

## Investigation of Changes in the Ancient Areas of Hegmataneh of Hamadan using Remote Sensing and Spatial Information System

Saeid Sadeghian<sup>1\*</sup>, Ahmad Rajabi<sup>2</sup>, Mona Farokhi<sup>3</sup>

1. Faculty of Civil Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. PhD Student in Remote Sensing, Faculty of Surveying and Spatial Information Engineering, University of Tehran, Iran
3. Master, Surveying Department, Hekmat Higher Education Institute, Qom, Iran


### Article Info

#### Original Article

Received: 2020/07/22;

Accepted: 2020/09/27;

Published Online 2020/12/02

 10.30699/athar.40.3.148

Use your device to scan  
and read the article online



#### Corresponding Author

**Saeid Sadeghian**

Faculty of Civil Water and  
Environmental Engineering,  
Shahid Beheshti University,  
Tehran, Iran

**Email:**

[sa\\_sadeghian@sbu.ac.ir](mailto:sa_sadeghian@sbu.ac.ir)

### ABSTRACT

The issue of defining the area or correct the location of an area is one of the important factors in the protection of ancient sites and one of the important issues in the field of cultural heritage. However, since these areas are not located correctly and with real coordinates, they have been trespassed and their vague boundaries have been modified. In this regard, this research has evaluated the changes in the area of the ancient hill of Hegmataneh in different periods by using the facilities and tools of remote sensing and photogrammetry. Using aerial images, a map of the changes and trends of the ancient hill of Hegmataneh was produced and it was determined that it is easy to re-read the information of very distant years with high accuracy. In this regard, the images of 1935, 1956, 1972, 1998 and 2002 were evaluated with high accuracy coefficient (85, 89, 82, 80 and 58%, respectively). The results showed that the use of satellite imagery alone (landsat images) is not enough for the development of research related to cultural heritage and historical buildings, and the reason is its low temporal resolution. As found in this study, an 84-year period was studied that demonstrates the power of aerial imagery in archaeological studies. On the other hand, the high resolution of aerial images has made it very easy to map the area of Hegmataneh in different years.

**Keywords:** Remote sensing, Landsat images, Ancient hill of Hegmataneh, SVM, GIS

Copyright © 2019. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

#### How to Cite This Article:

Sadeghian S, Rajabi A, Farokhi M. Title: Investigation of Changes in the Ancient Areas of Hegmataneh of Hamadan using Remote Sensing and Spatial Information System. Athar. 2019; 40 (3) :148-163

## بررسی تغییرات مناطق باستانی هگمتانه همدان با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی

سعید صادقیان\*<sup>۱</sup>، احمد رجبی<sup>۲</sup>، منا فرخی<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدبهبشتی، ایران
۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد سنجش از دور، گروه نقشه برداری، موسسه آموزش عالی حکمت، قم، ایران

اطلاعات مقاله	خلاصه
دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶ انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۰۹/۱۲	<p>بحث تبیین حريم يا جانمایی صحیح محدوده عرصه یکی از عوامل مهم حفاظتی محوطه‌های باستانی و از مباحث مهم در حوزه میراث فرهنگی است، اما به دلیل اینکه این محدوده‌ها به صورت صحیح و با مختصات واقعی جانمایی نشده‌اند، دخل و تصرف‌های گسترده‌ای به محدوده‌های مهم آنها در سال‌های گذشته صورت گرفته است. در این راستا، این پژوهش با استفاده از امکانات و ابزارهای سنجش از دور و فتوگرامتری به ارزیابی تغییرات محدوده عرصه تپه باستانی هگمتانه در دوره‌های مختلف اقدام کرده است. با استفاده از تصاویر هوایی، نقشه تغییرات و روند تغییرات تپه باستانی هگمتانه تولید و مشخص شد که به راحتی می‌توان اطلاعات سال‌های بسیار دور را بار دیگر بازخوانی و با دقتی بالا مطالعه کرد. در این خصوص، تصاویر سال‌های ۱۳۱۴، ۱۳۳۵، ۱۳۵۱، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۱ با ضریب دقت بالا (به ترتیب ۸۵، ۸۹، ۸۲ و ۸۰ درصد) ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به تنهایی نمی‌تواند پاسخ‌گوی توسعه تحقیقات مربوط به میراث فرهنگی و ابنیه تاریخی باشد و دلیل آن هم قدرت تفکیک زمانی پایین آن است. همان‌طور که در این پژوهش مشخص شد، یک بازه ۸۴ ساله مطالعه شد که نشان‌دهنده قدرت تصاویر هوایی در مطالعات باستان‌شناسی است. از سویی دیگر توان تفکیک بالای تصاویر هوایی کار را به‌منظور نقشه برداری محدوده عرصه هگمتانه در سال‌های مختلف بسیار آسان کرده است.</p>

### نویسنده مسئول:

سعید صادقیان

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدبهبشتی، ایران

### پست الکترونیک:

[sa\\_sadeghian@sbu.ac.ir](mailto:sa_sadeghian@sbu.ac.ir)

### کلیدواژه‌ها: سنجش از دور، تصاویر لندست، تپه باستانی هگمتانه، GIS، SVM

حق کپی رایت انتشار: این نشریه ی دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهینامه بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (باز ترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

### مقدمه

حفاظت از میراث فرهنگی و تاریخی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل معرفی پیشینه و هویت هر ملت، نیازمند ابزار دقیق و توانمندی است که امکان برداشت‌های دقیق و همچنین گردآوری اطلاعات موردنیاز را برای انجام مستندنگاری‌ها، ارزیابی‌ها، تحلیل‌های آماری، مدیریت و پایش سایت یا بنای تاریخی فراهم می‌کند. در این باره، منشورهای بین‌المللی حفاظت که نقش دستورالعمل‌های کاری را دارند، بر لزوم بهره‌گیری از ابزار و فناوری‌های نوین، ضمن حفظ اصالت و یکپارچگی اثر تاریخی، تأکید می‌کنند. تغییرات آثار باستانی در اثر فعالیت‌های انسانی یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای است. با توجه به مزیت‌ها و

قابلیت‌های داده‌های ماهواره‌ای، این فناوری می‌تواند کمک شایانی به شناسایی و کشف این تغییرات کند. دستیابی به اطلاعاتی که زمانی از آنها سپری شده کار دشواری است، اما دستیابی به داده‌های ماهواره‌ای و هوایی که قدرت تفکیک زمانی در حدود چند دهه را ارائه می‌دهند، در بسیاری مواقع می‌تواند مشکلات اساسی، به‌ویژه در زمینه شناسایی تغییرات و مدل‌سازی آنها را رفع کند. فتوگرامتری به دو صورت هوایی برای تهیه نقشه از سایت‌ها و محوطه‌های تاریخی تا مقیاس ۱:۵۰۰ و برد کوتاه برای تهیه نقشه از بناهای تاریخی تا مقیاس ۱:۱۰ در مستندنگاری استفاده می‌شود (Feyzollah Beygi, 2015). در این راستا، آثار باستانی که نماد شکوه و جلال تاریخ

گردشگری، ارائه طرح‌های مرمت بهینه‌تر و بازیابی جایگاه واقعی بنا یا سایت را از لحاظ ارزشی به شکل بهتری فراهم می‌کند. در این راستا، سیستم‌های اطلاعاتی قدرت ارتباطی و تحلیلی مورد نیاز برای تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت امور مختلف براساس تولیدات هندسی تصاویر موصوف فراهم شده است. در این میان، سیستم اطلاعات مکانی به‌عنوان یک سیستم نگهداری، نمایش و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی، نقش مهمی در حفظ میراث فرهنگی و توسعه صنعت گردشگری دارد. مهم‌ترین مسئله در راه‌اندازی و به‌کارگیری سیستم‌های اطلاعات مکانی، تهیه داده است که این داده‌ها در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای و فتوگرامتری تولید شده است. به‌منظور شناسایی تغییرات عرصه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف در سامانه اطلاعات مکانی، از توابع ریاضی و هندسی Map Algebra استفاده شد. در واقع به‌دلیل اهمیت ثبت و آشکارسازی تغییرات محوطه‌های باستانی و میراث فرهنگی هر کشور و همچنین بهره‌مندی از علم ژئوماتیک در بررسی، آشکارسازی و ثبت محوطه‌های باستانی، هدف اصلی این مطالعه، بررسی توانایی سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای در برنامه‌ریزی به‌منظور مستندنگاری آثار و ابنیه تاریخی برای شناسایی تغییرات در تپه باستانی هگمتانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی مناسب و الگوریتم‌ها و روش‌های پیشنهادی نسبتاً جامع بوده است.

