Original Article, Vol. 11, No. 2, Summer, 2023, pp 77-92

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

A Thorough Review of Sand Dunes in Iran and Their Relationship to Certain Climatic Features

M. Bagherpour[1], S. Zare[2*], A.A. Nazari Samani[3], Ch. Khajeh Amiri Khaledi[4]

1. Master student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Instructor, Department of Oceanography, Faculty of Marine Science, Chabahar maritime University, Chabahar, Iran.

* Corresponding Author: zaresalman@ut.ac.ir

Received date: 19/06/2023 **Accepted date: 18/09/2023**

doi 10.22034/JDMAL.2023.2005172.1420

Extended Abstract

Introduction

Sand covers around 20% of the world's drylands, and 97% of it is found in the sandy land of the arid region of the earth. Different landforms are created by the wind in these regions. Sand dunes are a landform that is mentioned in arid lands. Knowing the distribution of sand in these areas is crucial because wind erosion can cause a lot of damage. The significance of studying sand dunes lies in its impact on water and soil resources, plants and animals, human infrastructure, and roads. In Iran, various researchers and related organizations have reported various areas of the sand dunes. Different tools and methods have been utilized by these researchers, including aerial photos, topographic maps, satellite images, and field visits. This study was conducted to improve accuracy and update the existing maps due to the differences between the maps provided by previous researchers. By providing a new map of sand dunes distribution in Iran, more precise information can be obtained. Precipitation, temperature, evapotranspiration, and UNEP aridity index were used to calculate climate characteristics for Iran's sand dunes.

Material and Methods

Remote sensing was used to export the sand dunes distribution map in this research using the Google earth engine system. The image collection of the OLI sensor of the Landsat 8 satellite was used. The process of image classification involved introducing 4000 points as training points. The land use map of Iran was exported after verifying and calculating the overall accuracy and kappa coefficient, which were 0.91 and 0.89, respectively. The map's sand dune class was imported into ArcMap. The maps of the distribution of sand dunes obtained from previous researchers were compared with the obtained map. The boundary of sand dunes was modified by drawing 1020 polygons using vision recognition. We aim was always to utilize the most up-to-date satellite

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Original Article, Vol. 11, No. 2, Summer, 2023, pp 77-92

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

images for visual interpretation. Due to differences in tools and study time, and the prepared maps based on different criteria, there are numerous differences between the maps in practice. The research utilized up-to-date satellite images and geological maps, topography, hand-planted forests, residential lands, agricultural lands, and land use as auxiliary maps. In the next step, the long-term climate maps prepared by Jamab's consulting engineers for the period of 1350 to 1390 were used to investigate climate characteristics such as temperature, precipitation, evaporation and transpiration and UNEP aridity index. The mentioned maps were interpolated and classified in ArcMap for this purpose. The distribution of the country's sand dunes was examined in each of the categories mentioned in the climatic indicators.

Results and Discussion

Based on the result, the updated area of Iran's sand dunes is 5.15 mha which includes the sand sheets and different forms of sand dunes such as barchans, star dunes and nebkas. Based on this, the provinces of Kerman, Sistan and Baluchistan, Isfahan, South Khorasan and Yazd respectively, with an area of about 1000000, 700000 and 590000 ha, have allocated the largest area of sand dunes in the country. There are some differences in the obtained results compared to the previous maps of sand dunes. In Dehlran city in Ilam province, some regions that were previously considered sand dunes have now become agricultural lands, for instance. The border modification resulted in a 366% increase in the area of Qaen city in South Khorasan province. According to climate data, sand dunes are distributed in three climates that are hyper- arid, arid, and semi-arid. The highest and lowest amount of precipitation can be found in Farashband city in Fars province and Hirmand city in Sistan and Baluchestan Province, respectively. The range of precipitation changes is ranging from 6 to 312 mm. The hottest sand dunes are located in Shahrud city in Semnan province and the coldest sand dunes are located in Buin Zahra city in Qazvin Province. The temperature of sand dunes is in the ranges of 10 to 28.5 °C. the dominant thermal regime of sand dunes is thermic, which covers about 68% of the sand dunes in 8 provinces. Hyperthermic thermal regime dominates 31% of sand dunes in 7 provinces. Only about 1% of sand dunes have mesic thermal regime which are scattered in 3 provinces. The range of changes in evapotranspiration in the sand dunes of Iran is between 1500 to 4000 mm per year. Evaluating the UNEP aridity index showed that 89% of the sand seas are classified as hyper arid and 11% of them is in arid class. The result of this research by determining the location of sand seas and their climate classification, will help the administrators to locate appropriate areas for reclamation and wind erosion control projects, especially the biological project.

Keywords: Shifting sands; Temperature; Precipitation; UNEP aridity index; Google earth engine

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

مقاله پژوهشی، سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۷۷ تا ۹۲

نشریه مدیریت بیابـان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

بازنگری تدقیقی ماسه‌زارهای ایران و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های اقلیمی

مریم باقرپور[۱]، سلمان زارع[۲*]، علی‌اکبر نظری سامانی[۳]، چکاوک خواجه امیری خالدی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. مربی، گروه اقیانوس شناسی، دانشکده علوم دریایی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: Zaresalman@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

doi 10.22034/JDMAL.2023.2005172.1420

چکیده

یکی از ناهمواری‌های مهم سرزمین‌های بیابانی، ماسه‌زارها و شکل‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای است. در این مناطق باد موجب ضمن جابه‌جایی ماسه‌های روان و ساختن شکل های تراکمی ماسه موجب ایجاد خسارت‌های زیادی می‌شود؛ لذا آگاهی از پراکنش آن‌ها در کشور ضرورت دارد. پژوهشگران، آمار مختلفی از سطح ماسه‌زارها به دست آورده‌اند که با یکدیگر تفاوت‌هایی دارد. در این پژوهش، با کدنویسی و نمونه‌گیری تعلیمی در سامانه گوگل‌ارث انجین، نقشه کاربری اراضی با تأکید بر اراضی ماسه‌زار برای ایران تهیه شد. با مقایسه نقشه اراضی ماسه‌زار تهیه شده در سامانه گوگل ارث انجین با نقشه‌های تهیه شده توسط محققان پیشین، مرز ماسه‌زارها در سامانه گوگل ارث اصلاح و یک نفشه جدید و دقیق از پراکندگی ماسه‌زارها ارائه شد. پس از آن پراکندگی ماسه‌زارها از نظر ویژگی‌های اقلیمی (دما، بارش، تبخیر و تعرق و شاخص خشکی یونپ) بررسی شد. طبق یافته‌ها ، مساحت ماسه‌زارهای ایران حدود ۵/۱۵ mha است. بر این اساس استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، اصفهان، خراسان جنوبی و یزد به‌ترتیب بیشترین سطح ماسه‌زارهای کشور را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از داده‌های اقلیمی حاکی از آن است که گرم‌ترین ماسه‌زار در محدودهٔ کویری جنوب شهرستان شاهرود در استان سمنان و سردترین آن در شهرستان بوئین‌زهرا در استان قزوین قرار دارد. بیشینه و کمینهٔ بارش نیز بترتیب متعلق به شهرستان‌های فراشبند در استان فارس و هیرمند در استان سیستان و بلوچستان است. بررسی شاخص خشکی یونپ نشان داد که ۸۹٪ از سطح ماسه‌زارها در قلمرو اقلیمی فراخشک و ۱۱٪ آن‌ها در قلمرو اقلیمی خشک پراکندگی دارند. نتایج حاصل از این پژوهش موجب اطلاع یافتن از موقعیت قرارگیری ماسه‌زارها و وضعیت پراکنش آن‌ها نسبت به شاخص‌های اقلیمی می‌شود و مسئولین امر را در مکان‌یابی مناسب برای برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها کنترل ماسه‌های روان (به‌ویژه پروژه‌های زیستی) یاری خواهد کرد.

