[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

Journal of Research on Archaeometry, 2020; 6 (1):1–16

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.6.1.1 URL: https://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Introducing Satellite Remote Sensing Systems and its Application in Archaeology: Case Study of Behshahr Plain, Mazandaran

Meysam Miri Ahoodashti[1*], Kamaleddin Niknami[2]

[1] *PhD student in Archeology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, IRAN*
[2] *Faculty Member and Professor at the University of Tehran,Tehran, IRAN*

Received: 03/01/2020 **Accepted: 21/06/2020**

Abstract

Human groups have considered the Behshahr plain of Mazandaran in the past Due to its particular geographical shape, location between the Caspian Sea and mountains, and the existence of some rivers in the region. However, our knowledge of this area is limited to several published surveys and archaeological investigation of its ancient sites. No detailed research has conducted on the formation of the settlement and the impact of geographical factors on it. Therefore, it is necessary to study the structure of the settlement pattern of this region. In the present study, new methods in archeology and a combination of archaeological data and remote sensing science were used rather than the traditional methods. Archaeologists need to know the advantages and disadvantages of using satellite remote sensing as a powerful tool for visualizing past perspectives. Applying remote sensing in archeology is one of the purposes of this study. Aerial photography, geophysics, laser scanning, geographic information analysis in GIS, and satellite imagery analysis are all aspects of remote sensing. They are all valuable for ancient research and promote non-destructive archeology, where using satellite remote sensing in archeology is the focus of this article. From a practical perspective, there can be an advancement over the traditional archaeologist's research works with research using remote sensing satellite techniques. The use of satellite remote sensing for discoveries in archaeological studies, environment, and research programs, will be very usual and perfect and give us a fantastic insight into the social landscape of the past. This article discusses the types of satellite imagery with their advantages and disadvantages available to archaeologists and their applications in various archaeological projects to select the most appropriate images and provide information on other image types. To better understand the cases mentioned above, the settlement pattern of Behshahr evaluated with a combination of field methods and remote sensing techniques, GIS, spatial analysis functions, and multivariate regression methods. In this study, a sentinel-2 satellite image with a spatial resolution of 10 m noted on 2017, Topographic maps, 1/25000 maps and spatial data of the study area used after necessary preprocessing and correction, information layers including forest land cover, water zones, fields, coastal lands, elevation, and waterways classified as effectual environmental factors (independent parameter) in the formation of ancient settlements. In the next step, using buffer function to the spatial value of the settlements as a dependent parameter, linear regression modeling was used for spatial modeling and analysis. Therefore, the relative importance of the information layers and the potential spatial map of the ancient settlements obtained. As a result, the distribution of the settlements specified in each information layers. In addition to extracting and grading environmental information, their impact

* Corresponding author: ahoodashti_110@yahoo.com

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

on the settlement formation in the research area was investigated. Access to water resources had played a significant role in this regard while distance from farms was the next priority. Attention to the importance of elevation factor in the formation of ancient sites, it is worth noting that the elevation factor has been less considered due to all sites situated in the plain of Behshahr, and has the least role in the formation of these settlements.

Keywords: Remote Sensing, Archaeology, Landscape Archeology, Settlement Pattern, Spatial Analysis, Behshahr Plain

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۹؛ ۶(۱): ۱-۱۶

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.29252/jra.6.1.1

URL: http://jra-tabriziau.ir/

مقاله پژوهشی

معرفی سیستم‌های سنجش‌ازدور فضایی (ماهواره‌ای) و کاربرد آن در باستان‌شناسی: مطالعهٔ موردی دشت بهشهر مازندران

میثم میری آهو دشتی*[۱]، کمال‌الدین نیکنامی[۲]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲. عضو هیئت‌علمی و استاد دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

چکیده

منطقهٔ دشت بهشهر مازندران، به دلیل شکل جغرافیایی خاص و قرارگیری در میان دریا و بخش کوهستانی در جنوب و وجود رودهای منتهی به دریا از گذشته، موردتوجه گروه‌های انسانی قرار داشته است. بااین‌وجود، اطلاعات ما از این منطقه، محدود به چندین فصل بررسی و شناسایی محوطه‌های باستانی آن است و پژوهش دقیقی پیرامون شکل‌گیری استقرار و تأثیر عوامل جغرافیایی بر آن صورت نگرفته است. ازاین‌رو مطالعهٔ شکل‌گیری الگوی استقراری این منطقه، امری ضروری به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر، از روش‌های نوین در باستان‌شناسی و تلفیقی از داده‌های باستان‌شناسی و علم سنجش‌ازدور ماهواره‌ای به‌جای روش‌های سنتی بهره گرفته شد. برای باستان‌شناسان دانستن مزایا و معایب استفاده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تجسم چشم‌اندازهای گذشته، بسیار اهمیت دارد. در این مقاله، سعی شد سنجش‌ازدور در بررسی میدانی دشت بهشهر به کار گرفته شود، و بر اساس تحلیل الگوی استقراری این منطقه به‌طور موردی، بخشی از فواید به‌کارگیری این روش نشان داده شود و ضمن استخراج اطلاعات محیطی و درجه‌بندی و وزن دهی آن‌ها با کمک تحلیل رگرسیون، به میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر شکل‌گیری استقرارهای منطقهٔ پژوهش پرداخته شود. در گام بعدی، با تلفیق این داده‌ها و داده‌های حاصل از نرم‌افزار GIS، مطلوبیت استقرار در دشت بهشهر موردسنجش قرار گرفت و در ادامه، نقشه پتانسیل مکانی استقرارهای باستانی تهیه شد که نقاط مستعدّ شکل‌گیری استقرار را مشخص می‌کند. ارزیابی نتایج کسب‌شده، نشان می‌دهد که بر طبق آنچه پیش‌بینی شده بود، دسترسی به منابع آب، بیشترین نقش را در این رابطه داشته است. دسترسی به خاک حاصلخیز جهت انجام فعالیت‌های کشاورزی نیز در اولویت بعدی قرار دارد.

واژگان کلیدی: سنجش‌ازدور، باستان‌شناسی، باستان‌شناسی چشم‌انداز، الگوی استقراری، تحلیل فضایی، دشت بهشهر

* مسئول مکاتبات: تهران، انتهای بزرگراه شهید ستاری، میدان دانشگاه بلوار شهدای حصارک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

پست الکترونیکی: ahoodashti_110@yahoo.com

«این نشریه با احترام به قوانین اخلاق در نشریات تابع قوانین کمیته اخلاق در انتشار (COPE) است و از آیین‌نامه اجرایی قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در آثار علمی پیروی می‌نماید.»

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

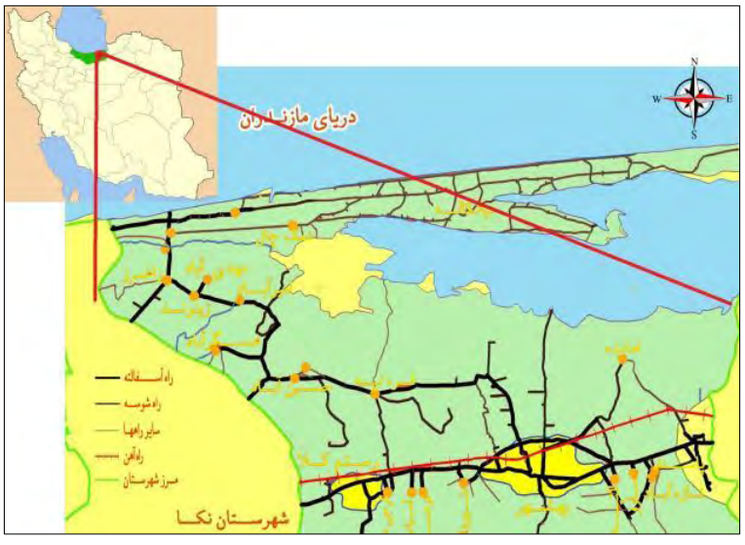
۱. مقدمه

«کاربرد کامپیوتر از مباحثی است که امروزه، ذهن بسیاری از باستان‌شناسان را مشغول کرده است. زیرا روش‌های قبلی کاوش و ثبت داده‌های باستان‌شناختی پاسخگوی نیازهای جدید در باستان‌شناسی نیست و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید ضروری می‌نماید» [1]. یکی از این فناوری‌ها که برای باستان‌شناسی بسیار کاربرد دارد علم سنجش‌ازدور است. «سنجش‌ازدور می‌تواند انقلابی را در باستان‌شناسی نوین ایجاد کند، مانند همان چیزی که روش رادیو کربن در دهه ۱۹۵۰ م. در باستان‌شناسی انجام داده بود» [2]. درحالی‌که عکاسی هوایی، ژئوفیزیک، اسکن لیزر از بناهای تاریخی، تجزیه‌وتحلیل اطلاعات جغرافیایی تصاویر در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای، جنبه‌هایی از سنجش‌ازدور محسوب می‌شوند و در تحقیقات باستان‌شناسی نیز ارزشمند هستند، تمرکز اصلی این مقاله، استفاده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای در باستان شناسی است؛ بنابراین بخش اصلی این پژوهش، اشاره به این مسئله دارد و به‌این منظور، الگوی استقراری پیش‌ازتاریخ دشت بهشهر با تکنیک سنجش‌ازدور، توابع تحلیل مکانی GIS و شیوه‌های رگرسیون چندمتغیره باهدف تعیین عوامل مؤثر جغرافیایی بر آن، مورد ارزیابی قرار گرفت. استفاده از روش‌های نوین در باستان‌شناسی به‌طور ذاتی امری ضروری است، اما به‌کارگیری آن در حوزهٔ فرهنگی شمال ایران و منطقهٔ موردپژوهش، به دلیل نوآوری در موضوع و عدم استفاده از چنین روشی جهت بررسی الگوی استقراری منطقه، مهم و ضروری تلقی می‌شود. پرسش اصلی در این پژوهش، این است که کدام عوامل محیطی و جغرافیایی در شکل‌گیری استقرار در این منطقه و توزیع و پراکنش آن در دشت بهشهر مؤثر بوده و میزان این تأثیرگذاری چقدر است؟ برای پاسخ به این پرسش، لازم است که ابتدا مجموعه‌ای از عوامل و پارامترهای محیطی، طبقه‌بندی‌شوند و سپس با استفاده از برنامه تخصصی مربوطه اعتبارسنجی و وزن دهی بر آن‌ها صورت گیرد تا از یک مدل صرفاً مفهومی، به مدل رقومی تبدیل شوند و قابلیت تجزیه‌وتحلیل را داشته باشند. دشت بهشهر که پهناورترین دشت مازندران محسوب می‌شود، به دلیل شکل جغرافیایی خاص و قرارگیری در بین دریای خزر و کوهپایه‌های نوار کوهستانی البرز، مکان عبور مسیل‌های رودهای فصلی و دائمی است که از ارتفاعات البرز شکل می‌گیرند و به دریا می‌ریزند. عبور این رودها و طغیان‌های آن‌ها دشت بهشهر را به جلگهٔ آبرفتی حاصلخیز و مکانی مناسب جهت استقرار، تبدیل کرده است. مطابق با این شرایط جغرافیایی فرضیهٔ این پژوهش، این است که آب شیرین و دسترسی به آن، در اولویت اصلی برای مکان گزینی و مؤثرترین عامل بر شکل‌گیری الگوی استقراری این منطقه بوده است. برای رسیدن به این هدف با بهره‌گیری از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای، روند پژوهش با تهیهٔ یک تصویر ماهواره‌ای مناسب و طبقه‌بندی آن، آغاز می‌شود که در ادامه، به ویژگی‌های آن و روش‌شناسی مرتبط با آن اشاره خواهد شد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