### پیشینه پژوهش

مطالعه پیرامون ارزیابی تغییرات محوطه‌های باستانی از دیدگاه محققان و باستان‌شناسان اهمیت و اولویت فراوانی دارد. در سال‌های اخیر، با توجه به گسترش روش‌های سنجش‌ازدور و توسعه چشمگیر ابزارهای این بخش، این مسئله مورد توجه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است؛ بنابراین این بخش از مطالعه حاضر به بررسی کاربردهای سامانه اطلاعات مکانی و سنجش از راه دور (علوم ژئوماتیک) در ارتباط با مطالعات باستان‌شناسی و نیز شناسایی تغییرات<sup>۱</sup> پرداخته است. جدول ۱، مشخصات تعدادی از تحقیقات صورت گرفته در این باره را نشان می‌دهد.

یک کشور است، هر ساله دستخوش تغییرات عمده‌ای می‌شود که آسیب‌هایی جدی ایجاد می‌کند. تپه هگمتانه جزو آثاری است که طی سال‌های طولانی دستخوش آسیب‌های عمدی و غیرعمدی شده و تاکنون برآوردی دقیق به روش‌های امروزی از این وضعیت نابسامان وجود نداشته است. مهم‌ترین موضوعی که در این پژوهش به آن توجه شده است، بحث تغییرات محدوده عرصه تپه باستانی هگمتانه است. در حال حاضر محدوده اصلی عرصه هگمتانه مساحتی حدود ۳۲ هکتار دارد؛ در حالی که چند دهه گذشته محدوده عرصه واقعی برای این اثر ارزشمند وجود نداشت و مرزی حقیقی میان مناطق مسکونی و آثار و اماکن تپه هگمتانه بنا نشده بود. این امر بستر لازم برای حفاری‌های غیرمجاز را ایجاد و آسیب‌های جدی به این اثر باستانی وارد کرد و بسیاری از آثار ارزشمند به‌صورت غیرمجاز خارج شد. یکی از استانداردهای موصوف در زمینه یکپارچه‌سازی آثار و اراضی باستانی ایجاد سند جامع ثبتی است که برای تپه باستانی هگمتانه نیز در دست اجراست. تعداد ساختمان‌هایی که در محدوده اصلی ۳۲ هکتاری هگمتانه قرار داشته‌اند، طی دوره‌های زمانی مختلفی توسط سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری خریداری و تخریب و به محدوده عرصه هگمتانه اضافه شدند؛ بنابراین نقشه‌های مستندی از ساختمان‌های موصوف در دسترس نیست؛ زیرا بازه زمانی تخریب این ساختمان‌ها به بیش از ۴۵ سال پیش برمی‌گردد. پس از آن زمان، نقشه‌ای از این محوطه، طی کاوش‌های باستان‌شناسی محمدرحیم صراف و مهرشاد مؤمنی تهیه و در سال ۱۳۷۳ اولین تعیین عرصه و حریم توسط محبعلی نقشه‌برداری و ارائه شد (festivals.ichto.ir/hegmataneh). در این راستا، پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای به تهیه نقشه عرصه هگمتانه در دوره‌های زمانی مختلف پرداخته و تغییرات عرصه را در طی سال‌های اخیر شناسایی و مدل‌سازی کرده است. همچنین با قراردادن نتایج این مرحله در یک پایگاه داده مکانی، بستر تحلیل‌های مکانی ساده و پیچیده را فراهم کرده است. از سوی دیگر، هرچه میزان اطلاعات درباره یک سایت تاریخی بیشتر باشد، به شناخت زوایا و ابعاد مختلف آن به شکل بهتری منجر شده و امکان تصمیم‌گیری‌های مختلف، مدیریت، برنامه‌ریزی، حفاظت، تعیین مسیرهای بهینه

<sup>1</sup>. Change Detection

جدول ۱. مشخصات برخی مطالعات مربوط به مستندنگاری آثار باستانی و سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی

ردیف	موضوع پژوهش	نتایج
۱	مقایسه هواپیماهای بدون سرنشین و فتوگرامتری هوایی در مطالعات باستان‌شناسی در Patras مصر (Nikolakopoulos et al., 2017)	دقت ۹۰ درصدی مدل ارائه‌شده توسط پهپادها از مدل تهیه‌شده توسط فتوگرامتری سنتی
۲	بررسی میزان آسیب‌های وارده توسط گروهک‌های تروریستی به آثار باستانی در عراق از تصاویر ماهواره‌ای (Cerra et al., 2016)	شناسایی سریع تغییرات مخاطرات انسانی و تهدیدات تروریستی
۳	ارائه الگوریتمی جدید برای طراحی شبکه تصویربرداری با پهپاد و مسیریابی آن با اهداف مدل‌سازی محوطه‌های باستانی (Hemmati Mandjin et al., 2016)	افزایش سرعت مدل‌سازی سه‌بعدی
۴	آشکارسازی و مستندنگاری رشته قنات بر پایه ادغام تصاویر هوایی و فضایی (Malian, Teymouri Damski and Arabi, 2017)	کارایی مناسب روش تلفیقی در بررسی ابنیه و مرمت آنها
۵	بررسی و آشکارسازی تغییرات ابنیه میراث فرهنگی شهر زنجان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶)	واقع‌گرایی و هم‌بستگی بالای نتایج
۶	بررسی کاربرد پایش باستان‌شناختی محوطه‌های باستانی با استفاده از سنجش‌ازدور (Sadeghian, Mohammadkhani and Senmar, 2017)	پتانسیل بالای تصاویر ماهواره‌ای در پایش باستان‌شناختی
۷	مستندنگاری آثار باستانی با استفاده از سنجش‌ازدور (Aslani Katoli, Malian and Sadeghian, 2017)	تطابق بالای نتایج پژوهش با مطالعات میدانی
۸	کاربرد سامانه‌های پهپاد مینا جهت مدل‌سازی سایت‌های باستانی با هدف ارزیابی و مرمت آنها (Hemmati Mandjin et al., 2016)	کاهش زمان محاسبات برای ایجاد مدل سه‌بعدی به‌منظور بازسازی و ترمیم
۹	بررسی جایگاه مهندسی ژئوماتیک در کاربردهای میراث فرهنگی-باستان‌شناسی و معماری (Alitajer and Afshari Azad, 2013)	امروزه مهندسی ژئوماتیک و روش‌های آن، به‌عنوان مجموعه‌ای از کارآمدترین روش‌ها در اندازه‌گیری هندسی، تجزیه و تحلیل و تفسیرهای مربوط به موضوعات مطرح در میراث فرهنگی، چشم‌اندازهای روشنی پیش روی متخصصان و متصدیان این عرصه قرار داده است.
۱۰	مستندسازی منظر باستانی تخت جمشید (Aminzadeh and Agha Ebrahimi Samani, 2006)	معرفی شیوه‌ای از مستندسازی ویژگی‌های طبیعی و منظر سایر پهنه‌های تاریخی
۱۱	تحلیل الگوهای فضایی استقرارگاه‌های باستانی دشت میاناب شوشتر با کاربرد سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (Karimi and Farajzadeh Asl, 2004)	پیش‌بینی ۸۵ درصد از مکان‌های باستانی با استفاده از مدل مبتنی بر روش هم‌بستگی منطقی
۱۲	به‌کارگیری تکنیک‌های مطرح در فتوگرامتری رقومی برد کوتاه به‌منظور مانیتورینگ تغییرات ابنیه تاریخی (Samadzadegan, Sarpolaki and Azizi, 2004)	بررسی سطوح مختلف مستندنگاری با روش‌های مختلف