واژگان کلیدی: ماسه‌های روان؛ دما؛ بارش؛ شاخص خشکی یونپ؛ گوگل ارث انجین

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

تقریباً ۳۳٪ از کل سطح زمین دارای آب‌وهوای فراخشک، خشک و نیمه‌خشک است. در این مناطق، به دلیل خشکی زمین و کمبود پوشش در سطح زمین، باد قادر به اثرگذاری زیاد خواهد شد و فرسایش بادی از مهم‌ترین فرایندهای طبیعی این سرزمین‌ها است. (۲۸). حدود ۲۰٪ از مناطق خشک کره زمین از ماسه پوشیده شده است که ۹۷٪ آن در پهنه‌های ماسه‌ای مناطق خشک کره زمین دیده می‌شود (۲۹). در این مناطق باد عامل فرسایشی مهم است که سرعت، جهت و تلاطم آن موجب ایجاد شکل‌های اراضی متفاوتی می‌شود (۱۵). یکی از شکل‌های اراضی مهم و منحصربه‌فرد مناطق بیابانی، تپه‌های ماسه‌ای است که می‌تواند فعال و متحرک، یا توسط پوشش گیاهی تثبیت‌شده باشد (۲۲). برخی از محققان زمان شروع تشکیل تپه‌های ماسه‌ای را متعلق به اوایل پلیوستوسن[1] همزمان با تغییرات قابل ملاحظه اقلیمی می‌دانند (۳۶). منطقهٔ دارای تپه‌های ماسه‌ای را ارگ‌ها می‌نامندپ. ارگ، نواحی به‌هم‌پیوسته و پوشیده از رسوبات بادی است که مساحت آن از ۱۰۰ Km^2 بیشتر باشد (۱۹). به عقیده ویلسون[2] ارگ معنایی مشابه با ماسه‌زار دارد و منطقه‌ای را شامل می‌شود که رسوبات ماسه‌ای حمل شده در آن به‌وسیله باد حداقل ۲۰٪ از سطح زمین را بپوشاند و به‌اندازه کافی برای تشکیل تپه‌های ماسه‌ای بزرگ وسیع باشد (۳۷). به‌طورکلی ماسه‌زارهای بزرگ کمربند بیابانی جهانی در عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۴۰ درجه نیمکره شمالی در قاره‌های آفریقا، استرالیا و آسیا متمرکزشده‌اند (۳۵). بیابان صاحارا شامل بزرگ‌ترین پهنه‌های ماسه‌ای با وسعت بیش از ۱۲۰۰۰ Km^2 است. تقریباً یک‌سوم شبه‌قاره عربستان از بیابان‌های ماسه‌ای پوشیده شده است که بزرگ‌ترین آن ربع‌الخالی، با بیش از ۵۶۰ هزار Km^2 است. در نیمکره جنوبی، مناطق وسیعی از سطوح ماسه‌بادی در مناطق مرکزی استرالیا و جنوب غرب آفریقا دیده می‌شوند (۲۹). ایران نیز در کمربند بیابانی جهانی قرار دارد و همین امر موجب شده تا حدود ۸۰ mha از مساحت کشور را مناطق کویری، تپه‌های ماسه‌ای و مناطقی با پوشش گیاهی ناچیز بپوشاند (۴۳). در این‌گونه مناطق فرسایش بادی قابل‌توجه است و به دلیل بارندگی و پوشش گیاهی کم و محدود، رسوبات سست تولیدشده بسیار زیاد است. این ذرات ماسه فاقد انسجام هستند و همین موجب ایجاد فرسایش بادی می‌شود (۳۶).

منابع ماسه که تپه‌های ماسه‌ای و پهنه‌های ماسه‌ای را ایجاد می‌کند بسیار متنوع هستند. برخی ماسه‌ها از سواحل، برخی از کانال‌های رودخانه‌ای یا دشت‌های سیلابی، برخی از رخنمون‌های سنگی هوازده، برخی از مواد آتش‌فشانی تخریبی و فرسایش یافته و برخی از حوضه‌های دریاچه‌ای منتج می‌شوند (۱۱، ۱۵، ۳۴).

در قرن بیستم بررسی‌های زیادی دربارهٔ ماسه‌زارها انجام‌شده است. معمولاً یکی از کاملترین آنها با اشاره بگنولد[3] شروع می‌شود (۸) پژوهش‌های ارزشمندی انجام داده است. امروزه پژوهشگران زیادی چه در سطح جهان و چه در داخل کشور به بررسی جنبه‌های مختلف ماسه‌زارها پرداختند که تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها در زمینه مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای (۹، ۲۱، ۴۱)، پایش فعالیت تپه‌های ماسه‌ای (۷، ۱۳، ۲۲)، منشاء یابی (۴، ۱۶، ۲۴، ۴۵)، اثر شاخص‌های اقلیمی بر ماسه‌زارها (۳۰، ۴۲)، تعیین حجم تپه‌های ماسه‌ای (۵)، بررسی خطرهایناشی از ماسه‌های روان (۶، ۴۰) و تثبیت ماسه‌های روان (۲۵، ۳۸، ۴۴) می‌باشد.

اهمیت بررسی‌های تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای به دلیل تأثیر است که بر منابع آب و خاک، گیاهان و جانوران، زیرساخت‌های انسانی و جاده‌ها می‌گذارد. حرکت تپه‌ها نشان‌دهنده یک خطر محیط زیستی برای کشاورزی، راه‌آهن، جاده‌ها و سکونت‌گاه‌های انسانی است. تأثیرهای مخاطره‌آمیز فرسایش بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای شامل فرسایش خاک، مسدود شدن جاده‌ها و راه‌آهن‌ها، تسریع بیابان‌زایی، آلودگی هوا، کاهش دید و بروز مشکلات در حمل‌ونقل هوایی و دفن ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌ها می‌باشد (۶، ۲۲، ۳۱). در بسیاری از مناطق توفان‌های گردوغبار ناشی از حرکت ماسه های بادی و سایش سطح زمین در اثر فرسایش بادی و حرکت ماسه در سطح زمین موجب خسارت‌های زیادی انسان‌ها می‌شود (۳۹)؛ لذا

[1] Pleistocene
[2] Wilson
[3] Bagnold

آگاهی از مساحت و پراکنش ماسه‌زارهای کشور می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات مدیریتی مفید واقع شود.

