Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

Research Paper

Predictive Modeling for the Spatial Identification of Paleolithic Sites in the Forested Regions of Western Mazandaran, Northern Iran

Sara Kazemi[1], Mohammad Ghamari Fatideh[2], Ghasem Lorestani[3]

1. M. A. in Prehistoric Archaeology, Department of Archaeology, Faculty of Art and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
2. Assistant Professor, Department of Archaeology, Faculty of Art and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
3. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

***** Correspondence: m.ghamari@umz.ac.ir

Abstract

Traditional archaeological surveys in forested landscapes are often limited by cost, time, and poor visibility. This study develops a predictive model to locate Middle Paleolithic sites within the forested regions of western Mazandaran, northern Iran, particularly in Nowshahr and Chalus counties. Using a combination of geological, topographical, hydrological, and environmental variables, the model applies fuzzy logic within ArcGIS 10.8 to determine zones of high archaeological potential. Two previously discovered open-air Paleolithic sites, Bandpey and Mashelak, were selected for calibration. Their environmental characteristics, such as geology, slope, elevation, vegetation, and proximity to water sources, were used as the primary locational indicators. Geological factors, especially the presence of limestone and chert formations within the Tizkuh Formation, emerged as the most influential determinants of settlement distribution, while slope aspect exhibited the least impact. Each environmental layer was normalized on a fuzzy scale (0–1) and combined using the Gamma operator to produce a composite predictive map. The resulting model classified the region into five probability zones, ranging from very low to very high potential. Approximately 10–11% of the study area exhibited strong suitability for Paleolithic habitation, primarily in zones with favorable lithology, moderate slopes, and reliable water access. This research demonstrates that GIS-based fuzzy modeling offers an effective, data-driven approach to archaeological prospection in densely forested environments where field accessibility is limited. The integration of geological, climatic, and topographical data not only enhances the efficiency of archaeological surveys but also provides a methodological framework applicable to similar prehistoric landscapes across northern Iran and beyond.

Keywords: Palaeolithic Archaeology, Predictive Modeling, Fuzzy Logic, Western Mazandaran, Bandpey, Mashelak

Received: 2025/11/5
Revised: 2026/05/29
Accepted: 2026/06/1
Published: 2026/06/30

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

Introduction

The northern slopes of the Alborz Mountains pose considerable challenges for locating Paleolithic sites due to dense vegetation, continuous sedimentation, and limited surface visibility. These geomorphological dynamics have buried many open-air sites beneath thick deposits, reducing the probability of discovery. For example, the Baliran site in Amol County was found under 16 meters of sediment, illustrating the immense difficulty of identifying prehistoric layers in such contexts (Vahdatinasab et al., 2014).

Despite these challenges, the region served as a crucial corridor for human migration during the Paleolithic period. The thick Hyrcanian forests and high sedimentation rates complicate field investigations and increase costs and time requirements. Consequently, traditional survey methods are often inefficient for uncovering buried or eroded archaeological remains. To address these challenges, predictive modeling provides a valuable methodological alternative. By integrating environmental and geological datasets, such models estimate the likelihood of site occurrence without extensive ground surveys.

As suggested by Scianna and Villa (2011), this approach is especially useful in areas where surface evidence is scarce. The present study aims to construct a spatially explicit predictive model capable of identifying areas with high potential for Middle Paleolithic occupation. Geological, paleoenvironmental, and topographical variables were combined in a GIS framework to analyze relationships between environmental conditions and site distribution in Nowshahr and Chalus counties of western Mazandaran.

Methodology

Identified Paleolithic Sites: Bandpey and Mashelak

The Bandpey site, located five kilometers east of Nowshahr and 2.5 kilometers from the Caspian Sea, lies at an elevation of 530 meters on limestone formations of the Cretaceous Tizkuh Formation. Its steep northern slopes, reaching up to 35 degrees, and its lithological composition of chert, dolomite, and conglomerate veins indicate its suitability for tool production.

Mashelak, located six kilometers west of Bandpey near the Mashelak River, rests at 156 meters above sea level with slopes of 5–25 degrees. The site lies within dense Hyrcanian forest dominated by hornbeam, beech, oak, and ironwood. It also rests on the Tizkuh Formation, comprising marl, chert, and basaltic veins. Both sites yielded Middle Paleolithic lithic assemblages, suggesting they were occupied during similar cultural phases. Environmental similarities between these two sites- proximity to water sources, moderate slopes, and access to raw materials- were crucial for defining predictive variables in the modeling process.

Modeling in the Forested Regions of Nowshahr and Chalus

The modeling process consisted of two main stages: data collection and spatial analysis. Archaeological coordinates of Bandpey and Mashelak were entered into ArcGIS and correlated with environmental variables, including slope, aspect, elevation, solar radiation, distance from rivers, geology, vegetation, and soil type.

Environmental datasets were derived from a 12.5-meter resolution Digital Elevation Model (DEM) obtained from the USGS. All data layers were converted to shapefiles and integrated into a spatial database. Each variable was reclassified into five categories using the "Reclassify" tool, and then normalized through the "Fuzzy Membership" function to produce continuous suitability values between 0 and 1. Weighted overlays were applied according to each variable's influence, as determined by previous studies and empirical observation. Geological formations, proximity to rivers, and slope were assigned higher weights due to their strong correlation with settlement location. The "Fuzzy Overlay" tool with the Gamma operator was then used to combine the weighted layers and generate a final predictive surface.

Results

The resulting map divided the study area into five suitability classes: very low, low, moderate, suitable, and very suitable. This classification highlights the environmental parameters that most influenced prehistoric settlement patterns across the forested landscapes of western Mazandaran.

Discussion

The final predictive model, generated using fuzzy logic in ArcGIS, effectively delineates high-probability zones for Middle Paleolithic habitation. Geological formations emerged as the strongest determinant of site distribution, while slope aspect showed minimal effect. This pattern reflects the adaptive behavior of prehistoric humans, who selected settlements near raw material sources, freshwater access, and stable terrain.

Conclusion

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

The final suitability map revealed that approximately 11% of the Nowshahr–Chalus region holds high potential for Paleolithic settlement. These favorable zones correspond to areas containing carbonate and karstic rocks suitable for lithic production, moderate slopes facilitating mobility, and humus-rich soils supporting vegetation and fauna.

The study demonstrates that predictive modeling using GIS and fuzzy logic offers a powerful methodological framework for archaeological research in geomorphologically complex and heavily forested areas. By integrating multiple environmental and geological variables, it significantly reduces survey costs and time while improving the precision of site location forecasts. This approach can be applied to other prehistoric landscapes across northern Iran and similar regions worldwide, enhancing our understanding of human adaptation and settlement dynamics in forested ecosystems. Each of the variables influencing human settlement during the Paleolithic period was converted into a fuzzy layer in the ArcMap environment by applying the appropriate fuzzy operator, in order to evaluate the suitability of each variable on a fuzzy scale ranging from 0 to 1. In the second stage, the eight selected variables were integrated using the GAMA function to produce a final layer that identified suitable and unsuitable areas for Paleolithic settlement in the two counties of Chalus and Nowshahr, Mazandaran Province.

Author Contributions: This article is an extract from the master's thesis of the first author (S.K.) with the Supervision of the second author (M.Gh. F) and the advice of the third author (Gh.L.), and all authors have equal contributions to the content.

Funding: This research has not received any external funding.

Data Availability Statement: The data is included within the article.

Acknowledgments: The authors would like to thank all those who helped and supported the preparation of the information, as well as the esteemed reviewers who provided comments that improved the content of the article.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

مقاله پژوهشی

طراحی و تبیین مدل پیش‌بین برای مکان‌یابی محوطه‌های جنگلی پارینه‌سنگی غرب مازندران: مطالعه موردی شهرستان‌های نوشهر و چالوس

سارا کاظمی[۱]، محمد قمری فتیده[۲*]، قاسم لرستانی[۳]

۱. کارشناس ارشد باستان‌شناسی پیش از تاریخ، گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲. استادیار، گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۳. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
* مسئول مکاتبات: m.ghamari@umz.ac.ir

چکیده

جمع‌آوری اطلاعات و ثبت محوطه‌های باستانی با روش‌های سنتی، نیازمند زمان، هزینه و نیروی انسانی زیاد است. استفاده از روش‌هایی که بتواند بدون پیمایش کل منطقه و صرف وقت و هزینه زیاد، موقعیت محوطه‌های باستانی را پیش‌بینی کرده و به باستان‌شناسان کمک کند بسیار مهم است؛ به خصوص اگر این محوطه‌ها در مناطق جنگلی با پوشش انبوه گیاهی و رسوباتی باشد که در طی هزاران سال انباشته شده‌اند. مسئله اصلی پژوهش، دشواری دسترسی به محوطه‌ها به‌ویژه در مناطق جنگلی با پوشش گیاهی و رسوبات انباشته است. پرسش اصلی این است که چگونه می‌توان بدون پیمایش کامل، موقعیت احتمالی محوطه‌های پارینه‌سنگی را پیش‌بینی کرد. هدف مطالعه، طراحی مدل پیش‌بین برای شناسایی پهنه‌های با احتمال بالای وجود محوطه‌های پارینه‌سنگی در شهرستان‌های نوشهر و چالوس است. متغیرهای محیطی مؤثر شامل ساختار زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب و جهت شیب، فاصله از رود، میزان تابش آفتاب، پوشش گیاهی و نوع خاک، با توجه به ویژگی‌های دو محوطه شناخته‌شده (بَندپی و ماشِلَک) ارزش‌گذاری شدند. روش تحقیق مبتنی بر استفاده از منطق فازی در نرم‌افزار آرک‌مپ (نسخه ۱۰.۸) و استخراج تصاویر ماهواره‌ای از نرم افزار Google Earth می باشد. تحلیل داده‌ها نشان داد زمین‌شناسی بیشترین و جهت شیب اهمیت کمتری در شکل‌گیری سکونت‌گاه‌ها داشت. اطلاعات محیطی پیاده‌سازی‌شده روی نقشه، پهنه‌هایی با شباهت بالا به محوطه‌های شناسایی‌شده را مشخص کرد. نتایج کلی، پهنه‌های با بیشترین احتمال وجود محوطه‌ها را حدود ۱۱ درصد (رنگ سبز در شکل ۱۳) و پهنه‌های با کمترین احتمال را حدود ۲۵ درصد (رنگ قرمز در شکل ۱۳) نشان می‌دهند و مدل ارائه‌شده می‌تواند ابزار مؤثری برای برنامه‌ریزی مطالعات بعدی باستان‌شناسی باشد.

واژگان کلیدی: محوطه‌های پارینه‌سنگی، غرب مازندران، مدل پیش‌بین، منطق فازی، بندپی و ماشلک

دریافت: ۱۴۰۴/۸/۱۴
آخرین اصلاح: ۱۴۰۵/۳/۹
پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۱۱
انتشار: ۱۴۰۵/۴/۹

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱. مقدمه

کشف محوطه‌های پارینه‌سنگی در دامنه‌های شمالی البرز، به دلیل شرایط اقلیمی، قدمت بسیار زیاد، پوشش گیاهی متراکم و رسوب‌گذاری مداوم ناشی از فرایندهای پویای طبیعی در این دامنه‌ها، با دشواری‌های فراوانی همراه است. این دشواری به‌ویژه در شناسایی محوطه‌های روباز واقع در مناطق جنگلی بیشتر است؛ زیرا سرعت مدفون شدن این محوطه‌ها در زیر لایه‌های ضخیم رسوب، به‌مراتب بیشتر از محوطه‌های غاری است. ازاین‌رو، دسترسی به این محوطه‌ها در بسیاری از موارد دشوار و حتی ناممکن می‌شود. اگرچه بر اساس مطالعات انجام‌شده می‌دانیم که این منطقه به‌احتمال زیاد در دوره‌های پارینه‌سنگی محل گذر و تردد انسان بوده است، انبوه جنگل‌های هیرکانی در دامنه‌های شمالی البرز و مسئله مدفون شدن محوطه‌های باستانی در این مناطق، مطالعات پارینه‌سنگی را با چالش‌های فراوانی روبه‌رو کرده و به کشف تعداد بسیار محدودی از محوطه‌های این دوره انجامیده است. برای مثال، محوطه روباز بلیران (گرم‌رود) در شهرستان آمل، در زیر ۱۶ متر رسوب مدفون شده است (Vahdatinasab et al., 2014). چنین شرایطی احتمال کشف محوطه‌های باستانی، به‌ویژه محوطه‌های متعلق به دوره‌های پارینه‌سنگی با قدمت چند ده هزار سال، را به‌شدت کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، بررسی و جست‌وجوی محوطه‌های باستانی در مناطق جنگلی شمال ایران، در مقایسه با بررسی و شناسایی آثار در مناطق غیرجنگلی، مستلزم صرف زمان و هزینه بسیار بیشتری است. افزون بر این، حتی پس از انجام چنین بررسی‌هایی نیز، به دلیل ضخامت زیاد رسوبات و مدفون بودن آثار در زیر آن‌ها، نمی‌توان انتظار داشت که محوطه‌های متعلق به دوره پارینه‌سنگی به‌آسانی شناسایی و کشف شوند.