نتایج	موضوع پژوهش	ردیف
واقع‌گرایی و هم‌بستگی بالای نتایج	استخراج اطلاعات هندسی و مدل‌سازی رقومی نقش برجسته «چشمه‌علی» با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه رقومی (Samadzadegan, Sarpolaki and Azizi, 2002)	۱۳
شناسایی شهر بزرگی در هگمتانه براساس کاوش‌ها	ایجاد ترانسه‌های متعدد در تپه هگمتانه (صراف، ۱۳۷۳)	۱۴
طرح بازنگری عرصه و حریم هگمتانه	گمانه‌زنی و مطالعه در بخش‌های مختلف پیرامون هگمتانه (هژبری، ۱۳۸۹)	۱۵

### محدوده مورد مطالعه

ماهیت کاربری. وی در طی سال‌های کاوش خود و پس از آن، نتوانست پاسخ روشنی برای این دو مسئله بیابد. پس از وی Azarnoosh، از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ چهار فصل در این تپه به کاوش لایه‌نگاری پرداخت و توانست جواب یکی از این سؤالات را روشن کند. وی ابتدا مدارکی را که برای تاریخ‌گذاری نسبی محوطه استناد شده، بازبینی و سپس نتایج حاصل از آزمایش گرمالیان را مرور کرد. در نهایت، آخرین نتایج آزمایش رادیوکربن را ارائه داد. دور دوم کاوش‌های باستان‌شناختی با هدف «آشکار کردن توالی لایه‌شناختی و گاه‌شناختی محوطه، یعنی تلاش برای ابهام‌زدایی» را انجام داد. در این دور از کاوش‌ها، با رویکردی لایه‌نگارانه به مطالعه دقیق لایه‌ها و شناخت توالی و تعیین قدمت آنها پرداخت (Azarnoosh, Sharifi, and Hejbari, 2016). موضوع خرید و تملک عرصه و حریم‌های مجموعه‌ها، محوطه‌ها و آثار فرهنگی-تاریخی کشور به‌منظور آزادسازی عرصه، تعیین حریم، کاوش‌های علمی باستان‌شناسی، دید منظری و ساماندهی آثار فرهنگی-تاریخی به‌عنوان رسالت و وظیفه مهم همواره مورد توجه سازمان میراث فرهنگی قرار داشته است. همچنین کوشش‌های فراوانی شده تا موضوع آزادسازی عرصه و حریم‌های بناهای تاریخی محقق شود و ساخت‌وسازهای پیرامون آثار فرهنگی، تاریخی و همچنین عرصه‌های آثار ضمن رعایت اصول و ضوابط تعیین‌شده نظام‌مند شوند و سامان خاصی بگیرند.

### روش تحقیق

تحقیق پیش رو مبتنی بر روش‌های توصیفی-تحلیلی و با اهداف کاربردی است. بعد از مطالعه اسناد کتابخانه‌ای،

تپه باستانی هگمتانه به‌صورت بیضی‌شکل با مساحت ۳۱ هکتار در محدوده شهر همدان و در ۳۴۰ کیلومتری غرب تهران با مختصات (۴۸.۵۱۷۳ شمالی و ۳۲.۸۰۴۶۲۹ شرقی) و در ارتفاع ۱۸۷۰ متر از سطح آب‌های آزاد واقع است (fa.wikipedia.org). تپه هگمتانه به‌صورت متمرکز در مرکز شهر همدان و در انتهای خیابان اکباتان مشاهده می‌شود. از سال ۱۳۴۸-۱۳۴۷ به بعد، سرمایه‌گذاری روی تپه باستانی و همچنین مالکیت اراضی مسکونی و تجاری روی عرصه هگمتانه به‌منظور فعالیت‌های باستان‌شناسی آغاز شد. در سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۵۴ نیز ضمن تخریب خانه‌های خریداری‌شده عرصه و حریم جدید برای تپه هگمتانه تعریف شد (www.kojaro.com). تپه هگمتانه با توجه به انتشارات تاریخی و برداشت‌های اولیه باستان‌شناسان و پژوهشگران به‌عنوان هگمتانه باستانی و دربرگیرنده آثار دوران تاریخی، به‌ویژه دوره ماد، هخامنشی و اشکانی معرفی شد. ملک‌زاده یکی از اهداف بیست و دومین فصل کاوش در تپه هگمتانه را بازنگری عرصه و حریم این محوطه در مناطقی که با بافت شهری تداخل دارد و به‌طور ویژه در قسمتی که این محوطه با بازار آهنگران هم‌پوشانی دارد، عنوان کرد. در پایان این فصل از کاوش، اهداف پیش‌گفته، تحقق یافته است که به‌طور خلاصه می‌توان آن را تدقیق دوباره عرصه و حریم تپه هگمتانه، یافتن شواهد جدیدی از برج و باروی هگمتانه و تلاش برای ترسیم توالی استقرارها در این تپه دانست (archaeologyhub.ir). صراف، اولین کاوشگر ایرانی تپه مذکور، ۱۲ فصل به‌طور متناوب (از سال ۱۳۷۹-۱۳۶۲) در این تپه به کاوش پرداخت و همواره به دو مسئله اساسی توجه داشت: گاه‌نگاری تپه و

تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصاویر هوایی صورت گرفت؛ بنابراین برای اجرای مرحله آشکارسازی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور ماهواره‌ای از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ (لندست TM) و لندست ۸ در سال‌های مختلف و یک دوره پرودیک استفاده شد. در این باره، با توجه به روش مورد استفاده که مقایسه تصویر به تصویر بود، تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ از سنجنده‌های مذکور دانلود شد. همچنین به منظور جلوگیری از کاهش اطلاعات و ازدست‌رفتنی اطلاعات، از تصاویر ماهواره‌ای همتای Google Map استفاده شد. در مرحله دوم پردازش‌های فتوگرامتری و تصاویر هوایی، از سری تصاویر آنالوگ رقومی شده تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در سال‌های مختلف و یک دوره پرودیک استفاده شد. همچنین همه اطلاعات آماری مربوط به تپه باستانی هگمتانه در این تحقیق از اداره میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری همدان و نیز پایگاه تپه باستانی هگمتانه استعلام شد.

#### آشکارسازی تغییرات با تصاویر ماهواره‌ای لندست

علم سنجش‌ازدور ابزاری قدرتمند در کنار سایر علوم است که به صورت یک دانش لاینز، با رویکرد بین‌رشته‌ای به کمک سایر علوم آمده است. باستان‌شناسی سنجش‌ازدور رویکردی بین‌رشته‌ای از علوم طبیعی و انسانی است که توسعه آن می‌تواند درک عمیق مردم از باستان‌شناسی را تقویت کند. پس از اجرای تصحیحات و پردازش‌های اولیه روی مجموعه تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸، تصاویر آماده نقشه‌برداری و استخراج عرصه محوطه تپه باستانی هگمتانه شد؛ بنابراین تصاویر مطابق الگوریتم پیشنهادی پردازش‌شده و نقشه عرصه تپه مذکور استخراج شد. در این راستا الگویی که برای استخراج محدوده تپه هگمتانه به کار برده شده، به صورت طبقه‌بندی نظارت‌نشده به منظور جداسازی عارضه‌ها برحسب درجه خاکستری‌شان بود. شکل ۱، تصویر استخراج‌شده حریم تپه هگمتانه از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد.