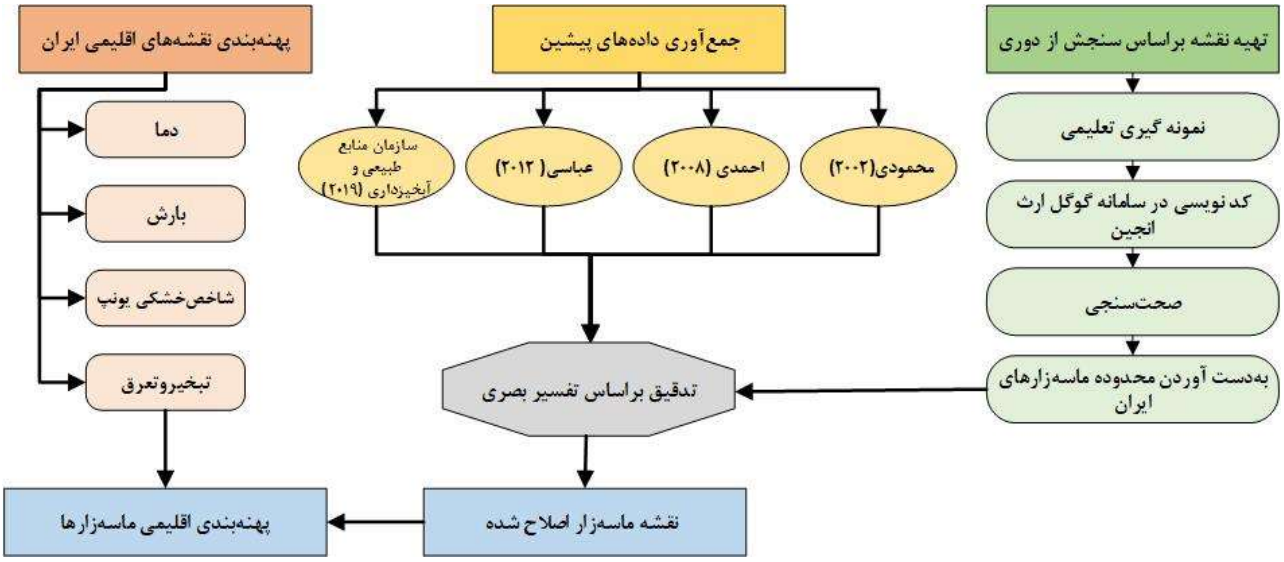
تاکنون آمار مختلفی از سطح پهنه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای ایران توسط پژوهشگران و سازمان‌های مرتبط ارائه‌شده است. در پژوهشی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ پراکندگی ارگ‌های ایران در ۱۴ استان و در قالب ۲۰ ارگ حدود ۳/۶ mha بیان شد که شامل ۲٪ از سطح کشور می‌شود (۳). پژوهشی دیگر که در قالب طرح ملی انجام شده است، مساحت ماسه‌زارهای ایران را در ۱۵ استان کشور و در قالب ۵۶ ارگ، حدود ۴/۳ mha نشان داد (۳). دفتر امور بیابان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۸۰ اقدام به شناسایی کانون‌های بحرانی در استان‌های بیابانی کشور نمود که طی دو مرحله در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ بازنگری و به‌روز شد (۲۶). بر اساس آخرین نتایج حاصل از طرح بروز رسانی مناطق تحت تأثیر و کانون‌های بحرانی فرسایش بادی، سطح منطقه رسوب‌گذاری که شامل پهنه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای می‌شود، ۶/۱ mha گزارش شد. در پژوهشی دیگر نیز سطح ناهمواری‌های ماسه‌ای کشور را با کمک تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و کنترل زمینی تعیین و عدد ۴/۷ mha برآورد شد (۱). از آنجایی که تفاوت زیادی در مساحت‌های ذکرشده برای ماسه‌زارها وجود دارد، لذا مطالعه حاضر با هدف تدقیق و به‌روز رسانی نقشه‌های موجود انجام گردید تا ضمن ارائه نقشه جدید، بتوان به اطلاعات دقیق‌تری دست‌یافت. خسارت‌های وارد شده به بخش ساختراهای انسان ساخت از قبیل جاده، اراضی صنعتی، راه آهن، شهرک‌های مسکونی موجب شده است تا ضمن شناخت مناطق دارای فرسایش بادی و تجکع رسوبات بادی درک دقیق تری از ویژگی‌های اقلیمی نظیر بارش، دما، تبخیروتعرق و شاخص‌خشکی ماسه‌زارهای کشور وجود داشته باشد. با ارائه اطلاعات به‌روز و دقیق مسئولین امر را در مکان‌یابی مناسب برای برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های کنترل حرکت ماسه بادی و آمایش سرزمین برای توصیه کاربری اراضی مناسب در مناطق بیابانی یاری رساند.

■ مواد و روش

مطالعه حاضر طبق روند نمای شکل ۱ انجام شد.

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور تهیه نقشه‌ماسه‌زارها براساس روش‌های سنجش از دور، از سامانه گوگل‌ارث انجین[1] استفاده از مجموعه تصاویر مربوط به سنجنده OLI ماهواره لندست (باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) برای سال ۲۰۲۲ استفاده شد.



شکل ۱. فلوچارت روش انجام تحقیق

[1] Google Earth Engine

در گام بعدی، برای اصلاح و به‌روزرسانی مرز ماسه‌زارها از نقشه‌های پراکنش ماسه‌زارها حاصل از مطالعات پیشین (۱، ۳، ۲۳، ۲۶) کمک گرفته شد. برای بررسی ویژگی‌های اقلیمی ماسه‌زارهای ایران، نقشه‌های بلندمدت اقلیمی تهیه‌شده توسط مهندسین مشاور جاماب برای بازه زمانی سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ استفاده شد.

روش تحقیق

ابتدا مرز ایران به سامانه گوگل ارث انجین وارد شد. سپس ۴۰۰۰ نقطه به‌عنوان نمونه تعلیمی معرفی شد. با استفاده از کدنویسی، طبقه‌بندی تصویر به روش جنگل تصادفی صورت گرفت و پس از صحت‌سنجی و محاسبه ضریب خطای کلی و ضریب کاپا که به‌ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۸۹ بود، نقشه کاربری اراضی ایران تهیه شد. پس از آن طبقه تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای در نرم افزار ArcMap 10.8 جدا شد. در گام بعدی برای اصلاح مرز ماسه‌زارها در نقشه‌های حاصل از مطالعات پیشین، از پایگاه گوگل ارث[1] بهره‌گیری شد. لازم به ذکر است در نقشه‌هایی که در گذشته تهیه شده، محققان بر پایه معیارهای مختلفی از قبیل استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و بازدیدهای زمینی بهره گرفته‌اند. به دلیل تفاوت در ابزارها و زمان مطالعه در عمل تفاوت‌های متعددی در بین این نقشه‌ها موجود است. از سوی دیگر برخی مطالعات متعلق به چند دهه قبل می‌باشد و مسئله تغییر ماسه‌زارها یا گسترش آن‌ها در شرایط فعلی متفاوت شده است. لذا برای ایجاد همگرایی بین یافته‌های قبلی در این بررسی ضمن بهره‌گیری از نقشه‌های تولیدشده قبلی سعی شد تا با استفاده از برداشت‌های میدانی انجام شده در پژوهش‌های دانشگاهی به همراه استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر جدید با دقت بالاتر و همچنین روش‌های مبتنی بر تفسیر بصری و ترکیبی عمل شود. در نقاطی که تصاویر سامانه گوگل‌ارث به‌روز نشده و یا از کیفیت مناسبی برخوردار نبود، از نقشه‌های کاربری اراضی، جنگل‌های دست کاشت، اراضی مسکونی، اراضی زراعی به‌عنوان نقشه‌های کمکی استفاده شد.

در نقشه تهیه شده با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین، بعضی از ماسه‌زارها در نظر نگرفته شده بودند؛ لذا به‌منظور کاهش خطا و افزایش دقت نقشه، به‌صورت ترکیبی، یعنی تلفیقی از روش‌های سنجش از دوری و اصلاح بصری در پایگاه گوگل ارث عمل شد. بدین منظور تغییرات نقشه‌های مطالعات پیشین (۱،۳، ۲۳، ۲۶) و نقشه ماسه‌زار تهیه شده در گوگل ارث انجین در نرم‌افزار گوگل ارث با یکدیگر مقایسه شدند. سپس محدوده ماسه‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای با تفسیر بصری مشخص و مرز پهنه‌های ماسه‌ای اصلاح و تدقیق شد.

طبقه‌بندی اقلیمی ماسه‌زارها

به‌منظور بررسی ویژگی‌های اقلیمی ماسه‌زارها نقشه‌های هم‌بارش، دما، تبخیر و تعرق در نرم افزار ArcMap 10.8 درون‌یابی و پهنه‌بندی شدند. با واکاوی منابع علمی نقشه‌های بارش، دما، تبخیر و تعرق طبقه‌بندی شدند و پراکنش ماسه‌زارهای کشور در هریک از طبقات شاخص‌های اقلیمی موردبررسی قرار گرفت. با استفاده از عامل بارش، ماسه‌زارهای ایران در سه طبقه اقلیمی مطابق با جدول ۱ پهنه‌بندی شد (۱۷).

باتوجه به اهمیت رژیم‌های حرارتی خاک در رشد و پراکنش پوشش گیاهی و سایر ویژگی‌های خاک، از طبقه‌بندی رژیم حرارتی خاک استفاده شد. ازآنجایی‌که رژیم حرارتی خاک معمولاً یک درجه بیشتر از دمای هوا می‌باشد (۳۲)، لذا یک درجه از رژیم‌های حرارتی خاک کم شد و پهنه‌بندی برای عامل دمای هوا صورت گرفت (جدول ۲).

جدول ۱. طبقه‌بندی اقلیم‌های مختلف با استفاده از عامل بارش (۱۷)

نوع اقلیم	میزان بارش (mm)
فوق‌العاده خشک	P<۱۰۰
خشک	۱۰۰-۲۵۰
نیمه‌خشک	۲۵۰-۵۰۰

[1] Google Earth

جدول ۲. طبقه‌بندی اقلیمی با استفاده از عامل دما (۳۲)

رژیم حرارتی	دما (°C)
کرائیک	T<۰
فریجید	۰-۸
مزیک	۸-۱۵
ترمیک	۱۵-۲۲
هایپرترمیک	T>۲۲

داده‌های تبخیر و تعرق نیز برای ماسه‌زارهای ایران با فاصله طبقات ۲۵۰mm مطابق با جدول ۳ طبقه‌بندی و نقشه پایانی تهیه شد (۳۳).