استفاده از مدل‌های پیش‌بین، روشی است که امکان پیش‌بینی احتمال وجود محوطه‌های باستانی در نواحی مشخص را، بدون نیاز به بررسی پیمایشی تمام سطح منطقه، فراهم می‌کند و از این طریق موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود (Scianna & Villa, 2011). در راستای این پژوهش، با وارد کردن داده‌های زمین‌شناسی و دیرین‌اقلیم‌شناسی در نرم‌افزار ArcMap، مناطق دارای پتانسیل زیستی در بازه زمانی پارینه‌سنگی میانی شناسایی و معرفی شده‌اند.

هدف از انجام این پژوهش، ارائه مدلی پیش‌بین برای شناسایی استقرارگاه‌های پارینه‌سنگی میانی با صرف زمان و هزینه کمتر است. دو محوطه اولیه مورد مطالعه، یعنی بندپی و ماشلک، هر دو به دوره پارینه‌سنگی میانی تعلق دارند. این مدل با تلفیق داده‌های دیرین‌اقلیم‌شناسی و زمین‌شناسی و با در نظر گرفتن ویژگی‌های محیطی محوطه‌های پارینه‌سنگی شناسایی‌شده طراحی شده است. در این پژوهش، صرفاً از داده‌های دو محدوده باستانی برای مدل‌سازی پیش‌بینی در سطح منطقه‌ای استفاده شده است که این امر دقت خروجی مدل را محدود می‌کند. بااین‌حال، باید توجه داشت که منطقه مورد مطالعه از نظر شناسایی باستان‌شناختی بسیار محدود و فاقد داده‌های کافی است و در حال حاضر، تنها این دو محدوده به‌صورت مستند و قطعی شناسایی شده‌اند.

بنابراین، هدف این تحقیق ارائه یک مدل پیش‌بینی قطعی نیست، بلکه امکان‌سنجی به‌کارگیری مدل‌های محیط‌مبنا در شرایط کمبود داده را بررسی می‌کند. در این راستا، به‌منظور کاهش تأثیر محدودیت داده‌ها، مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی در فرایند مدل‌سازی به کار گرفته شده است. بر این اساس، خروجی‌های پژوهش نه به‌عنوان نتایجی قطعی، بلکه در قالب یک مدل احتمالاتی اولیه و به‌منظور فراهم کردن مبنایی برای جهت‌دهی به پژوهش‌های میدانی آینده ارائه شده‌اند.

در نهایت، با توجه به چالش‌های یادشده در زمینه دشواری شناسایی محوطه‌های پارینه‌سنگی در مناطق جنگلی غرب مازندران، پژوهش حاضر در پی پاسخ‌گویی به این پرسش اصلی است: چگونه می‌توان با تلفیق داده‌های دیرین‌اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی و ویژگی‌های محیطی، مدلی کارآمد برای پیش‌بینی مکان استقرارگاه‌های پارینه‌سنگی میانی در شهرستان‌های نوشهر و چالوس طراحی کرد تا از این طریق، مناطق دارای پتانسیل بالاتر با صرف زمان و هزینه کمتر شناسایی شوند؟

۲. چارچوب نظری و جغرافیای منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در چارچوب نظری مطالعات باستان‌شناسی محیطی و مدل‌های پیش‌بین مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش، صرفاً توصیف داده‌ها نیست، بلکه تبیین علمی الگوی استقرار انسان در دورهٔ پارینه‌سنگی میانی (با تمرکز بر بازه زمانی حداقل ۴۰ هزار سال پیش) و بررسی چگونگی تعامل انسان با محیط زیست در آن دوره، در منطقه غرب مازندران (شهرستان‌های نوشهر و چالوس) است. بر این اساس، فرض بر آن است که انتخاب محل استقرار در دوره پارینه‌سنگی، تابعی از فرایند بهینه‌سازی و متأثر از مجموعه‌ای از عوامل و محدودیت‌های محیطی بوده است.

در این پژوهش، چارچوب نظری بر دو دسته اصلی از عوامل محیطی استوار است:

الف) جاذبه‌های منابع حیاتی

استدلال اصلی این بخش بر مبنای نظریه جست‌وجوی بهینه غذا (Optimal Foraging Theory) است. بر اساس این نظریه، انسان‌ها در جست‌وجوی کسب حداکثر انرژی و بهره‌مندی از منابع غذایی و محیطی، با صرف حداقل هزینه و پذیرش کمترین میزان خطر و ریسک بوده‌اند. در منطقه مورد مطالعه و در بازه زمانی مورد نظر، مهم‌ترین عوامل محیطی جاذب عبارت‌اند از:

– دسترسی به منابع خام سنگی برای ساخت ابزار: نزدیکی به منابع و رخنمون‌های زمین‌شناختی حاوی سنگ‌های مناسب برای تولید ابزارهای سنگی.

– دسترسی به منابع آب پایدار: برخورداری از منابع دائمی آب شیرین که امکان تأمین آب مورد نیاز انسان و سایر منابع زیستی را فراهم می‌کرده‌اند.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

– دسترسی به پناهگاه‌های طبیعی: وجود موقعیت‌هایی که ضمن فراهم کردن حفاظت طبیعی در برابر عوامل جوی، امکان دید و نظارت گسترده بر محیط پیرامون را نیز فراهم می‌کرده‌اند.

ب) محدودیت‌های اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی

علاوه بر جاذبه‌های محیطی، برخی محدودیت‌های اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی نیز در انتخاب محل استقرار انسان در دوره پارینه‌سنگی تأثیرگذار بوده‌اند. مهم‌ترین این عوامل عبارت‌اند از:

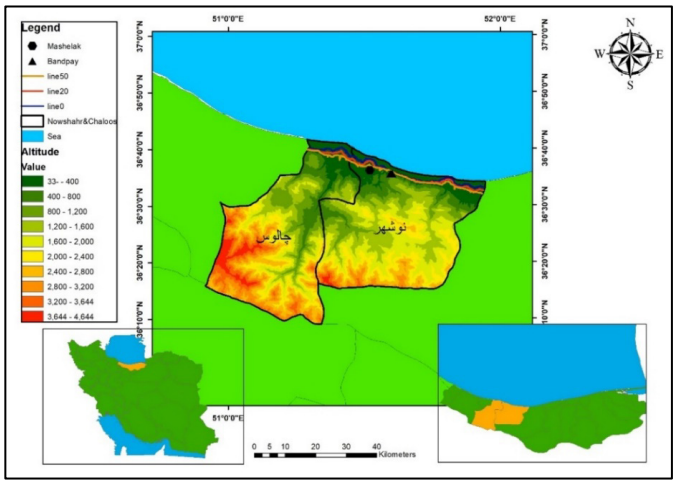
– تغییرات سطح دریای مازندران: با توجه به اینکه سطح دریای مازندران در دوره مورد مطالعه حدود ۷۹ متر بالاتر از سطح کنونی برآورد شده است، خطوط ساحلی و گستره دشت‌های ساحلی در آن زمان با وضعیت امروزی تفاوت چشمگیری داشته‌اند. این شرایط می‌توانسته است بر الگوی دسترسی به منابع و انتخاب مکان‌های مناسب برای استقرار تأثیر بگذارد و انسان‌ها را به استفاده از ارتفاعات کوهپایه‌ای، که بخش اصلی محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند، سوق دهد. همچنین، دوری از محیط‌های باتلاقی و پهنه‌های مستعد سیلاب می‌توانسته یکی از ملاحظات مؤثر در انتخاب محل استقرار باشد.

– ویژگی‌های زمین‌شناختی و پدیده‌های کارستی: وجود سنگ‌بسترهای آهکی و کربناته در منطقه، زمینه شکل‌گیری پدیده‌های کارستی، از جمله انحلال شیمیایی سنگ‌ها و ایجاد شکاف‌ها و حفره‌های طبیعی را فراهم کرده است. این فرایندها در شکل‌گیری پناهگاه‌های صخره‌ای و دهانه‌های غاری نقش داشته‌اند که احتمال استفاده از آن‌ها به‌عنوان سرپناه توسط جوامع پارینه‌سنگی وجود دارد.

مدل پیش‌بین مورد استفاده در این پژوهش بر پایه نظریه توزیع جغرافیایی و رابطه میان ویژگی‌های محیطی و پراکنش مکانی محوطه‌های باستانی استوار است. بر اساس این رویکرد، پراکنش محوطه‌های باستانی و مکان‌های استقرار انسان در یک محیط جغرافیایی، با کیفیت، فراوانی و میزان دسترسی به منابع و ویژگی‌های آن محیط ارتباط دارد. در این راستا، با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل منطق فازی (Fuzzy Logic) پیاده‌سازی خواهد شد تا با وزن‌دهی به پارامترهای محیطی، پهنه‌های مختلف منطقه بر اساس احتمال وجود محوطه‌های باستانی طبقه‌بندی شوند. بدین‌ترتیب، امکان شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌هایی فراهم می‌شود که از نظر ویژگی‌های محیطی با معیارهای نظری مرتبط با استقرار انسان در دوره پارینه‌سنگی میانی همخوانی بیشتری دارند.

محدودهٔ غرب مازندران، به دلیل مجاورت دریای مازندران با ارتفاعات کوهپایه‌ای و محدود بودن عرض جلگه ساحلی، از نظر برخی ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی، واجد شرایط نسبتاً مشابهی است. ازاین‌رو، می‌توان برای پراکنش محوطه‌های باستانی در این محدوده، الگویی نسبتاً همسان در نظر گرفت؛ زیرا مؤلفه‌های اصلی جغرافیایی و محیطی، از جمله دریا، نوار ساحلی، ارتفاعات کوهپایه‌ای و ساختارهای زمین‌شناختی و زمین‌ساختی، در بخش‌های مختلف آن از برخی وجوه مشترک برخوردارند. بااین‌حال، از آنجا که بررسی و مطالعه کل این محدوده جغرافیایی در مقیاس وسیع، در چارچوب امکانات و اهداف پژوهش حاضر امکان‌پذیر نبود، دو شهرستان چالوس و نوشهر، به دلیل شناسایی دو محوطه متعلق به دوره پارینه‌سنگی میانی در این محدوده، به‌عنوان منطقه نمونه برای طراحی و اجرای مدل پیش‌بین انتخاب شدند (شکل ۱).

منطقه مورد پژوهش با وسعتی حدود ۲۸۰۶ کیلومتر مربع، شامل دو شهرستان نوشهر و چالوس است. این منطقه از شمال به دریای مازندران، از جنوب به خطالرأس رشته‌کوه البرز و مرز استان‌های البرز و تهران، از شرق به شهرستان نور و از غرب به شهرستان تنکابن محدود می‌شود. با توجه به اینکه بازه زمانی مورد نظر در این پژوهش به حدود ۴۰ هزار سال پیش و پیش از آن مربوط می‌شود (Vahdatinasab et al., 2017) و سطح آب دریای مازندران در آن زمان دست‌کم ۲۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد بوده است (با در نظر گرفتن تراز کنونی دریای مازندران، یعنی ۲۹ متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد، این میزان معادل حدود ۴۹ متر بالاتر از تراز کنونی دریای مازندران خواهد بود)، تمرکز اصلی این پژوهش بر بخش کوهپایه‌ای منطقه و ابتدای پهنه میان‌بند قرار گرفته است. این محدوده شامل ارتفاعات منتهی به بخش‌های انتهایی البرز و متصل به محدوده البرز مرکزی است و از نظر ارتفاعی، گستره‌ای بین صفر تا ۴۰۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد را در بر می‌گیرد. دو محوطه مورد استفاده برای طراحی مدل پیش‌بین نیز در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از سطح آب‌های آزاد، در ارتفاعات شهرستان نوشهر و در مناطق جنگلی بندپی و ماشلک واقع شده‌اند.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه

Figure 1. Map showing the geographical location of the study

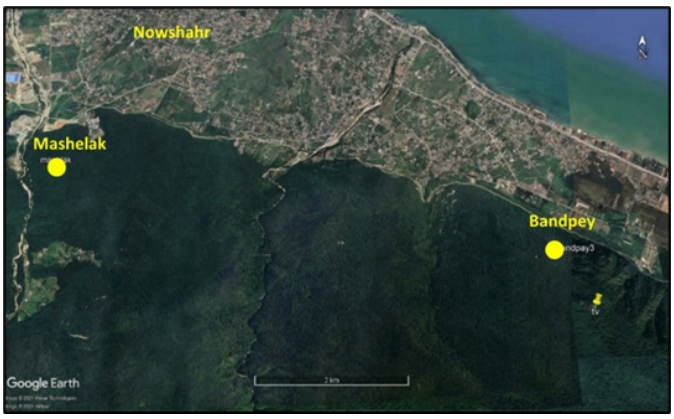
میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۱۶۰۹ میلی‌متر و دامنه میانگین دمای آن بین ۰/۴ تا ۳۳/۴ درجه سانتی‌گراد است (فصلنامه آماری مازندران، ۱۳۹۹). از نظر زمین‌شناسی، منطقه دارای سنگ‌بسترهای آهکی و کربناته، از جمله دولومیت، کنگلومرا و چرت است و در بخش‌های گسترده‌ای از آن می‌توان پدیده‌های کارستی را مشاهده کرد. این محدوده از شیب‌های متعددی برخوردار است که عمدتاً به سمت شمال امتداد دارند و در دامنه‌ها و کوهپایه‌های شمالی البرز مرکزی واقع شده‌اند. بخش کم‌شیب منطقه در امتداد ساحل دریای مازندران قرار دارد، درحالی‌که شیب بخش‌های کوهستانی آن بین ۵ تا ۸۰ درجه متغیر است (Vahdatinasab et al., 2017).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

از نظر زمین‌شناختی، این منطقه دارای سازندهای متنوعی است که از سنگ‌های متعلق به دوران‌های نخست زمین‌شناسی تا رسوبات دوران کواترنری را شامل می‌شوند. در میان واحدهای سنگ‌شناختی منطقه، سنگ‌های آهکی از گسترش بیشتری برخوردارند. شرایط رطوبتی مناسب در این ناحیه، زمینه رشد انبوه درختان جنگلی و پوشش غنی گیاهان علفی را فراهم کرده است؛ به‌گونه‌ای که بقایای گیاهی حاصل از این پوشش، بخش قابل‌توجهی از سطح خاک را می‌پوشاند (معتمد، ۱۳۷۶).