از اوایل قرن بیستم سنجش‌ازدور با اهداف باستان‌شناسی، با عکس‌برداری هوایی از محوطه‌های باستانی آغاز شد ولی از اواسط دههٔ ۴۰ تا ۵۰ میلادی، با ساخت اولین موشک به‌نام (V2)، رقابت برای تسخیر فضا آغاز شده بود. در دههٔ ۶۰ م. سیستم تصویربرادری چند طیفی در کنار طیف مرئی و مادون‌قرمز به‌کار گرفته شد و شاخه‌ای جدید از علم باستان‌شناسی به‌نام باستان‌شناسی هوایی به رسمیت شناخته شد و اولین همایش با همین نام در سال ۱۹۶۳م. تشکیل و اولین مجلهٔ باستان‌شناسی هوایی نیز در سال ۱۹۷۵م. منتشر شد که بیشتر بر آثار کشف‌شده از انگلستان متمرکز بوده است [3]. از دههٔ ۹۰ م. و با ظهور سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق آن با تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و همچنین پیشرفت‌های ماهواره‌ای در اواخر همین دهه و ارائهٔ تصاویر واضح و رزولوشن بالا، پیشرفت زیادی حاصل شد و اولین بار اصطلاح «باستان شناسی ماهواره‌ای» در سال ۱۹۹۲ به‌کار گرفته شد و «باستان‌شناسی نسبت به علوم دیگر، زودتر استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور را در پژوهش‌های خود به کار گرفت» [4]. لازم به ذکر است، به‌کارگیری این روش در

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021



شکل ۱: موقعیت و محدوده دشت بهشهر مازندران (منبع: سازمان نقشه‌برداری کشور- ویرایش شده)
Fig. 1: The location of Behshahr plain in Mazandaran (National Cartographic Center- edited)

باستان‌شناسی ایران، از روش‌های نوین محسوب می‌شود و در حوزهٔ نظری، تألیفات محدودی دربارهٔ آن وجود دارد که به ارتباط سنجش‌ازدور و باستان‌شناسی اشاره می‌کند ولی در بحث کاربردی، این موضوع به‌ندرت موردپژوهش قرارگرفته است. از مهم‌ترین این پژوهش‌ها می‌توان به مقالهٔ کریمی و فرج زاده با موضوع تحلیل الگوهای فضایی استقرارگاه‌های باستانی دشت میاناب شوشتر با کاربرد سنجش‌ازدور و دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد [5]. در محدودهٔ پژوهشی موردمطالعه در این مقاله، برای اولین بار از این روش استفاده‌شده است.

۳. مطالعه موردی دشت بهشهر

۳-۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد پژوهش

منطقه موردمطالعه، حدفاصل شهرستان نکا و گلوگاه است و از شمال به دریای خزر و از جنوب به نوار کوهستانی البرز منتهی می‌شود که در حوزه جنوب شرقی دریای خزر و بخشی از شرق جلگه مازندران قرار دارد (شکل ۱). این جلگه، به دلیل وجود شبکه هیدوگرافی متشکل از رودهای دائمی و فصلی که از ناحیهٔ کوهستانی البرز سرچشمه می‌گیرند و جریان‌های سیلابی که این رودها با خود می‌آورند، یک جلگه آبرفتی محسوب می‌شود و خاک حاصلخیز و مستعد برای کشاورزی دارد که علاوه بر موارد یاد شده، به دلیل دسترسی ساکنان آن به منابع آب دائمی نیز، از گذشتهٔ دور موردتوجه گروه‌های استقراری بوده است. در بررسی میدانی این منطقه تعداد ۴۱ محوطهٔ باستانی پیش‌ازتاریخ موردبررسی و شناسایی قرار گرفت [6] که جهت تحلیل الگوی استقراری و نقش عوامل محیطی مؤثر بر آن، از تکنیک سنجش‌ازدور بهره گرفته شد.

۳-۲. مواد و روش‌ها

جهت مطالعه و بررسی الگوی استقراری پیش‌ازتاریخ دشت بهشهر، ترکیبی از روش‌های میدانی و سنجش‌ازدور استفاده شد که در بسیاری موارد لازم و بهتر، به نظر می‌رسید که این روش‌ها باهم به‌کار گرفته شوند. در این پژوهش، از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدور، توابع تحلیل مکانی GIS و شیوه‌های رگرسیون چند متغیره بهره گرفته شد. داده‌ها و اطلاعات به‌کاررفته در این پژوهش، در جدول ۱ آورده شده است.

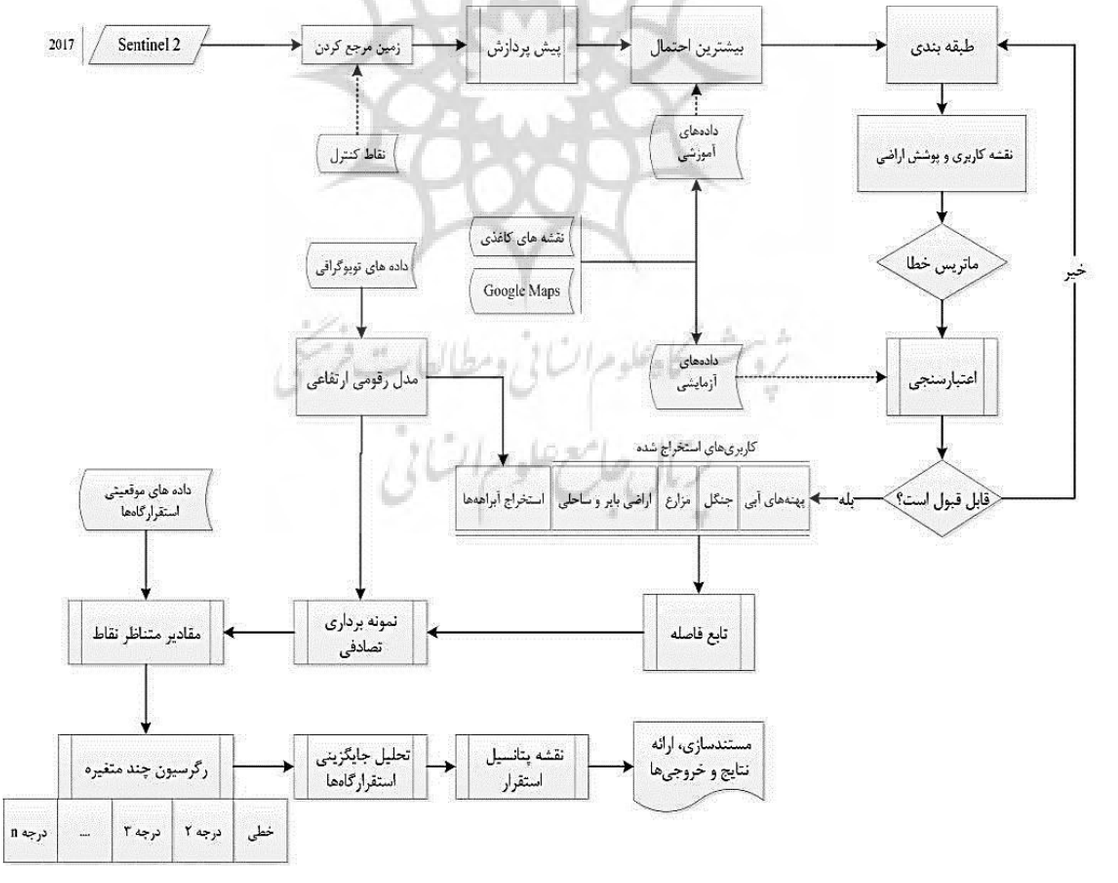
نرم‌افزارهای به‌کاررفته در پژوهش حاضر، نرم‌افزارهای ENVI, Word, Excel, ArcGIS و Matlab هستند. روند و فرایند پژوهش جاری پس از مطالعات اولیه، از دریافت تصویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدور Sentinel 2 شروع شد. ماهوارهٔ Sentinel-2 متعلق به اتحادیه اروپا است و طوری طراحی‌شده است که بتواند یک تصویر