مبانی نظری گردآوری شد. آزمایش‌ها و پردازش‌های تحقیق حاضر در دو مرحله سنجش‌ازدور هوایی و ماهواره‌ای صورت گرفته است. این اقدام به منظور بررسی جایگاه و ارزیابی دقت و صحت روش‌های پیش‌روست. در این راستا، در فرایند آشکارسازی تغییرات با استفاده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای، تصاویر مورد نیاز از مجموعه سنجنده‌های لندست برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ تهیه و برای تهیه نقشه‌های موردنیاز از نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی استفاده شد. همچنین در مواقعی که اطلاعات کم است، از تصاویر موجود در Google Earth استفاده شد. سپس با بررسی تفاوت عرصه و حریم سایت باستانی هگمتانه، در سال‌های مذکور می‌توان تغییرات آن را در دوره هجده‌ساله بررسی و مطالعه کرد. در ادامه و در انجام فرایند آشکارسازی با استفاده از تصاویر هوایی، ابتدا آرشیو تصاویر هوایی موجود ژئورفرنس و در نرم‌افزار ArcGIS عرصه و حریم تپه هگمتانه استخراج شد. سپس با بررسی و مطابقت عرصه در سال‌های مختلف، تغییرات شناسایی و بررسی شدند. در نهایت با مطالعه نتایج هر دو روش سنجش‌ازدور هوایی و ماهواره‌ای به بحث و بررسی مزایا و معایب هریک از شیوه‌های مذکور پرداخته شد؛ بنابراین در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر و انجام مراحل مختلف آن، مختصری از مهم‌ترین اقدامات و فنون استفاده‌شده شرح داده شد. الگوریتم مورد استفاده در آزمایش‌های این پژوهش با بررسی تصویر به تصویر، برای روش‌های فتوگرامتری مقداری متفاوت است. فرایند مورد ارزیابی در این تحقیق که در دو مرحله پردازش تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصاویر هوایی به صورت مرحله‌به‌مرحله اجرا شد، به شرح زیر است. برای ارزیابی مدل استفاده‌شده، از فرایند طبقه‌بندی نظارت‌شده SVM<sup>۲</sup> استفاده شد. هدف الگوریتم SVM یافتن بهترین مرز در میان داده‌ها بود. بیشترین فاصله ممکن از تمام دسته‌ها در نظر گرفته شده و به سایر نقاط داده‌ها حساس نبوده است (Mozaq-Calvache et al., 2012).

به منظور توسعه متدولوژی و پردازش‌ها برای تهیه نقشه تغییرات محوطه باستانی تپه هگمتانه، دو آزمایش پردازش

2. Support Vector Machine



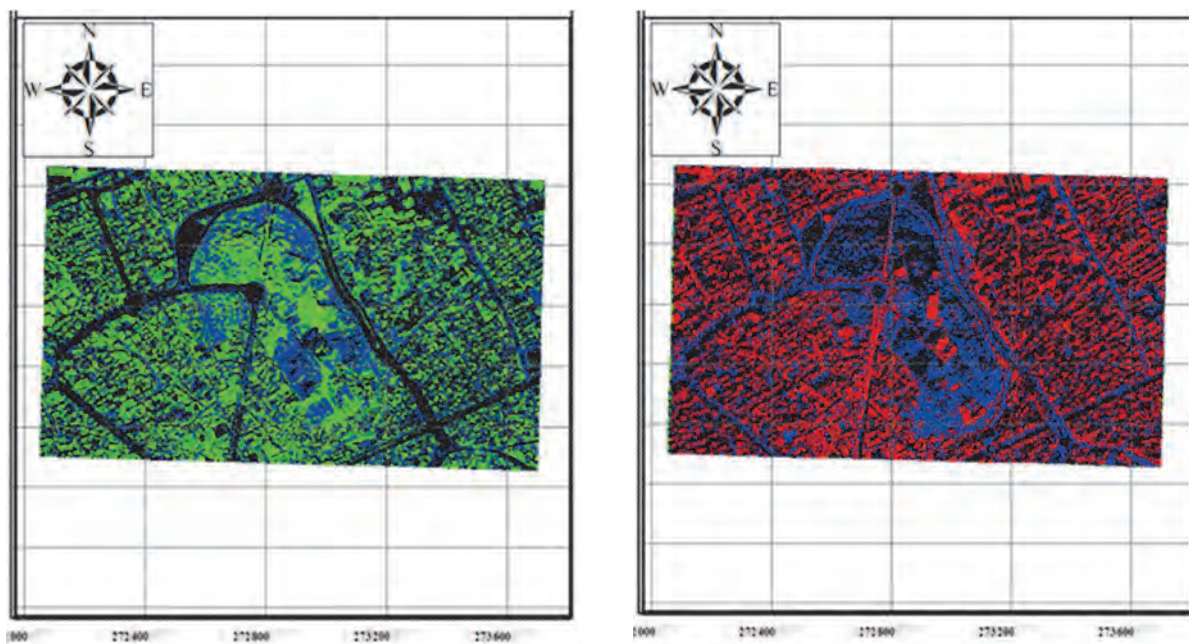
شکل ۱. تصویر استخراج شده حریم تپه هگمتانه از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست الف: سال ۲۰۰۰ ب: سال ۲۰۱۸

استخراج اطلاعات محوطه باستانی تپه هگمتانه تصاویر سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ از نرم‌افزار متن‌باز و رایگان Google Earth Pro استفاده شد که کاربر را قادر به نقشه‌برداری از روی تصاویر ماهواره‌ای می‌کند. بار دیگر در این بخش از الگوی پیش طراحی شده استفاده شد. سپس با بارنمایی تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، نقشه حریم تپه هگمتانه و تغییرات آن شناسایی شد. نتایج این الگوریتم مساحتی حدود ۱۳.۲۹۲ متر را در طبقه ساختمان‌ها طبقه‌بندی کرده‌اند (شکل ۲- الف)؛ البته الگوریتم حاضر ترانسه‌های داخل محوطه را نیز به‌عنوان ساختمان تشخیص داده‌اند. با توجه به اینکه این ترانسه‌ها از دیواره‌های خشتی با ارتفاع کمینه ۱/۵ متر ساخته شدند، شناسایی آنها به‌عنوان ساختمان مسئله‌ای بدیهی است. براساس پردازش‌های اجرا شده برای تهیه نقشه تغییرات محوطه هگمتانه در سال ۲۰۱۹، یک‌بار دیگر این اقدامات برای سال ۲۰۰۵ اجرا شد. در این راستا شکل ۲- ب، نقشه طبقه‌بندی تصویر Google Earth مربوط به سال ۲۰۰۵ را نشان می‌دهد. شکل ۳ نیز نقشه محوطه اصلی سایت هگمتانه را در سال‌های مذکور نشان می‌دهد.

پس از تهیه نقشه حریم باستانی تپه هگمتانه، ۲۸ نقطه کنترل زمینی (داخل محوطه و خارج محوطه) به دست آمد و به بررسی صحت نتایج روش جاری اقدام شد؛ بدین‌منظور نتایج سال ۲۰۱۸ با دقت کلی ۵۷ درصد و نیز ضریب کاپای کوهن ۰/۱۶ نشان‌دهنده خطای فاحش این نتایج است. بار دیگر با همان نقاط انتخاب‌شده کنترل زمینی، نتایج سال ۲۰۰۰ نیز ارزیابی شد؛ بدین‌منظور نتایج سال ۲۰۰۰ با دقت کلی ۳۹ درصد و نیز ضریب کاپای کوهن ۰/۱۳ نشان از خطای فاحش این نتایج است.