۲-۱. محوطه‌های مورد تحقیق

در طراحی مدل پیش‌بین، ایجاد بانک اطلاعاتی بر اساس داده‌ها و دانسته‌های اولیه ضروری است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، تاکنون دو محوطه پارینه‌سنگی با نام‌های «بندپی» و «ماشلک» در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده‌اند (شکل ۲). ازاین‌رو، در گام نخست، این دو محوطه معرفی می‌شوند تا ضمن بررسی ویژگی‌های هر یک، الگوهای مشترک میان آن‌ها شناسایی و متغیرهای مورد نیاز برای طراحی مدل پیش‌بین استخراج شوند.



شکل ۲. موقعیت محوطه ماشلک و بندپی بر روی تصویر ماهواره‌ای Google Earth (2024)

Figure 2. Geographic position of the Mashalak and Bandpey sites shown on the Google Earth satellite imagery (2024)

۲-۱-۱. محوطه بندپی

این محوطه در محدودهٔ جنگلی روستای بندپی، در فاصله ۵ کیلومتری شرق شهر نوشهر در استان مازندران، با مختصات جغرافیایی ۳۶۱۶۵۵ شرقی و ۴۰۵۰۱۵۶ شمالی قرار گرفته است. مرکز محوطه در فاصله ۲/۵ کیلومتری از خط ساحلی کنونی دریای مازندران واقع شده است. بلندترین بخش محوطه حدود ۵۳۰ متر و پایین‌ترین بخش آن حدود ۳۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد. شیب محوطه بین ۱۵ تا ۳۵ درجه متغیر است و در جهت‌های شمال، شمال‌شرق، شرق و جنوب‌شرق امتداد دارد؛ البته شیب بخش شمالی آن تندتر است.

محوطهٔ بندپی از نظر زمین‌شناسی بر روی مجموعه سنگ‌های آهکی سازند تیزکوه قرار گرفته است. این سازند از سنگ‌های کربناته، مارن، کنگلومرا، چرت، شیل آهکی، مارن سیلتی و رگه‌های بازالت تشکیل شده و به دوره کرتاسه تعلق دارد (معتمد، ۱۳۷۶). چشم‌انداز محوطه جنگلی است و درختانی از گونه‌های ممرز، راش، بلوط و صنوبر آن را پوشانده‌اند. این محوطه از نظر ارتفاعی، تقریباً در محدوده منطقه میان‌بند قرار دارد (Vahdatinasab et al., 2017: 531). وجود درختان و ریشه‌های آن‌ها موجب پوشیده شدن بخش وسیعی از سطح محوطه شده و همین امر شرایط مشاهده سطح زمین و انجام بررسی‌های باستان‌شناختی را دشوار کرده است. یکی از ویژگی‌های مهم این محوطه، وجود گودال‌ها یا فروچاله‌های کارستی (Sinkholes) کوچک و بزرگی است که در اثر انحلال سنگ‌های کربناته شکل گرفته‌اند (Vahdatinasab et al., 2017: 531).

این محوطه در مردادماه سال ۱۳۹۵، طی بررسی پیمایشی و روشمندی که به‌وسیله تیمی از پژوهشکده باستان‌شناسی و به سرپرستی حامد وحدتی‌نسب، استاد گروه باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، انجام شد، مورد مطالعه قرار گرفت. در جریان این بررسی، ۲۶۱۶ قطعه دست‌افزار سنگی جمع‌آوری و مطالعه شد که عمدتاً به دوره پارینه‌سنگی میانی و تعدادی نیز به دوره پارینه‌سنگی جدید تعلق داشتند (Vahdatinasab et al., 2017: 2). با توجه به شرایط خاص منطقه، از جمله شیب، توپوگرافی و پوشش انبوه درختان و گیاهان، میدان دید در سطح محوطه بسیار محدود بود (شکل ۳). نتایج بررسی نشان داد که پراکنش یافته‌ها در سطح محوطه یکنواخت نیست؛ به این معنا که در برخی بخش‌ها تجمعات بزرگی از یافته‌ها مشاهده می‌شود، درحالی‌که در قسمت‌های دیگر، تنها تک‌یافته‌هایی به دست آمده است. این ناهمگونی در پراکنش را می‌توان به عواملی همچون فرسایش و وجود رسوبات فراوان در سطح محوطه نسبت داد. در پایان بررسی، گستره پراکنش آثار حدود ۴/۲ کیلومتر مربع برآورد شد. این محدوده در امتداد محور غربی ـ شرقی، از فاصله ۵۰۰ متری روستای بندپی تا ایستگاه مخابرات و تلویزیون در مرتفع‌ترین بخش کوه، و در امتداد محور شمالی ـ جنوبی، از شمالی‌ترین شیب‌های منتهی به مزگاه امتداد دارد.



شکل ۳. الف: دست‌افزارهای سنگی محوطه بندپی (Vahdatinasab et al., 2017)؛ ب: نمایی از بخشی از محوطه بندپی (تصویر از نگارندگان، ۱۴۰۱)

Figure 3. (a) Lithic artifacts from the Bandpey site (Vahdatinasab et al., 2017); (b) View of a section of the Bandpey site (photograph by the authors, 2022).

۲-۱-۲. محوطه ماشلک

محوطهٔ ماشلک در دامنه‌های شمالی البرز، در منطقه جنگلی پلنگ‌چال نوشهر و در مجاورت رودخانه دائمی ماشلک، در انتهای مسیر نیروگاه زباله‌سوز شهرستان نوشهر، با مختصات جغرافیایی ۵۴۶۳۷۰ شرقی و ۴۰۵۱۳۶۵ شمالی قرار دارد. این محوطه در فاصله ۲/۲ کیلومتری از خط ساحلی کنونی دریای

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

مازندران واقع شده است (شکل ۴). ارتفاع محوطه از سطح دریا حدود ۱۵۶ متر است و شیب آن بین ۵ تا ۲۵ درجه متغیر است که عمدتاً در جهت‌های جنوب، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق امتداد دارد.

این محوطه در سال ۱۳۹۷، طی بررسی‌های شخصی یکی از نویسندگان (م.ق)، در منطقه شناسایی شد. فاصله مستقیم آن تا محوطه پارینه‌سنگی بندپی حدود ۶ کیلومتر است و در غرب این محوطه قرار دارد. تعداد دست‌افزارهای سنگی به‌دست‌آمده از سطح ماشلک با یافته‌های محوطه بندپی قابل مقایسه نیست؛ بااین‌حال، از نظر چشم‌انداز طبیعی، این محوطه نیز، همانند بندپی، پوشیده از درختان پهن‌برگی همچون ممرز، راش، بلوط، صنوبر و انجیلی است. رودخانه ماشلک در فاصله ۵۰۰ متری محوطه قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی نیز، این محوطه، همانند بندپی، بر روی سازند تیزکوه واقع شده است که از سنگ‌های مارن، کنگلومرا، چرت، شیل آهکی، مارن سیلتی و رگه‌های بازالت تشکیل شده است (معتمد، ۱۳۷۶). دست‌افزارهای سنگی شناسایی‌شده در این محوطه نیز به دوره پارینه‌سنگی میانی تعلق دارند (شکل ۴).



شکل ٤. نمای عمومی بخشی از محوطه و ابزارهای محوطه ماشلک (عکس و طرح از نگارندگان، ۱۴۰۱)

Figure 4. General view of a section of the Mashalak site and its artifacts (photograph and illustration by the authors, 2022)

۳. مدل پیش‌بین و کاربرد آن در باستان‌شناسی

پیش‌بینی عبارت است از شناسایی و ردیابی الگوهای موجود در داده‌ها با هدف تشخیص و تخمین وقوع رویدادها و پدیده‌ها در گذشته یا آینده. این فرایند از طریق تجزیه‌وتحلیل داده‌های اقلیمی و سایر اطلاعات مورد نیاز انجام می‌شود (فاضل‌نیا و دیگران، ۱۳۹۳: ۲۸). عواملی مانند شرایط جغرافیایی و طبیعی، از جمله متغیرهای مهم در مکان‌یابی و شکل‌گیری سکونتگاه‌های انسانی در ادوار مختلف تاریخ بشر بوده‌اند؛ به‌گونه‌ای که عوامل طبیعی در شکل‌گیری بسیاری از محوطه‌های باستانی نقش اساسی داشته‌اند (پورکریمی و دیگران، ۱۳۹۹). به‌طور کلی، در باستان‌شناسی دو نوع مدل پیش‌بین وجود دارد: مدل‌های پیش‌بین استقرایی و استنتاجی (علیرضازاده و دیگران، ۱۳۹۹: ۲۰۰). روش منطق فازی که در پژوهش حاضر به کار گرفته شده است، در زمره روش‌های استنتاجی قرار می‌گیرد.

طراحی مدل پیش‌بین یکی از کاربردهای مهم نرم‌افزارهای رایانه‌ای در زمینه مدل‌سازی است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، یکی از دلایل اصلی به‌کارگیری این روش در باستان‌شناسی، پیش‌بینی مناطقی است که احتمال وجود محوطه‌های باستانی در آن‌ها بیشتر است. فرضیه‌های اصلی این مدل‌ها عمدتاً بر اساس بررسی منابع زیست‌محیطی موجود در منطقه‌ای شکل می‌گیرند که برای پیش‌بینی موقعیت محوطه‌های باستانی انتخاب شده است. مبنای کار مدل‌های پیش‌بین این است که محوطه‌های باستانی در بسترهای محیطی مناسب برای سکونت انسان شکل گرفته‌اند. ازاین‌رو، با استفاده از داده‌های مناسب و بهره‌گیری از یک یا چند نمونه از محوطه‌های شناخته‌شده، می‌توان موقعیت احتمالی سایر محوطه‌های باستانی را در پهنه‌ای گسترده پیش‌بینی کرد. از دیگر مزایای این مدل‌ها، امکان به‌کارگیری آن‌ها در بخش‌هایی از منطقه است که تاکنون بررسی نشده‌اند و موقعیت محوطه‌های باستانی در آن‌ها ناشناخته مانده است (علیرضازاده و دیگران، ۱۳۹۹: ۱۹۶).

به‌کارگیری این روش مستلزم مطالعه دقیق محوطه‌های باستانی شناخته‌شده و برقراری ارتباط میان ویژگی‌های آن‌ها و شرایط زیست‌محیطی مختلفی است که قابلیت تبدیل شدن به نقشه را دارند. در فرایند انتخاب متغیرهای مورد نیاز مدل، ویژگی‌های محیطی محوطه‌های شناسایی‌شده به‌عنوان معیار در نظر گرفته می‌شوند و موقعیت احتمالی محوطه‌های جدید بر اساس تجمیع این ویژگی‌ها در یک مکان تخمین زده می‌شود. در واقع، مهم‌ترین کاربرد مدل‌های پیش‌بین باستان‌شناختی آن است که با تکیه بر یک یا چند نمونه از محوطه‌های کشف‌شده و شناسایی متغیرهای مؤثر بر تصمیم‌گیری انسان در انتخاب محل سکونت، موقعیت احتمالی محوطه‌های باستانی را در سایر بخش‌های یک منطقه تخمین بزنند و پیش‌بینی کنند.