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

جدول ۱: خصوصیات داده‌ها و اطلاعات مورداستفاده در پژوهش
Table 1: Characteristics of data and information used in research

داده Data	منبع Source	کاربرد Usage
تصویر Sentinel 2 Sentinel-2 Image	سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)	طبقه‌بندی و استخراج کاربری‌ها Classification of Land use
نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ 1:25000 maps	سازمان نقشه‌برداری CCN	اعتبار سنجی طبقات کاربری Validation of land use classes
داده‌های توپوگرافی Topographic Data	سازمان نقشه‌برداری CCN	استخراج مدل رقومی ارتفاعی و آبراهه‌ها Extraction of DEM and waterways
موقعیت استقرارها Settlement location	برداشت میدانی با GPS Record by GPS	تشکیل و اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی validation of regression models

بدون ابر را در هرماه، عرضه کند [7]. ماهواره Sentinel-2 حامل یک دستگاه چند اسپکتروم (MSI) با کارایی بالا برای ارائه تصاویر چند طیفی باکیفیت بالای هندسی، رادیومتری و اسپکترومتریک است و در محدودهٔ طیفی از مادون‌قرمز نزدیک (VNIR) به مادون‌قرمز موج‌کوتاه (SWIR)و میدان دیدی با عرض ۲۹۰ km دارد [8]. این سنجنده، ۱۳ باند طیفی با تفکیک فضایی ۱۰ تا ۶۰ m دارد و از توان تفکیک مکانی ۵ روز در استوا و ۳ روز در عرض‌های میانی برخوردار است [9]. در قیاس با تصاویر تجاری، قابلیت بسیار پایین‌تری برای استخراج جزئیات و



نمودار ۱: نمودار جریانی روند اجرای مراحل پژوهش
Chart 1: Research implementation process

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

سبب قابلیت دسترسی آزاد، برای این مطالعه برگزیده شد. پس از اینکه تصاویر Sentinel 2 دریافت شد، به‌منظور آماده‌سازی باندهای آن برای اعمال الگوی طبقه‌بندی و درنهایت، استخراج اطلاعات کاربری و پوشش اراضی گستره مطالعاتی، پیش‌پردازش‌های موردنیاز در محیط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI بر آن‌ها، اعمال شد. این مراحل آماده‌سازی شاملِ اجرای دسته کردن (Layer stacking) باندهای تصاویر، زمین مرجع کردن (Georeferencing) و تصحیحات هندسی و رادیومتریک، برش، اعمال فیلترهای ارتقاء دهنده وضوح و ایجاد ترکیبات رنگی موردنیاز، بود.

۳-۳. تهیه، آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصویر

برای بهره‌گیری از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای، پیش از اعمال الگوریتم‌ها و توابع اصلی پردازشی و دقت بالای پردازش‌ها و پیاده‌سازی تحلیل‌های بعدی باید، نخست، مواردی چون رفع خطاهای هندسی و رادیومتریک در باندهای ورودی و آماده‌سازی داده‌های اصلی و کمکی برای ورود به طبقه‌بندی کننده‌های مختلف به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های قابل ارجاع، در دستور کار قرار گیرد.

۳-۳-۱. تصحیحات رادیومتریک

به‌طورکلی خطاهای رادیومتریک به دودستهٔ خطاهای اتمسفری و خطاهای دستگاهی تقسیم می‌شوند. خطاهای اتمسفری، به دلیل اثرات اتمسفر ایجاد می‌شوند. خطاهای دستگاهی، خطاهایی هستند که به علت طراحی و یا عملکرد سنجنده ایجاد می‌شوند که بسیار متنوع هستند و از یک سیستم به سیستم دیگر فرق می‌کنند. سنجنده‌های مختلف که بر ماهواره‌ها نصب می‌شوند، دارای حساسیت‌های مختلفی هستند که سبب بروز خطای رادیومتریک می‌شوند. تصاویر مورداستفاده در تحقیق حاضر، ازنظر خطاهای دستگاهی، به‌صورت تصحیح‌شده تهیه‌شده‌اند و بنابراین چنین خطایی در تصاویر وجود نداشت. برای تصحیح اتمسفری تصویر مبنا، اغلب، وضعیت اتمسفری یکنواخت فرض می‌شود. برای همهٔ باندهای انعکاسی، بازتاب در بالای اتمسفر یا TOA (Top of Amosphere) به کار رفت که اثر کسینوسی زوایای زنیت و تغییرات در تابش خورشیدی (Irradiance) خارج از جو را به دلیل نوسان در فاصله زمین–خورشید، تصحیح می‌کند:

$$p_\lambda = \frac{\pi . L_\lambda . d^2}{ESUN_\lambda . \cos\theta_s}$$ رابطه ۱

در رابطهٔ ۱ بازتاب ثبت‌شده در بالای اتمسفر، L_λ رادیانس در طول‌موج λ برحسب $W/(m^2 sr \mu m)$ d ،d فاصله زمین–خورشید برحسب واحد نجومی، $ESUN_\lambda$ تابش خورشیدی متوسط خارج اتمسفری برحسب $W/(m^2 \mu m)$ و θ_s زاویهٔ سمت الرأس خورشیدی است [10].

۳-۳-۲. تصحیح هندسی

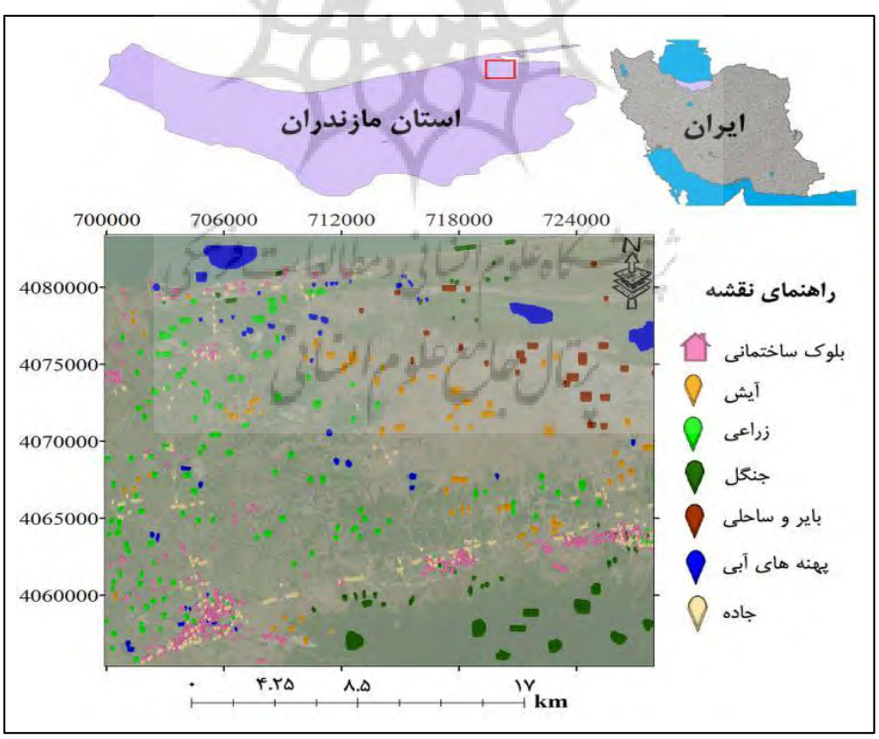
تصویر یک عارضهٔ سه‌بعدی روی صفحه تصویر دوبعدی، جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع و دوران زمین در حین برداشت تصویر، موجب بروز خطاهای هندسی و جابه‌جایی و تغییر شکل عوارض روی تصویر می‌شوند و لازم است که این خطاها از تصویر حذف یا کاهش داده شوند. به‌منظور تصحیح هندسی، تصاویر Google earth و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ با دقت بالای هندسی به‌عنوان تصویر مبنا انتخاب شد و سپس با استفاده از روش تصویر به تصویر و با استفاده از معادلات چندجمله‌ای درجه‌دو و روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه (Nearest neighborhood)، باز نمونه‌برداری (Resampling) شد. پس از رفع خطاهای فوق، پیش‌پردازش‌هایی چون برش، ایجاد ترکیبات رنگی متنوع و اعمال فیلترهای آشکارساز نیز انجام و تصاویر آمادهٔ طبقه‌بندی می‌شوند.

۳-٤. طبقه‌بندی تصویر

طبقه‌بندی تصویر شامل یک گروه از فرایندهایی است که بخشی یا گروهی از پیکسل‌های تصویر را به مجموعه‌ای از داده‌های تعریف‌شده مانند کلاس‌های پوشش زمین طبقه‌بندی می‌کند، درواقع، داده‌ها را به اطلاعات تبدیل می‌کنند تا به شکل نقشه موضوعی دیجیتال ارائه گردد»