#### آشکارسازی تغییرات با تصاویر Google Earth

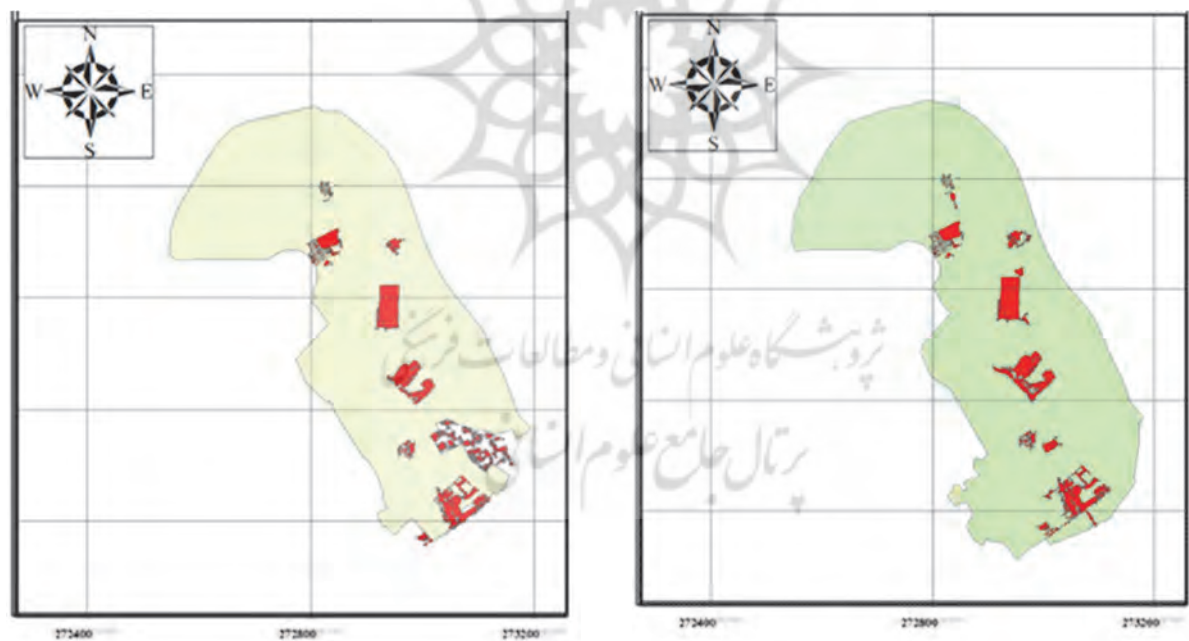
قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر ماهواره‌ای لندست به نسبت به مقیاس محدوده مورد مطالعه، عواید چندانی نصیب محقق نمی‌کند. این مسئله به‌صورت کلی نشان می‌دهد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متوسط در جهت مستندنگاری سایت‌های باستانی ایجاد محدودیت می‌کند. این اتفاق درباره تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا صدق نمی‌کند؛ چراکه اطلاعات بسیار بالارزشی از این تصاویر می‌توان تهیه کرد. در این راستا، به‌منظور



شکل ۲. نتایج طبقه‌بندی نظارت‌نشده تصویر Google Earth

ب: سال ۲۰۰۵

الف: سال ۲۰۱۹



**راهنمای نقشه**

- ساختمان های شناسایی شده توسط الگوریتم
- حریم نیه بانسانی هگمتانه در سال 2005

**راهنمای نقشه**

- ساختمان های شناسایی شده توسط الگوریتم
- حریم نیه بانسانی هگمتانه در سال 2019

شکل ۳. تصویر استخراج‌شده حریم نیه هگمتانه از تصویر ماهواره‌ای Google Earth

ب: سال ۲۰۰۵

الف: سال ۲۰۱۹



مدیریت سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، مدیریت پایگاه تپه باستانی هگمتانه تهیه شد؛ بنابراین این تصاویر نسخه‌ای دیجیتال شده از تصاویر آنالوگ با قدرت تفکیک 50 ppi است. تصاویر هوایی هر سال وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و با استفاده از سه نقطه که در بازدید میدانی برداشت شده، ژئورفرنس شده است. تهیه آرشیو از توسعه حریم ثبتی این اثر تاریخی، روندی گزینشی دارد و با نظارت کامل اپراتور صورت گرفته است. اولین نقشه تهیه شده در فرایند مستندنگاری و همچنین نتایج این بخش نشان می‌دهد، در سال ۱۳۱۴ محدوده عرصه مشخصی در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد که این امر بر تجاوز بخش مسکونی به حریم باستانی دلالت دارد و مشخصه بسیاری از حفاری‌های غیرقانونی و غیرمجاز است؛ البته اطلاعاتی مربوط به قبل از این دوران نیز در دست است که می‌تواند حکایتی کامل از سیر تحول شهر باستانی هگمتانه داشته باشد (Mahyar et al., 1999). مطابق دیگر روش‌های مستندنگاری محدوده عرصه هگمتانه در بخش مطالعات سنجش از دوری و تصاویر ماهواره‌ای، از الگوریتم مشابهی استفاده شد.

همچنین نقشه محدوده عرصه سایت در سال ۱۳۳۵ که در شکل ۴ مشخص است، نشان‌دهنده سیر تحول و نقطه عطف این اثر باستانی است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پیشرفت آن چنانی در این تصویر در مقایسه با تصویر سال ۱۳۱۴ رخ نداده است. تنها چیزی که می‌توان در این تصویر ملاحظه کرد، مدرسه‌ای روی تپه است که تخریب نشده و امروزه به ساختمان موزه تپه باستانی هگمتانه تبدیل شده است. همچنین می‌توان به نسبت تصویر قبلی مسیری ارتباطی را که از وسط محدوده عرصه باستانی هگمتانه رد شده است، ملاحظه کرد. در این باره، نتایج این بخش نشان‌دهنده اراضی موجود به مساحت ۶۹۶۰۵ مترمربع است. شکل ۴، نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه را در سال‌های ۱۳۱۴ و ۱۳۳۵ نشان می‌دهد.

پس از طبقه‌بندی و کلاس‌بندی هریک از تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ و با یک تفاضل نتایج هر کلاس در هر دو بخش، نقشه تغییرات کاربری اراضی در دوره مورد نظر در تپه باستانی هگمتانه و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است، برخی تغییرات در قسمت جنوبی محوطه صورت گرفته است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth در دوره چهارده ساله توانستیم یکی از دوره‌های تملک اراضی را ثبت و استخراج کنیم؛ البته پس از بررسی‌هایی که به منظور دستیابی به تاریخ دقیق این تملک و در زمان مدیریت حبیب‌الله رشید بیگی (مدیر پایگاه هگمتانه) صورت گرفته است که به دلیل بار مالی برای دولت در آرشیو اداره کل میراث فرهنگی استان محفوظ است. نتایج این بخش نشان می‌دهد دقت بالای تصاویر ماهواره‌ای Google Earth در نقشه‌برداری شکستگی‌ها این تصاویر را برای دستیابی به اهداف باستان‌شناسی و پایش محوطه‌های باستانی متمایز می‌کند. در نهایت با اخذ ۲۸ نقطه کنترل زمینی (داخل محوطه و خارج محوطه) صحت نتایج روش جاری بررسی شد؛ بدین‌منظور نتایج سال ۲۰۱۹ با دقت کلی ۹۰ درصد و نیز ضریب کاپای کوهن ۰/۸۸ نشان‌دهنده دقت مناسب این نتایج است. همچنین نتایج سال ۲۰۰۵ با دقت کلی ۸۳ درصد و ضریب کاپای کوهن ۰/۷۹ دقت مناسب این نتایج را نشان می‌دهد، اما نتایج مربوط به آزمایش‌های سال ۲۰۰۵ در مقایسه با سال ۲۰۱۹ دقت کمتری دارد که دلیل آن شاید سازگاری کمتر الگوریتم مورد استفاده باشد.