شاخص‌خشکی یونپ با استفاده از میانگین داده‌های سالانه بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، مطابق با رابطهٔ ۱ برای ماسه‌زارهای ایران محاسبه و در ۶ طبقه مطابق با جدول ۴ تهیه شد (۱۰).

$$R = \frac{P}{ETP} \quad (۱)$$

که در آن R: شاخص خشکی یونپ، P: میانگین بارش سالیانه (mm) و ETP: میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه (mm) می‌باشد.

■ نتایج

در این بررسی محدودهٔ ۱۰۲۰ ماسه‌زار در گوگل ارث مشخص و مرز آن ترسیم شد که شامل پهنه‌های ماسه‌ای و شکل‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای نظیر بارخان‌ها، هرم‌های ماسه‌ای و نبکاها می‌باشد.

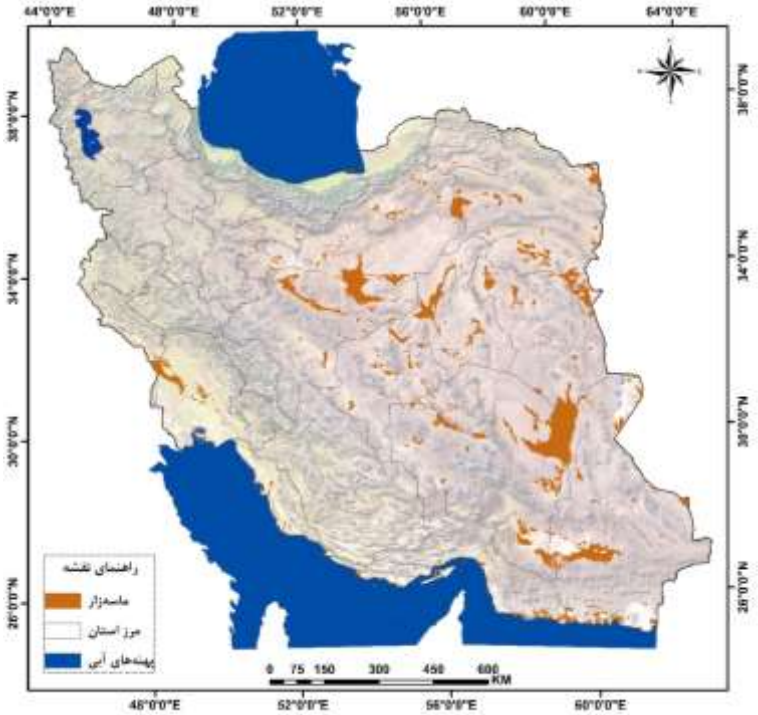
جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص تبخیروتعرق (۳۳)

طبقه	مقدار تبخیروتعرق (mm)
۱	۱۵۰۰-۱۷۵۰
۲	۱۷۵۰-۲۰۰۰
۳	۲۰۰۰-۲۲۵۰
۴	۲۲۵۰-۲۵۰۰
۵	۲۵۰۰-۲۷۵۰
۶	۲۷۵۰-۳۰۰۰
۷	۳۰۰۰-۳۲۵۰
۸	۳۲۵۰-۳۵۰۰
۹	۳۵۰۰-۳۷۵۰
۱۰	۳۷۵۰-۴۰۰۰

جدول ۴. طبقه‌بندی اقلیمی با استفاده از شاخص خشکی UNEP (۱۰)

نوع اقلیم	شاخص خشکی UNEP
فراخشک	R<۰/۰۵
خشک	۰/۲–۰/۰۵
نیمه‌خشک	۰/۵–۰/۲
خشک نیمه مرطوب	۰/۶۵–۰/۵
نیمه مرطوب	۰/۷۵–۰/۶۵
مرطوب و بسیار مرطوب	R>۰/۷۵

با توجه به نتایج، مساحت ماسه‌زارهای ایران حدود ۵/۱۵mha برآورد شد (شکل ۲). مساحت به‌دست‌آمده با آمار ذکر شده توسط محققان در بررسی‌های پیشین اختلاف‌هایی دارد. در جدول ۵ نتایج حاصل از پژوهش‌های (۱، ۳، ۲۳، ۲۶) با نتایج مطالعه حاضر به تفکیک استان مقایسه شده است.



شکل ۲. نقشه پراکندگی ماسه‌زارهای ایران در سال ۲۰۲۳

جدول ۵. مساحت ماسه‌زارهای کشور در پژوهش‌های مختلف به تفکیک استانی (هزار هکتار)

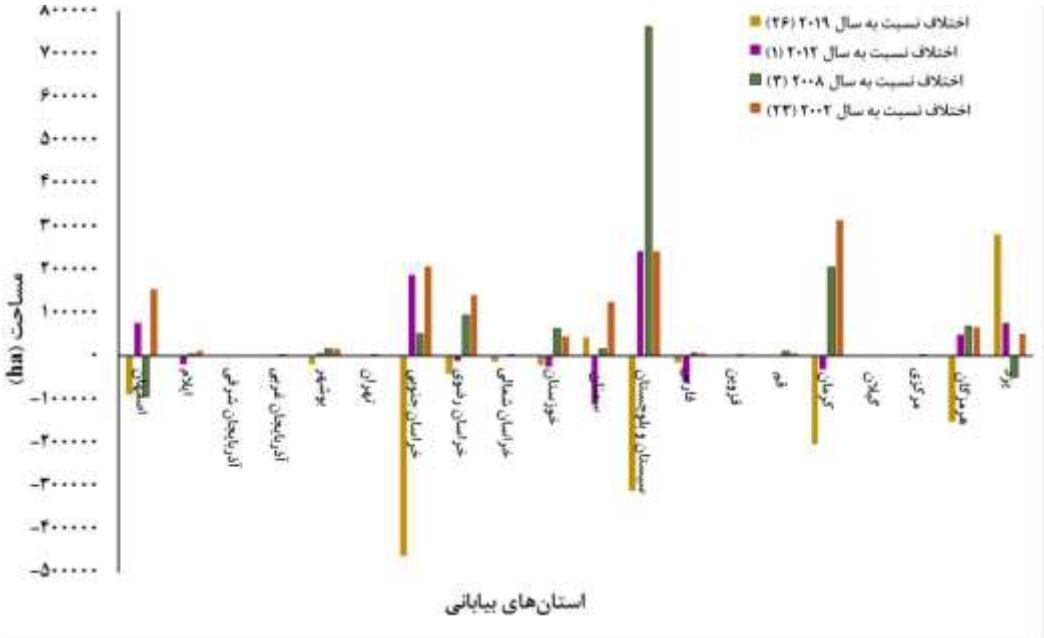
ردیف	استان	سال ۲۰۲۳ (مطالعه حاضر)	سال ۲۰۱۹ (۲۶)	سال ۲۰۱۲ (۱)	سال ۲۰۰۸ (۳)	سال ۲۰۰۲ (۲۳)
۱	اصفهان	۷۰۹/۳	۷۹۸	۶۳۳/۱	۸۰۲/۶	۵۵۵/۱
۲	ایلام	۱۳/۱	۱۱/۹	۳۱/۸	۸/۹	۱/۳
۳	آذربایجان شرقی	۰	۰	۱	۰	۰
۴	آذربایجان غربی	۴/۶	۲	۱/۸	۱/۵	۰/۸
۵	بوشهر	۱۶/۷	۳۴/۸	۱۰/۹	۰	۰
۶	تهران	۱/۲	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳
۷	خراسان جنوبی	۵۹۴/۵	۱۰۵۶/۸	۴۰۵/۸	۵۴۲/۳	۳۸۷
۸	خراسان رضوی	۴۳۳/۲	۴۷۴	۴۴۳/۲	۳۳۸/۸	۲۹۲/۵
۹	خراسان شمالی	۲/۴	۱۴/۳	۲/۴	۰	۳/۴
۱۰	خوزستان	۲۰۴/۳	۲۲۴/۹	۲۲۷/۸	۱۴۰/۹	۱۵۸/۶
۱۱	سمنان	۲۸۹/۲	۲۴۵/۷	۳۹۸/۸	۲۷۲/۱	۱۶۳/۵
۱۲	سیستان و بلوچستان	۱۰۶۰/۵	۱۳۷۱/۵	۸۱۷/۲	۲۹/۸	۸۱۷/۶
۱۳	فارس	۶/۴	۲۰/۴	۶۸	۰	۰
۱۴	قزوین	۰/۳	۰/۴	۱	۰	۰
۱۵	قم	۱۵/۷	۱۵/۲	۱۷/۴	۵/۵	۸/۶
۱۶	کرمان	۱۲۰۴/۳	۱۴۰۸/۴	۱۲۳۵/۳	۹۹۸/۲	۸۸۸/۹
۱۷	گیلان	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰
۱۸	مرکزی	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰	۰
۱۹	هرمزگان	۱۰۲/۸	۲۵۳/۷	۵۳/۵	۳۳/۲	۳۴/۷
۲۰	یزد	۴۹۰/۳	۲۰۸/۴	۴۱۲/۶	۵۳۸/۱	۴۳۷/۹
	جمع کل	۵۱۵۰	۶۱۶۴	۴۷۶۳	۳۹۸۰	۳۷۵۰