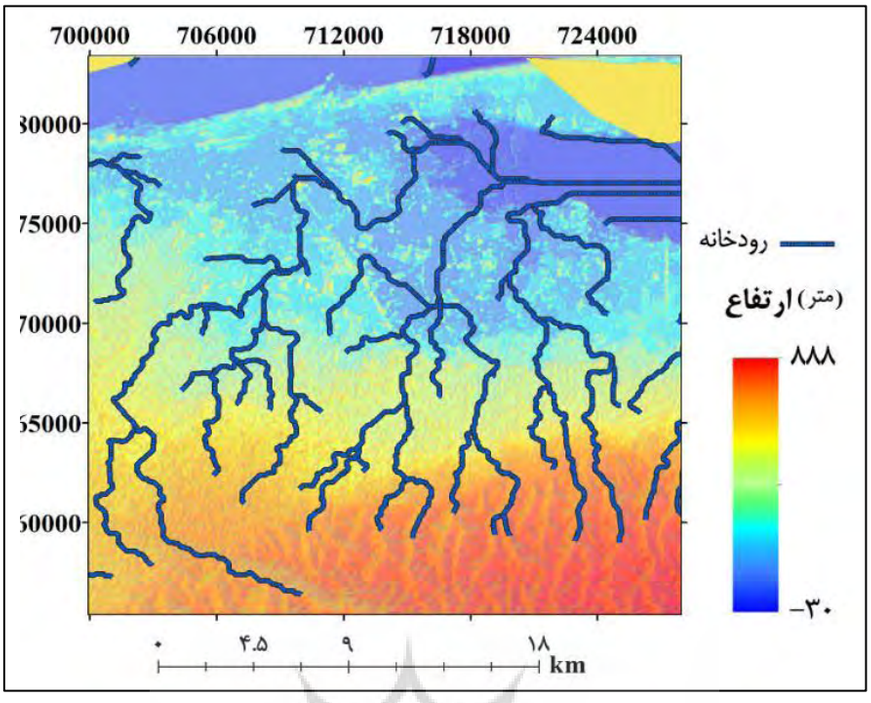
[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

[11]. «شناخت پوشش زمین و کاربری اراضی می‌تواند در بررسی‌های باستان‌شناسی سودمند باشد. چراکه دلایل سکونت‌های باستانی و یا تغییر در چشم‌اندازها و همچنین یافتن پتانسیل محیط در تخریب محوطه‌های باستانی با آن مرتبط است»[12]. در این پژوهش، از الگوریتم طبقه‌بندی بیشترین احتمال (Maximum Likelihood) بر روی باندهای پیش‌پردازش شدهٔ تصویر استفاده شد. این طبقه‌بندی کننده، نمایندهٔ طبقه‌بندی کنندهٔ نظارت‌شدهٔ پارامتریک (Parametric supervised) محسوب می‌شود. خروجی‌های حاصل از اعمال آن نقشهٔ پوشش و کاربری‌های اراضی محدوده مطالعاتی در تفکیک مکانی ۱۰m بود. برای این هدف، علاوه بر تشکیل ترکیب‌های رنگی متنوع از باندهای تصویر، از منابع دیگری چون نقشه‌های ۲۵۰۰۰، سرویس Google maps و نقشه‌های کاغذی آرشیو با مقیاس بزرگ‌تر، استفاده شد. درنهایت، ۱۸۲۲۴۷ نقطه یا پیکسل داده واقعیت و مرجع زمینی برای تفکیک‌سازی هفت کلاس کاربری نمونه‌برداری شد که نیمی از این نقاط جهت انجام طبقه‌بندی بیشترین شباهت، نمونه‌برداری تصادفی شدند و نیمی دیگر جهت اعتبارسنجی و دقت‌سنجی نتایج به‌کار گرفته‌شده‌اند (شکل ۲). شکل ۲ نقشه طبقه‌بندی‌شدهٔ گستره مطالعاتی را به تفکیک کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی استخراج‌شده، نشان می‌دهد. پس از اجرای طبقه‌بندی و تأیید نتایج آن، پوشش و کاربری‌های اراضی مدنظر برآورد و استخراج شدند، از طرفی، با به‌کارگیری توابع هیدرولوژیکی بر مدل رقومی ارتفاعی، دولایه ارتفاع از سطح‌مبنا و آبراهه‌ها به دست آمد. مدل رقومی ارتفاعی محدودهٔ موردمطالعه، از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری با فرمت DGN در محیط GIS استخراج شد (شکل ۳). از تابع فاصلهٔ اقلیدسی به‌منظور محاسبهٔ رسترهای فاصله از کلاس‌های پوشش و کاربری اراضی جنگلی، مزارع، پهنه‌های آبی، اراضی بایر و ساحلی و آبراهه‌ها و رودخانه‌ها استفاده شد. این پنج لایه، همراه با لایهٔ ارتفاع از سطح‌مبنا به‌عنوان عوامل محیطی مؤثر در جایگزینی استقرارگاه‌های باستانی شناسایی و برآورد شدند.



شکل ۲: نقاط نمونه برای آموزش طبقه‌بندی کننده بیشترین شباهت و ارزیابی نتایج آن (استخراج‌شده از نرم‌افزار ENVI)
Fig. 2: Sample points for classifying the most similarity and evaluating its results

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021



شکل ۳: نقشه آبراهه‌ها و مدل رقومی ارتفاعی گستره مطالعاتی (استخراج‌شده از نرم‌افزار GIS)
Fig. 3: Waterway map and digital elevation model of the study area

۳-۵. آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی جهت مدل‌سازی و تحلیل فضایی

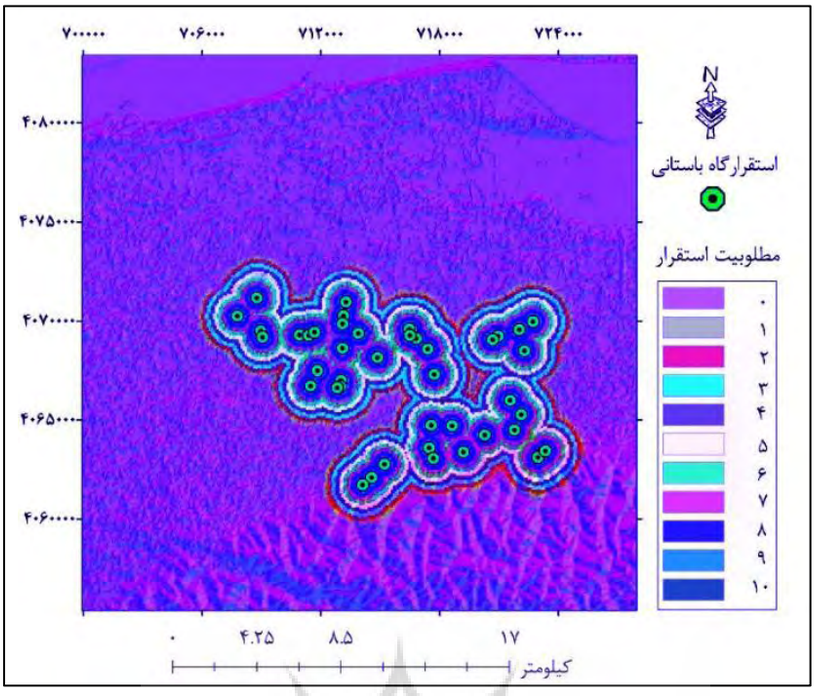
پس از به‌کارگیری تابع فاصلهٔ مذکور بر روی لایه‌های اطلاعاتی، گام بعدی تدوین استراتژی‌هایی مناسب در پیاده‌سازی تحلیل‌های فضایی سکونتگاه‌های باستانی بود. به‌این منظور با به‌کارگیری تابع حریم (buffer)، تدریجی دیدن مطلوبیت مکانی استقرارگاه‌های باستانی در اولویت قرار گرفت. در این رویکرد، این فرض در نظر گرفته می‌شود که مطلوبیت سکونتگاه‌ها نه به‌صورت نقطه‌ای بلکه با فواصل تدریجی معین تغییر می‌کند، سپس تابع حریم اعمال شد و حلقه‌هایی با مرکزیت موقعیت استقرارگاه‌های موجود و با شعاع‌های ۱۰۰ m ایجاد شد و مقادیری از ۱۰ تا ۱ به آن اختصاص داده شد که به ترتیب، عدد ۱۰ مربوط به اولین دایره محیط بر نقطه مختصات سکونتگاه با بالاترین مطلوبیت و عدد ۱ مربوط به دهمین حلقه ایجادشده با کمترین مطلوبیت است (شکل ۴). پس از اعمال تابع حریم بر روی موقعیت سکونتگاه، باقی مراحل به‌مانند استراتژی پیشین جلو رفت، یعنی مقادیر متناظر با هر یک از نقاط نمونه‌برداری شده در شش لایهٔ اطلاعاتی آماده‌شده (پارامترهای زیست‌محیطی) به‌عنوان متغیرهای مستقل و همچنین مطلوبیت آن‌ها به‌عنوان متغیر وابسته شناسایی و ثبت شد.

۳-۶. مدل‌سازی رگرسیونی و تحلیل فضایی استقرارگاه‌ها

برای تحلیل فضایی توزیع استقرارگاه‌ها با در نظر گرفتن عوامل فوق، از تحلیل‌های رگرسیونی چندمتغیره استفاده شد، مدل‌های رگرسیونی به کار گرفته‌شده شامل معادلات خطی، درجه ۲، درجه ۳ و ... درجه n بودند که جهت مقایسهٔ مدل‌های اجراشده از پارامترهایی مانند ضریب تعیین (Determination Coefficient) که با علامت (R2) و خطای مطلق میانگین (Mean Absolute Error) که با علامت (MAE) نشان داده می‌شود، استفاده شد. بر پایهٔ مفروضات موردبحث، تحلیل‌های رگرسیون فضایی در دستیابی به موارد زیر قابل‌انتظار است:

۱- برآورد اهمیت و وزن نسبی هرکدام از عوامل محیطی در استقرار و توزیع مکانی محوطه‌های باستانی.

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021



شکل ۴: استفاده از حلقه‌های متحدالمرکز برای تدریجی ساختن مطلوبیت مکانی استقرارگاه‌ها (استخراج‌شده از نرم‌افزار GIS)
Fig. 4: Using concentric rings to making gradually settlement desirability

۲- مدل‌سازی پتانسیل مکانی محدودهٔ مطالعاتی در جهت استقرار دیگر سکونتگاه‌های احتمالی که می‌توانند وجود داشته باشند (وجود دارند ولی تابه‌حال در عملیات حفاری و کاوش شناسایی نشده‌اند) یا می‌توانستند احداث‌شده باشند (ولی بنا نشده‌اند).

۳- آشکارسازی الگوی توزیع مکانی استقرارگاه‌ها به تفکیک عوامل و پارامترهای محیطی مدنظر.