#### ارزیابی تصاویر هوایی

به‌منظور نقشه‌برداری عرصه تپه هگمتانه از تصاویر هوایی سال‌های ۱۳۱۴ (Feyzollah Beygi, 2015)، ۱۳۳۵ (Erich, 1935)، ۱۳۵۱، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۱ (National Geography Organization of Iran, 1956) استفاده شد. تصاویر هوایی از



ب: سال ۱۳۳۵



الف: سال ۱۳۱۴

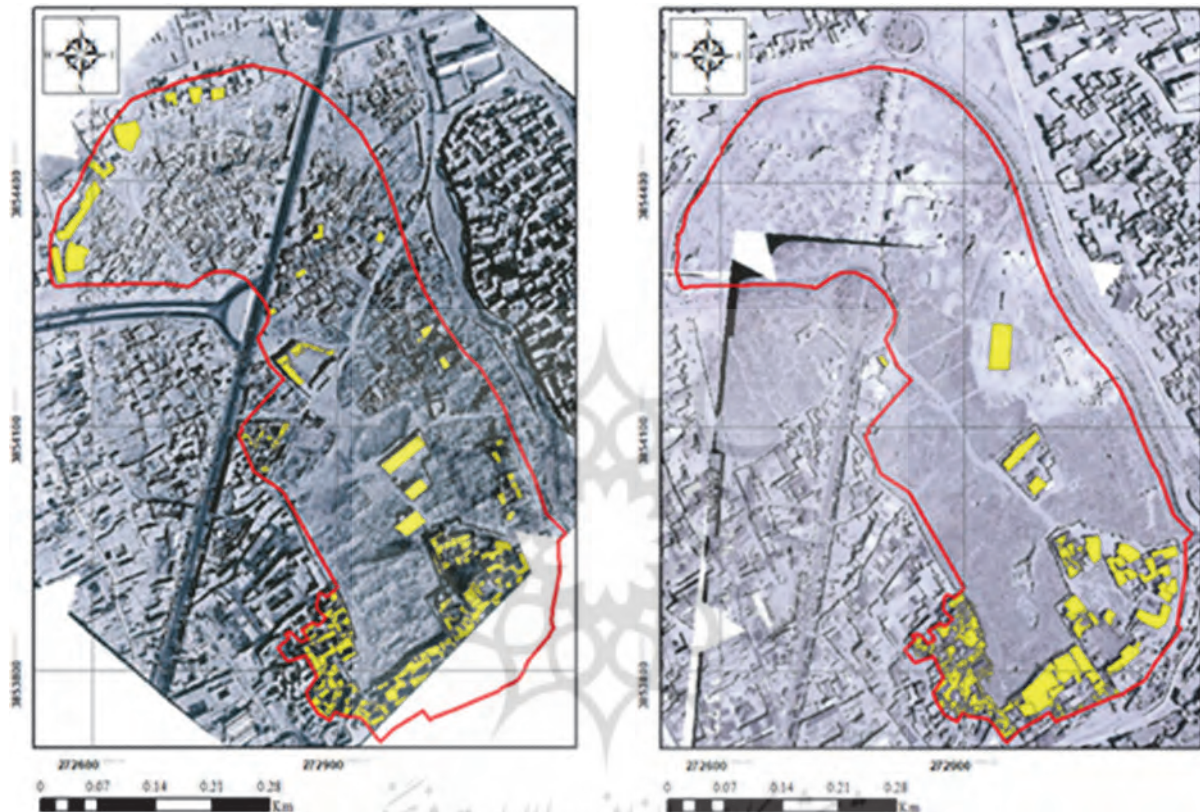
شکل ۴. نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه در سال‌های ۱۳۱۴ و ۱۳۳۵

ماتریس خطا و نیز ضریب کاپا و ارزیابی دقت نشان داده شده است. بر این اساس، مساحت املاک داخل حوزه ریزش بسیاری داشته و برابر ۱۷.۲۸۵ مترمربع است. درباره بررسی تغییرات سال ۱۳۷۷ با استفاده از الگوریتم مورداستفاده، طبقه‌بندی عوارض داخل تصویر هوایی سال ۱۳۷۷ صورت گرفت (شکل ۵-ب) همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تغییراتی در این سال داده شده است. ساختمان‌های داخل محوطه تپه باستانی تخریب شده‌اند، فنس‌کشی و حصارکشی دورتادور تپه صورت پذیرفته است و سایر موارد، اما با مقایسه محدوده عرصه سال ۱۳۷۷ با محدوده عرصه سال ۱۳۹۸ مشخص می‌شود که در قسمت جنوبی سایت باستانی، برخی ساختمان‌ها در داخل حریم هنوز تخریب و تملک نشده‌اند؛ بنابراین با بررسی‌های صورت گرفته و همکاری کارشناسان میراث فرهنگی، مشخص شد که این ساختمان‌ها در فاز بعدی تخریب قرار داشته‌اند. همچنین مشخص شد در سال‌های اخیر در جنوب تپه سامانه ایستگاه اتوبوس ایجاد شده، در سال ۱۳۸۹ نزدیک ورودی هگمتانه و به سمت بازار آهنگران با ماشین‌آلات راه‌سازی تسطیح شده و همچنین در شمال تپه با ایجاد راهی به بازار

اوج انقلاب مدیریتی و یکپارچه‌سازی تپه باستانی هگمتانه در سال ۱۳۵۱ صورت پذیرفت. در این سال، ایران به کنوانسیون حمایت میراث فرهنگی و طبیعی جهان پیوست که در تاریخ ۱۶ نوامبر ۱۹۷۲ (۲۵ آبان ۱۳۵۱) به تصویب هفدهمین اجلاس کنفرانس عمومی یونسکو رسید. بزرگ‌ترین فاز اجرایی تملک اراضی که طبق اصول سازمان یونسکو در محدوده عرصه آثار باستانی قرار دارند، در این سال انجام گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حریم تپه باستانی در سال ۱۳۵۱ در قسمت شمالی تا حدودی بیشتر از حریم مشهود در سال ۱۳۹۸ است. حدود تمیزشده در روش ارزیابی با استفاده از تصویر Google earth متعلق به سال ۲۰۰۵ است که برخی مسائل مانند مسکن و شهرسازی، راه‌سازی و سایر موارد سبب کوچک شدن حریم تپه در طی سال‌های متوالی در این قسمت شده است. در این راستا، به‌منظور نقشه‌برداری حدود آن با استفاده از الگوریتم پیشنهادشده، اقدامات لازم صورت گرفت. در این خصوص شکل ۵-الف، نقشه اراضی و املاک موجود در منطقه مورد مطالعه از نتیجه مستقیم و با نظارت اپراتور از الگوریتم مذکور را نشان می‌دهد. همچنین

مترمربع توسط الگوریتم شناسایی شده است. علاوه بر این، ماتریس خطای نتایج آشکارسازی حریم تپه باستانی هگمتانه در سال ۱۳۷۷ تهیه شده که دقت کلی برابر ۸۰ درصد و ضریب کاپا برابر ۰/۶۵ را نشان می‌دهد.

آهنگران به عرصه تپه خدشه وارد شده است. باید توجه داشت تا دستیابی به این حریم یکپارچه، خسارات جبران‌ناپذیری به این اثر بارزش تاریخی، هنری و فرهنگی وارد شده است. همچنین همان‌طور که از شکل ۵-ب مشخص است، املاک داخل محوطه باستانی تپه هگمتانه با مساحتی برابر ۱۷.۶۰۷



ب: سال ۱۳۵۱

الف: سال ۱۳۷۷

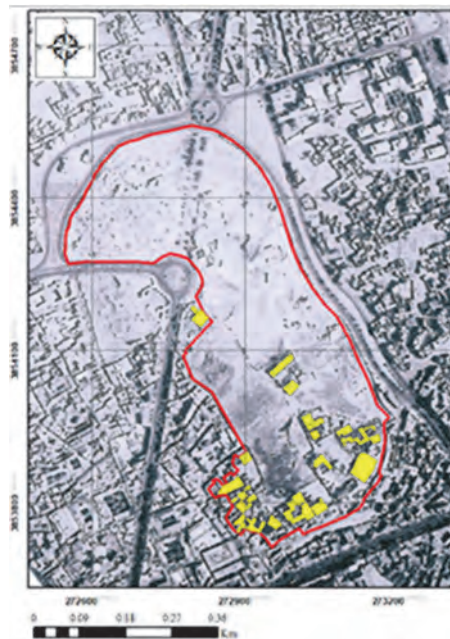
شکل ۵. نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۵۱

۰/۱۹- بوده است که دقت تناسب پایین الگوریتم مورد استفاده در تشخیص و تمیز عوارض در محدوده را نشان می‌دهد. دلیل این عدم تناسب و کارایی پایین قدرت تفکیک مکانی تصویر ورودی است که در نتیجه آن دقت خروجی مدل نیز کاهش یافته است. در شکل ۶، نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه در سال ۱۳۸۱ آمده است.