مبانی نظری مدل‌های پیش‌بین بر مطالعه ارتباط میان انسان و رفتارهای انسانی از یک‌سو و متغیرهای محیطی یا فرهنگی از سوی دیگر استوار است. در این رویکرد، انتخاب یک محوطه برای سکونت از سوی انسان امری تصادفی تلقی نمی‌شود، بلکه این انتخاب بر اساس عواملی همچون نحوه توزیع منابع زیستی در محیط و ویژگی‌های یک پهنه طبیعی صورت می‌گیرد (Kohler & Parker, 1986). کهلر و پارکر نخستین پژوهشگرانی بودند که تعریفی از مدل‌های پیش‌بین ارائه کردند. بر اساس تعریف آن‌ها، این مدل‌ها می‌کوشند موقعیت مکانی محوطه‌های باستانی را با تکیه بر یک نمونه فرهنگی از همان منطقه پیش‌بینی کنند. دو عامل مهم در گسترش کاربرد این مدل‌سازی‌ها در باستان‌شناسی نقش داشته‌اند: نخست، ملاحظات اقتصادی و دوم، عامل زمان. هر دو عامل در کاهش هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای انجام پژوهش‌های باستان‌شناختی اهمیت بسزایی دارند (Kohler & Parker, 1986: 400).

مدل‌های پیش‌بین باید اصولی تبیینی برای توضیح الگوهای پراکنش محوطه‌های کشف‌شده ارائه دهند. در طراحی این مدل‌ها، باید مشخص باشد که پیش‌بینی با چه هدفی انجام می‌شود. همچنین، مدل‌های کارآمد باید به‌راحتی قابل فهم باشند، مراحل طراحی و ساخت آن‌ها به‌وضوح مشخص شده باشد و بتوانند با استفاده از مجموعه داده‌های موجود، بهترین پیش‌بینی ممکن را ارائه دهند (Verhagen, 2008).

در دهه‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در نقاط مختلف جهان و به‌ویژه در غرب آسیا، با هدف طراحی مدل‌های پیش‌بین برای شناسایی محوطه‌های پارینه‌سنگی و زیستگاه‌های باستانی انجام شده است. مارکر و حیدری‌گوران

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

برای نخستین بار از فنون داده‌کاوی و رگرسیون لجستیک به‌منظور پیش‌بینی موقعیت محوطه‌های پارینه‌سنگی در رشته‌کوه‌های زاگرس ایران استفاده کردند (Märker & Heydari-Guran, 2009). در همین راستا، پارو–سوچون و همکاران با به‌کارگیری روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)، پهنه‌های دارای پتانسیل بالای وجود محوطه‌های پارینه‌سنگی جدید را در جنوب لوانت (شرق مدیترانه) شناسایی کردند (Parow-Souchon et al., 2022: 53). از سوی دیگر، هم‌زمان با گسترش کاربرد هوش مصنوعی در باستان‌شناسی، سروش و همکاران با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی عمیق، الگوریتمی برای شناسایی خودکار قنات‌های باستانی در منطقه اربیل کردستان عراق طراحی کردند. این الگوریتم با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای کرونا، قنات‌های باستانی را شناسایی می‌کرد و ظرفیت بالای روش‌های یادگیری عمیق را در شناسایی عوارض و ساختارهای باستانی پنهان یا مدفون در مناطق غرب آسیا نشان داد (Soroush et al., 2020).

۳-۱. محوطه‌های باستانی در مناطق جنگلی و مدل منطق فازی

مناطق جنگلی به دلیل ویژگی‌های اقلیمی، از جمله میزان بارندگی، که بر خاک و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد، با تغییرات مداوم در تعادل طبیعی و فیزیکی محیط مواجه‌اند. این شرایط می‌تواند در بازه‌های زمانی کوتاه، موجب افزایش رسوب‌گذاری و تشدید فرسایش شود.

به دلیل حجم بالای رسوب‌گذاری و قدمت زیاد محوطه‌های پارینه‌سنگی در مناطق جنگلی، کشف محوطه‌های متعلق به این دوره با دشواری فراوانی همراه است. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر، مدلی پیش‌بین با استفاده از روش منطق فازی طراحی شده است که از قابلیت‌هایی همچون ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده برخوردار است. در مدل منطق فازی، درستی هر گزاره منطقی بر اساس درجه عضویت آن در یک مجموعه مشخص می‌شود. این ویژگی در مقایسه با مدل‌هایی همچون منطق بولین، که تنها دو حالت درست یا نادرست را در نظر می‌گیرند، امکان ارزیابی گزاره‌های منطقی را بر اساس درجات مختلف عضویت فراهم می‌کند. منطق فازی این توانایی را دارد که برخی داده‌ها و متغیرهای مبهم را به داده‌های ریاضی تبدیل کند و زمینه استدلال و تصمیم‌گیری بهتر را در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (نظری عدلی و کوهساری، ۱۳۸۶: ۵۸).

علم منطق، علم روش و اصول استدلال است (طاهری، ۱۳۸۴). مدل‌های سنتی مکان‌یابی، مانند مدل‌های ساده GIS یا مدل‌های مبتنی بر آستانه‌های سخت، معمولاً از منطق بولین (دودویی) استفاده می‌کنند؛ به این معنا که یک مکان یا «مناسب» (۱) است یا «نامناسب» (۰). این رویکرد در شرایط محیطی منطقه نوشهر و چالوس، که از پیوستگی مکانی و تغییرات تدریجی برخوردار است، کارآمدی محدودی خواهد داشت. منطق کلاسیک، همان‌گونه که بیشتر با آن آشنایی داریم، دوارزشی است؛ یعنی هر گزاره می‌تواند درست یا نادرست باشد که این دو حالت با مقادیر صفر و یک تعریف می‌شوند (طاهری، ۱۳۹۷). در مقابل، مدل‌سازی با منطق فازی، به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی عدم قطعیت، با پذیرش درجات عضویت بین صفر تا یک، امکان شناسایی و تحلیل مرزهای مبهم را فراهم می‌کند. در این مدل‌سازی، هر متغیر زیست‌محیطی ورودی، مانند ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و غیره، با استفاده از یک تابع عضویت (مانند توابع مثلثی، ذوزنقه‌ای یا گاوسی) به یک مجموعه فازی تبدیل می‌شود. به این ترتیب، یک پیکسل با مقدار مشخصی از شیب، لزوماً در مجموعه «شیب ایده‌آل» دارای درجه عضویت صفر نیست، بلکه ممکن است با درجه عضویت ۰٫۷ در مجموعه «شیب مناسب برای استقرار» قرار گیرد. در منطق چندارزشی، می‌توان بیش از دو ارزش، مانند سه یا چهار ارزش و حتی تعداد بیشتری ارزش، تعریف کرد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷).

روش منطق فازی، متغیرهای زیست‌محیطی به‌کاررفته در مدل پیش‌بینی را تجزیه‌وتحلیل می‌کند تا موقعیت‌های احتمالی محوطه‌های باستانی را مشخص سازد. مفهوم منطق فازی برای شبیه‌سازی دنیای واقعی به کار می‌رود؛ دنیایی که در آن شرایط زیست‌محیطی می‌توانند درجات متفاوتی از تناسب یا عدم تناسب داشته باشند (فاضل‌نیا و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۴۷). فازی بودن به معنای چندارزشی بودن پاسخ‌ها به هر پرسش است؛ به این معنا که به‌جای حالت دودویی، از طیفی پیوسته از ارزش‌ها استفاده می‌شود. منطق فازی ابتدا به‌عنوان روشی برای پردازش اطلاعات معرفی شد که برخلاف منطق دودویی و مبتنی بر مقادیر صفر و یک، دامنه‌ای پیوسته از صفر تا یک را بررسی می‌کند (مقصودی و دیگران، ۱۳۹۳). با توجه به کشف تنها دو محوطه (بندپی و ماشلک) در منطقه‌ای گسترده و جنگلی، داده‌های کافی برای استفاده از مدل‌های پیچیده یادگیری ماشینی یا روش‌های آماری مبتنی بر توزیع نرمال وجود ندارد. منطق فازی این امکان را فراهم می‌کند که با استفاده از دانش زمین‌شناسی و اطلاعات محیطی موجود، به‌جای ارائه یک «پیش‌بینی قطعی»، «فضای جست‌وجویی احتمالی» ایجاد شود. از سوی دیگر، منطقه مورد مطالعه در ابعاد ۲۴۰ در ۲۴۰ متر تحلیل می‌شود. منطق فازی امکان ارزیابی پیوسته سطح زمین را فراهم می‌کند؛ به این معنا که میزان تناسب هر پیکسل برای استقرار، بر اساس ترکیب متغیرها محاسبه می‌شود و خروجی نهایی، نقشه‌ای از درجات شایستگی خواهد بود. همچنین، با در نظر گرفتن تراز سطح دریا (حدود ۴۹ متر بالاتر از تراز کنونی)، متغیرهایی مانند «فاصله از خط ساحلی باستانی» که با ابهام مکانی همراه هستند، به‌نحو مناسب‌تری با استفاده از منطق فازی قابل مدل‌سازی خواهند بود.

در این روش، می‌توان نقشهٔ متغیرها را به‌گونه‌ای تهیه کرد که مقدار هر پیکسل، میزان اهمیت نسبی متغیر مربوطه را در مقایسه با سایر متغیرهای مکان‌یابی نیز نشان دهد. پس از تهیه نقشه‌های مربوط به هر یک از متغیرها، مقادیر عضویت موجود در آن‌ها با استفاده از عملگرهای فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند (فاضل‌نیا و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۴۷). انتخاب عملگرهای فازی مناسب برای ترکیب لایه‌های مختلف، با توجه به ارتباط و برهم‌کنش عوامل مربوط به آن لایه‌ها انجام می‌گیرد. بااین‌حال، نمی‌توان همه لایه‌های مورد نیاز را با یک عملگر ترکیب کرد. به همین دلیل، برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف در روش منطق فازی، به‌جای استفاده از یک عملگر واحد، شبکه‌های استنتاج فازی با بهره‌گیری از عملگرهای مختلف ایجاد می‌شوند. در شبکه‌های استنتاجی

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

طراحی‌شده، به‌جای آنکه همه متغیرها در یک مرحله با یکدیگر ترکیب شوند، عوامل بر اساس دانش متخصص تهیه‌کننده نقشه، ماهیت و نقش هر یک از آن‌ها در تعیین موقعیت محوطه‌ها و نیز ارتباط متقابل میان آن‌ها، درجه‌بندی می‌شوند و لایه‌های اطلاعاتی مرتبط، در مراحل مختلف با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

٤. مدل‌سازی در مناطق جنگلی نوشهر و چالوس

در مرحلهٔ نخست، داده‌های مورد نیاز پژوهش، چگونگی گردآوری و استخراج آن‌ها و روش‌های مورد استفاده برای انجام تحقیق معرفی می‌شوند. در مرحله دوم، متغیرهای محیطی و فرهنگی دو محوطهٔ ماشلک و بندپی تجزیه‌وتحلیل می‌شوند و نقشه‌های مرتبط با هر یک از این متغیرها مورد بررسی و توصیف قرار می‌گیرند. همچنین، موقعیت جغرافیایی محوطه‌های یادشده بر روی لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی جانمایی می‌شود تا اطلاعات لازم برای تحلیل و اجرای مدل پیش‌بین فراهم آید و تأثیر هر یک از متغیرها بر موقعیت این محوطه‌ها مشخص شود. برای انجام فرایند مدل‌سازی دو نوع داده مورد نیاز است:

- نوع نخست، موقعیت دقیق محوطه‌های باستانی ثبت شده از بررسی باستان‌شناختی است. محوطه‌های مورد مطالعه این پژوهش شامل دو محوطهٔ جنگلی بندپی و ماشلک است که در ابتدا مختصات جغرافیایی محوطه‌ها در نرم‌افزار Excel وارد و سپس به نرم‌افزار آرک مپ منتقل شدند.
- نوع دوم داده‌ها، متغیرهای محیطی هستند شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، میزان تابش آفتاب بر سطح زمین، فاصله از آبراهه که توسط مدل رقومی ارتفاع (نقشه‌های DEM) در نرم‌افزار Arc Map (۸ . ۱۰) استخراج شد. مدل رقومی ارتفاع (Digital elevetio model) مدل دیجیتال با نمایش سه بعدی از سطح زمین است که از پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (United States Geological Survey) با دقت دوازده و نیم متر دانلود شد.

نقشهٔ خاک و زمین‌شناسی منطقه با مقیاس یک صد هزارم از پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی خریداری و آماده انجام فرایند مدل‌سازی شدند. بعد از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا از داده‌ها در محیط نرم‌افزار فایل‌ها به صورت لایه Shape file ساخته شد و سپس در بانک اطلاعات مکانی (Geodatabase) ذخیره شدند تا با روش منطق فازی برای انجام تحلیل در محیط GIS آماده شوند.

پس از مطالعهٔ ویژگی‌های محیطی متغیرهای محوطه‌های روباز جنگلی پارینه‌سنگی بندپی و ماشلک در شهرستان نوشهر از جمله: زمین‌شناسی و ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه، فاصله از آبراهه، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، تابش آفتاب، پوشش گیاهی و خاک برای تحلیل نقش متغیرهای محیطی در مکان‌یابی محوطه‌های پارینه‌سنگی میانی در البرز مرکزی بررسی شدند (ر.ک جدول ۱).