برای اجرای تحلیل‌های رگرسیونی، از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Matlab استفاده شد و از قابلیت‌های توابع ریاضی و محاسباتی قدرتمند آن، بهره گرفته شد (شکل ۵). با در نظر گرفتن مطلوبیت سکونت‌گاه به‌صورت ۰ و ۱ یا به‌صورت مقادیری از ۰ تا ۱ با تغییرات ۰٫۱، پارامترهایی مثل تعداد جملات معادله رگرسیونی برآورد و ضریب تعیین و خطای مطلق میانگین (MAE) محاسبه شد تا بتوان مقایسهٔ میان مدل‌های اجراشده را به‌منظور انتخاب مدل بهینه انجام داد.

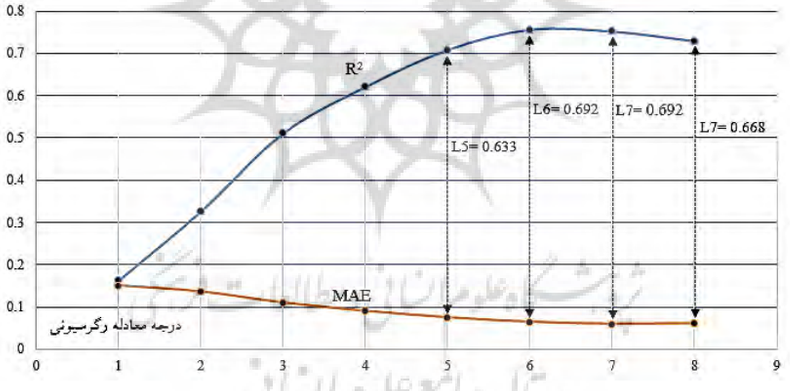
برای مقایسهٔ کارایی معادلات رگرسیونی بیان‌کنندهٔ روابط فضایی میان متغیرهای مستقل و میزان مطلوبیت سکونتگاه‌ها، از اختلاف میان مقادیر R2 و MAE به ازای هرکدام از معادلات رگرسیونی بهره گرفته‌شده است. انتظار این است که با افزایش درجهٔ معادلات رگرسیونی، دقت مدل‌ها نیز افزایش یابد ولی در حالت فرض روند تغییرات تدریجی مطلوبیت، بهترین عملکرد در معادله درجهٔ ۶ مشاهده‌شده است. معادلهٔ درجهٔ ۶ به لحاظ این اختلاف ضریب تعیین و خطای مطلق میانگین، مشابه معادلهٔ درجهٔ ۷ عمل کرده است، ولی به سبب تعداد جملات کمتر و سادگی بیشتر در معادلهٔ درجه ۶ درنهایت این مدل رگرسیونی برای تحلیل فضایی سکونتگاه‌های باستانی برگزیده‌شده است (نمودار ۲). در حالت کلی هرچه R2 مقدار بزرگ‌تر و MAE ارزش کوچک‌تری را به خود اختصاص دهد، کارایی مدل رگرسیونی بیشتر خواهد بود؛ بنابراین، در این شیوه هرچه اختلاف میان این دو متغیر (پارامتر L در نمودار ۲) بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ کارایی و مطلوبیت بیشتر معادلهٔ رگرسیونی خواهد بود. نمودار ۲ مقایسهٔ میان این دو پارامتر را به ازای معادلات رگرسیونی با فرض تغییر تدریجی مطلوبیت، نشان داده است. در رویکرد مطلوبیت ۰ و ۱، معادلهٔ درجه ۴ به‌عنوان بهترین برآورد، شناسایی‌شده است (جداول ۲).

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

```
% Compose
for ii=1:NData
    current=repmat(Data(ii,:),[NLegend,1]);
    C=current.^A; %#ok<NASGU>
    Scores(ii,:) = eval(RowMultiC);
end

% Use  QR to avoid explicit inversion and check rank.
[QQ,RR,perm] = qr(Scores,0);

p = sum(abs(diag(RR)) > size(Scores,2)*eps(RR(1)));

if p < size(Scores,2)
    warning('Rank Deficiency within Polynomial Terms!');
    RR = RR(1:p,1:p);
    QQ = QQ(:,1:p);
    perm = perm(1:p);
end

% Ordinary Least Squares Regression
b = zeros(size(Scores,2),1);
b(perm) = RR \ (QQ'*R);
yhat = Scores*b;
r = R-yhat;
```

شکل ۵: بخشی از برنامه تحلیل رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار Matlab
Fig. 5: Part of the multivariate regression analysis program in Matlab software

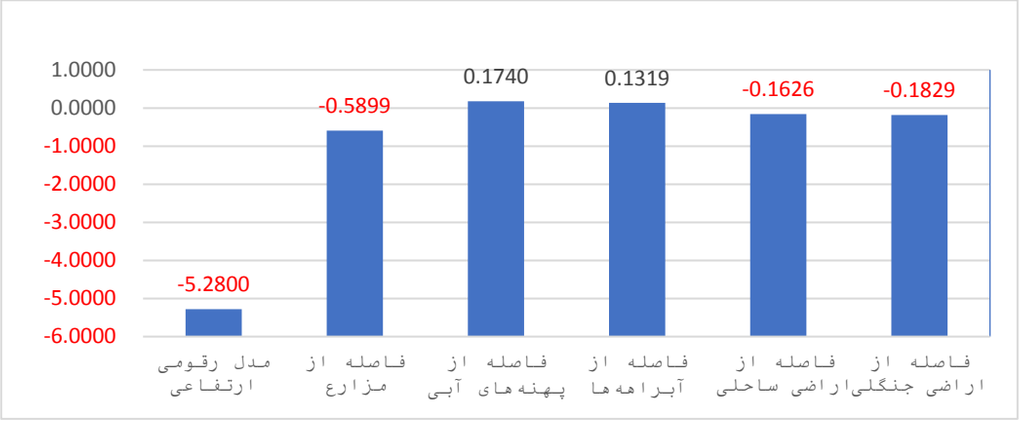
نمودار ۲: مقایسه مقادیر R2 و MAE برای هرکدام از معادلات رگرسیونی و محاسبه اختلاف میان آن‌ها
Chart 2: Comparison of R2 and MAE values and calculation of the difference between regression equations



جدول ۲: مقایسه پارامترهای روش‌های رگرسیون چند متغیره با فرض ۰ و ۱ برای مقادیر مطلوبیت استقرار
Table 6: Comparison of parameters of multivariate regression methods with assumptions 0 and 1 for settlements desirability values

مدل بهینه Accepted model	MAE	R^2	تعداد جملات Terms number	نوع تحلیل رگرسیونی Regression model
	۰,۱۷۸۴	۰,۱۱۴۱	۷	خطی Linear
	۰,۱۷۳۰	۰,۲۴۹۶	۲۸	درجه ۲ Polynomial- order 2
	۰,۱۳۹۵	۰,۵۳۰۱	۸۴	درجه ۳ Polynomial- order 3
*	۰,۰۸۸۸	۰,۷۶۷۷	۲۱۰	درجه ۴ Polynomial- order 4

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021



نمودار ۳: اهمیت نسبی لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای معادلات رگرسیونی
Chart 3: The relative importance of information layers based on Regression equations

به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل مکانی استقرارهای باستانی، ضرایب هر یک از شش لایه اطلاعات محیطی به‌عنوان وزن و اهمیت نسبی آن‌ها به‌کار گرفته شد (نمودار ۳). ستون عمودی همان عدد صحیح هستند که جهت بالا رفتن دقت از چهار رقم اعشار در آن‌ها استفاده‌شده و هر چه مقدار آن‌ها بیشتر باشد، نقش بیشتر آن عامل، در توزیع استقرار نشان‌داده می‌شود؛ بنابراین فاصله از پهنه‌های آبی، بالاترین ضریب اهمیت نسبی و بیشترین اهمیت را در توزیع استقرارگاه‌های باستانی داشته است درحالی‌که فاصله از آبراهه‌ها هم با اختلافی کم در اولویت بعدی بوده است. باقی لایه‌های اطلاعاتی هم اولویت منفی را در مکان‌یابی استقرارگاه‌ها به خود اختصاص داده‌اند. به این مفهوم که سکونتگاه‌ها اغلب، در نواحی‌ای تثبیت‌شده‌اند که در مقادیر این عوامل به حداقل ارزش ممکن برسد که در میان آن‌ها به دلیل موقعیت منطقه پژوهش در دشت بهشهر، ارتفاع بیشترین اهمیت منفی را داشته است.

پس از اجرای مدل‌سازی رگرسیونی، اولویت‌های نسبی لایه‌های اطلاعاتی محیطی برآورد شد که در گام بعدی از همپوشانی وزنی آن‌ها در محیط GIS، نقشهٔ پتانسیل استقرار سکونتگاه‌های باستانی به‌وجود آمد. این نقشه، وضعیت کلی گسترهٔ مطالعاتی را به لحاظ مطلوبیت استقرار سکونتگاه‌های باستانی نشان می‌دهد (شکل ۶). همان‌طور که در شکل ۶ معلوم است نواحی شرقی و مرکزی گسترهٔ مطالعاتی پتانسیل بالاتری، جهت استقرارهای باستانی دارند. این نقشه، می‌تواند نواحی مستعد وجود سکونتگاه‌های باستانی احتمالی را که تاکنون شناسایی نشده‌اند، نشان دهد.