بررسی‌های سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد که عمده تغییرات در حوزه تپه باستانی، مسدود کردن مسیر تردد داخل حریم سایت است که از بسیاری خسارات جانبی تردد خودروها به سایت و سایر موارد جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، در فاصله سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ تغییرات زیادی در حریم سایت صورت نگرفته است. در این حدود زمانی، بیشتر تمرکز مدیران میراث فرهنگی بر توسعه سایت و جذب گردشگر بود، اما درباره بررسی تغییرات سال ۱۳۸۱ مساحتی برابر ۱۲۷۸۴ مترمربع به املاک داخل حریم تپه افزوده شده است. در این خصوص، ضریب دقت کلی و ضریب کاپا نیز به ترتیب برابر ۵۸ درصد و

### ارزیابی کلی صحت نتایج

پس از آزمایش‌ها، نتایج روش مورد استفاده با الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی مقایسه شد. در واقع در این بخش توان الگوریتم پژوهش حاضر با بررسی نتایج آن با الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که ذکر شد، الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق، یک روش طبقه‌بندی بدون نظارت و خودکار بود که نتایج نسبتاً خوبی نیز ارائه کرده، اما در این بخش با بررسی دقت نتایج حاصل از روش ارزیابی نظارت‌شده، بررسی همه‌جانبه‌ای اجرا شد و عوامل بسیاری را مورد سنجش و آزمون قرار داد. این روش از جمله روش‌های جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی در مقایسه با روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده است. شکل ۷، نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه را به روش SVM در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۸ نیز مشخصات تغییرات کاربری‌های آزمایش‌شده را در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

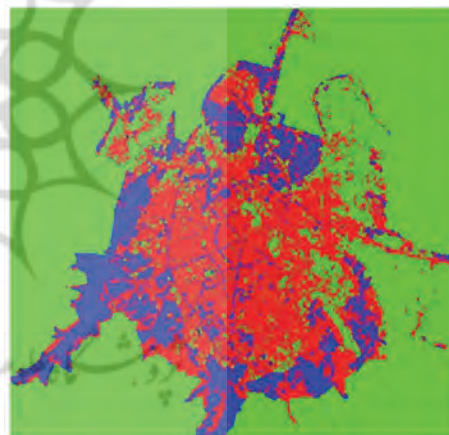


شکل ۶. نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه در سال ۱۳۸۱

تصاویر ماهواره‌ای لندست

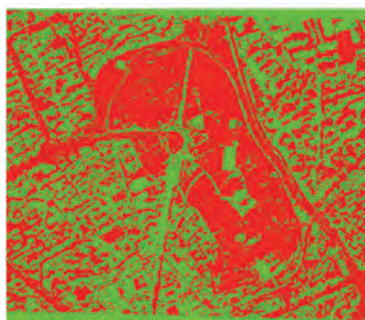


الف: سال ۲۰۱۷

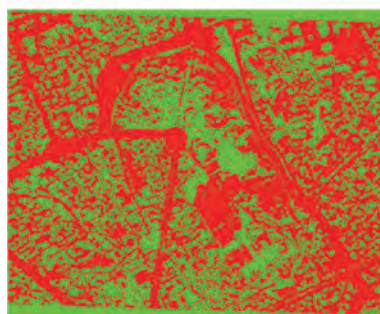


ب: سال ۲۰۰۰

تصاویر ماهواره‌ای Google Earth



ج: سال ۲۰۱۹

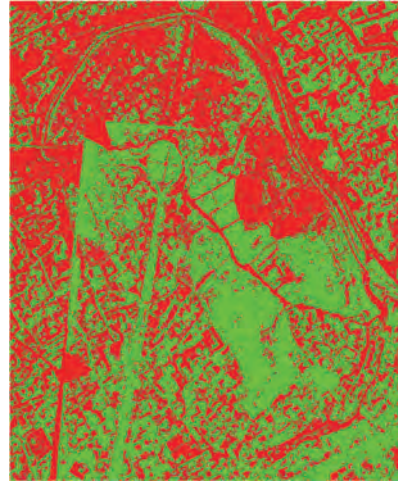


د: سال ۲۰۰۵

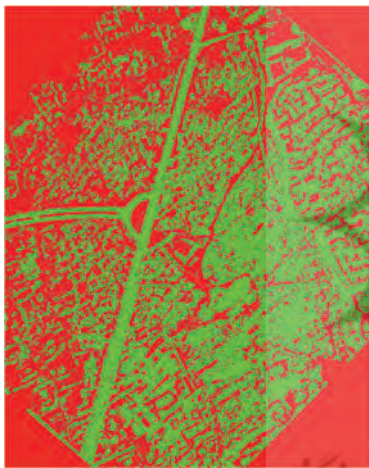
عکس‌های هوایی



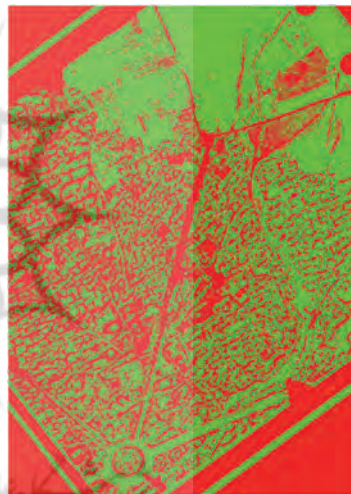
ه: سال ۱۳۸۱



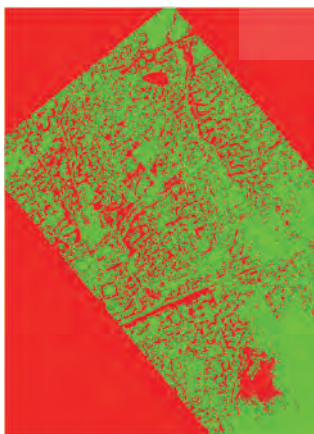
و: سال ۱۳۷۷



ز: سال ۱۳۵۱



ح: سال ۱۳۳۵



ط: سال ۱۳۱۴

شکل ۷. نقشه اراضی و املاک داخل محدوده عرصه امروزی تپه باستانی هگمتانه به روش SVM در سال‌های مختلف



شکل ۸. نمودار ارزیابی تغییرات کاربری‌های آزمایش‌شده در سال‌های مورد مطالعه

## نتیجه‌گیری

نتایج این بخش از روش نشان می‌دهد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی توسعه تحقیقات مربوط به میراث فرهنگی و ابنیه تاریخی باشد. دلیل این امر قدرت تفکیک زمانی پایین آن است که البته این مشکلات برای آیندگان به‌منظور تحصیل و مطالعه گذشتگان خود می‌تواند مؤثر باشد، اما در زمینه توان تفکیک مکانی، دقت بالایی را از خود نشان دادند. در این باره، ضریب دقت آشکارسازی تغییرات برای تصاویر Google Earth برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ به ترتیب برابر بود با ۸۳ و ۹۰ درصد. در مرحله بعد با استفاده از تصاویر هوایی، نقشه تغییرات و روند تغییرات تپه باستانی هگمتانه تولید شد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که به‌راحتی می‌توان اطلاعات سال‌های بسیار دور را نیز بار دیگر بازخوانی و آن را مطالعه کرد. در این باره، سال‌های ۱۳۱۴، ۱۳۳۵، ۱۳۵۱، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۱ ارزیابی شد که به‌ترتیب هرکدام از آنها ضریب دقتی برابر ۸۵، ۸۹، ۸۲، ۸۰ و ۵۸ را نشان دادند. علاوه بر محدودیت‌های موجود، این امکان فراهم شد تا بتوان مستندات لازم از حریم تپه باستانی هگمتانه را شناسایی کرد. درنهایت به‌منظور ارزیابی دقت الگوریتم پیشنهادی، از الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی SVM استفاده شد که نتایج آن نشان‌دهنده عملکرد ضعیف الگوریتم‌های نظارت‌شده و

با آشکارسازی و بررسی تغییرات در مناطق باستانی با استفاده از سنجش‌ازدور می‌توان علاوه بر شناسایی دقیق شرایط فعلی و آسیب‌های وارده به محوطه در گذشته و روند تغییرات، آسیب‌های به وجود آمده در آینده را شناسایی، از ادامه آنها جلوگیری کرد و برای حفظ و حراست از آنها به برنامه‌ریزی پرداخت. برای شناسایی تغییرات سایت‌های باستانی باید داده‌هایی تهیه شود که با استفاده از آنها بتوان حریم این سایت‌ها را دقیق و با سرعت کافی در سال‌های مختلف نقشه‌برداری کرد؛ از این‌رو تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی انتخاب شدند. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ انتخاب شدند و تصحیحات رادیومتریکی و هندسی لازم روی آنها اعمال شد. سپس با استفاده از دستورات مربوط، نقشه تغییرات سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ تهیه شد که با توجه به محدودیت قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای نتیجه‌ای از این فرایند به دست نیامد. همچنین دقت کلی این فرایند برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ به‌ترتیب برابر بود با ۳۹ و ۵۷ درصد؛ بنابراین به‌منظور ارزیابی روش سنجش‌ازدور و فتوگرامتری، این بار از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ استفاده شد.