با توجه به نتایج بدست آمده ، استان کرمان با سطحی حدود ۱۲۰۰۰۰۰ ha بیشترین سطح ماسه‌زارهای کشور را به خود اختصاص می‌دهد. پس از آن بیشترین ماسه‌زارها به‌ترتیب متعلق به استان‌های سیستان‌وبلوچستان، اصفهان و کرمان با سطحی در حدود ۱۰۰۰۰۰۰، ۷۰۰۰۰۰ و ۵۹۰۰۰۰ ha می‌باشد. استان قزوین کم‌ترین سطح از ماسه‌زارها، در حدود ۳۷۳ ha را در خود جای داده است. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با بررسی‌های پیشین (۱، ۳، ۲۳، ۲۶) مشاهده شد که بیشترین اختلاف در استان‌هایی با بیشترین سطح ماسه‌زار نظیر استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، کرمان، یزد و اصفهان وجود دارد (شکل ۳). نتایج پژوهش نشان‌داد در سال‌های اخیر تغییر کاربری اراضی از تپه‌های ماسه‌ای به اراضی کشاورزی و بالعکس وجود داشته است؛ برای نمونه در شهرستان دهلران در استان ایلام، بخشی‌هایی که توسط بررسی‌های پیشین به‌عنوان ماسه‌زار در نظر گرفته‌شده بود اکنون تبدیل به اراضی کشاورزی شده است، لذا در مطالعه حاضر مرز ماسه‌زار اصلاح و تدقیق شد (شکل ۴ الف).

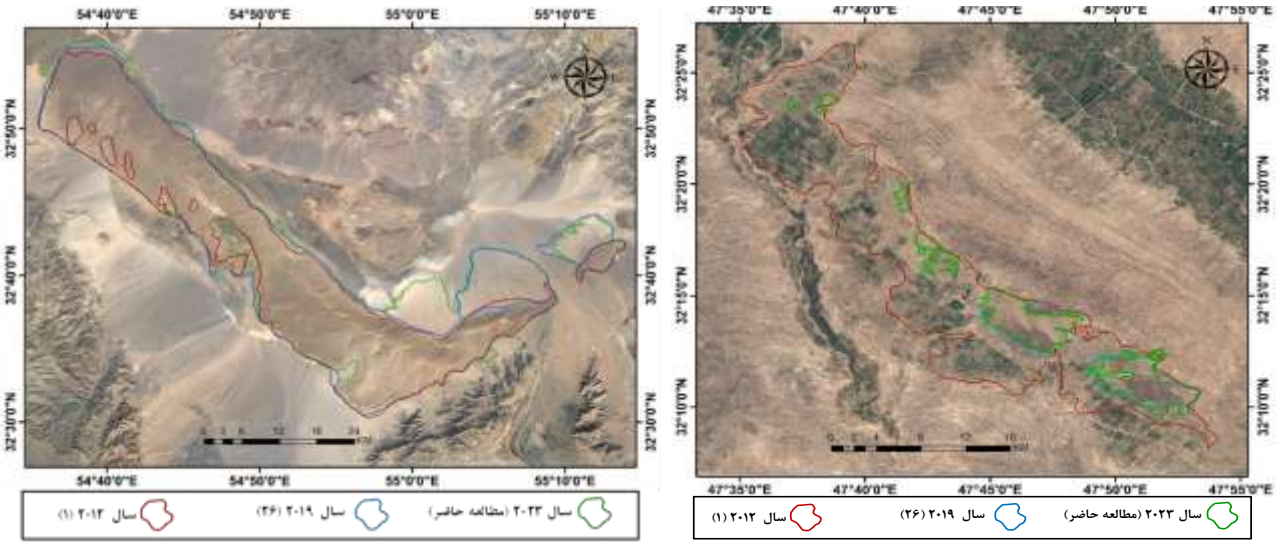
به‌دلیل تفاوت در تن و رنگ عوارض و تفاوت در رفتار طیفی ذرات ماسه در تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، ممکن است تشخیص مرز با خطا همراه باشد، لذا در مطالعه حاضر تلاش شد با ابزار تغییر زمان در نرم‌افزار گوگل ارث، خطاهای موجود در مطالعات پیشین برطرف گردد. در یکی از ماسه‌زارهای شهرستان اردکان در استان یزد، بخش‌هایی از آن توسط محققین در مطالعات پیشین در نظر گرفته نشده بود که در مطالعه حاضر اصلاح شد (شکل ۴ ب). نمونه‌ای دیگر از اصلاح محدوده ماسه‌زارهای شهرستان قائنات در استان خراسان جنوبی در شکل (۵ الف) آورده شده است که با تدقیق مرز، مساحت آن حدود ۳۶۶٪ افزایش یافت. نمونه‌ای دیگر در ارگ لوت قابل‌مشاهده است که با استفاده از تصاویر به‌روز محدوده آن اصلاح و تدقیق شد. همان‌طور که در شکل (۵ ب) مشخص است در بررسی (۲۶) قسمت‌هایی اراضی دشت‌سر به‌عنوان تپه‌های ماسه‌ای درنظر گرفته شده بود که در مطالعه حاضر اصلاح شد.

نقشه پهنه‌بندی ماسه‌زارهای ایران بر اساس عامل بارش در شکل (۶ الف) قابل‌مشاهده است. نتایج پهنه‌بندی حاکی از آن است که ماسه‌زارها در سه اقلیم فوق‌العاده خشک، خشک و نیمه‌خشک پراکندگی دارند.

برای پهنه‌بندی بر اساس عامل دما از رژیم حرارتی خاک بهره گرفته شد و نقشه حاصل در شکل (۶ ب) آورده شده است. بر این پایه پراکنش ماسه‌زارها در سه رژیم حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می‌باشد.