این نقشه بر مبنای تحلیل رگرسیونی میان لایه‌های اطلاعاتی مستقل و لایهٔ مطلوبیت سکونت وابسته تهیه‌شده است. برای دقت سنجی نقشه پتانسیل سکونت استقرارگاه‌ها، پارامترهای R^2، MAE، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[1]) و Bias محاسبه و مقادیر آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

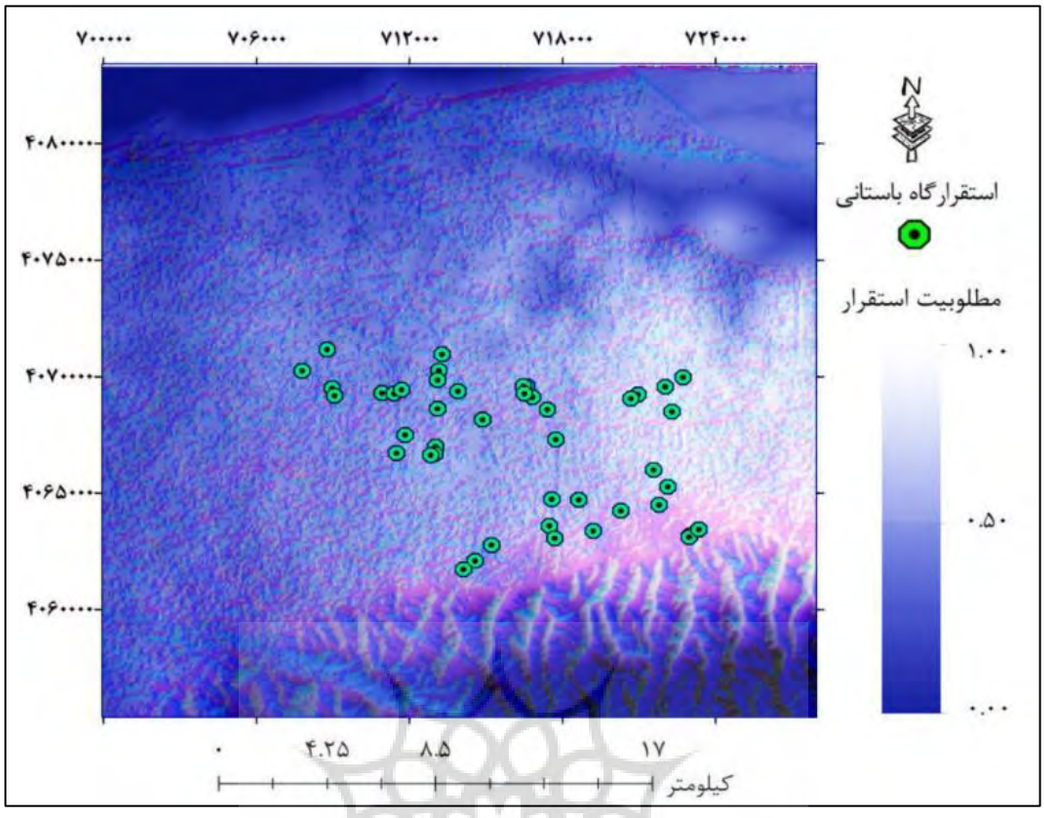
در گام نهایی این مطالعه، توزیع سکونتگاه‌های موجود در هرکدام از طبقات لایه‌های اطلاعاتی، آورده شده است؛ به‌همین‌منظور از تابع طبقه‌بندی مجدد (Reclassify) در طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی با کمک روش شکست طبیعی (Natural break)، استفاده شد. این

جدول ۳: مقادیر پارامترهای اعتبارسنجی نقشه پتانسیل مکانی استقرار سکونت‌گاه‌ها
Table 3: Cost of validation parameters used in spatial potential map of ancient settlements

پارامتر Parameters	مقدار Value
R2	۰٫۸۳
MAE	۰٫۰۰۹۷ .
RMSE	۰٫۰۱۶۲ .
Bias	۰٫۰۰۶۵ .

[1]- Root Mean Square Error

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

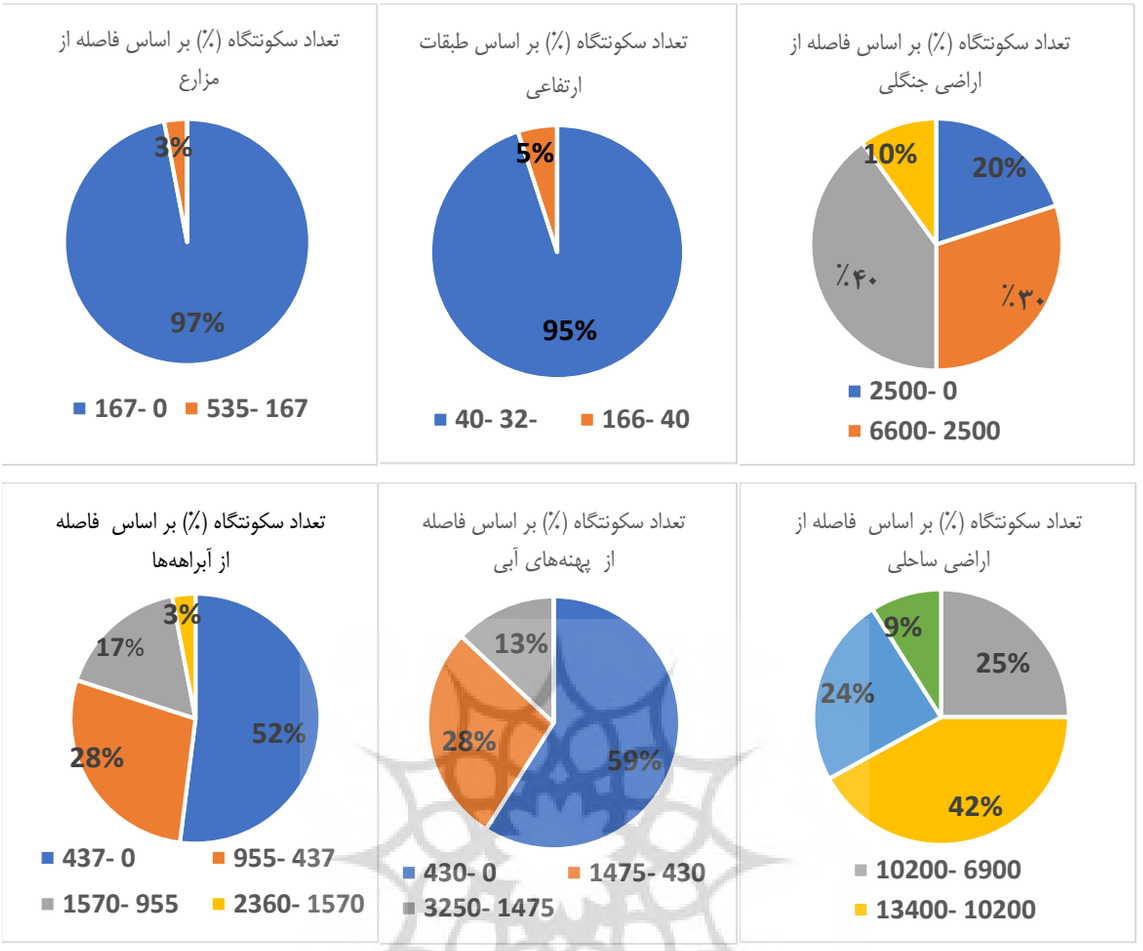


شکل ۶: نقشه پتانسیل مکانی استقرار سکونت‌گاه‌های باستانی (استخراج‌شده از نرم‌افزار GIS)
Fig. 6: Spatial potential map of ancient settlements (Extracted from GIS software)

شیوهٔ طبقه‌بندی از یک‌سو سعی دارد که تفاوت میان طبقات را با یکدیگر به حداکثر برساند و از سوی دیگر واریانس میان داده‌های یک طبقه را نسبت به طبقات دیگر به حداقل برساند (نمودار ۴).

با دقت در مقادیر نمودار ۴ می‌توان گفت که ۱۰۰٪ سکونتگاه‌ها در طبقاتِ ارتفاعیِ کمتر از ۱۶۰ m بالاتر از سطح دریاهای آزاد جای گرفته‌اند، درحالی‌که بیش از ۹۵٪ آن‌ها در ارتفاعات پایین‌تر از ۳۲ m مستقرشده‌اند که دلیل آن را می‌توان در وجود اراضی هموار در این تراز ارتفاعی برای بسیاری از فعالیت‌های معیشتی دانست. به لحاظ توزیع استقرارگاه‌ها در طبقات فاصله از اراضی جنگلی که بیشتر، در جنوب گسترهٔ مطالعاتی قرار دارند، می‌توان گفت که به‌طورکلی با افزایش فاصله از جنگل، توزیع سکونتگاه‌ها متراکم‌تر می‌شود که دلیل عمدهٔ آن، به تأمین امنیت ساکنان و بهره‌گیری از منابع متمرکز برمی‌گردد. البته در طبقات آخر فاصله سکونتگاهی یافت نمی‌شود که دلیل اصلی آن تأثیر هم‌زمان سایر عوامل و همچنین تأمین امنیت مناسب برای سکونتگاه‌ها در طبقات اول فاصله، است. سکونتگاه‌ها نسبت به طبقات فاصله از مزارع بیشتر، در کمترین فاصلهٔ ممکن یعنی در دوطبقه اول فاصله از مزارع قرارگرفته‌اند که دلیل عمده آن نزدیکی به مزارع برای تسهیل در فعالیت‌های زراعی است. توجیه توزیع سکونتگاه‌ها در طبقات فاصله از پهنه‌های آبی و فاصله از آبراهه‌ها، در دسترسی راحت‌تر ساکنان آن‌ها به منابع متنوع آب برای انواع فعالیت‌های عمرانی و زراعی منعکس می‌شود. توزیع سکونتگاه‌ها رابطهٔ معکوسی با فاصله از اراضی بایر و ساحلی دارد، به‌طوری‌که حداقل تا فاصله ۶۹۰۰ m از اراضی ساحلی و بایر، هیچ سکونتگاهی قرار ندارد و با افزایش فاصله، توزیع سکونتگاه‌ها متراکم‌تر می‌شود تا جایی که اثر فاصله از اراضی بایر به حداقل مقدار ممکن برسد. توضیح اینکه، اراضیِ تا فاصلهٔ حدود ۳km از دریا، به دلیل بالا بودن سطح آب‌شور و شنزار بودن، جزء اراضی ساحلی محسوب می‌شوند.