تصاویر ماهواره‌ای و Google Earth بیش از ۱ باند دارند، اما به دلیل ایجاد بستری برای مقایسه روش‌های تصویربرداری و پذیرش تصاویر هوایی، همه پردازش‌ها (غیر از تصاویر ماهواره‌ای لندست که آن‌هم به سبب جبران توان تفکیک پایین بود) در حالت تک‌باند ارزیابی شد. باید توجه داشت که در الگوریتم پیشنهادی عمل طبقه‌بندی چندین بار و در چندین کلاس انجام می‌شود و بهینه‌ترین آن انتخاب و ارزیابی می‌شود، اما با وجود گپ‌هایی که در نتایج هر بخش از فرایندهای این تحقیق مشاهده شد، می‌توان روشی ترکیبی از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای را بهترین پیشنهاد در زمینه پایش محوطه‌های باستانی دانست.

### منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تهیه شده است.

### تعارض منافع

تعارضی در منافع انتشار این مقاله بین نویسندگان وجود ندارد. سهم هر کدام از نویسندگان با یکدیگر برابر است.

دقت و صحت بالای الگوریتم پیشنهادی در تحقیق است. همان‌طور که از نتایج این بخش از آزمایش‌ها مشخص است، نتایج الگوریتم SVM با وجود انتخاب نقاط آزمایش دقت کمتری را ارائه می‌دهد؛ البته می‌توان درباره عملکرد ضعیف الگوریتم SVM در این پژوهش نتایجی به شرح زیر ارائه داد. یکی از عوامل مؤثر در دقت بالای الگوریتم مورد استفاده در پژوهش این است که برای انتخاب تعداد کلاس مؤثر، طبقه‌بندی را چندین بار با تعداد کلاس‌های مختلف ارزیابی می‌کند؛ درحالی‌که به الگوریتم SVM تعداد دو کلاس دیکته شده بود. یکی دیگر از عوامل ضعف الگوریتم SVM در برخی نقشه‌ها وابستگی به توان تفکیک مکانی است؛ بدین‌صورت که انتخابات الگوریتم را محدود می‌کند، اما اصلی‌ترین علت، ضعف داده‌های ورودی در استفاده از الگوریتم است. باید توجه داشت که داده‌ها تک‌باندی انتخاب شدند؛ زیرا تصاویر هوایی آنالوگ اسکن شده بود و تصاویر Google Earth نیز تنها اطلاعات RGB را به همراه داشت که به دلیل همسان‌سازی نتایج تنها از یک باند آن استفاده شد؛ درحالی‌که طبقه‌بندی نظارت‌شده SVM به بررسی الگوی امضای طیفی می‌پردازد و حداقل به سه باند جهت پردازش دقیق نیازمند است. حال فرض شود که

## References

- Alitajer, S., & Afshari Azad, S. (2013). Investigating the position of geomatic engineering in applications of cultural heritage- archeology and architecture. *Iranian Archaeological Research*, 3(5), 169-195. [in Persian]
- Aminzadeh, B., & Agha Ebrahimi Samani, F. (2006). Documenting the Ancient Landscape of Persepolis, (2)27, 77-86. [in Persian]
- Aslani Katoli, S., Malian, A., & Sadeghian, S. (2017). *Red Snake Hunting*, 22nd National Geomatics Conference, Mapping Organization, Tehran. [in Persian]
- Azarnoosh, M., Sharifi, A., & Hejbari, A. (2016). Revision of the relative and absolute chronology of Hegmataneh hill, based on the findings and results of the Garmalian and radiocarbon experiments. *Archaeological Research in Iran*, 10, 121-140. [in Persian]
- Cerra, D., Plank, S., Lysandrou, V., & Tian, J. (2016). *Cultural heritage sites in danger Towards automatic damage detection from space*. *Remote Sensing*, 8(9), 781.
- Davarpanah, M., Malian, A., & Sheikh Mohammadzadeh, A. (2016). Assessment of Vulnerability of Flood Prone Historical Monuments and Sites Using ANP-OWA Spatial Multi Criteria Analysis, *Journal of Surveying Engineering and Spatial Information*, 7(3), 25-37. [in Persian]
- Erich F. Schmidt. (1935). Flights over ancient cities of Iran.
- Feyzollah Beygi, A. (2015). *Application of geomatics in the creation, registration, documentation and protection of historical and cultural heritage*. Twenty-second National Geomatics Conference and Exhibition. Tehran. [in Persian]

- Hemmati Mandjin, Z., Ebadi, H., Hosseini Noh Ahmadabadian, A., & Ismaili, F. (2016). *Introduction of the use of drone systems for modeling ancient sites for evaluation and restoration*. National Geomatics Conference, National Mapping Organization, 2. [in Persian]
- <http://festivals.ichto.ir/hegmataneh>.
- <https://archaeologyhub.ir>.
- <https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%87%DA%AF%D9%85%D8%AA%D8%A7%D9%86%D9%87>.
- <https://www.kojaro.com/2016/1/17/116689/ecbatana-hamedan>.
- Karimi, J., & Farajzadeh Asl, M. (2004). Analysis of Spatial Patterns of Ancient Settlements in Minab Shushtar Plain Using Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Lecturer of Humanities*, 8(4), 113-126. [in Persian]
- Mahyar M. et al., (1999). *Pictorial documents of Iranian cities in the Qajar period*. County Cultural Heritage Organization. Shahid Beheshti University. [in Persian]
- Malian, A. Teymouri Damski, M., Arabi, M. (2017). Detection and documentation of aqueduct based on the integration of aerial and space images. *Journal of Surveying Science and Technology*, 2(7), 79-92. [in Persian]
- Mozas-Calvache, A. T., Pérez-García, J. L., Cardenal-Escarcena, F. J., Mata-Castro, E., & Delgado-García, J. (2012). Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms. *Journal of Archaeological Science*, 39(2), 521-530.
- National Cartographic Center of Iran; Archive of documents (1963-2006).
- National Geography Organization of Iran; Archive of documents, (1956).
- Nikolakopoulos, K. G., Soura, K., Koukouvelas, I. K., & Argyropoulos, N. G. (2017). UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14, 758-773.
- Sadeghian, S., Mohammadkhani, K., & Senmar, M. (2017). *Study of the use of archaeological monitoring of ancient sites using remote sensing, with emphasis on site control*, the first national conference on natural and cultural heritage documentation, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei University, 17 March 2017. [in Persian]
- Samadzadegan, F., & Farzam, F. (2004). *Application of Techniques in Digital Short Range Photogrammetry to Monitor Changes in Historic Buildings*. Geomatics Conference 83, Tehran, Iran Mapping Organization. [in Persian]
- Samadzadegan, F., Sarpolaki, M., & Azizi, A. (2002). *Extraction of geometric information and digital modeling of "Cheshmeh Ali" relief using short-range digital photogrammetry*. Geomatics Conference 81, Tehran, Iran Mapping Organization. [in Persian]