در این پژوهش، برای تلفیق لایه‌های محیطی و تعیین الگوی توزیع احتمالی محوطه‌های پارینه‌سنگی در منطقهٔ مورد مطالعه (شهرستان‌های نوشهر و چالوس)، از یک رویکرد ترکیبی استفاده شد که فراتر از همپوشانی وزنی ساده بوده و متغیرها را بر اساس اصول ژئواستاتیستیک و تناسب مکانی مدل‌سازی می‌کند. برای دست‌یابی به این ویکرد، ابتدا لایه‌های رستری اولیه برای هر یک از هشت متغیر محیطی منتخب تهیه گردید. سپس متغیرها به پنج سطح کیفی (بسیار ضعیف، ضعیف، متوسط، مناسب و بسیار مناسب) با استفاده از دستور Reclassify طبقه‌بندی شدند. سپس، طبقات به‌دست آمده برای هر متغیر، با استفاده از ابزارFuzzy Membership و توابع مناسب، به درجات عضویت فازی (از ۰ تا ۱) تبدیل شدند تا عدم قطعیت مرزی آن‌ها لحاظ گردد.

با توجه به خط ساحلی دورهٔ پارینه‌سنگی جدید (صفر فرضی)، با استفاده از ابزار Extract by Mask و تعیین فاصله از این خط صفر، یک لایه فاصله مکانی اختصاصی تهیه شد. برای بهبود دقت مکانی و لحاظ کردن همبستگی‌های فضایی در توزیع داده‌ها، به جای وزن دهی خطی، از روش درونیابی Spline برای متغیرهایی با توزیع پیوسته و روش درونیابی IDW برای متغیرهای با توزیع یکنواخت استفاده شد تا توزیع محلی آن‌ها بهتر مدل‌سازی شود.

در ادامه، با هدف مدل‌سازی ساختار فضایی متغیرهای کلیدی، از روش کریجینگ استفاده شد. پس از فازی‌سازی و درونیابی، وزن‌های مشخصی (بر اساس جدول ۱) به هر یک از متغیرها اختصاص یافت. سپس، با استفاده از ابزار Raster Calculator، هر لایه فازی در وزن مربوط به خود ضرب شد. در مرحله نهایی، به‌منظور دستیابی به نقشه تناسب مکانی، لایه‌های وزن‌دهی‌شده با استفاده از ابزار Fuzzy Overlay با یکدیگر تلفیق شدند. در این مرحله، از عملگر گاما (Gamma) استفاده شد. این تلفیق به تولید نقشه‌ای با پنج طبقه تناسب مکانی، از «بسیار ضعیف» تا «بسیار مناسب»، در گستره دو شهرستان مورد مطالعه انجامید.

جدول ۱. مرتب‌سازی وزن متغیرها ثبت‌شده از چپ به راست بر اساس میزان ارزش
Table 1. Weights of environmental variables influencing Palaeolithic site formation

مجموع	جهت شیب	پوشش گیاهی	خاک	تابش آفتاب	فاصله از رود	شیب	ارتفاع	زمین‌شناسی
1	0.04	0.08	0.09	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23

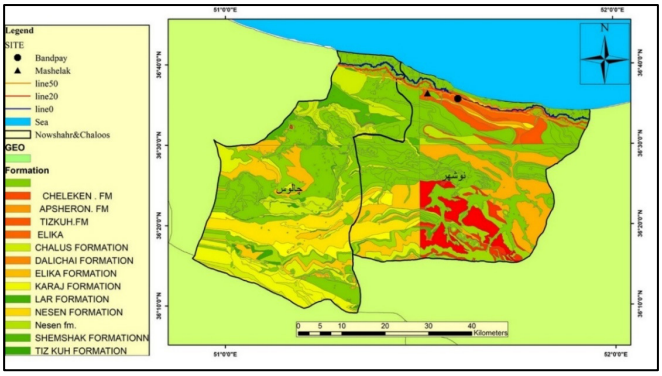
٤-١. زمین‌شناسی و ویژگی‌های زمین‌ساختی

دلیل انتخاب این متغیر آن است که انسان در دورهٔ پارینه‌سنگی، علاوه بر دسترسی به منابع آب و غذا، در مکان‌هایی استقرار می‌یافت که منابع خام مورد نیاز برای ساخت ابزار، به‌ویژه سنگ‌های مناسب ابزارسازی، در دسترس باشند. این ویژگی در دو محوطهٔ شناسایی‌شده بندپی و ماشلک، به‌صورت سنگ چرت موجود در بستر آهکی مشاهده می‌شود. ازاین‌رو، برای شناسایی سایر مکان‌هایی که این نوع سنگ یا دیگر سنگ‌های مناسب برای ابزارسازی در آن‌ها وجود دارد، لازم است نقشه‌های لیتولوژی (سنگ‌شناسی) و زمین‌شناسی منطقه به‌دقت بررسی شوند.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰٬۰۰۰، از آرشیو پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، در قالب لایه وکتوری و به‌صورت چندضلعی (پلیگون) تهیه شد. سپس، به‌منظور انجام تحلیل فازی، این نقشه به قالب رستری تبدیل شد. برای این منظور، بر اساس اطلاعات مندرج در جدول توصیفی نقشه، به سازندهای موجود در محدوده محوطه‌های بندپی و ماشلک و نیز سایر سازندهای دارای سنگ‌های مناسب برای ساخت ابزار، از جمله سازندهای تیزکوه، نسن، لار، چلکن و چالوس، امتیاز بالاتری اختصاص یافت و سایر سازندها امتیاز کمتری دریافت کردند (شکل ۵). بر همین اساس، به سنگ‌های مناسب ابزارسازی در منطقه، شامل چرت، توف، کنگلومرا و دولومیت، به دلیل اهمیت و قابلیت آن‌ها، امتیاز ۵ و به سایر سازندها، متناسب با ویژگی‌هایشان، امتیازهایی بین ۱ تا ۴ اختصاص داده شد (جدول ۲).

هر دو محوطهٔ بندپی و ماشلک بر روی سازند تیزکوه قرار گرفته‌اند که به دوره کرتاسه از دوران دوم زمین‌شناسی تعلق دارد و دارای سنگ‌بستر آهکی اوربیتولین‌دار و کنگلومرای بین‌لایه‌ای است. در بخش میانی سنگ‌بستر، نشانه‌هایی از بازالت با ضخامتی حدود ۴۰ متر مشاهده می‌شود و در بخش بالایی آن، لایه‌ای به ضخامت ۱۷۰ متر از سنگ آهک حاوی قلوه‌سنگ‌های چرت وجود دارد (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). پس از تبدیل لایه زمین‌شناسی به قالب رستری، با استفاده از تابع Near، مقادیر این لایه به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شد و در مرحله پایانی، لایه حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد.



شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 5. Geological map of the study area

جدول ۲. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر زمین‌شناسی

Table 2. Area and Percentage of Pixels across Geological Units

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
سازند الیکا	27.56	857.76
سازند لار	11.36	353.56
سازند چالوس	37.18	1157.17
سازند نسن	9.50	295.67
سازند تیزکوه	14.37	447.24
مجموع	100	3112.35

٤-١-١. ارتفاع از سطح دریا

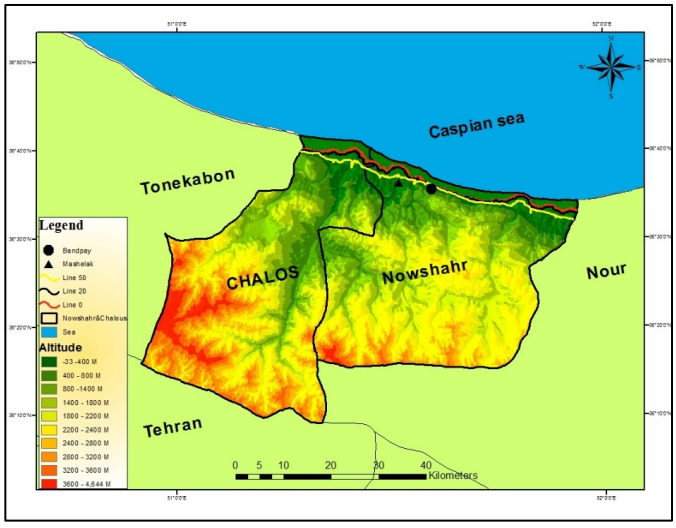
دلیل استفاده از متغیر ارتفاع از سطح دریا در منطقهٔ مورد نظر این بود که بنا به موقعیت جغرافیایی منطقه در دورهٔ پلیستوسن و نوسانات آب دریای مازندران که بیشترین میزان پیشروی را داشته است و خط ساحلی در دوره‌های شناسایی شده در این محوطه‌ها از ۵۰+[1] متر تا صفر از سطح آب‌های آزاد متغیر بوده است، خط ارتفاعی صفر در پایین‌ترین بخش و خط ارتفاعی ۴۶۴۴+[2] متر به‌عنوان بالاترین سطح برای طراحی مدل انتخاب شدند.

منطقهٔ مورد مطالعه از نظر ارتفاعی به ۹ طبقه ۴۰۰ متری و یک طبقه هزارمتری تقسیم شد. محوطهٔ ماشلک، با ارتفاع ۱۵۶ متر، در طبقه نخست و محوطه بندپی، با ارتفاع ۵۰۰ متر، در طبقه دوم قرار گرفت (شکل ۶). در ادامه، لایه ارتفاعی مجدداً طبقه‌بندی و به پنج طبقه تقسیم شد. در این مرحله، به محدوده ارتفاعی محل استقرار دو محوطه مورد نظر، تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر، امتیاز بالاتری اختصاص یافت و سایر طبقات ارتفاعی، متناسب با افزایش ارتفاع، از ارزش و اهمیت کمتری برخوردار شدند. در نهایت، مقادیر این لایه با استفاده از تابع گوسی (Gaussian) به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شد و سپس، بر اساس وزن تعیین‌شده در جدول اوزان، لایه ارتفاع از سطح دریا در وزن مربوط به خود ضرب شد (جدول ۳).

جدول ۳. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر ارتفاع از سطح دریا

Table 3. Area and Percentage of Pixels across Elevation Classes above Sea Level

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
3500-4644m	9.81	305.32
2500-3500m	28.20	877.68
1500-2500	20.70	644.25
1000-1500m	17.73	551.81
0-1000m	23.55	732.95
مجموع	100	3112.35



شکل ٦. نقشه ارتفاع از سطح دریا منطقه مورد مطالعه

Figure 6. Elevation map of the study area

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

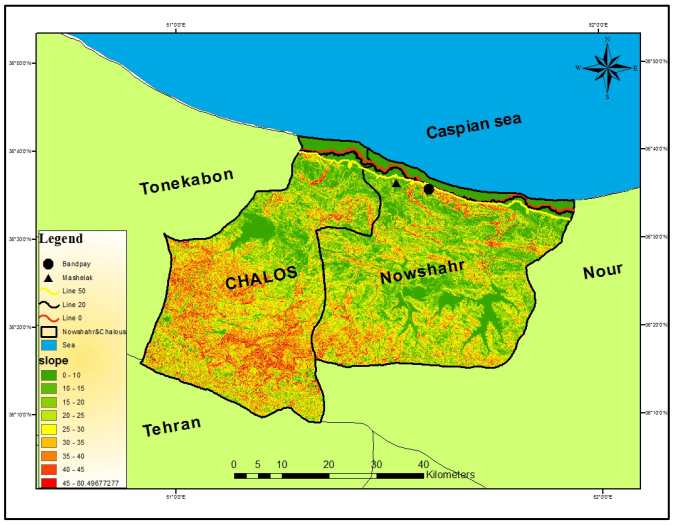
٤-١-٢. شیب

دلیل استفاده از این متغیر آن است که سکونتگاه‌های انسانی در هر میزان شیبی از زمین شکل نمی‌گرفته‌اند. برای مثال، استقرار انسان در شیب‌های بیش از ۴۵ درجه، به‌ویژه در مناطق جنگلی و کوهستانی، تقریباً غیرممکن بوده است. این محدودیت در طراحی مدل پیش‌بین مورد توجه قرار گرفت. بر همین اساس، برای فازی‌سازی لایهٔ شیب از تابع Near استفاده شد.

