خطر روان‌گرایی برای توسعه شهری با دیدگاه ژئوتکنیکی استفاده می‌نمایند [۳۱]. در اراضی شهر بندرعباس، بخش‌های شمال شرقی که شامل محلات گلشهر شمالی، بهشت بندر، هرمزان و مهرگان می‌باشد، خطر روان‌گرایی اصلاً وجود ندارد؛ عمق آب زیرزمینی بیشتر از ۱۰ متر است؛ سرعت موج برشی بیش از ۳۷۵ متر بر ثانیه است؛ عدد نفوذ استاندارد بیش از ۵۰؛ زاویه اصطکاک داخلی خاک بیش از ۳۵ درجه؛ ارتفاع کمتر از ۵۰ متر و شیب اراضی بین ۳ تا ۷٪ است. این شرایط باعث شده تا اراضی واقع در بخش مرکز–شرق و شمال شرقی بندرعباس از دیدگاه ژئوتکنیکی و بستر زمین برای توسعه‌ی فیزیکی شهر و احداث ابنیه‌های شهری مناسب باشد.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعات ژئوتکنیکی محل، یکی از اولین تصمیمات مهم و تأثیرگذار مدیران شهری در انتخاب اراضی مساعد برای ساخت‌وسازها و توسعه‌ی فیزیکی شهر است. در مطالعات ژئوتکنیکی از حفر گمانه‌ها برای شناخت وضعیت خاک و بستر زمین در لایه‌های زیرسطحی استفاده می‌شود و می‌توان تراکم خاک، دانه‌بندی ذرات خاک، خطر روان‌گرایی و مقاومت در برابر فشارهای ناشی از بار فونداسیون ساختمان‌سازی را شناسایی نمود. با شناخت این پارامترها می‌توان اراضی مساعد برای توسعه‌ی شهری را شناسایی نمود که در این پژوهش با استفاده از مطالعات ژئوتکنیکی، اراضی مناسب برای توسعه فیزیکی شهر بندرعباس شناسایی شد و نتایج نهایی چهار خوشه برای توسعه را شناسایی نمود که در خوشه‌ی اول ۵۳/۶٪ (۳۰/۵ کیلومترمربع) از اراضی که در نواحی شرقی و شمال شرقی بندرعباس قرار دارند، برای توسعه فیزیکی شهر کاملاً مناسب است؛ همچنین ۳۰/۷٪ (۱۷/۵ کیلومترمربع) اراضی مناسب است که در بخش شمال‌غربی قرار دارد؛ حدود ۱۳/۱٪ (۷/۵ کیلومترمربع) اراضی نامناسب و ۲/۴٪ (۱/۴ کیلومترمربع) از

اراضی کاملاً نامناسب است. بنابراین اراضی واقع در بخش شرقی و شمال شرقی، مناسب‌ترین اراضی از دیدگاه ژئوتکنیکی برای ساخت‌وسازها و توسعه‌ی فیزیکی شهر بندرعباس می‌باشد.

منابع

[1] G. McGranahan, D. Balk, B. Anderson, Risks of climate change for urban settlements in low elevation coastal zones, in: The New Global Frontier, Routledge, 2012, pp. 179-196.

[2] C. Small, R.J. Nicholls, A global analysis of human settlement in coastal zones, Journal of coastal research, (2003) 584-599.

[3] M. de Andrés, J.M. Barragán, M. Scherer, Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage?, Land use policy, 71 (2018) 121-128.

[4] B. Neumann, A.T. Vafeidis, J. Zimmermann, R.J. Nicholls, Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment, PloS one, 10(3) (2015) e0118571.

[5] S. Nadizadeh Shorabeh, N. Neysani Samani, M.R.J.-N. Jelokhani-Niaraki, Determination of optimum areas for the landfill with emphasis on the urban expansion trend based on the combination of the Analytical Hierarchy Process and the Ordered Weighted Averaging model, Journal of Natural Environment, 70(4) (2017) 949-969.

[6] S. Abdeltawab, A geotechnical evaluation of Minia-Maghagha area, Upper Egypt, Earth Sciences, 7(1) (1994).

[7] A.M. Saad, M.A. Sakr, A.E. Omar, A.W. Mohamed, Y.A. Temsah, Assessment of radioactivity and geotechnical characteristics of soil foundation for suitability of safe urban extension using geospatial technology New Sahl Hasheesh Marin Port, Eastern Desert, Egypt, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102(17) (2022) 5715-5737.

[8] F. Emeriault, D. Breysse, R. Kastner, A. Denis, Geotechnical survey and mechanical parameters in urban soils: modelling soil variability and inferring representative values using the extension of Lyon subway line D as a case study, Canadian geotechnical journal, 41(5) (2004) 773-786.

[9] Y. Su, Y.M. Hashash, L.Y. Liu, Integration of construction as-built data via laser scanning with geotechnical monitoring of urban excavation, Journal of construction engineering and management, 132(12) (2006) 1234-1241.

[10] S. Oh, C.-G. Sun, Combined analysis of electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts for the safety assessment of fill dam, Environmental Geology, 54 (2008) 31-42.