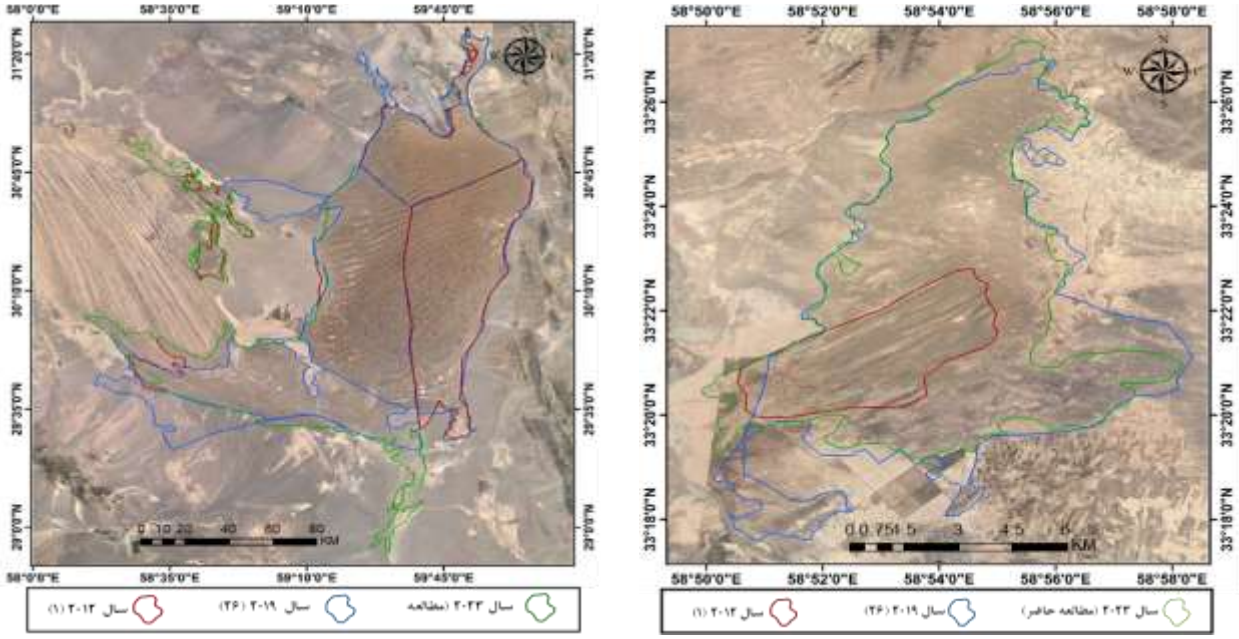


شکل ۳. اختلاف آمار نتایج بررسی حاضر با نتایج بررسی‌های پیشین



(الف) (ب)

شکل ۴. نمونه‌ای از اصلاح و تدقیق یک ماسه‌زار در شهرستان دهلران (الف) و شهرستان اردکان (ب)



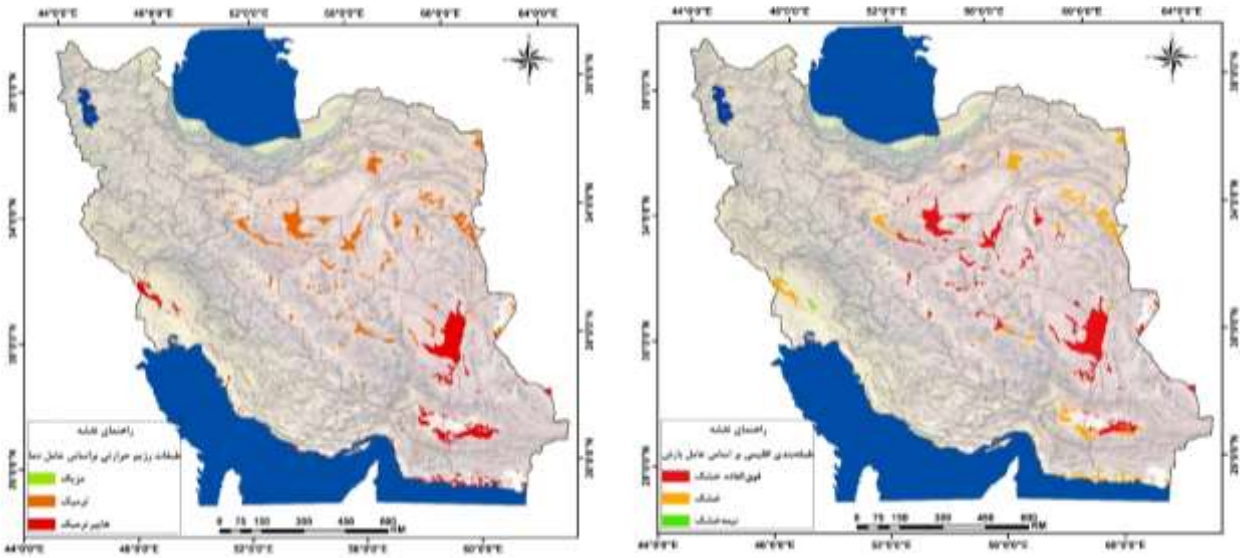
(الف) (ب)

شکل ۵. تدقیق و اصلاح مرز یک ماسه‌زار در شهرستان قائنات (الف) و ارگ لوت (ب)

برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق، فاصله طبقه‌ها ۲۵۰mm در نظر گرفته شده است. دامنه تغییر تبخیر و تعرق بین ۱۵۰۰ تا ۴۰۰۰ mm در سال است و تعداد ۱۰ طبقه ایجاد شد (شکل ۷ الف). نتایج حاکی از آن است که ماسه‌زارهای ایران بر اساس شاخص خشکی یونپ تنها در ۲ اقلیم فراخشک و خشک پراکندگی دارند (شکل ۷ ب).

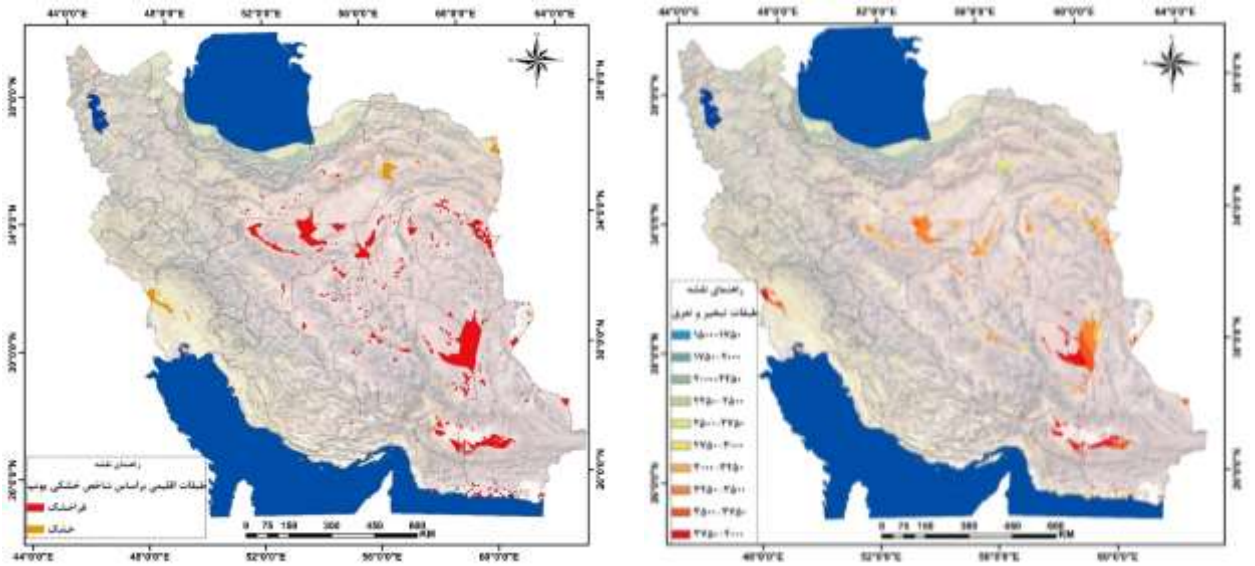
■ بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر محدوده ماسه‌زارها با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شد و ضمن مقایسه با نقشه‌های پراکندگی ماسه‌زارهای ایران حاصل از مطالعات پیشین، مرز و محدوده ماسه‌زارها اصلاح شد. همان‌طور که ذکر شد مساحت تدقیق شده ماسه‌زارهای ایران حدود ۵/۱۵mha است؛ که از این مقدار بیشترین سهم به ترتیب متعلق به استان‌های کرمان با سطحی حدود ۱/۲۰mha ، سیستان و بلوچستان با سطحی حدود ۱/۰۶mha ، اصفهان با سطحی حدود ۰/۷۰mha و خراسان جنوبی با سطحی حدود ۰/۶۰mha می‌باشد. مساحت به‌دست‌آمده با نتایج حاصل از مطالعات (۱، ۳، ۲۳، ۲۶) اختلاف‌هایی دارد.