جدول ٤. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر شیب

Table 4. Area and Percentage of Pixels across Slope Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
40-80°	8.79	273.57
30-40°	23.69	737.31
20-30°	26.29	818.23
10-20°	24.29	755.98
0-10°	16.91	526.29
مجموع	100	3112.35



شکل ۷. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

Figure 7. Slope map of the study area

نقشهٔ شیب منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت مکانی ۱۲٫۵ متر استخراج شد. در مرحلهٔ نخست، شیب دو شهرستان چالوس و نوشهر در ۹ طبقه شامل صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰، ۲۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۳۰، ۳۰ تا ۳۵، ۳۵ تا ۴۰، ۴۰ تا ۴۵ و ۴۵ تا ۸۰ درجه طبقه‌بندی شد. سپس، میزان شیب در دو محوطه مورد نظر محاسبه شد. نتایج نشان داد که شیب محوطه بندپی در محدوده ۱۵ تا ۴۵ درجه متغیر است، درحالی‌که محوطهٔ ماشلک در محدودهٔ شیب صفر تا ۱۵ درجه قرار دارد (شکل ۷). پس از طبقه‌بندی اولیه، لایه شیب مجدداً به پنج طبقه تقسیم شد. در این مرحله، به محدودهٔ شیب‌های موجود در دو محوطه مورد نظر، بالاترین درجه اهمیت (امتیاز ۵) اختصاص یافت و سایر طبقات، متناسب با میزان تناسب آن‌ها، امتیازهای پایین‌تری دریافت کردند. در ادامه، لایه طبقه‌بندی‌شده شیب زمین با استفاده از تابع Near به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شد و سپس در وزن تعیین‌شده برای این متغیر، مطابق با جدول اوزان، ضرب شد (جدول ۴).

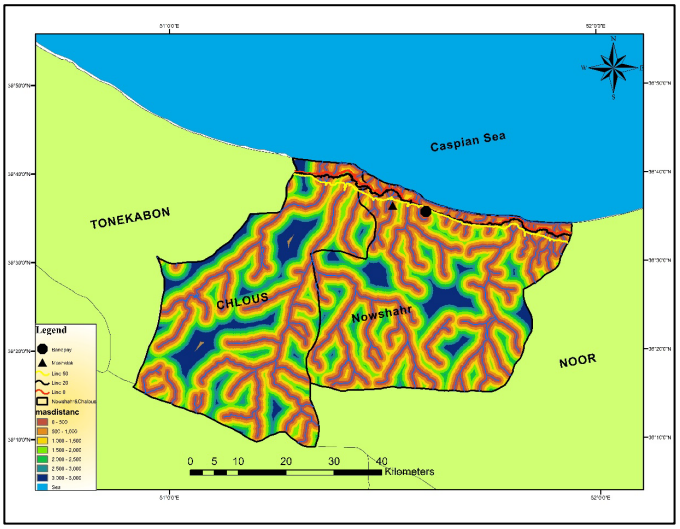
٤-١-٣. فاصله از رود

منابع آبی و فاصله از رودخانه‌ها همواره یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی سکونتگاه‌های انسانی در دوره‌های مختلف تاریخی بوده‌اند؛ زیرا سکونتگاه‌ها عمدتاً در مناطقی شکل می‌گرفتند که دسترسی آسان‌تری به منابع آب داشتند. رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب شیرین به شمار می‌روند و بسیاری از استقرارگاه‌های انسانی در حاشیه رودخانه‌ها و دریاها شکل گرفته‌اند. بااین‌حال، در مورد دو محوطه مورد مطالعه، مسئله دسترسی به آب شرایط متفاوتی دارد؛ زیرا به دلیل بارندگی فراوان، وجود چشمه‌سارهای متعدد و رطوبت زیاد، کمبود آب عموماً احساس نمی‌شود. ازاین‌رو، فاصله از منابع آبی به‌عنوان یکی از متغیرهای اصلی و اثرگذار در مدل انتخاب نشد. در مرحلهٔ نخست، پس از تهیهٔ نقشه رودخانه‌های منطقه و تقسیم آن به ۱۰ طبقه، فاصله دو محوطهٔ مورد نظر از نزدیک‌ترین رودخانه‌ها محاسبه شد. محوطهٔ بندپی در فاصله ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از رودخانه خیرودکنار نوشهر و محوطه ماشلک در فاصله حدود ۵۰۰ متری از رودخانه ماشلک قرار دارد (شکل ۸). پس از طبقه‌بندی اولیه، لایهٔ فاصله از رودخانه مجدداً به پنج طبقه تقسیم شد. در این مرحله، به محدودهٔ فاصله‌ای متناظر با موقعیت دو محوطه، بالاترین درجهٔ اهمیت اختصاص یافت. سپس، مقادیر این لایه با استفاده از تابع Near به بازهٔ صفر تا یک فازی تبدیل شد و در مرحلهٔ پایانی، لایهٔ حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد (جدول ۵).

جدول ۵. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر فاصله از رود

Table 5. Area and Percentage of Pixels across Distance-from-River Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
4000-5000m	8.77	272.95
3000-4000m	12.96	403.36
2000-3000m	10.89	338.93
1000-2000m	12.90	401.49
0-1000m	54.46	1694.98
مجموع	100	3112.35



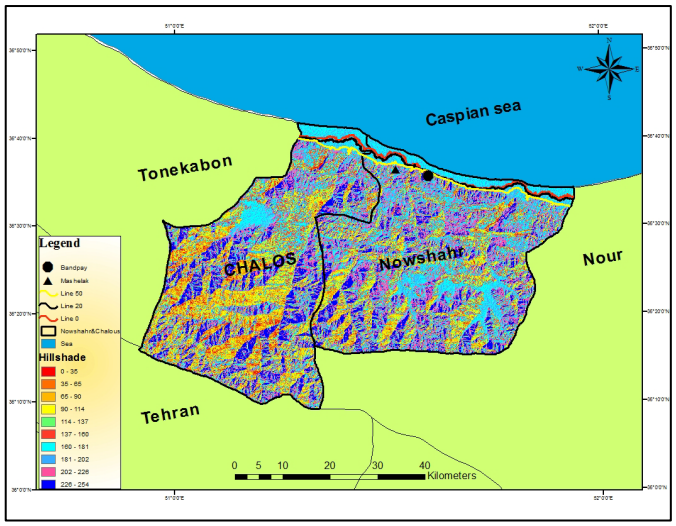
شکل ۸. نقشه موقعیت محوطه‌های باستانی نسبت به فاصله از رود

Figure 8. Map showing the location of archaeological sites in relation to distance from rivers

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

٤-١-٤. تابش آفتاب

نقشهٔ سایه‌روشن (Hillshade) یا مدل بازنمایی میزان تابش نور خورشید بر سطح زمین، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج شد. این متغیر نیز بر اساس تنظیمات پیش‌فرض نرم‌افزار به ۱۰ طبقه تقسیم شد. نقشه سایه‌روشن، موقعیت منبع نور (خورشید) را نسبت به شیب و جهت شیب زمین بازنمایی می‌کند. بر این اساس، شیب‌ها و مناطقی که از نظر میزان و مدت قرارگیری در معرض تابش نور خورشید با موقعیت دو محوطه ماشلک و بندپی شباهت بیشتری داشتند، از درجه اهمیت بالاتری برخوردار شدند. موقعیت دو محوطه بندپی و ماشلک در محدوده زاویه‌ای ۱۳۷ تا ۲۲۶ درجه قرار دارد (شکل ۹).



شکل ۹. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به زاویه تابش آفتاب

Figure 9. Map showing the study area in relation to solar radiation angle.

این لایه نیز، مانند سایر لایه‌ها، پس از طبقه‌بندی اولیه به پنج طبقه تقسیم شد. سپس، به طبقات متناظر با میزان تابش نور خورشید در دو محوطه مورد مطالعه، ارزش بالاتری اختصاص یافت. در ادامه، مقادیر این لایه به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شدند و در نهایت، لایه حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد (جدول ۶).

جدول ٦. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر تابش آفتاب

Table 6. Area and Percentage of Pixels across Solar Radiation Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
0-70°	17.70	550.88
70-100°	5.36	166.82
230-260°	2.45	76.25
100-130°	2.68	83.41
130-230°	71.79	2234.35
مجموع	100	3112.35

٤-١-٥. خاک

از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های جنگل‌های شمال کشور عمدتاً تحول یافته‌اند و از نظر تیپ، شامل خاک‌های راندزین قهوه‌ای جنگلی (آهکی، اتروف و هیدرومورف) و خاک‌های رانکر در ارتفاعات بالا هستند (مروی مهاجر، ۱۳۸۵).

خاک‌های این ناحیه در شرایط اقلیمی بسیار مطلوب و تحت تأثیر عواملی همچون وجود مواد آهکی، پوشش گیاهی متراکم و متنوع جنگلی، متشکل از درختان پهن‌برگ، و توپوگرافی متغیر شکل گرفته‌اند. ازاین‌رو، ویژگی‌های خاک با توجه به تغییرات ارتفاع، شیب و شرایط اقلیمی متفاوت است. در ارتفاعی معین، خاک‌های واقع بر دامنه‌های شمالی، به دلیل برخورداری از شرایط رطوبتی مطلوب‌تر، از پوشش گیاهی انبوه‌تری برخوردارند؛ درحالی‌که دامنه‌های جنوبی، به دلیل دریافت میزان بیشتری از تابش خورشیدی، گرم‌تر هستند و در مقایسه با دامنه‌های شمالی هم‌ارتفاع خود، مواد آلی کمتری دارند (ابطحی و نویدی، ۱۳۸۰). نقشهٔ خاک منطقه از پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی تهیه شد. این نقشه به‌صورت لایه وکتوری و در قالب چندضلعی (پلیگون) در دسترس بود. پس از اختصاص امتیاز به انواع خاک، نقشه برای انجام تحلیل نهایی به قالب رستری تبدیل و در نرم‌افزار طبقه‌بندی شد. در این مرحله، واحدهای خاک‌شناسی به پنج طبقه تقسیم شدند که چهار طبقه از آن‌ها عبارت‌اند از: Alfisols، Mollisols، Inceptisols و Entisols. دو محوطه مورد مطالعه در محدوده خاک‌های Mollisols قرار گرفته‌اند. سپس، با استفاده از تابع خطی (Linear)، مقادیر این لایه به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شدند (شکل ۱۰).

مولیسول‌ها (Mollisols): این خاک‌ها دارای افق سطحی تیره و سرشار از مواد آلی هستند و از بافتی نرم و مناسب برخوردارند. مولیسول‌ها حاصلخیزی بالایی دارند و ظرفیت مناسبی برای جذب و نگهداری رطوبت نشان می‌دهند (غضبان، ۱۳۹۲: ۲۸۱). پس از تبدیل نقشه خاک به قالب رستری، مقادیر این لایه به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شد و در مرحله پایانی، لایه حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد (جدول ۷).

جدول ۷. درصد و مساحت پیکسل‌های متغیر خاک

Table 7. Area and Percentage of Pixels across Soil Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
ماسه های ساحلی	0.48	14.93
انتی سویل	1.76	54.77
اینسپتی سویل	7.13	221.91
آلفی سویل	10.48	326.17
مولی سویل	80.13	2493.92
مجموع	100	3112.35

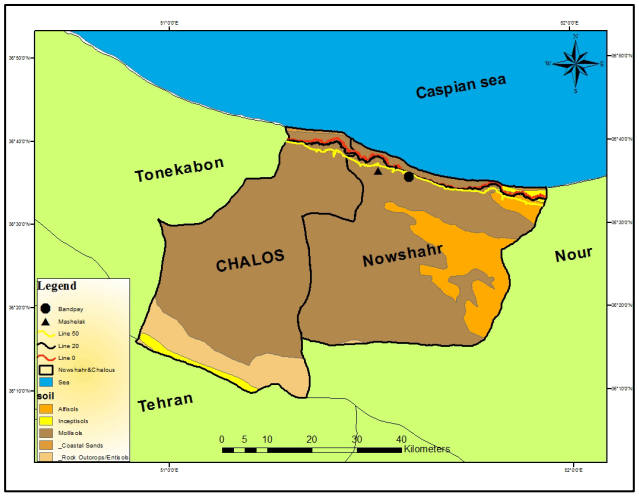
آلفیسول‌ها (Alfisols): این خاک‌ها در مناطق نیمه‌خشک تا مرطوب تشکیل می‌شوند. افق زیرین آن‌ها معمولاً دارای تجمع رس و غنی از مواد غذایی است و اغلب با پوشش گیاهی نسبتاً متراکم همراه‌اند. این خاک‌ها عموماً حاصلخیزند و در محیط‌های جنگلی نیز تشکیل می‌شوند.

انتی‌سول‌ها (Entisols): این خاک‌ها از تکامل و تحول اندکی برخوردارند و معمولاً ویژگی‌های اولیه مواد مادری یا سنگ بستر را حفظ کرده‌اند. انتی‌سول‌ها در محیط‌های متنوعی، از جمله دامنه‌های پرشیب، دشت‌های سیلابی و تپه‌های شنی، تشکیل می‌شوند. این خاک‌ها اغلب در مناطق دارای

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

رسوبات جوان، از جمله دشت‌های سیلابی، حاشیه رودخانه‌ها و پهنه‌های پوشیده از رسوبات آتشفشانی، مشاهده می‌شوند.

اینسپتی‌سول‌ها (Inceptisols): این خاک‌ها از تکامل نسبتاً اندکی برخوردارند و در مراحل اولیه تشکیل خاک قرار دارند. فرایندهای هوازدگی و تحول در آن‌ها هنوز پیشرفت چندانی نکرده است. اینسپتی‌سول‌ها اغلب به‌صورت کم‌عمق، بر روی سنگ بستر و در زمین‌های پرشیب تشکیل می‌شوند.

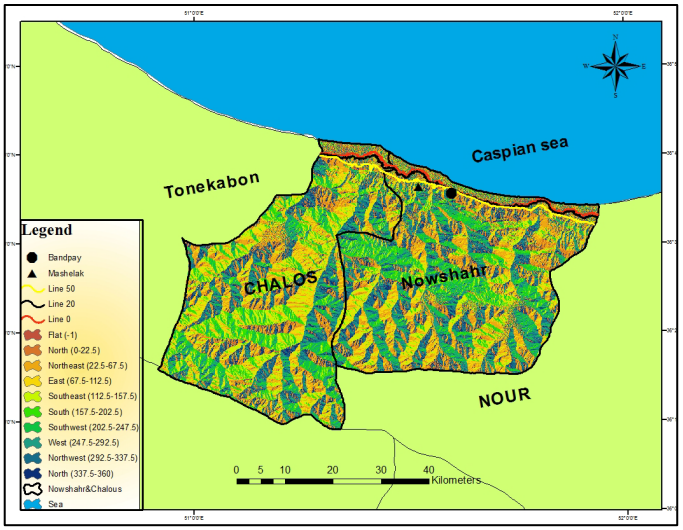


شکل ۱۰. نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

Figure 10. Soil map of the study area.

٤-١-٦. جهت شیب

در نقشهٔ جهت شیب، هشت جهت شامل چهار جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق و غرب) و چهار جهت فرعی (شمال‌شرقی، شمال‌غربی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی) در نظر گرفته شد. دامنه‌های محوطهٔ بندپی دارای چهار جهت شمالی، شمال‌شرقی، شرقی و جنوب‌شرقی هستند، درحالی‌که دامنه‌های محوطه ماشلک در دو جهت جنوبی و جنوب‌غربی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

Figure 11. Slope aspect map of the study area

لایهٔ جهت شیب نیز پس از طبقه‌بندی اولیه، مجدداً به پنج طبقه تقسیم شد. در این مرحله، به جهت‌های شیب متناظر با موقعیت دو محوطه مورد مطالعه، ارزش بالاتری اختصاص یافت. سپس، مقادیر این لایه با استفاده از تابع مورد نظر به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شدند و در مرحله پایانی، لایه حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد (جدول ۸).

جدول ۸. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر جهت شیب

Table 8. Area and Percentage of Pixels across Slope Aspect Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
جنوب	21.54	670.40
جنوب شرق	16.62	517.27
شرق	16.64	517.89
شمال شرق	20.33	632.74
شمال	24.85	773.41
مجموع	100	3112.35

٤-١-٧. پوشش گیاهی

دامنهٔ شمالی رشته‌کوه البرز از جمله مناطقی است که شواهدی از بقایای پوشش گیاهی دوران ترشیاری در آن مشاهده شده است. ارتفاعات بلند البرز موجب صعود توده‌های هوای مرطوب، تراکم بخار آب و افزایش بارندگی در دامنه شمالی این رشته‌کوه می‌شوند. این شرایط اقلیمی، زمینه‌ساز شکل‌گیری آب‌وهوای معتدل و مرطوب و گسترش جنگل‌های هیرکانی شده است. این پوشش گیاهی، با وجود تغییرات و تحولات اقلیمی، از دوران ترشیاری تاکنون در این منطقه تداوم یافته است. در دوران پلیستوسن نیز، با وجود تغییرات اقلیمی، شماری از گونه‌های گیاهی بازمانده از دوران ترشیاری توانستند خود را با شرایط محیطی جدید سازگار کنند و به حیات خود ادامه دهند. برخی از این گونه‌ها دامنه پراکنش خود را گسترش دادند و در مواردی نیز گونه‌های جدیدی پدید آمدند. یکی از عوامل اصلی تراکم پوشش گیاهی در این منطقه، میزان رطوبت مناسب و فراوانی بارندگی است.

نقشهٔ پوشش گیاهی استان مازندران از اداره کل منابع طبیعی مازندران ـ نوشهر تهیه شد. بر اساس این نقشه، پوشش گیاهی دو شهرستان چالوس و نوشهر در چهار طبقه دسته‌بندی شده است:

۱. مراتع مرغوب و استپی، گاه همراه با درختان پراکنده؛

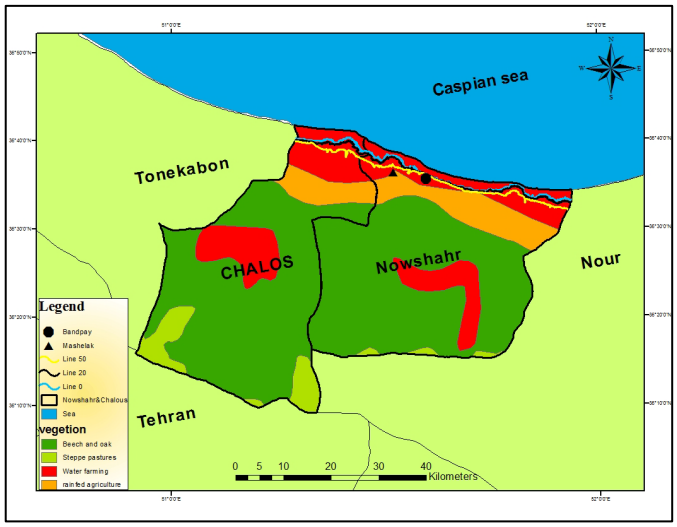
۲. اراضی کشاورزی آبی؛

۳. اراضی کشاورزی دیم، به همراه دیم‌زارهای خزر؛

۴. جنگل‌های راش و بلوط پهن‌برگ.

بر اساس این طبقه‌بندی، موقعیت دو محوطه مورد مطالعه بر روی نقشه پوشش گیاهی جانمایی شد. نتایج نشان داد که محوطهٔ بندپی در محدودهٔ اراضی کشاورزی آبی و محوطهٔ ماشلک در محدودهٔ اراضی کشاورزی دیم، به همراه دیم‌زارهای خزر، قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۱۲. نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

Figure 12. Vegetation cover map of the study area

شایان ذکر است که نقشه پوشش گیاهی به‌صورت لایه وکتوری و در قالب چندضلعی (پلیگون) تهیه شده بود. برای انجام تحلیل فازی، ابتدا بر اساس اطلاعات مندرج در جدول توصیفی نقشه، به طبقات مختلف پوشش گیاهی امتیاز اختصاص یافت. در این مرحله، به دو طبقه‌ای که محوطه‌های بندپی و ماشلک در آن‌ها قرار داشتند، متناسب با موقعیت محوطه‌های شناسایی‌شده، امتیاز ۴ و به سایر طبقات امتیازهای کمتری داده شد. سپس، لایه وکتوری به قالب رستری تبدیل شد. در ادامه، با استفاده از تابع خطی (Linear)، مقادیر این لایه به بازه صفر تا یک فازی تبدیل شدند و در مرحله پایانی، لایه حاصل در وزن تعیین‌شده برای این متغیر ضرب شد (جدول ۹).

جدول ۹. مساحت و درصد پیکسل‌های متغیر پوشش گیاهی

Table 9. Area and Percentage of Pixels across Vegetation Cover Classes

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
پهن برگ خزری	4.8	149.39
کشاورزی آبی	66.05	2055.70
کشاورزی دیم	19.71	613.44
مراتع	9.45	294.11
مجموع	100	3112.35

۵. مدل نهایی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف طراحی مدلی مکانی و کارآمد برای پیش‌بینی استقرارگاه‌های پارینه‌سنگی میانی در شهرستان‌های نوشهر و چالوس انجام شد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از چارچوب منطق فازی و تلفیق هشت متغیر محیطی کلیدی شامل زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، فاصله از منابع آبی، تابش آفتاب، خاک، پوشش گیاهی و جهت شیب، و با استفاده از داده‌های دو محوطه تأییدشده بندپی و ماشلک، مدل نهایی طراحی شد.

طراحی مدل مکانی مبتنی بر منطق فازی، رویکردی کارآمد برای پیش‌بینی مکان‌های استقرار پارینه‌سنگی فراهم می‌آورد؛ زیرا این مدل امکان کمی‌سازی ارتباط میان موقعیت استقرارگاه‌ها و ویژگی‌های مهم محیطی، به‌ویژه دسترسی به منابع اولیه، را فراهم می‌کند. یکی از یافته‌های کلیدی پژوهش، اهمیت متغیر زمین‌شناسی در مدل است. نتایج تحلیل تأثیر متغیرها نشان داد که این متغیر بیشترین وزن را در تعیین تناسب مکانی محوطه‌ها به خود اختصاص داده است. این یافته بر اهمیت دسترسی به سنگ‌های مناسب برای ساخت ابزار، از جمله سنگ‌های موجود در سازندهای کربناته و حاوی چرت، در انتخاب مکان استقرار در دوره پارینه‌سنگی تأکید دارد.

مبنای طراحی مدل بر این فرض استوار است که انسان در دوره پارینه‌سنگی، در وهله نخست، به منابع مورد نیاز برای ساخت ابزار، آب و غذا دسترسی داشته است. ازاین‌رو، متغیرهای مرتبط با این منابع، به‌ویژه زمین‌شناسی و هیدرولوژی، در لایه نهایی وزن بیشتری دریافت کرده‌اند. لایه‌های فازی‌شده مربوط به هشت متغیر محیطی با استفاده از عملگر گاما (Gamma) با یکدیگر تلفیق شدند. این فرایند، امکان ترکیب و ارزیابی هم‌زمان متغیرهای مختلف را در چارچوبی یکپارچه فراهم کرد. در خروجی مدل پیش‌بین، پس از انجام مکان‌یابی فازی، منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه پتانسیل، از «بسیار ضعیف» تا «بسیار مناسب»، تقسیم شد (جدول ۱۰). بر اساس نقشه نهایی، نزدیک به ۱۱ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه «بسیار مناسب» قرار گرفت که در نقشه با رنگ سبز مشخص شده است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

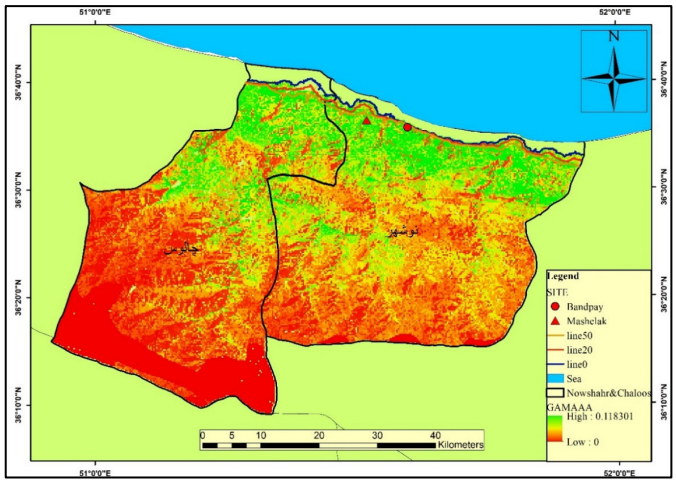
جدول ۱۰. اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی مدل نهایی

Table 10. Summary of Final Model Classification

طبقات	درصد	مساحت به کیلومتر مربع
خیلی کم	35.00	1089.44
کم	25.63	797.87
متوسط	18.30	569.60
زیاد	12.97	403.89
خیلی زیاد	8.08	251.53
جمع کل	100	3112.35

این مناطق بسیار مناسب، از ترکیب ویژگی‌هایی همچون سازندهای زمین‌شناسی مطلوب، حاوی سنگ‌های مناسب برای ابزارسازی و محیط‌های کارستی، شیب‌های ملایم، دسترسی آسان به آب شیرین، خاک‌های غنی از هوموس و میزان مناسب تابش آفتاب برخوردارند. مجموع این ویژگی‌ها می‌تواند شرایط مطلوبی را برای استقرار انسان در دوره پارینه‌سنگی فراهم کرده باشد. در مقابل، متغیر جهت شیب، با وجود برخورداری از اهمیت، کمترین وزن را در مدل به خود اختصاص داد. در مجموع، این پژوهش می‌تواند از جست‌وجوی تصادفی در مناطق جنگلی، که عموماً از پوشش گیاهی متراکمی برخوردارند، جلوگیری کند و فرایند شناسایی استقرارگاه‌ها را هدفمندتر و کم‌هزینه‌تر سازد. همچنین، نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل ترکیبی GIS و منطق فازی، رویکردی کاربردی برای هدایت بررسی‌ها و کاوش‌های آینده و شناسایی شواهد جدید فراهم می‌آورد.

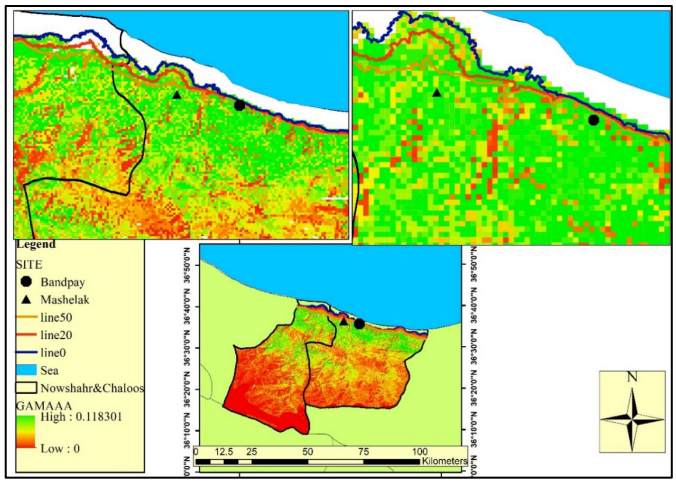
[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۱۳. مدل نهایی، رنگ سبز به معنی بیشترین احتمال و رنگ قرمز به معنی کمترین احتمال وجود محوطه پارینه‌سنگی است.

Figure 13. Final predictive model, where green indicates the highest probability and red indicates the lowest probability of Palaeolithic site occurrence

مدل طراحی‌شده، ابزاری برای شناسایی و پیش‌بینی مکان‌های دارای پتانسیل استقرارگاه‌های پارینه‌سنگی میانی در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد. این مدل، علاوه بر پاسخ‌گویی به پرسش اصلی پژوهش، با مشخص کردن پهنه‌های دارای پتانسیل بیشتر، می‌تواند به کاهش زمان و هزینه بررسی‌های باستان‌شناختی در آینده کمک کند. تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و سایر متغیرهای محیطی با منطق فازی نیز این امکان را فراهم می‌آورد تا پیچیدگی‌های محیطی مؤثر بر تصمیم‌گیری‌های مکانی انسان در گذشته، به‌صورت کمی و قابل ارزیابی مدل‌سازی شوند.



شکل ۱۴. بزرگ‌نمایی نقشه نهایی برای رویت پیکسل‌های (با ابعاد ۲۴۰ در ۲۴۰ متر در طبیعت) مورد بررسی موجود در نقشه

Figure 14. Enlarged view of the final map showing the pixels under study (each with dimensions of 240 × 240 meters in the field)

سپاسگزاری: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی افرادی که در تهیه اطلاعات کمک و همراهی کردند و همچنین داوران محترم که با ارائه نظر باعث بهبودی مطالب مقاله شده‌اند، تشکر کنند.

مشارکت نویسندگان: این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول (س.ک) به راهنمایی نویسنده دوم (م.ق) و مشاوره نویسنده سوم (ق.ل) است و سهم تمامی نویسندگان در محتوا برابر است.

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده ها و مواد: داده‌ها در داخل مقاله گنجانده شده است.

پی‌نوشت‌ها

[۱] لازم به ذکر است که سطح آب دریای مازندران امروزه ۲۹- متر است و این دریا به دلیل نوسانات پیاپی از بدو شکل‌گیری تا کنون به صورت مداوم پیشروی و پسروی خط ساحلی داشته است. بیشترین پیشروی خط ساحلی ۵۰+ متر در پارینه‌سنگی میانه و دوران خوالینین در دوره‌بندی نوسانات آب این دریاست که تقریباً ۷۹ متر بالاتر از سطح امروزی بوده است و کمترین سطح آب دریا در بازه زمانی مورد بحث این پژوهش یعنی در دوره پارینه‌سنگی جدید حدود صفر بوده است (قمری فتیده و دیگران، ۱۳۹۴).

[۲] به علت سردی هوا و یخچال‌های طبیعی و دوره یخبندان و شیب زیاد در ارتفاع بالا امکان وجود سکونت‌گاه نبوده است.

References

Alirezazadeh, M., Heydarian, M., & Khosrozadeh, A. (2020). GIS and fuzzy logic in the management of cultural resources: Presenting the predictive model of Chalcolithic sites in Chaharmahal and Bakhtiari. *Journal of Archaeological Studies, 12*(3), 42–65. https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.269316.142640 [In Persian]

Darvishzadeh, A. (2001). *Geology of Iran*. Amirkabir Publications. [In Persian]

Fazelnia, Q., Hakildoust, Y., & Baliyani, Y. (2014). *Comprehensive guide on GIS application models*. Azadpeyma Publications. [In Persian]

Ghamari Fatideh, M., Vahdatinasab, H., & Mousavi Kouhpar, S. M. (2015). Fluctuations of Caspian Sea level and its impacts on distribution of archaeological sites in southeastern coasts (1st to 3rd millennium BC). *Natural Geography Studies*, 37–56. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53677 [In Persian]

Kohler, T. A., & Parker, S. C. (1986). Predictive models for archaeological resource location. In M. B. Schiffer (Ed.), *Advances in archaeological method and theory* (Vol. 9, pp. 397–452). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-003109-2.50011-8

Maghsoudi, M., Zamanzadeh, M., Ehdaei, A., Yousefi Zoshk, R., & Yamani, M. (2014). Analyzing the role of environmental factors in positioning prehistoric residences in Varamin Plain using fuzzy logic. *Human Sciences Research Center for Planning and Spatial Logistic, 19*(3). https://hsmsp.modares.ac.ir/article_14492.html [In Persian]

Märker, M., & Heydari-Guran, S. (2009). Application of data-mining technologies to predict Paleolithic site locations in the Zagros Mountains of Iran. In J. Crawford & D. Koller (Eds.), *Making history interactive: Computer applications and quantitative methods in archaeology (Proceedings of the 37th CAA Conference, Williamsburg, Virginia)* (pp. 1–7). Archaeopress.

Marvi Mohajer, M. (2006). *Forestry and forest culture*. University of Tehran

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.107]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:37 +0330 on Sunday November 15th 2026

ابطحی، سیدعلی، و نویدی، میرناصر. (۱۳۸۰). اثرات اقلیم و پستی‌وبلندی در پیدایش خاک‌های جنگلی خیرودکنار نوشهر در استان مازندران. *نشریه علوم خاک و آب*، ۱۵(۲)، ۲۹۹–۳۱۶.

پورکریمی، پرویز، حاجی‌زاده، کریم، رضالو، رضا، و افخمی، بهروز. (۱۳۹۹). تحلیل نقش عوامل طبیعی در توزیع فضایی سکونتگاه‌های قلعه‌ای استان اردبیل با استفاده از GIS و AHP. *مطالعات باستان‌شناسی*، ۱۲(۱)، ۱۹–۴۰. https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.261578.142594

درویش‌زاده، علی. (۱۳۷۰). *زمین‌شناسی ایران*. تهران: نشر دانش امروز، انتشارات امیرکبیر.

طاهری، سیدمحمود. (۱۳۸۴). سیمای منطق فازی. *فرهنگ و اندیشه ریاضی*، ۲۴(۲)، ۷۳–۹۲.

طاهری، سیدمحمود، ایروانی قدیم، فرشید، و کبیریان، محمدعلی. (۱۳۹۷). مقدمه‌ای بر استفاده از ریاضیات فازی در باستان‌شناسی (مورد مطالعاتی: بازسازی مجازی برج طغرل با استفاده از قابلیت اعتماد فازی). *پژوهه باستان‌سنجی*، ۴(۲)، ۳۵–۴۸. https://doi.org/10.29252/jra.4.2.35

علیرضازاده، مهدی، حیدریان، محمود، و خسروزاده، علیرضا. (۱۳۹۹). کاربرد GIS و منطق فازی در مدیریت منابع فرهنگی: ارائه مدل‌های پیش‌بین محوطه‌های مس‌وسنگ چهارمحال و بختیاری. *مطالعات باستان‌شناسی*، ۱۲(۳)، ۴۲–۶۵. https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.269316.142640

غضبان، فریدون. (۱۳۹۲). *زمین‌شناسی زیست‌محیطی (چاپ هفتم)*. تهران: دانشگاه تهران.

فاضل‌نیا، غریب، حکیم‌دوست، یاسر، و بلیانی، یدالله. (۱۳۹۳). *راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS*. تهران: انتشارات آزادپیما.

فصلنامه آماری مازندران. (۱۳۹۹). *سازمان برنامه و بودجه کشور؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی مازندران*.

قمری فتیده، محمد، وحدتی‌نسب، حامد، و موسوی کوهپر، سیدمهدی. (۱۳۹۴). نوسانات آب دریای مازندران از هزاره سوم ق.م. تا هزاره اخیر و تأثیر آن بر پراکنش مراکز استقراری در جنوب شرق دریای مازندران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۳۷–۵۶. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53677

مروی مهاجر، محمدرضا. (۱۳۸۵). *جنگل‌شناسی و پرورش جنگل*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

معتمد، احمد. (۱۳۷۶). *کواترنر (زمین‌شناسی دوران چهارم)*. انتشارات دانشگاه تهران.

مقصودی، مهران، زمان‌زاده، محمد، اهدایی، افسانه، یوسفی زشک، روح‌الله، و یمانی، مجتبی. (۱۳۹۳). تحلیل نقش عوامل محیطی در مکان‌گزینی سکونتگاه‌های پیش‌ازتاریخ دشت ورامین با استفاده از منطق فازی. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱۹(۳). https://hsmsp.modares.ac.ir/article_14492.html

نظری عدلی، سعید، و کوهساری، محمدجواد. (۱۳۸۶). تلفیق منطق بولین و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی AHP با استفاده از GIS. *شهرنگار*، ۷(۴۰).

وحدتی‌نسب، حامد، ابوالفتحی، مهکامه، فاضلی نشلی، حسن، عسگری خانقاه، اصغر، بریون، ژیل، و شوریه، بنوا. (۱۳۹۳). فناوری و گونه‌شناسی مجموعه دست‌افزارهای سنگی محوطه روباز پارینه‌سنگی جدید گرم‌رود ۲، بلیران، آمل، مازندران. *فصلنامه کواترنری ایران*، ۱(۱)، ۱۵–۲۷. https://doi.org/10.22034/irqua.2015.701850

Motamed, A. (2007). *Quaternary (fourth geological period)*. University of Tehran Press. [In Persian]

Nazari Adli, S., & Kouhsari, M. J. (2007). Integrating Boolean logic into AHP using GIS. *Shahrnegar, 7*(40). [In Persian]

Parow-Souchon, H., Zickel, M., & Manner, H. (2022). Upper Palaeolithic sites and where to find them: A predictive modelling approach to assess site expectancy in the Southern Levant. *Quaternary International, 635*, 53–72. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.020

Pourkarimi, P., Hajizadeh, K., Rezalou, R., & Afkhami, B. (2020). An analysis of the role of natural factors in the spatial distribution of castle settlements in Ardabil Province using GIS and AHP. *Journal of Archaeological Studies, 12*(1), 19–40. https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.261578.142594 [In Persian]

Qazaban, F. (2013). *Environmental geology* (7th ed.). University of Tehran Press. [In Persian]

Scianna, A., & Villa, B. (2011). GIS applications in archaeology. *Archeologia e Calcolatori, 22*, 337–393.

Soroush, M., Mehrtash, A., Khazraee, E., & Ur, J. A. (2020). Deep learning in archaeological remote sensing: Automated Qanat detection in the Kurdistan Region of Iraq. *Remote Sensing, 12*(3), Article 500. https://doi.org/10.3390/rs12030500

Statistical Quarterly of Mazandaran. (2020). Plan and Budget Organization of Iran: Plan and Budget Organization of Mazandaran Province. [In Persian]

Taheri, S. M. (2005). Fuzzy logic features. *Mathematical Culture and Thought, 24*(2), 73–92. [In Persian]

Taheri, S. M., Iravani Ghadim, F., & Kabirian, M. A. (2018). An introduction to the use of fuzzy mathematics in archaeology (Case study: Virtual reconstruction of Toghrol Tower by using fuzzy reliability). *Journal of Research on Archaeometry, 4*(2), 35–48. https://doi.org/10.29252/jra.4.2.35 [In Persian]

Vahdatinasab, H., Abolfathi, M., Fazeli Nashli, H., Asgari Khaneghah, A., Berion, J., & Shoriyeh, B. (2014). Techno-typological analysis of lithic assemblages of Upper Paleolithic open-air site of Garm Rud 2, Baliran, Amol, Mazandaran. *Quarterly of Iran Quaternary, 1*(1), 15–27. https://doi.org/10.22034/irqua.2015.701850 [In Persian]

Vahdatinasab, H., Roustaei, K., Ghamari Fatideh, M., Hashemi, M., & Shojaeifar, F. (2017). The first evidence for Late Pleistocene hominin populations on the southern Caspian Sea coast. *Antiquity, 91*(355), 1–5. https://doi.org/10.15184/aqy.2016.232

Verhagen, J. W. H. P. (2008). Testing archaeological predictive models: A rough guide. In *Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)* (pp. 285–290). Dr. Rudolf Habelt GmbH.

APA REF
Kazemi, S., Ghamari Fatideh, M., & Lorestani, G. (2025). Predictive Modeling for the Spatial Identification of Paleolithic Sites in the Forested Regions of Western Mazandaran, Northern Iran. *Journal of Research on Archaeometry, 12*(1), 12107, DOI: 10.66224/jra.2026.12.107