[11] M. Mohammadi, S.M. Fatemi Aghda, M. Talkhablou, A. Gheshmi, The subsurface development and geological and geotechnical characteristics of coarse-grained sediments of Zayandeh rood river in Isfahan city, The subsurface development and geological and geotechnical characteristics of coarse-grained sediments of Zayandeh rood river in Isfahan city, 30(117) (2020) 231-242. (in Persian)

[12] F. Esfandiari in Abad, A. Ghaffari Gilande, K. Lotfi, Evaluation of soil liquefaction potential due to earthquake using VS method (Case study: Ardabil city), Geography and Environmental Hazards, 30(1) (2014) 15-11. (in Persian)

[13] D. Mehrahahi, N. MohasselHamedani, A study of zoning liquefaction in prone areas using fuzzy models: Abarkuh city, Yazd Province, The Journal of Geographical Research on Desert Areas, 1(2) (2014) 53-75. (in Persian)

[14] M.S. Khan, J. Park, J. Seo, Geotechnical property modeling and construction safety zoning based on GIS and BIM integration, Applied Sciences, 11(9) (2021) 4004.

[15] M.O. Arnous, Geotechnical site investigations for possible urban extensions at Suez City, Egypt using GIS, Arabian Journal of Geosciences, 6(5) (2013) 1349-1369.

[16] M. El May, M. Dlala, I. Chenini, Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning, Engineering Geology, 116(1-2) (2010) 129-138.

[17] A.A. Masoud, Geotechnical site suitability mapping for

[25] X. Zhang, W. Song, Y. Lang, X. Feng, Q. Yuan, J. Wang, Land use changes in the coastal zone of China's Hebei Province and the corresponding impacts on habitat quality, Land use policy, 99 (2020) 104957.

[26] Y. Wang, T. Zhao, Z. Cao, Site-specific probability distribution of geotechnical properties, Computers and Geotechnics, 70 (2015) 159-168.

[27] S. Prakash, P. Arumairaj, Effects of acid and base contamination on geotechnical properties of clay, Int J Sci Res, 4 (2015) 1440-1444.

[28] K. Mahmood, A.T.D.M.A. Tariq, Geotechnical investigation of collapsed Margalla tower due to October 2005 Muzzafarabad earthquake, Int. Workshap on Civil Engineering and Architecture IWCEA-2014, (2014).

[29] L. Liu, G. Cai, J. Zhang, X. Liu, K. Liu, Evaluation of engineering properties and environmental effect of recycled waste tire-sand/soil in geotechnical engineering: A compressive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 126 (2020) 109831.

[30] S.P. Ganesan, S. Bordoloi, J. Ni, T. Sizmur, A. Garg, S. Sekharan, Exploring implication of variation in biochar production on geotechnical properties of soil, Biomass Conversion and Biorefinery, (2020) 1-11.

[31] M. Liew, M. Xiao, S. Liu, D. Rudenko, In situ seismic investigations for evaluating geotechnical properties and liquefaction potential of fine coal tailings, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 146(5) (2020) 04020014.

urban land management in Tanta District, Egypt, Arabian Journal of Geosciences, 9 (2016) 1-16.

[18] C.R. Escudero, A. Ramirez Gaytan, A. Zamora Camacho, A. Preciado, K.L. Flores, A. Gomez Hernandez, Geotechnical zonation and soil–structure interaction at Puerto Vallarta, México, Natural Hazards, (2022) 1-21.

[19] S.K. Al-Mamoori, A.N. Attiyah, L.A. Al-Maliki, A.H. Al-Sulttani, K. El-Tawil, H.M. Hussain, seismic risk assessment of reinforced concrete frames at Al-Najaf City-Iraq using geotechnical parameters, in: Modern Applications of Geotechnical Engineering and Construction: Geotechnical Engineering and Construction, Springer, 2020, pp. 329-348.

[20] A. Almajed, A. Aldhowian, K. Abdelrahman, Geological and geotechnical evaluation of limestone rocks along the riyadh metro project (riyadh city, Saudi arabia), Arabian Journal of Geosciences, 14 (2021) 1-15.

[21] S. Tahouni, Principle of Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, 2004. (in Persian)

[22] I. Aflaki, Soil Mechanics Laboratory, Parham, 2011. (in Persian)

[23] S.V. Parkouhi, A.S. Ghadikolaei, A resilience approach for supplier selection: Using Fuzzy Analytic Network Process and grey VIKOR techniques, Journal of Cleaner Production, 161 (2017) 431-451.

[24] M.R.A. Mullick, A. Tanim, S.S. Islam, Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques, Ocean & Coastal Management, 174 (2019) 154-169.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Khatibi, M. Amiri, M. Faghihi, Study and Analysis of Lands for Physical Development of Coastal Cities Based on Geotechnical Criteria (Case Study: Bandar Abbas), Amirkabir J. Civil Eng., 55(6) (2023) 1263-1284.

DOI: 10.22060/ceej.2023.20571.7469

این صفحه عمداً خالی است