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021



نمودار ۴: توزیع سکونتگاه‌ها به تفکیک هر یک از طبقات لایه‌های اطلاعاتی
Chart 4: Distribution of settlements by classes of information layers

٤. بحث

باستان‌شناسان درزمینهٔ فعالیت خود عموماً با داده‌های گستردهٔ جغرافیایی سروکار دارند. داده‌های جغرافیایی از موقعیت دقیق یک شیء باستانی در محل حفاری تا موقعیت نسبی مکان‌های باستانی در سطح زمین را شامل می‌شود [۵]. اگرچه باستان‌شناسی بیشتر متکی بر شناخت بصری از بقایای مادی گذشته است، امروزه بسیاری از بقایای باستان‌شناسی ازنظر پنهان مانده‌اند که یا به‌واسطه فرایندهای زیست‌محیطی همچون رودخانه باستانی، دریاچه‌های قدیمی، مرزهای مزارع یا توسط شهرهای مدرن و یا توسط پوشش گیاهی مدرن در زیرزمین به خاک سپرده‌شده‌اند. استفاده از ماهواره سنجش از راه دور نه‌تنها می‌تواند نشان‌دهندهٔ این مکان‌های پنهان، یا به‌اصطلاح بقایای نامرئی باشد، بلکه می‌تواند در زمینه‌های بسیار بزرگ‌تر، گذشته اجتماعی آن‌ها را با تمام پیچیدگی‌هایش برای ما روشن سازد. «تصاویر ماهواره‌ای با وضوح تصویر بالا و در حدود m ۱ به‌راحتی قادر خواهد بود ساختارهای مربوط به باستان‌شناسی را از روی نقشه‌ها شناسایی کند»[13]. در خصوص انتخاب ماهواره، لازم به ذکر است علاقه‌مندان و پژوهشگران این حوزه می‌توانند از تصاویر ماهواره‌ای با کاربری متفاوت و کیفیت بهتری بهره ببرند. به‌عنوان‌مثال ماهواره آیکونوس (Ikonos) اولین ماهوارهٔ تصویربرداری تجاری است که تصاویر چند طیفی را باقدرت تفکیک m ۳/۲ و تصاویر پان کروماتیک را باقدرت تفکیک cm ۸۲ ارائه می‌دهد [14]. تصاویر این ماهواره برای تشخیص سایت‌های باستان‌شناسی،

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

دیواره‌های مدفون در خاک، تهیهٔ نقشه دقیق و مطالعات پوشش گیاهی، مناسب است. تا قبل از راه‌اندازی ماهواره سنتینل ۲، تصاویر رایگان لندست به دلیل قدرت تفکیک زمانی (۱۶ روز) و قدرت تفکیک مکانی بین ۱۵ تا ۸۰ m بسیار موردتوجه بود [15]. تصاویر ماهواره کوئیک برد (Quick bird) دارای قدرت تفکیک مکانی بین ۶۳ cm تا ۲/۴ m است و قادر است تصاویر مرئی بارنگ طبیعی، تصاویر چند طیفی و تصاویر پان کروماتیک را ارائه کند [16]. به دلیل وضوح‌بالای این تصاویر می‌توان آن‌ها را در مطالعات باستان‌شناسی جهت تشخیص سایت‌های باستان‌شناسی، دیوارهای مدفون در خاک به‌کار گرفت [17]؛ اما ارائه تصاویر این ماهواره به‌صورت رایگان نیست و باید هزینهٔ بالایی بابت تهیه تصاویر آن پرداخت شود. ازاین‌رو در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ که تصاویر آن جزو تصاویر با تفکیک مکانی متوسط رو به بالا هستند، استفاده شد. یکی از کاربردهای مهم سنجش‌ازدور فضایی در باستان‌شناسی، در انجام مطالعات و بررسی‌های میدانی است. اکثر کارهای ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور در بررسی باستان‌شناسی، در تشخیص محوطه‌های باستانی متمرکزشده است که قابل‌مشاهده است. با تأکید روزافزون بر کاهش هزینه‌ها، ماهواره سنجش از راه دور اجازه می‌دهد تا گروه‌های باستان شناسی، محوطه‌ها و ساختارهای باستانی را تشخیص دهند که در غیر این صورت مجبور خواهند بود تا به‌طور تصادفی دست به این کار بزنند. در برخی موارد، حضور مواد فرهنگی سطحی ممکن است وجود یک محوطه باستان‌شناسی را نشان دهد، درحالی‌که در موارد دیگر محوطه‌های باستان‌شناسی توسط الگوهای رشد پوشش گیاهی، تغییرات شیمیایی در خاک و یا نزدیکی به یکی از عوارض طبیعی آشکار خواهند شد. در بررسی باستان شناسی در زمین به‌طورکلی، ما مطمئناً می‌توانیم خاک‌ها را بارنگ‌های متفاوت ببینیم و همچنین جنبه‌های مختلفی از مواد فرهنگی را مشاهده کنیم [18]. علاوه بر این‌ها ممکن است باستان‌شناسان با چالش‌های زیادی در کار میدانی مواجه شوند. یکی از این چالش‌ها تأمین بودجه برای انجام مطالعات و بررسی‌ها است. اگر بودجه کافی برای کسب نتایج اولیه از طریق بررسی زمین وجود ندارد، مکان‌یابی محوطه‌های باستان‌شناسی با استفاده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای، می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

یکی از مهم‌ترین کاربرد سنجش‌ازدور در مطالعات و بررسی میدانی استفاده از طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری زمین است که در این مقاله به‌کار گرفته شد. به‌عبارت‌دیگر با این کار می‌توان داده‌های خام را به اطلاعات قابل‌فهم و شناخته‌شده تبدیل کرد. «در مطالعات باستان‌شناسی، داشتن یک نقشه طبقه‌بندی‌شده از پوشش اراضی می‌تواند باعث تسهیل در توصیف چشم‌انداز کنونی منطقه مطالعاتی در ارتباط با محوطه‌های باستانی آن باشد» [19]. با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون اهمیت نسبی لایه‌های طبقه‌بندی‌شده به دست آمد. به‌این معنی که مشخص شد کدام‌یک از عوامل محیطی بیشترین تأثیر را در توزیع استقرار داشته است و سپس از هم‌پوشانی وزنی آن‌ها در محیط GIS نقشه پتانسیل مکانی استقرار تهیه شد. با نگاهی به آن متوجه می‌شویم نواحی مرکزی و شرقی منطقه پژوهش پتانسیل بالاتری برای استقرار، دارند. این نقشه از دو جنبه اهمیت دارد. نخست اینکه با توجه به وجود مسیرهای رودخانه در این نواحی، به‌خوبی ارتباط وجود رودها و محوطه‌های باستانی نشان داده می‌شود و دیگر اینکه می‌توان با استناد به آن جهت مطالعات آینده مکان‌های موردنظر را در شناسایی محوطه‌های جدید موردبررسی قرارداد و در زمان و هزینه صرفه‌جویی کرد.

تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند از طریق کشف ویژگی‌های یک منطقه به ما در تصمیم‌گیری محل کاوش نیز کمک کنند. در حفاری، باستان‌شناسان اقدام به باز کردن تعداد محدودی از ترانشه در نقاطی می‌کنند که به‌طور استراتژیک حداکثر اطلاعات را در مورد محوطه و یا آن چشم‌انداز ارائه دهد. در یک حفاری باستان‌شناسی که در آن ماهواره سنجش‌ازدور، درگیر نیست، باستان شناسان بیشتر، از علم ژئوفیزیک یا بررسی فیزیکی زمین برای تعیین بهترین مکان جهت ایجاد ترانشه‌های خود بهره می‌برند. در مواردی که در آن از علم ژئوفیزیک استفاده نمی‌شود، شاید گروه‌های باستان‌شناسی تصمیم خواهند گرفت که ترانشه‌های خود را در مکان‌های بالاتر (که در آنجا ساختارها بهتر حفظ‌شده‌اند) و یا در آن

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

سطحی که مواد فرهنگی خاصی که در ارتباط با برخی از انواع ساختارها در زیر سطح به دست می‌آید، ایجاد کنند. هنگام استفاده از ماهواره سنجش از راه دور برای کاوش، گروه‌های باستان‌شناسی می‌توانند با استفاده از طیف الکترومغناطیسی به‌طور گسترده، ساختارهایی را که بر سطح زمین قابل‌تشخیص نیستند، تشخیص دهند. ماهواره سنجش‌ازدور، در یک معنا، به‌عنوان یک ژئوفیزیک هوایی به شناسایی ساختارهای نهفته در خاک مانند دیوارها، خیابان‌ها و یا خانه می‌پردازد. هنگامی‌که گروه باستان شناسی محل دقیق هر ساختار را می‌دانند، آن‌ها می‌توانند محل دقیق ترانشه‌های خود را تعیین و از انجام کاوش‌های غیرضروری جلوگیری کنند که خود صرفه‌جویی در هزینه و زمان خواهد بود. البته بعد از انجام کاوش‌های باستان‌شناسی نیز تصاویر سنجش‌ازدور می توانند به بالا بردن درک ما از ارتباط بین عناصر معماری در مجموعه بناها و بافت‌های مسکونی و دیگر آثار و ساختارهای مورد کاوش کمک کنند. «باید توجه داشت که تفسیر مؤثر تصاویر ماهواره‌ای نیاز به دانش باستان شناسی منطقه موردمطالعه دارد و لازم است مطالعات انجام‌شده قبلی و کاوش‌های خاص موردبررسی قرار گیرد» [20]. استفاده از سنجش‌ازدور فضایی، ممکن است نسبت به دیگر روش‌های زمینی همچون ژئوفیزیک، برای تجزیه‌وتحلیل گسترده‌تر از زمین، مقرون‌به‌صرفه‌تر باشند، اما همه‌چیز بسته به اهداف پروژه در یک گروه باستان شناسی دارد. علاوه بر این، آموختن سنجش‌ازدور و استفاده از آن در باستان‌شناسی، به هر دو شکل سنجش مفهومی و کاربردی برای باستان‌شناسان مهم به نظر می‌رسد، به‌ویژه در شرایطی که باستان‌شناسی سنتی کمتر موردتوجه است و ترویج باستان‌شناسی غیر مخرب به جای باستان‌شناسی مخرب مدنظر قرار می‌گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