(الف) (ب)

شکل ۶. پهنه‌بندی اقلیمی ماسه‌زارها بر اساس عامل بارش (الف) و پهنه‌بندی رژیم حرارتی بر اساس عامل دما (ب)



(الف) (ب)

شکل ۷. پهنه‌بندی ماسه‌زارهای ایران بر اساس عامل تبخیر و تعرق (الف) و طبقه‌بندی اقلیمی آن بر اساس شاخص خشکی یونپ (ب)

اولین آمار ارائه‌شده حاصل پژوهش (۲۳) سال ۱۳۷۰ بود که مساحت ریگ‌زارهای ایران را ۳/۶ mha برآورد کرده است. پس‌ازآن احمدی در سال ۱۳۸۰ (۳)، عدد ۴/۳mha در سال برای ماسه‌زارهای سطح کشور بیان کرد. نامبرده معتقد بودکه در فاصله زمانی ۱۳ سال، ۰/۷mha به سطح ماسه‌زارهای کشور افزوده شده است. به عقیده عباسی (۲)، آمار ذکرشده در مطالعه (۲۳) از مقدار واقعی آن کمتر است؛ زیرا در آن پژوهش نبکاها و پهنه‌های ماسه‌ای در نظر گرفته نشده‌بودند و همین‌طور به دلیل کامل‌نبوددن اطلاعات‌پایه (عکس هوایی و نقشه) از حاشیه نوار مرزی، مانع مساحی ارگ‌های موجود در حاشیه مرزهای کشور شده است. اما نقشهٔ تهیه‌شده از مناطق مرکزی کشور دقت زیادی دارد (۲). همچنین اختلاف آمار بررسی حاضر با دیگران می‌تواند ناشی از تغییرات کاربری اراضی در سطح استان‌های کشور و تبدیل‌شدن ماسه‌زارهای نزدیک شهرها به اراضی کشاورزی و همین‌طور حرکت ماسه‌های روان باشد. برای مثال در شهرستان دهلران در استان ایلام بخشی از پهنه‌های ماسه‌ای به اراضی کشاورزی تغییر کاربری پیداکرده است. همین‌طور

در استان هرمزگان، شهرستان‌های بندرعباس، بندرلنگه، سیریک، جاسک، قشم، بخش‌های زیادی از پهنه‌های ماسه‌ای کاربری کشاورزی و مسکونی پیداکرده است (همچنین در رفسنجان استان کرمان یا جنوب شهر کرمان). در بخش‌های دیگر از کشور، برای مثال استان‌های کرمان و قم، به دلیل حرکت ماسه‌های روان مرز ارگ‌زارها نسبت به بررسی‌های پیشین تغییر کرده است. در بررسی‌های پیشین، بخش‌هایی از استان فارس، قم، کرمان، سمنان، خوزستان و خراسان رضوی به‌عنوان پهنه‌های ماسه‌ای در نظر گرفته‌شده است که در این پژوهش، با بررسی زمان‌های مختلف در نرم‌افزار گوگل ارث و استفاده از نقشه‌های کمکی نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی کشور، نقشه جنگل‌های دست کاشت و اراضی زراعی و مسکونی، به‌عنوان ماسه‌زار تشخیص داده نشد؛ لذا مرز محدوده موردنظر اصلاح شد.

در گام دوم این پژوهش، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های اقلیمی ماسه‌زارهای کشور تهیه و نتایج حاصل گزارش شد. طبق نتایج حاصل از عامل بارش، حدود ۵۵٪ از ماسه‌زارها در اقلیم فوق‌العاده خشک در ۴ استان، ۴۳٪ آن در اقلیم خشک در ۱۳ استان و تنها ۲٪ از ماسه‌زارها در اقلیم نیمه‌خشک در استان آذربایجان غربی پراکندگی دارند که با نتایج مطالعه (۳۳) همخوانی دارد. بنابراین با در نظر گرفتن عامل بارش به‌تنهایی، اقلیم‌های فوق‌العاده خشک و خشک بر بیشتر ماسه‌زارهای ایران حاکم است و بیشتر ارگ‌ها در داخل خط هم‌باران ۱۰۰ mm قرار گرفته‌اند. دامنه تغییرات بارش حدوداً بین ۶ تا ۳۱۲ mm است. نتایج حاکی از آن است که بیشنه و کمینه بارش به‌ترتیب متعلق به ماسه‌زارهای شهرستان‌های فراشبند (استان فارس) و هیرمند (استان سیستان و بلوچستان) است.

بررسی داده‌های حاصل از پهنه‌بندی رژیم حرارتی گویای این است که گرم‌ترین ماسه‌زارها به‌ترتیب در شهرستان‌های شاهرود در استان سمنان، جاسک در استان هرمزگان و راور در استان کرمان قرار دارند. سردترین آن‌ها نیز به ترتیب متعلق به شهرستان‌های بوئین‌زهرا در استان قزوین، گرمسار در استان سمنان و ماکو در استان آذربایجان غربی است. دامنه تغییرات دمای متوسط سالانه در اراضی ماسه‌زار کشور بین ۱۰ تا ۲۸/۵°C می‌باشد. رژیم حرارتی غالب بر ماسه‌زارها ترمیک است که حدود ۶۸٪ از سطح ماسه‌زارها در ۸ استان را در برمی‌گیرد. پس‌ازآن رژیم حرارتی هایپرترمیک بر ۳۱٪ از ماسه‌زارها در ۷ استان حاکم است و فقط حدود ۱٪ از ماسه‌زارها دارای رژیم حرارتی مزیک هستند که در ۳ استان پراکندگی دارند.

نتایج حاصل پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در محدوده ماسه‌زارهای کشور بیانگر آن است دامنه تغییرات تبخیر و تعرق در ماسه‌زارهای کشور بین ۱۹۷۰ تا ۳۹۴۰mm می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار تبخیر و تعرق بترتیب در شهرستان‌های رودبار جنوبِ استان کرمان و بوئین‌زهرا در استان قزوین مشاهده شد. نتایج نشان داد که بر پایهٔ شاخص خشکی یونپ، ماسه‌زارهای ایران در قلمرو دو اقلیم فراخشک و خشک قرار دارند. حدود ۸۹٪ از سطح ماسه‌زارها در ۹ استان در اقلیم فراخشک و ۱۱٪ آن‌ها در ۹ استان در اقلیم خشک قرار دارد.

در سال‌های اخیر تغییرات کاربری زیادی در استان‌های بیابانی کشور رخ‌داده است و مرز و محدوده ماسه‌زارها تغییر کرده است. از طرفی نقش فرسایش بادی در این مناطق پررنگ است و هرساله باعث جابه‌جا شدن ماسه‌های روان و ایجاد خسارت‌های زیادی به مناطق مسکونی و تأسیسات و زیرساخت‌ها می‌شود. نتایج پژوهش نشان داد که پراکندگی ماسه‌زارهای کشور در اقلیم خشک و فراخشک است. در این مناطق بارندگی محدود است و کمبود بارش موجب آسیب‌پذیری بیشتر خاک و تشدید فرسایش بادی می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود پراکنش ماسه‌زارها به‌صورت دوره‌ای بررسی شود تا با شناسایی مناطقی که ماسه‌های روان خطرآفرین هستند و بیشترین خسارت‌ها را ایجاد می‌کنند؛ با توجه به پتانسیل منطقه از روش‌های مختلف زیستی و فیزیکی برای تثبیت آن‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده شود.

■ سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از جناب آقای دکتر محمدرضا سالاری فنودی، دفتر امور بیابان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، بخش تحقیقات بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان هواشناسی کشور بابت در اختیار قرار دادن داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌ها کمال تشکر و قدردانی را دارند.

■ References

1. Abbasi, H. (2012). *Classification of Iran's Sand Dune Systems: morphology and Physiochemical properties*. technical final report, Research Institute of Forests and Rangelands. [In Persian]

2. Abbasi, H. (2021). Distribution of Sand dunes in Iran. *Iran Nature*, *6*(2), 37-44. DOI: https://doi.org/10.22092/irn.2021.352954.1320 [In Persian]

3. Ahmadi, H. (2008). *Applied Geomorphology: Desert – Wind Erosion*, Tehran: University of Tehran press. [In Persian]

4. Ahmadi, H., Feyznia, S., Ekhtesasi, M.R. and Ghanei Bafghi, M. (2001). Source Identification of South Bafgh Sand Dunes. *Desert*, *6*(2), 35-50. [In Persian]

5. Almutlaq, F., Nahas, F. and Mulligan, K. (2022). Calculation of the Rub al Khali Sand Dune Volume for Estimating Potential Sand Sources. *Remote Sensing*, *14*(5), 1216. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14051216

6. Amin, A. and Abu Seif, E.S. (2019). Environmental Hazards of Sand Dunes, South Jeddah, Saudi Arabia: An Assessment and Mitigation Geotechnical Study. *Earth System and Environment*, *3*, 173-188. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s41748-019-00100-5

7. Ashkenazy, Y., Yizhaq, H. and Tsoar, H. (2012). Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts. *Climate Change*, *112*, 901-923. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0264-9

8. Bagnold, R.A. (1941). *The physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Dordrecht: Springer

9. Bubenzer, O., Embabi, N.S. and Ashour, M. (2020). Sand Seas and Dune Fields of Egypt. *Geosciences*, *10*(3*)*. DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences10030101

10. Colantoni, A., Delfanti, L., Cossio, F., Baciotti, B., Salvati, L., Perini, L. and Lord, R. (2015). Soil Aridity under Climate Change and Implications for Agriculture in Italy. *Applied Mathematical Sciences*, *9*(5), 2467-2475. DOI: http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.52112

11. Edgett, K.S. and Lancaster, N. (1993). Volcaniclastic aeolian dunes: Terrestrial examples and application to Martian sands. *Journal of Arid Environments*, *25*(3), 97-271. DOI: http://dx.doi.org/10.1006/jare.1993.1061

12. Fryberger, S., Al-Sari, A., Clishamt, T., Rizvi, S. and Al-Hinai, KH. (1984). Wind sedimentation in the Jafurah sand sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*, *31*(3), 413-431. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00869.x

13. Gharib Reza, M. and Motamed, A. (2005). Investigating the changes of coastal sand dunes of Sistan and Baluchestan Province. *Journal of Geographical Studies*, *36*(1), 35-48. [In Persian]

14. Goudie, A. (1969). Statistical laws and dune ridges in southern Africa. *The Geographical Journal*, *135*(3), 404-406. DOI: https://doi.org/10.2307/1797329

15. Goudie, A. (2018). *Arid and Semi-Arid Geomorphology*. Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Rahdari, M. and Farzin, M., Tehran: University of Tehran press.

16. Hoseinzadeh, S.R., Ghorbani Shorestan, A., Karimi, A. and Jahadi Toroghi, M. (2019). Study of the scattering and Origin of Lesley Sediments of the Northeast of Iran. *Quantitative Geomorphological Researches*, *8*(2), 1-22. [In Persian]

17. Jafari, M. and Tavili, A. (2013*). Reclamation of Arid and Desert areas*. Tehran: University of Tehran press. [In Persian]

18. Lancaster, N. (1980). Dune systems and palaeoenvironments in southern Africa. *Palaeontologia Africana*, *23*, 185-189.

19. Lancaster, N. (2009). Dune Morphology and Dynamics. In: Parsons, A.J. and Abrahams, A.D., *Geomorphology of Desert Environments*. Dordrecht: Springer. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_18

20. Livingstone, I. (1986). Geomorphological significance of wind flow pattern over a Namib linear dune. In: Nikcling, W.G., *Aeolian Geomorphology*. Boston: Allen and Unwin, DOI: http://dx.doi.org/10.4324/9780429265150-6

21. Livingstone, I. (2012). Aeolian geomorphology of the Namib Sand Sea. *Journal of Arid Environment*, *93*, 30-39. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.005

22. Maghsoudi, M., Mohamadi, A., Khanbabaei, Z., Mahboobi, S. and Baharvand, M. (2017). Reg movement monitoring and Barchans in West of Lot region (Pashoeyeh). *Quantitative Geomorphological Research*, *5*(4), 176-189. [In Persian]

23. Mahmmodi, F. (2002). *Sand Seas Distribution of Iran*. Tehran: Research Institute Forests and Rangelands. [In Persian]

24. Mamaghani Bonabi, A., Zare Ahmadabad, M. and Maghsoudi, M. (2019). Determination of source areas of aeolian sands Based of Mineralogy and Morphoscopy of sand grains (Case Study: Sufian Qom Hill – North of Lake Urmia). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *8*(3), 77-95. DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.81703 [In Persian]

25. Monavari, I., Mortazavi, A. and Amrollahi, A. (2017). Sand dunes control methods to prevent the crisis on the Iran railway lines. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *7*(1), 25-34. [In Persian]

26. Natural Resources and Watershed Management Organization. (2019). Updating and Determining areas affected by wind erosion and Hotspot of Iran. [In Persian]

27. Nazari Samani, A., Abassi, H., Ahmadi, H. and Rahdari, M. (2017). Quantitative Modeling of Dunefields High and Space Using Geomorphometric Studies in Central Deserts of Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *24*(1), 210-223. DOI: https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109861 [In Persian]

28. Nazari Samani, A., Tavakoli, A., Ghasemieh, H., Mashhadi, N. and Rahdari, M. (2017). Integration of anemometers data and geomorphology of sand dunes in Kashan Erg. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *24(*1), 67-79. DOI: https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109850 [In Persian]

29. Pye, K. and Tsoar, H. (2009). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin Heidelberg: Springer.

30. Rasheed, M.J. and Mashee Al-Ramahi, F.K. (2021). Detection of the Impact of Climate Change on Desertification Formation East of the Tigris River in Salah Al-Sin Governorate Using Remote Sensing Techniques. *Iraqi Geological Journal, 54* (1A), 69-83. DOI: https://doi.org/10.46717/igj.54.1A.7Ms-2021-01

31. Sirjani, E., Sameni, A., Moosavi, A., MAhmoodabadi, M. and Laurent, B. (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma*, *333*, 69-80. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.012

32. Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.

33. Tavousi, T., Khajehamiri Khaledi, C., and Salari Fanoudi, M.R. (2021). Review of Iran's Climatic Zoning Based on Some Climate Variables. *Desert Management*, *8*(16), 17-36. DOI: https://doi.org/10.22034/jdmal.2021.243138 [In Persian]

34. Tripaldi, A. Ciccioli, P.L., Alonso, M.S. and Forman, S.L. (2010). Petrography and geochemistry of late Quaternary dune fields of western Argentina: provenance of aeolian materials in southern south America. *Aeolian Research*, *2*, 33-48. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2010.01.001

35. Tsoar, H. (1974). Desert dunes morphology and dynamics, El Arish (northern Sinai). *Zeitschrift fur Geomorphologie*, *20*, 41-61.

36. Tsoar, H. (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A.*, *357*(1), 50-56. DOI: https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.067

37. Wilson, I.G. (1973). Ergs. *Sedimentary Geology*, *10*(2), 77-106. DOI: https://doi.org/10.1016/0037-0738(73)90001-8

38. Xi, Ch., Zuo, H., Wei, X. and Yan, M. (2023). Sand-fixing effect and compound change of nylon checkboard sand barrier. *Environmental science and pollution research*, *30*, 35727-34744. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-24741-8

39. Xin, G., Huang, N., Zhang, J., and Dun, H. (2021). Investigations into the design of sand control fence for Gobi buildings. *Aeolian Research*, *49*, 100662. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100662

40. Xue, Ch., Li, K. and Kong, L. (2021). Review of Research on Wind-sand Hazards in China Railway. *Architecture Engineering and Science*, *2*(2), 56-62. DOI: https://doi.org/10.32629/AES.V2I2.368

41. Yamani, M. and Karami, F. (2011). The relation between wind characters and rivers dynamic in placing of sands massive in Khuzestan Plain (Case study: Northern Erg of Ahwaz). *Arid Region Geographic studies*, *2*(1), 25-42. [In Persian]

42. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y. and Tsoar, H. (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. *Geophysical Research*, *114*(F1), F01023. DOI: https://doi.org/10.1029/2008JF001138

43. Zare, S. (2015). *Investigation of the efficiency of resin, mineral, polymer and biopolymer mulches for stabilization of sand dunes and feasibility study of their replacement with oil mulch.* PhD thesis, University of Tehran. [In Persian]

44. Zare, S., Jafari, M., Ahmadi, H., Rouhipour, H. and Khalil Arjomandi, R. (2019). Studying the effectiveness of some non-oil mulches on sand dunes fixation. *Range and Watershed Management*, *71*(4), 939-948. DOI: https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.264506.1294 [In Persian]

45. Zhang, Zh., Liang, A., Zhang, C. and Dong, Zh. (2021). Gobi deposits play a significant role as sand sources for dunes in the Badian Jaran Desert, Northwest China. *Catena*, *206*, 105530. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105530