در مباحث نظری و کاربردی سنجش‌ازدور در باستان شناسی انواع ماهواره‌های مرتبط با آن به همراه مزایا و معایب هرکدام معرفی شد و بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که ماهواره کوئیک برد (Quick Bird) با وضوح تصویر بالا یکی از بهترین و دقیق‌ترین ماهواره برای نشان دادن ساختارها و پدیده‌های باستان‌شناسی است. ولی ازآنجاکه تهیه تصاویر آن هزینه‌بر است، استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel 2 پیشنهاد می‌شود که علاوه بر رایگان بودن از قدرت تفکیک مکانی و زمانی خوبی برخوردار است. پیش از شروع کار میدانی، سنجش‌ازدور جهت درک بهتر و دستیابی به یک دید کلی از منطقه موردمطالعه و در هنگام یا پس از بررسی میدانی نیز برای درک روابط بین محوطه‌های مورد شناسایی، به باستان‌شناسان کمک می‌کند. به علاوه، به‌کارگیری سنجش‌ازدور در بررسی‌های میدانی، محدودیت جغرافیایی را از میان برمی‌دارد و امکان انجام مطالعه مقدماتی استقرارهای باستانی ورای محدودیت مرزهای سیاسی و قراردادی امروزی را فراهم می‌کند.

منطقهٔ دشت بهشهر با توجه به شرایط زمین‌شناسی، آب و هوایی، جغرافیا و زیست‌بوم شرق مازندران و همین‌طور وجود زمین‌های مرغوب در حاشیه مخروط افکنه‌های رود دائمی نکا و برخی از رودخانه‌های فصلی منطقه موردبحث، قابلیت جذب و سازمان‌دهی زندگی را در دوره‌های مختلف باستانی داشته است و عوامل و شرایط مساعد طبیعی و زیست‌محیطی اهمیت ریشه‌ای در استقرار و تمرکز جوامع انسانی در منطقه داشته‌اند. بر همین اساس، مطابق با مطالعات انجام‌شده، کلیه عوامل محیطی مؤثر در شکل‌گیری استقرارهای باستانی منطقهٔ موردپژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت و با ارزش‌گذاری پارامترهای محیطی، نقش هر یک از این عوامل مشخص شد. سپس با درجه‌بندی موقعیت مکانی محوطه‌های باستانی، مطلوبیت استقرار موردبررسی قرار گرفت. در مرحلهٔ بعد، با اجرای مدل‌سازی رگرسیونی، اولویت‌های نسبی لایه‌های اطلاعاتی محیطی برآورد شد و در گام بعدی از همپوشانی وزنی آن‌ها در نرم‌افزار GIS، نقشه مکان‌های مستعد شکل‌گیری محوطه‌های استقراری ایجاد شد که مطابق این نقشه مناطق شرقی و مرکزی منطقهٔ موردمطالعه از پتانسیل بالاتری برای استقرارهای باستانی برخوردار هستند. مطابق پیش‌بینی و بر اساس پردازش لایه‌های اطلاعات محیطی، پراکنش

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

محوطه‌های پیش‌ازتاریخی منطقهٔ شرقی استان مازندران را می‌توان باوجود منابع آب در دسترس در دشت بهشهر، اعم از رودخانه‌های فصلی و دائمی در این منطقه مرتبط دانست و با بررسی، مشخص شد بیشترین سهم در بین عوامل مؤثر بر شکل‌گیری استقرارهای این منطقه، همین دستیابی و نزدیکی به منابع آبی (آبراهه‌ها و پهنه‌های آبی) بوده است. همچنین نزدیکی این محوطه‌ها با مزارع و اراضی زراعی قابل‌توجه است و می توان گفت پس از دستیابی به منابع آب، یکی از مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری محوطه‌ها محسوب می شود. نقشه‌های تهیه‌شده در سامانه اطلاعات جغرافیایی آشکار می‌سازد که بسیاری از استقرارها در فاصله بسیار نزدیک با رودهای منطقه قرار داشته‌اند و برعکس، با اراضی ساحلی فاصله زیادی داشته‌اند. با توجه به اهمیت کشاورزی که از مهم‌ترین شاخص‌های یکجانشینی و استقرار دائم در مکان‌های روباز محسوب می‌شود، فاصله مناسب از اراضی نوار ساحلی جهت دور ماندن از خاک شوره‌زار و سطح بالای آب‌شور، به‌منظور انجام فعالیت‌های کشاورزی قابل توجیه است. همچنین نوسانات آب دریا و پیشروی آن نیز می‌تواند در این موضوع، مؤثر باشد.

References

[1] Teofighian H. Geographic Information Systems and Its Application in Archaeology. Journal of Archaeology and History 2005, 15(1-2). [in Persian]
[توفیقیان حسین. دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی و کاربرد آن در باستان‌شناسی. مجله باستان‌شناسی و تاریخ ۱۳۸۰، ۱۵ (۱-۲).]

[2] Parcak SH. Satellite remote sensing for archaeology. Routledge; 2009 Mar 31.

[3] Sever T.L. Remote Sensing. American Journal of Archaeology, 1995, p. 83.

[4] Karimi, Jalal and Manouchehr Farajzadeh Asl, Analysis of spatial patterns of ancient sites of Mianab Shushtar plain with the application of remote sensing and geographical information systems, Quarterly Journal of Modares-e olume Ensani, Volume 8, Number 4, Winter, 2004, pp. 126-113 [in persian]
[کریمی جلال، و فرجزاده اصل منوچهر. تحلیل الگوهای فضایی استقرارگاه‌های باستانی دشت میانآب شوشتر با کاربرد سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه مدرس علوم انسانی ۱۳۸۳، ۸(۴): ۱۲۶-۱۱۳.]

[5] Mousavi Kuhper, Mehdi. Investigation and Identification of Archeology in Mazandaran Province for Archaeological Mapping, (unpublished), Documentation Center and Library of Mazandaran Province Cultural Heritage, Volume 5, Behshahr City, 2007 [in Persian].
[موسوی کوهپر مهدی. بررسی و شناسایی باستان‌شناسی استان مازندران به‌منظور تهیه نقشه باستان‌شناسی. (منتشرنشده)، مرکز اسناد و کتابخانه سازمان میراث فرهنگی استان مازندران، شهرستان بهشهر جلد پنجم، ۱۳۸۶.]

[6] Mandanici E, Bitelli G. Preliminary comparison of sentinel-2 and landsat 8 imagery for a combined use. Remote Sensing. 2016 Dec;8(12):1014.

[7] Winkler S, Wiedermann G, Gockel W. High-accuracy on-board attitude estimation for the GMES Sentinel-2 satellite: concept, design, and first results. InAIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit 2008 (p. 7482).

[8] Immitzer M, Vuolo F, Atzberger C. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. Remote Sensing. 2016 Mar;8(3):166.

[9] Huang R, Suo Z. Instability of a compressed elastic film on a viscous layer. International Journal of Solids and Structures. 2002 Apr 1;39(7):1791-802.

[10] Mather P.M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. Chichester: John Wiley. 1987

[11] Sabins F. Remote Sensing: Principles and Interpretation. Third Edition, W.H. Freeman Co, New York, 1997, p 387.

[12] Fowler MJ. Satellite remote sensing and archaeology: a comparative study of satellite imagery of the environs of Figsbury Ring, Wiltshire. Archaeological

[DOI: 10.29252/jra.6.1.1]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 13:45 +0330 on Saturday March 6th 2021

prospection. 2002 Jun;9(2):55-69.

[13] Giardano M, Clay RB, Kvamme KL, Green TJ, Dalan RA, Lockhart JJ, Hargrave ML, Haley BS, Somers L, Conyers LB. Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective. University of Alabama Press; 2006 Mar 19.

[14] Ali Zadeh Rabiei H. Remote Sensing (Principles and Application). Tehran: Samt, 2019 [in persian]

[علیزاده ربیعی حسن. سنجش‌ازدور (اصـول و کـاربرد). تهران: سمت، ۱۳۹۶.]

[15] Toutin T, Cheng P. QuickBird–a milestone for high-resolution mapping. Earth Observation Magazine. 2002 Apr;11(4):14-8.

[16] Hofmann P. Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis-an example from Cape Town (South Africa). Jürgens, C.(Ed.): Remote Sensing of Urban Areas/Fernerkundung in urbanen Räumen. 2001 Jun 22:41-2.

[17] Van Andel TH. Paleosols, red sediments, and the Old Stone Age in Greece. Geoarchaeology: An International Journal. 1998 Apr;13(4):361-90.

[18] Ebert, J. and Lyons, T. Eds. Archaeology, Anthropology, and Cultural Resources Management. In Manual of Remote Sensing, edited by J. Estes, Vol. II, pp. 1233–1304. American Society of Photogrammetry. The Sheridan Press, Falls Church, VA. 1983.

[19] Drzewiecki M. Raczkowski W. Following O.G.S. Crawford: satellite images and field archaeology in Sudan Advances on Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management. Edited by Rosa Lasaponara and Nicola Masini, Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop CNR, Rome, September 30 – October 4, 2008, pp 3-6.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی