Journal of Range & Watershed Management
https://jrwm.ut.ac.ir/

Volume 76 (1)
Online ISSN: 2423-7795

Evaluating the Impacts of Climate fluctuations on wind processes (Case study: Abshirin Ecosystem)

Farhad Hasani Dorabad | Naser Mashhadi | AmirReza Keshtkar

International Desert Research Center (IDRC), University of Tehran, Karaj, Iran
Email: nmashhad@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 11 December 2022
Received in revised: 14 Feb 2023
Accepted: 09 March 2023
Published online: 21 June 2023

Keywords:
Climate fluctuations,
Drought,
Sand dunes elongation,
Sand dunes' morphology,
Wind erosion dynamics.

Abstract

The desert environment is aeolian, being dominated by the wind. Wind erosion dynamics are driven by natural processes, including climate and its fluctuations, and human activity. Separating the climatic and anthropogenic causes of wind erosion can improve the understanding of its driving mechanisms. The aim of research is to evaluate the spatio-temporal dynamics of the aeolian process based on morphology and the analysis of the spatial correlation between wind erosion dynamics and climate fluctuations. Based on meteorological, remote sensing, and field observations data, the impacts of climate fluctuations on the temporal and spatial changes of the aeolian process were evaluated according to the indicator of sand dunes. MODIS remote sensing data used to study the sand dunes' morphology. The meteorological data were derived from two stations of Qom and Kashan. The analysis of the elongation and form of the dunes as the wind direction indicator showed that the area is affected by the winds region of the Qom. The climatology results showed that over the last 27 years, the region has a rising temperature trend and a decreasing precipitation trend. The drought conditions and the aeolian process showed that the region experienced severe drought conditions from 1369 to 1395. A brief study of human activity showed that the land use change from natural vegetation cover to bio-cultivation cover, as well as the agricultural land to urban and industrial activities, can be an effective factor in the aeolian process. The results showed that wind erosion increased continuously from northwest to southeast.

Cite this article: Hasani Dorabad, F., Mashhadi, N., Keshtkar, A.R. (2023). Evaluating the Impacts of Climate fluctuations on wind processes (Case study: Abshirin Ecosystem). *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (1), 77-101.
DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2023.354591.1693

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

نشریه مرتع و آبخیزداری
دوره ۷۶ (۱)
شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

ارزیابی پیامدهای نوسانات اقلیمی بر فرایندهای بادی (مطالعه موردی: زیست‌بوم بیابانی آب‌شیرین)

فرهاد حسنی درآباد | ناصر مشهدی* | امیررضا کشتکار

مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران، کرج، ایران
رایانامه: nmashhad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

کلیدواژه‌ها:
پویایی فرسایش بادی،
خشکسالی،
ریخت‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای،
کشیدگی تپه‌های ماسه،
نوسانات اقلیمی.

چکیده

محیط بیابانی یک محیط بادی است و باد بر آن حاکم است. پویایی فرسایش بادی هم توسط فرآیندهای طبیعی از جمله اقلیم و نوسانات آن و هم فعالیت‌های انسانی هدایت می‌شود. جداسازی علل اقلیمی و انسانی فرسایش بادی می‌تواند درک سازوکارهای محرک آن را بهبود بخشد. هدف پژوهش حاضر ، ارزیابی پویایی مکانی-زمانی فرایند بادی بر اساس شکل تپه‌های ماسه‌ای و تحلیل همبستگی مکانی بین پویایی فرسایش بادی و نوسانات اقلیم است. بر اساس داده‌های هواشناسی، سنجش از دور و مشاهدات میدانی، تاثیرات نوسانات اقلیمی بر تغییرات زمانی و مکانی فرایند بادی با شاخص تپه‌های ماسه‌ای ارزیابی شد. داده‌های سنجش از دور MODIS برای مطالعه ریخت‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای استفاده شد. داده‌های هواشناسی از دو ایستگاه سینوپتیک قم و کاشان بدست آمدند. تجزیه و تحلیل کشیدگی و شکل تپه‌ها به عنوان شاخص جهت باد نشان داد که منطقه تحت تاثیر رژیم بادهای منطقه قم می‌باشد. نتایج اقلیم نشان داد که طی ۲۷ سال گذشته، منطقه روند افزایشی در متوسط دمایی و روند کاهشی در بارندگی دارد. شرایط خشکسالی و فرایند باد نشان داد که منطقه در طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ شرایط خشکسالی شدید را بیشتر از شرایط عادی یا خشکی غیر عادی تجربه کرده است. مطالعه اجمالی فعالیت انسانی نشان داد که فعالیت و تغییر کاربری سرزمین از پوشش گیاهی طبیعی به پوشش زیستی-پرورشی و زمین‌های کشاورزی به شهرسازی و صنعت می‌تواند عامل اثرگذار روی فرایند بادی باشند. نتایج نشان داد که فرسایش بادی در طول دوره مطالعه به طور مداوم از شمال غرب به جنوب شرق افزایش می‌یابد.

استناد: حسنی درآباد؛ فرهاد، مشهدی؛ ناصر، کشتکار؛ امیررضا (۱۴۰۲). ارزیابی پیامدهای نوسانات اقلیمی بر فرایندهای بادی (مطالعه موردی: زیست‌بوم بیابانی آب‌شیرین). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۶(۱)، ۱۰۱-۷۷.

DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2023.354591.1693

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

پویایی[1] فرسایش بادی هم توسط فرآیندهای طبیعی و هم فعالیت‌های انسانی هدایت می‌شود (ژائو [2] و همکاران، ۲۰۲۱). آب و هوا همانند دما، بارندگی و به ویژه بادهای نزدیک به سطح زمین و همچنین اقلیم و نوسانات نرمال، سالانه و فصلی اقلیمی، می‌توانند به شدت بر روند فرایند بادی با برداشت و جابجایی خاک سطحی و ایجاد تپه‌های ماسه‌ای در سطح زمین تأثیر بگذارند (تژن[3] و همکاران، ۱۹۹۶؛ فی[4] و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی، فعالیت انسانی می‌تواند فرسایش بادی را از طریق سه ویژگی ظرفیت حمل باد ، تامین رسوب و قابلیت دسترس بودن رسوبات برای باد تحت تاثیر قرار دهد (کوکورک[5] ، لنکستر[6] ، ۱۹۹۹؛ ساره[7] ، ۱۹۸۸؛ آلکانتارا[8] ، آلونزو[9] ، ۲۰۰۱؛ له[10] ، ۲۰۱۱؛ مشهدی، کریمپور، ۲۰۲۱).

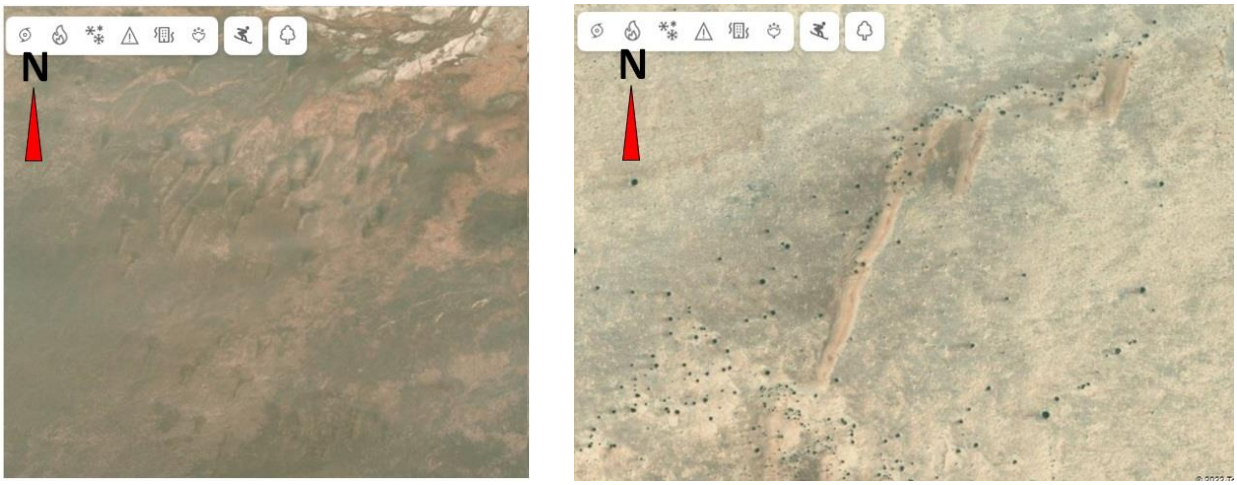
تغییرات شدید آب و هوایی و اقلیم، و فعالیت‌های وسیع انسانی با شدت بالا، افزایش گسترده‌ای در فرایند بادی و فرسایش خاک از مرحله برداشت تا رسوبگذاری و خطرات مرتبط با آن در ایران داشته است (توکلی‌فرد و همکاران، ۲۰۱۲؛ مقصودی و همکاران، ۲۰۱۱؛ نظری سامانی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات متعددی در ویژگی‌های پویایی باد به صورت مکانی، زمانی و عوامل مؤثر بر فرسایش بادی در جهان و در مقیاس‌های مختلف بررسی شده است (هابز[11] و همکاران، ۲۰۱۰؛ پوتوکی[12]، آنجل[13]، ۲۰۰۴؛ المزوری[14]، ۲۰۱۳؛ دیو[15] و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، مطالعه و ارزیابی کمتری نسبت به سهم جداگانه هر کدام از عوامل اقلیمی و انسانی در تغییرات فرسایش بادی انجام شده است (ژانگ[16] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، تفکیک و شناسایی عوامل اصلی پویایی فرایند باد و فرسایش بادی ناشی از نوسانات اقلیم و آنهایی که مستقیماً ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند، می‌تواند اطلاعات مهمی برای طراحی اقدامات و برنامه‌ریزی برای کاهش وقوع فرسایش بادی و حل مشکلات محیطزیستی ارایه دهد.

چشم‌انداز زیست بوم‌های بیابانی کاشان و قم تحت تسلط تپه‌های ماسه‌ای بیابانی می‌باشد. این تسلط، آسیب‌پذیری اکولوژیکی را تشدید و منجر به کاهش حاصل‌خیزی خاک، وسعت سرزمین و بهره‌وری زمین شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۲۱؛ لال[17]، ۲۰۲۲؛ لارنی[18] و همکاران، ۱۹۹۸؛ دیوودوریکو[19] و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویزر[20]، استرک[21]، ۲۰۰۷؛ مشهدی، ۲۰۲۲؛ خالدی، ۲۰۰۵).

منطقه شمالی کاشان و جنوبی قم محدوده عملکرد فرایند بادی از مرحله برداشت تا رسوبگذاری می‌باشد که نتیجه آن تشکیل مجموعه‌هایی از تپه‌های ماسه‌ای در وسعت‌های گوناگون بوده است. بسیاری از این مجموعه‌ها در چند دهه اخیر توسط پوشش گیاهی تثبیت شده‌اند. اتفاقی که در دهه‌های اخیر در منطقه رخ داده این است که تپه‌های ماسه‌ای جدید یا به صورت منفرد (شکل ا– الف) و یا

1 Dynamic
2 Zhao
3 Tegen
4 Pi
5 Kocurek
6 Lancaster
7 Sarre
8 Alcántara
9 Alonso
10 Leh
11 Hobbs
12 Potocki
13 Angiel
14 Almazroui
15 Du
16 Zhang
17 Lal
18 Larney
19 D’Odorico
20 Kisser
21 Sterk

به صورت مجموعه (ارگ[1]) (شکل ۱- ب)، در منطقه تشکیل شده است. بررسی‌ها نشان‌داده که تپه‌های جدید در حال گسترش و پیشروی در محیط طبیعی منطقه هستند (مشهدی، ۲۰۲۲؛ حسنی و مشهدی، ۲۰۱۷). مطالعه حاضر به بررسی نوسانات اقلیمی بر فرایند بادی بر اساس مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای جدید به نام ارگ آب شیرین با مساحتی حدود ۲۲۷ هکتار(شکل ۱، ب)، به عنوان یک ارگ مورد استناد به منظور ارزیابی عوامل موثر بر فعالیت فرایند باد پرداخته است.



ب الف

شکل ۱. تپه‌های ماسه‌ای جدید، الف: به صورت منفرد و ب: به صورت مجموعه (ارگ آب‌شیرین)

همان‌گونه که بیان شد مطالعات متعددی در جهت دوباره فعال شدن فرایند بادی با منشا نوسانات اقلیمی و یا فعالیت انسان صورت گرفته است. هدف این مقاله تجزیه و تحلیل داده‌های آب و هوا و اقلیم و تاثیر سهم آن‌ها در فعالیت فرایند باد و گسترش تپه‌های ماسه‌ای بوده است.

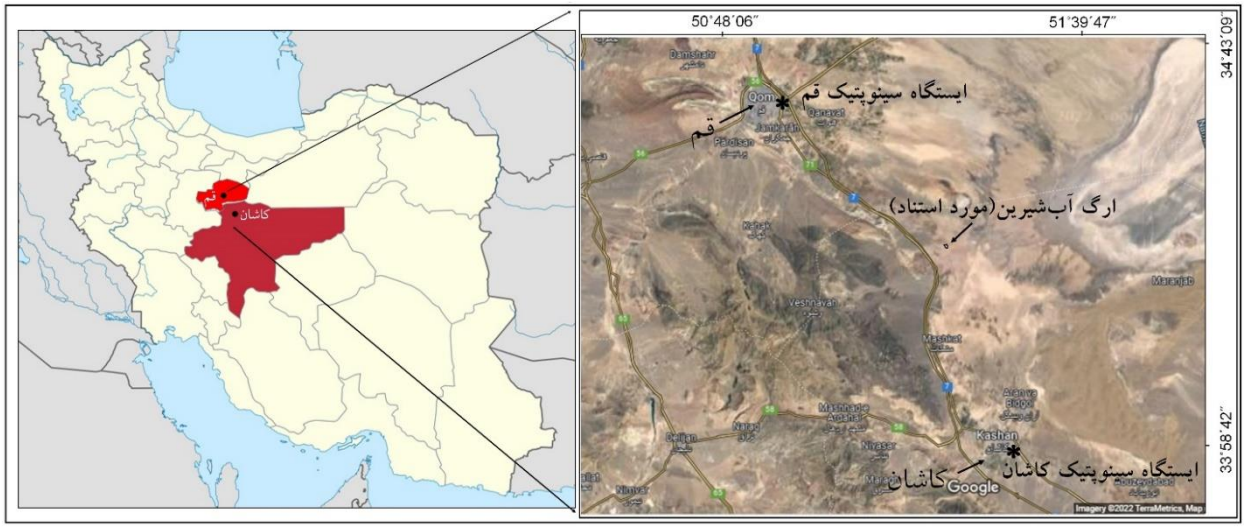
در مطالعه حاضر، با توجه به آمار و اطلاعات در دسترس، عوامل اصلی آب و هوایی و اقلیم مانند سرعت باد، دما و بارندگی، به عنوان یک عامل پویا تأثیرگذار در فرایند بادی، ارزیابی کیفی و کمی شدند (برینگ[2] و همکاران، ۲۰۰۳؛ چی[3] و همکاران، ۲۰۱۹؛ استوارت[4]، اسنوانگر[5]، ۱۹۷۸). مطالعه ویژگی‌های باد به عنوان اصلی‌ترین نیروی محرکه موثر و تشدید کننده روند فرسایش بادی (آلکانتارا و همکاران، ۱۹۹۰؛ فی و همکاران، ۲۰۱۷؛ شرمان[6] و همکاران، ۱۹۹۰)، دما و بارش به عنوان متعادل کننده رطوبت و انرژی در سطح خاک و پایدارکننده ذرات سطح خاک انجام شد (گاوریلسکو[7]، ۲۰۲۱). همچنین پدیده خشک‌سالی به عنوان مستعدکننده فرسایش بادی خاک، مورد بررسی قرار گرفته است (مسرور[8] و همکاران، ۲۰۲۲؛ مک‌کنا[9]، ۲۰۰۳).

1 Erg
2 Bärring
3 Chi
4 Stewart
5 Essenwanger
6 Sherman
7 Gavrilescu
8 Masroor
9 Mckenna

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در منطقه عمومی آب شیرین در غرب دریاچه نمک کاشان و ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی قم واقع‌شده و دارای چشم‌انداز دشت، زمین‌های کشاورزی، تپه‌های ماسه‌ای فعال و یا تثبیت شده و مخروط‌های آبرفتی[1] در جنوب شرقی شهرستان قم و شمال شهرستان کاشان می‌باشد. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۲ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۴۳ دقیقه و ۰۹ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه و ۰۶ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۷ ثانیه طول شرقی قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت منطقه نسبت به ایستگاه های سینوپتیک قم و کاشان

۲-۲. روش تحقیق

مجموعه آمار و اطلاعات دما، بارندگی و باد در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه از دو ایستگاه سینوپتیک هواشناسی قم و کاشان (گزارشات سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۰۷) (جدول ۱ و شکل ۲) در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۶۹ استخراج و روند تغییرات آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک قم و کاشان

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
کاشان	۴۰۷۸۵	۵۰° ۲۷' ۰۱/۵۵ "	۳۳° ۵۹' ۰۳/۵۳ "
قم	۴۰۷۷۰	۵۰° ۵۱' ۵۶/۵۳ "	۳۴° ۴۱' ۲۵/۹۵ "

سپس جهت اعتبار سنجی و اثرگذاری عامل باد به عنوان عامل اصلی اقلیمی در فرایند فرسایش بادی و شکل‌گیری و گسترش تپه‌های ماسه‌ای، داده‌های باد سنجی دو ایستگاه قم و کاشان مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سپس نتایج حاصل با انجام

1 Fluvial fan

مطالعات صحرایی و برداشت میدانی، با ریخت‌شناسی[1] تپه‌های ماسه‌ای ارگ جدید و فعال آب‌شیرین به عنوان ارگ مورد استناد، مقایسه گردید. به این ترتیب که، پس از آنالیز تپه‌ها بر اساس شکل[2] و کشیدگی[3] (البا[4]ز، ۱۹۸۶؛ مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مقصودی و همکاران، ۲۰۱۱؛ ژندا[5]، ۱۹۸۴) آن‌ها و تطبیق آن‌ها با آمار و اطلاعات هواشناسی به ویژه آنالیز بادسنجی ایستگاه‌های منتخب تحقیق، ایستگاه قم به عنوان ایستگاه تاثیرگذار نسبت به فرایندهای بادی منطقه شناسایی گردید و بنابراین نسبت به آنالیز داده‌های بادسنجی این ایستگاه اقدام شد.

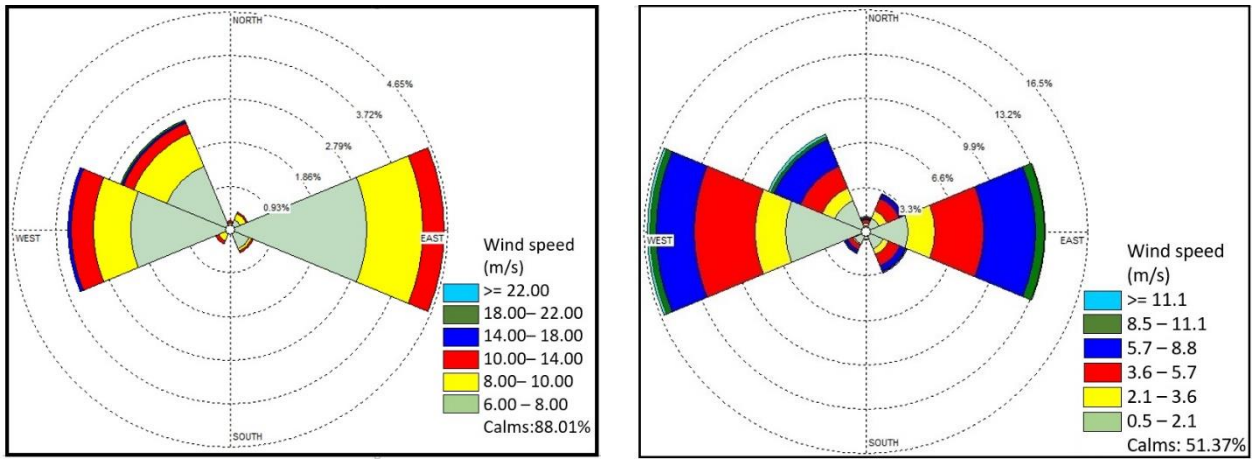
در ادامه، شاخص بارش استاندارد شده[6] (مک‌کی[7] و همکاران، ۱۹۹۳) به منظور بررسی وقوع پدیده خشک‌سالی بر اساس داده‌های بارش ثبت شده از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۶-۱۳۹۵ در یک دوره ۲۷ ساله در دو ایستگاه سینوپتیک قم و کاشان محاسبه گردید. به منظور محاسبه شاخص بارش استاندارد شده، در گام اول پیش پردازش آماری شامل انتخاب پایه زمانی مشترک، نرمال‌سازی و بازسازی داده‌های مفقودی انجام، سپس شاخص مورد نظر برای دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه در بازه زمانی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۶-۱۳۹۵ محاسبه و زمان‌های وقوع پدیده خشک‌سالی مشخص گردید. تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات اقلیمی و باد سنجی در محیط نرم‌افزارهای WRPLOT، GIS، DIP و Excel انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. مطالعه باد منطقه

۳-۱-۱. ایستگاه قم

مطالعات بادسنجی ایستگاه قم در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۶۹ به منظور بررسی گل‌باد (بادهای با فراوانی زیاد و شکل دهنده تپه‌ها)، گل‌توفان (بادهای فرساینده و تشکیل دهنده تپه‌ها) انجام گردید (شکل ۳).



الف ب

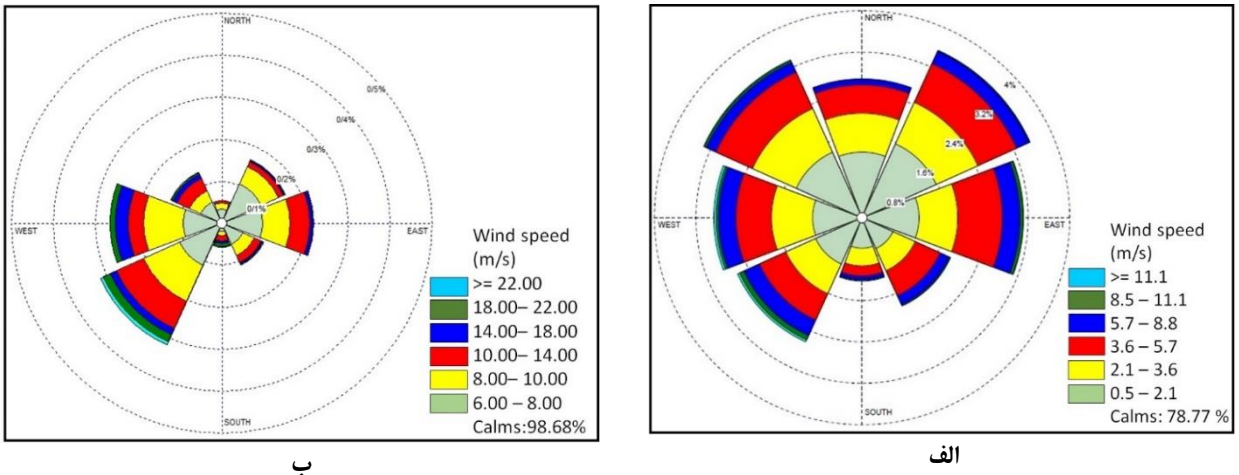
شکل ۳. الف:گل‌باد ب: گل‌توفان سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۵

1 Morphology
2 Form
3 Elongation
4 El-Baz
5 Zhenda
6 Standardized Precipitation Index (spi)
7 McKee

براساس گل‌باد سالانه این ایستگاه، بادهای غربی- شرقی و شمال غربی به ترتیب از فراوانی بیشتری نسبت به سایر جهات برخوردار بودند. همچنین بر اساس گل‌توفان سالانه نیز بادهای با جهت غربی و شرقی و شمال غرب به ترتیب بیشترین فراوانی را داشتند. مقایسه این دو نمودار نشان داد که هم بادهای با فراوانی زیاد (گل‌باد) و هم بادهای فرساینده (گل‌توفان) در طول سال هم جهت هستند بنابراین، این دو نوع باد در تشکیل و شکل‌دهی تپه‌ها موثر بوده و نقش اصلی را بازی کرده‌اند.

۳-۱-۲. ایستگاه کاشان

مطالعات بادسنجی داده‌های ایستگاه کاشان نیز در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۶۹ به منظور بررسی گل‌باد، گل‌توفان انجام گردید (شکل ۴).



شکل ۴. الف:گل‌باد ب: گل‌توفان سالانه ایستگاه سینوپتیک کاشان در دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۵

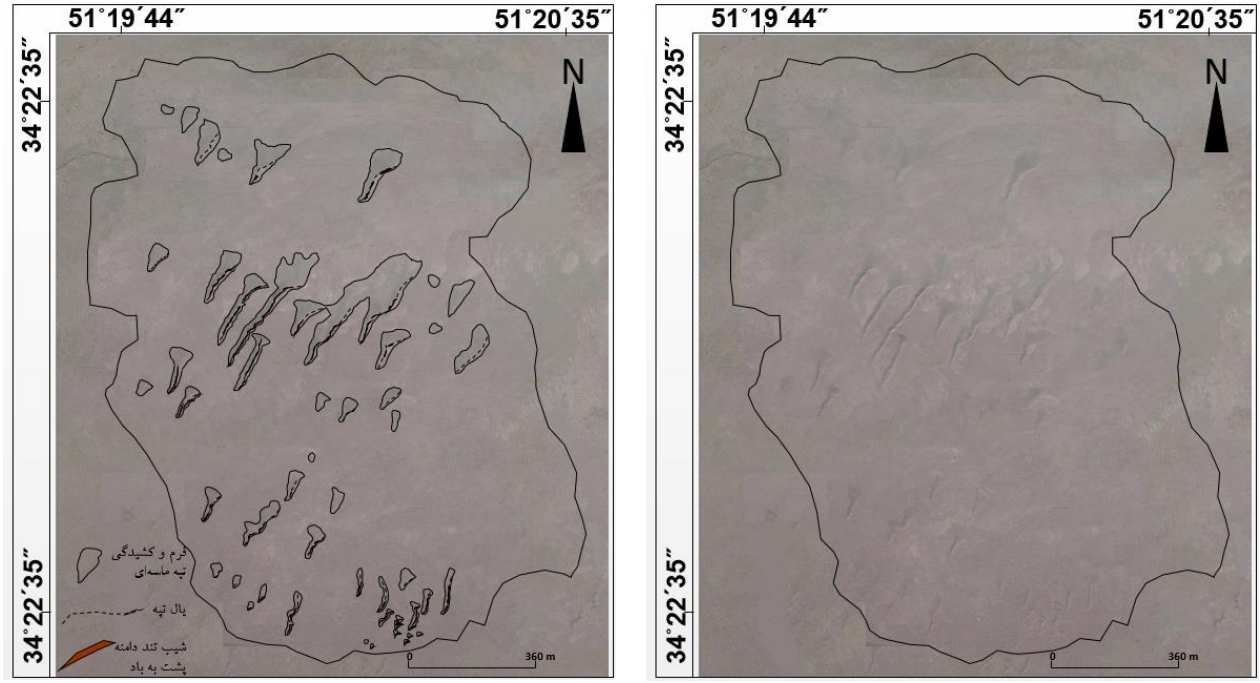
براساس گلباد سالانه ایستگاه کاشان (شکل ۴)، بادهای با جهت‌های شمال شرقی، شمال غرب و تقریبا جهات دیگر از فراوانی یکسانی برخودار بوده و توزیع سالانه آن‌ها متعادل است (به جز بادهای جنوبی).

با توجه به بادهای آرام در گل‌باد قم با ۵۱ درصد و گل‌باد کاشان با ۷۸ درصد و همچنین گل‌توفان‌های قم با ۸۸/۵ درصد و کاشان با ۹۸/۵ درصد، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه عمومی قم باد خیزتر از منطقه کاشان بوده و بادهای شکل‌دهنده و فرساینده نیز در منطقه قم وزش بیشتری نسبت به کاشان دارند (مقایسه شکل ۳ و شکل ۴).

۳-۲. ریخت‌شناسی[1] تپه‌های ماسه‌ای ارگ آب‌شیرین

بر اساس مطالعات میدانی انجام شده مشخص گردید که به دلیل جوانی ارگ، تپه‌های ماسه‌ای به شکل فعال با شکل‌های اولیه و ساده وجود دارند. از شکل‌های ساده و پایه تپه‌ها برای تشکیل تپه‌های پیچیده دو نوع تپه پیش بارخانی، بارخان و تپه خطی ساده (سیف) وجود دارد. بررسی‌ها نشان داد که تکامل‌یافته‌ترین تپه‌ها در این ارگ، تپه‌های سیلک دندانه‌ای تا سیلک مجتمع نا متقارن می‌باشد (مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۵).

1 Morphology



شکل ۵. الف: ریخت‌شناسی ب: کروکی تپه‌های ماسه‌ای ارگ آب‌شیرین

۳-۳. اعتبار سنجی داده‌های بادسنجی با ریخت‌شناسی

مطالعه ریخت‌شناسی تپه‌ها نشان دادکه بادهای دو جهته عامل تشکیل آن‌ها بوده و بادهایی که به طور دوره‌ای بین دو جهت اصلی نوسان دارند، به علت نابرابری در میزان نرخ انتقال ماسه آن‌ها، سرعت یا قدرت آن‌ها یکسان نیست (تسوار[1]، ۱۹۸۴؛ بگنولد[2]، ۲۰۱۲). با توجه به تجزیه و تحلیل باد (شکل‌های۳ و۴) و بر اساس مشاهدات صحرایی و ریخت‌شناسی تپه‌ها (شکل و کشیدگی تپه‌ها) (شکل ۵)، می‌توان بیان کرد که الگوی تشکیل و تکامل تپه‌های خطی منطقه از نظریه[3] یک باد قوی[4] (s) شکل دهنده تپه بارخان و یک باد ملایم[5] (g) (نه باد طوفانی) با جهت ثانویه و شکل دهنده اندام کشیده شده در مقابل باد ملایم ثانویه پیروی می‌کند (تسوار، ۱۹۸۴). تطبیق این نوع ریخت‌شناسی با داده‌های ایستگاه‌های قم و کاشان (مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ و ۵) نشان داد که داده‌های بادسنجی ایستگاه قم با ریخت‌شناسی تپه‌ها همخوانی دارد. بنابراین در تجزیه و تحلیل باد از داده‌های ایستگاه سینوپتیک قم استفاده گردید.

۳-۴. تجزیه و تحلیل داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک قم

۳-۴-۱. تجزیه و تحلیل فصلی گل‌باد

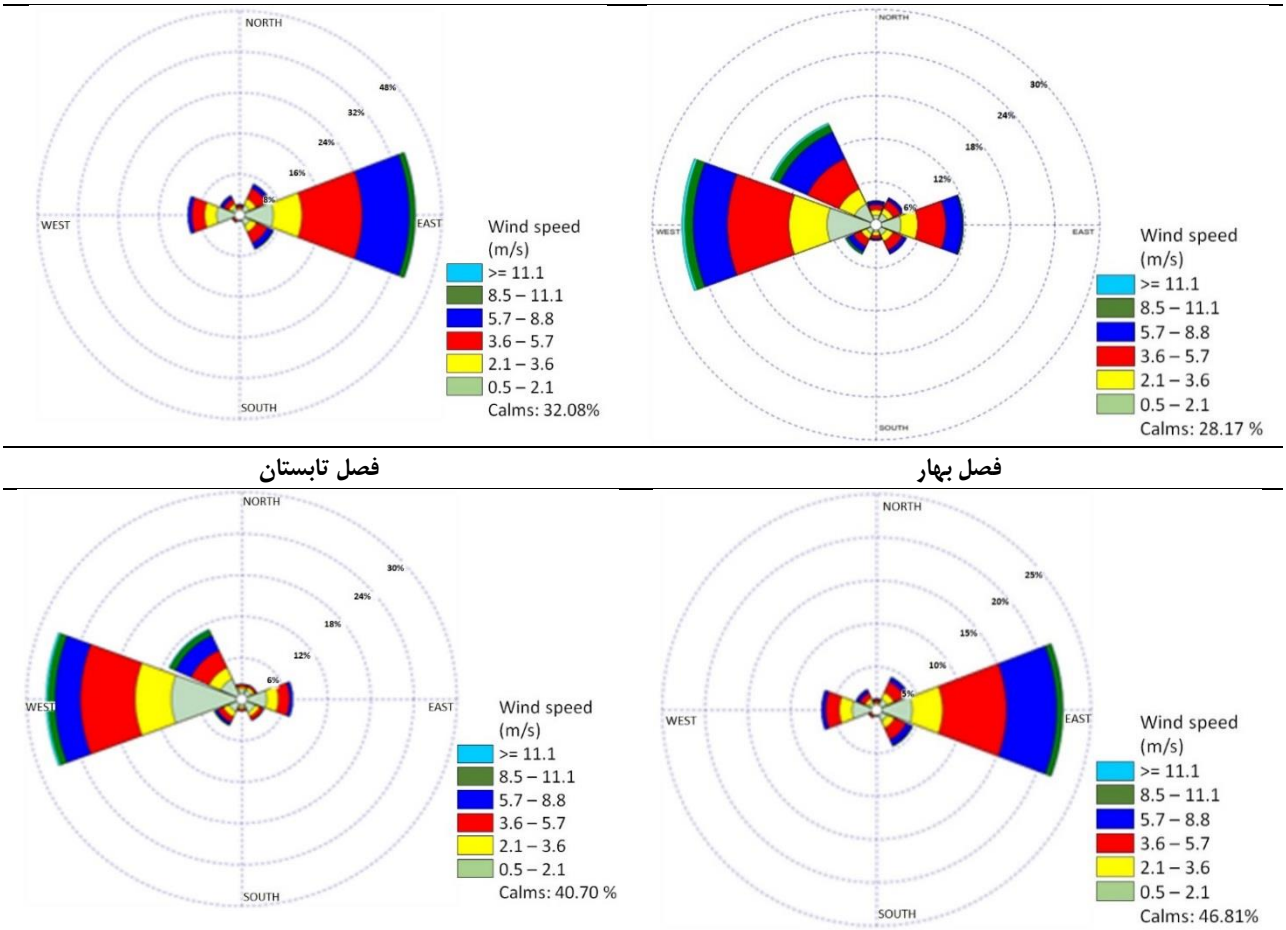
در شکل ۶ گلبادهای فصلی ایستگاه قم نشان داده شده است، در فصول بهار، پاییز و زمستان بادهای غربی و فصل تابستان بادهای شرقی از بیشترین فراوانی برخوردار هستند. بنابراین فصل بهار با کمترین درصد باد آرام (۲۸/۱۷ درصد) و بیشترین میانگین سرعت (۳/۰۱

1 Tsoar
2 Bagnold
3 Theory
4 Strong wind
5 Gentle wind

متر بر ثانیه) بادخیزترین فصل سال بوده است (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین سرعت باد و باد غالب فصلی ایستگاه قم دوره (۱۳۹۵-۱۳۶۹)

نوع گلباد	باد آرام (درصد)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	باد غالب
فصل بهار	۲۸/۱۷	۳/۰۱	غربی
فصل تابستان	۳۲ /۰۸	۲/۶۹	شرقی
فصل پاییز	۴۶/۸۱	۱/۶۲	غربی
فصل زمستان	۴۰/۷۰	۲/۱۲	غربی



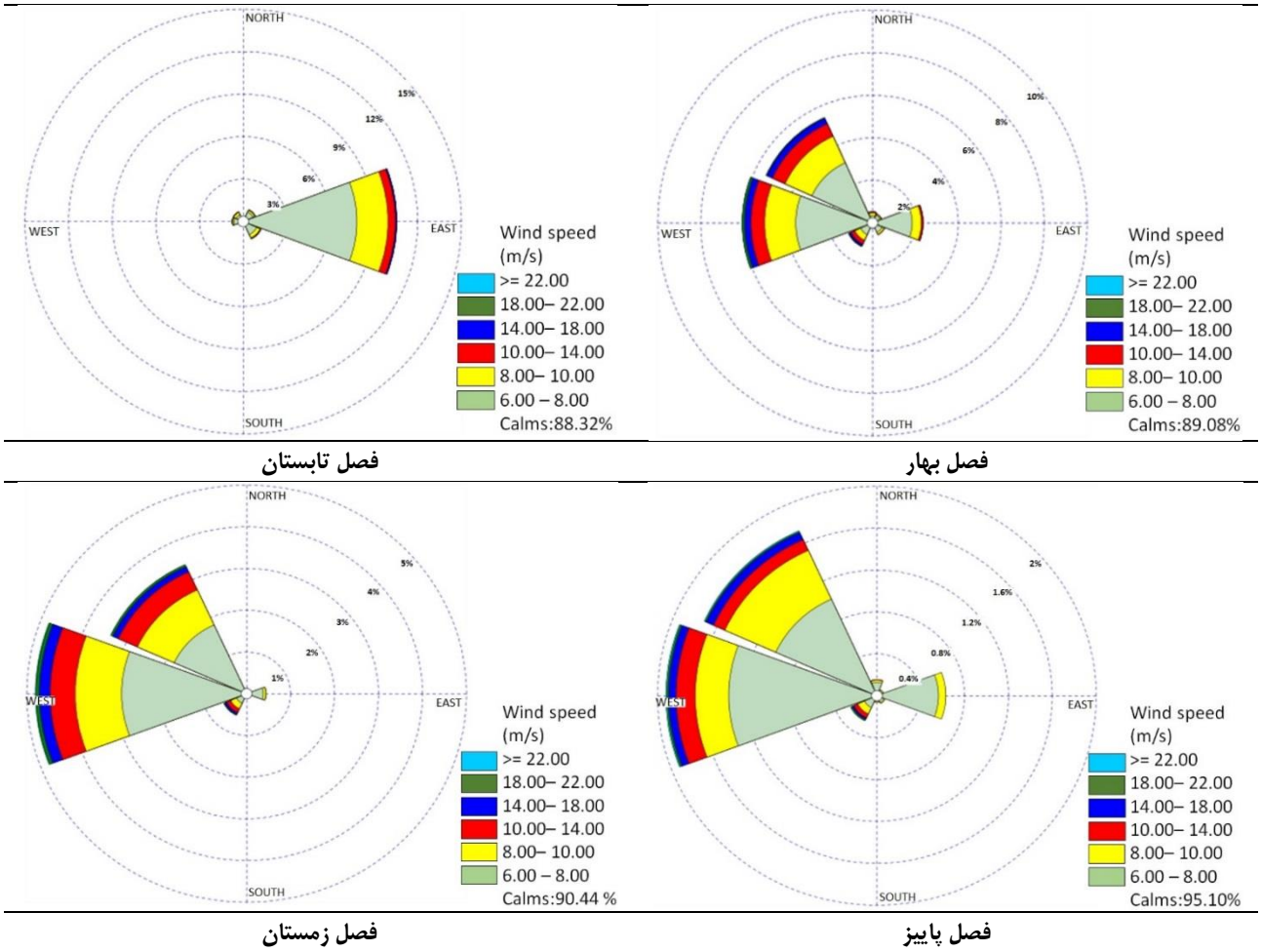
شکل ۶. گل‌بادهای فصلی ایستگاه سینوپتیک قم

۳-۴-۲. تجزیه و تحلیل فصلی گل‌توفان

در شکل ۷ گل‌توفان فصلی ایستگاه سینوپتیک قم (دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۹) نشان داده شده‌است. بررسی نمودارهای گل‌توفان‌های فصلی نشان داد که فصل بهار بادهای غربی، فصل تابستان بادهای شرقی و پاییز و زمستان بادهای غربی- شمال غربی از بیشترین فراوانی برخوردار بوده‌اند.

جدول ۳. وزش فصلی بادهای فرساینده ایستگاه قم دوره (۱۳۹۵-۱۳۶۹)

گل توفان	جهت وزش باد توفان‌زا و فرساینده
فصل بهار	غربی
فصل تابستان	شرقی
فصل پاییز	غربی و شمال غربی
فصل زمستان	غربی و شمال غربی



فصل بهار **فصل تابستان**

فصل پاییز **فصل زمستان**

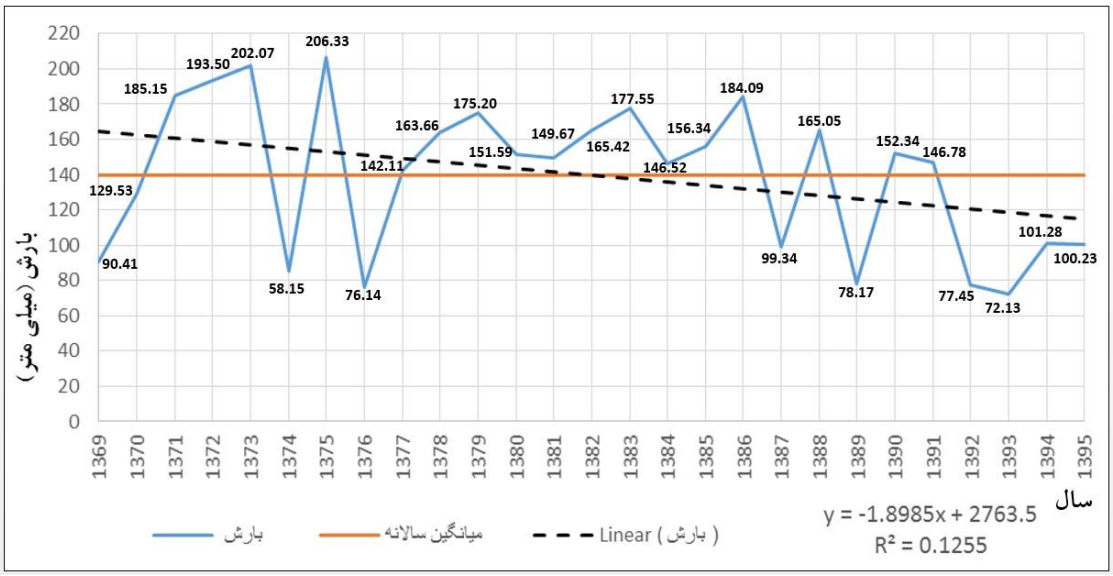
شکل ۷. گل‌توفان‌های فصلی ایستگاه سینوپتیک قم

۳-۵. بررسی نوسانات اقلیمی

در این بخش نوسانات اقلیمی در دو ایستگاه قم و کاشان به دلیل نزدیکی و بررسی تاثیرات آن‌ها در روی منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۵-۱. بررسی روند تغییرات بارندگی

با توجه به بررسی آمار بارندگی، متوسط بارندگی ایستگاه قم در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ برابر با ۱۳۹/۷۴ میلی‌متر و حداکثر مقدار بارندگی سالانه قم مربوط به سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ با بارش ۲۰۶/۳۳ میلی‌متر و حداقل میزان بارندگی سالانه در سال ۱۳۹۳ با بارش معادل ۷۲/۱۳ میلی‌متر مشاهده شده‌است. (شکل ۸).



شکل ۸. نمودار بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره ۱۳۶۹-۱۳۹۵

در ایستگاه کاشان نیز مطالعات نشان داد که متوسط بارندگی در دوره آماری ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ برابر با ۱۳۱/۴۱ میلی‌متر بوده است. بیشترین مقدار بارندگی سالانه کاشان مربوط به سال ۱۳۷۱ با بارش ۲۲۹/۷۱ میلی‌متر و کمترین مقدار بارندگی سالانه مربوط به سال ۱۳۹۳ با بارش ۶۶/۴۳ میلی‌متر بوده است (شکل ۹).

۳-۵-۲. بررسی میانگین متحرک بارندگی

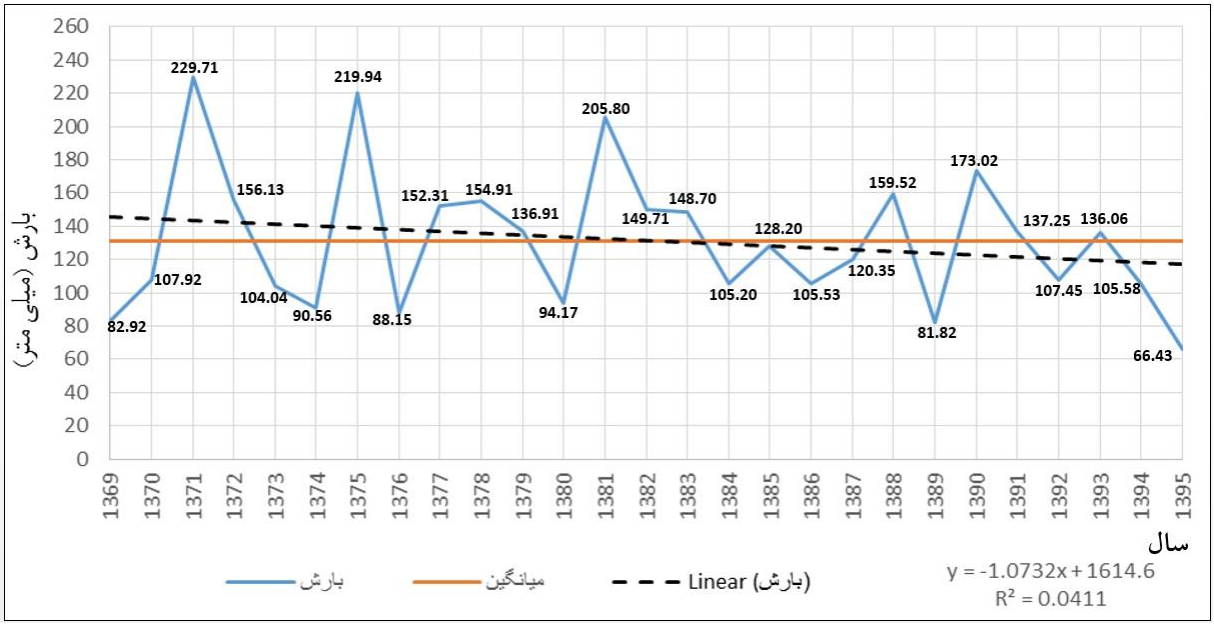
در شکل ۱۰ تغییرات میانگین متحرک ۹ و ۱۱ ساله بارندگی ایستگاه قم نشان داده شده است.

در شکل ۱۱ نیز تغییرات میانگین متحرک ۹ و ۱۱ ساله بارندگی ایستگاه کاشان نشان داده شده است.

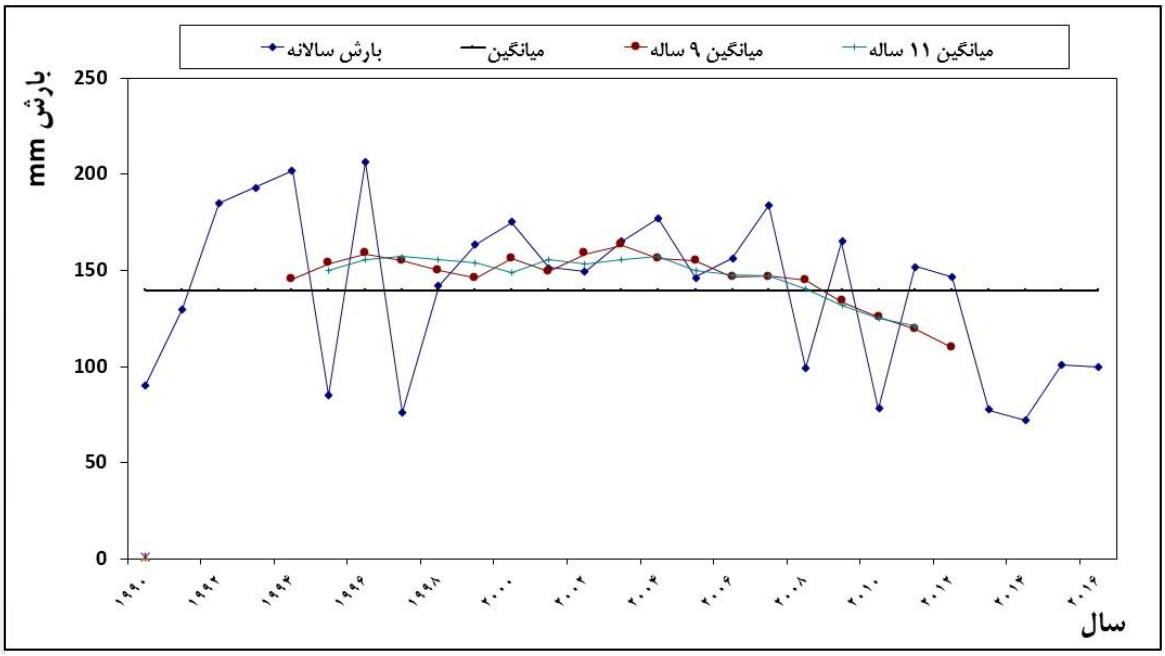
۳-۵-۳. بررسی گرادیان بارندگی محدوده مطالعاتی

با بررسی آمار طولانی مدت بارندگی محدوده مطالعاتی و رابطه گرادیان بارش منطقه [۳۳] (معادله ۱)، نقشه گرادیان بارندگی ارگ مطالعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم گردید (شکل ۱۲).

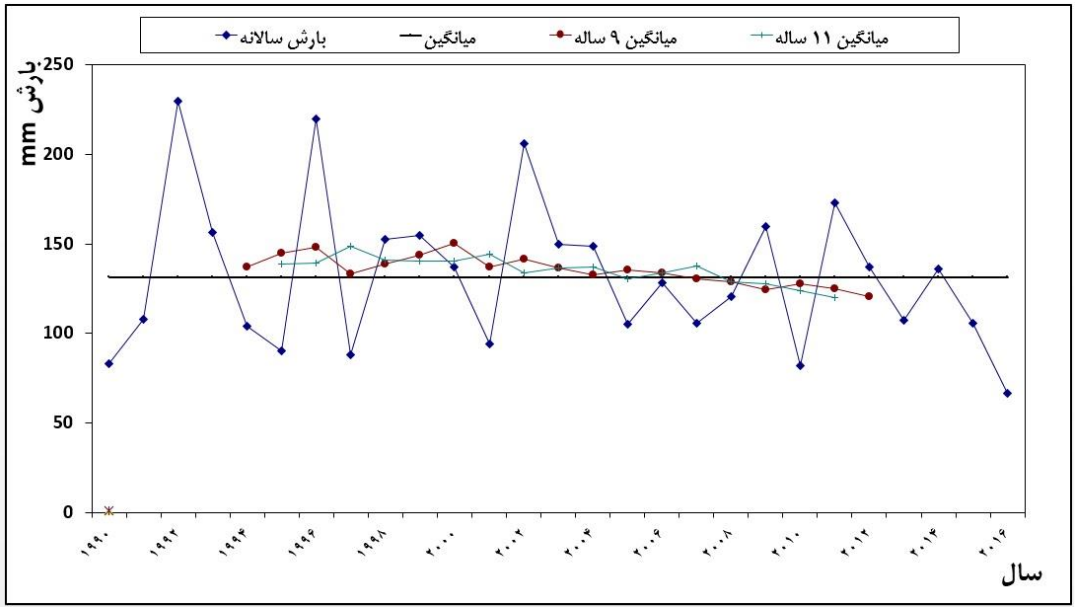
$$P = 70 + 0.058H$$ رابطه ۱)



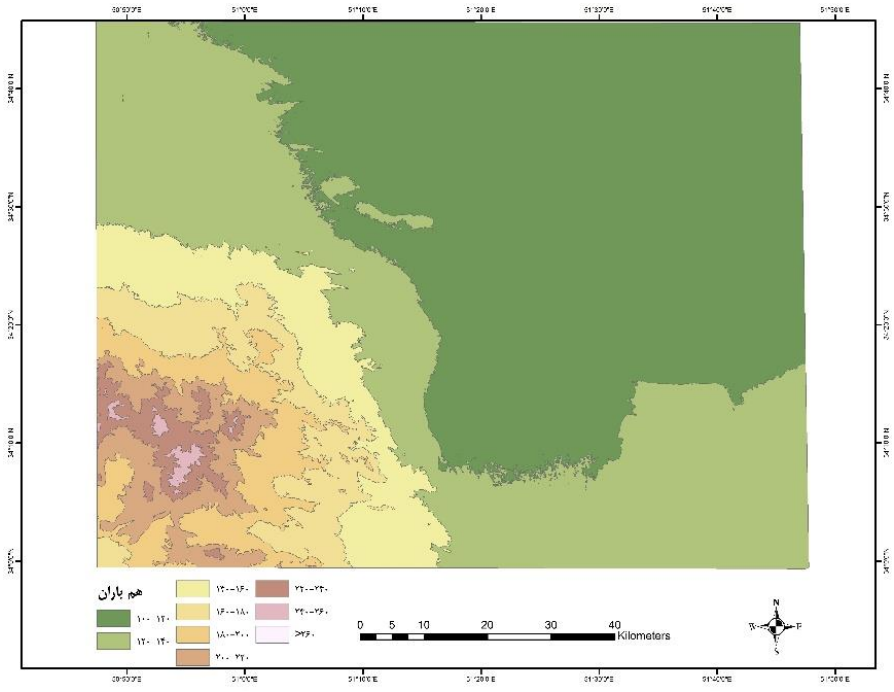
شکل ۹. نمودار بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک کاشان در دوره ۱۳۶۹-۱۳۹۵



شکل ۱۰. مقایسه میانگین متحرک ۹ و ۱۱ ساله با میانگین و بارندگی سالانه براساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک قم



شکل ۱۱. مقایسه میانگین متحرک ۹ و ۱۱ ساله با میانگین و بارندگی سالانه براساس ایستگاه سینوپتیک کاشان

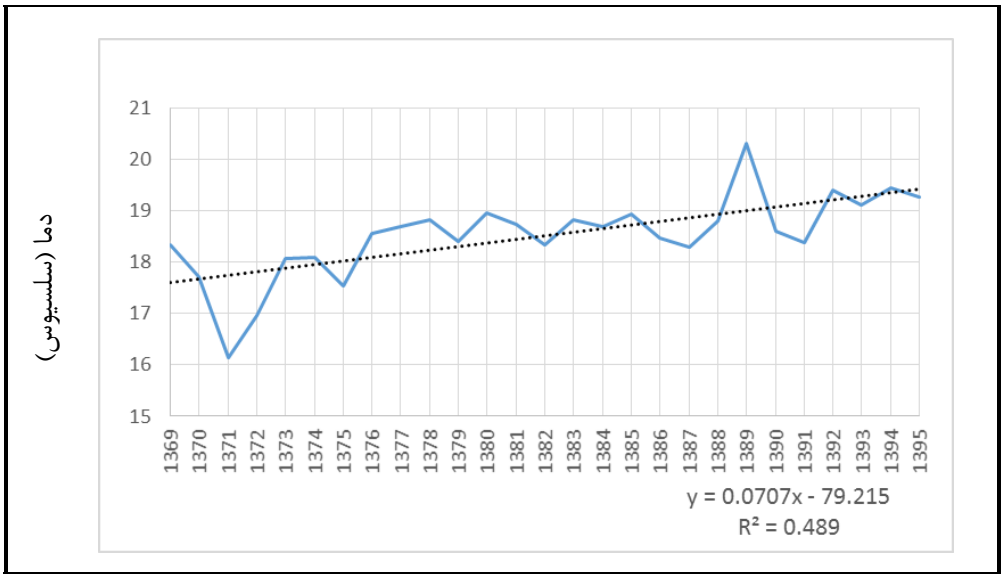


شکل ۱۲. نقشه گرادیان بارندگی منطقه مطالعاتی

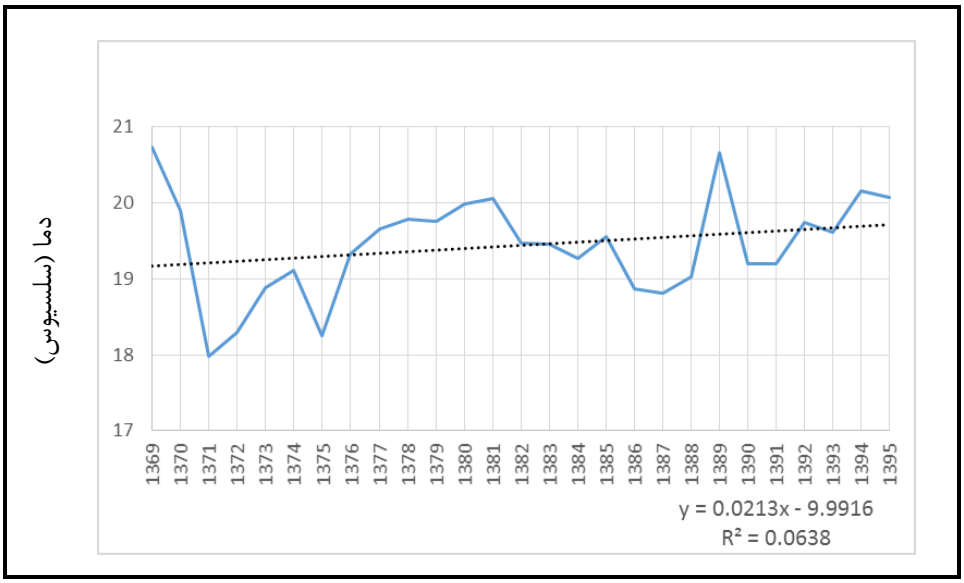
بر اساس نقشه گرادیان مشخص گردید که تغییرات میزان بارندگی در محدوده مطالعاتی از ۱۰۰ میلی‌متر در محدوده دشتی و کم‌ارتفاع تا حدود ۲۶۰ میلی‌متر در ارتفاعات متغیر بوده است، بطوریکه تپه‌های ارگ مذکور در محدوده ۱۲۰–۱۰۰ میلی‌متر واقع شده است.

۳-۵-۴. بررسی تغییرات دما

با توجه به بررسی داده های دما در دو ایستگاه قم و کاشان طی دوره ۲۶ ساله، دمای نرمال روزانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ برابر با ۱۸/۵۲ درجه سلسیوس و مقدار میانگین سالانه کمینه دما مربوط به سال ۱۳۷۱ با دمای ۸/۵۷ درجه سلسیوس و مقدار میانگین سالانه بیشینه دما مربوط به سال ۱۳۸۵ با دمای ۲۸/۶۵ درجه سلسیوس بوده است. دمای نرمال روزانه ایستگاه سینوپتیک کاشان ۱۹/۴۳ درجه سلسیوس و میانگین کمینه دما سالانه با دمای ۸/۲ درجه سلسیوس در سال ۱۳۷۱ و میانگین بیشینه دما در سال ۱۳۸۵ با دمای ۲۸/۰۵ درجه سلسیوس بوده است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نمودار نرمال روزانه دما در دوره مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۱۳. نرمال روزانه دما ایستگاه سینوپتیک قم در دوره ۱۳۶۹-۱۳۹۵

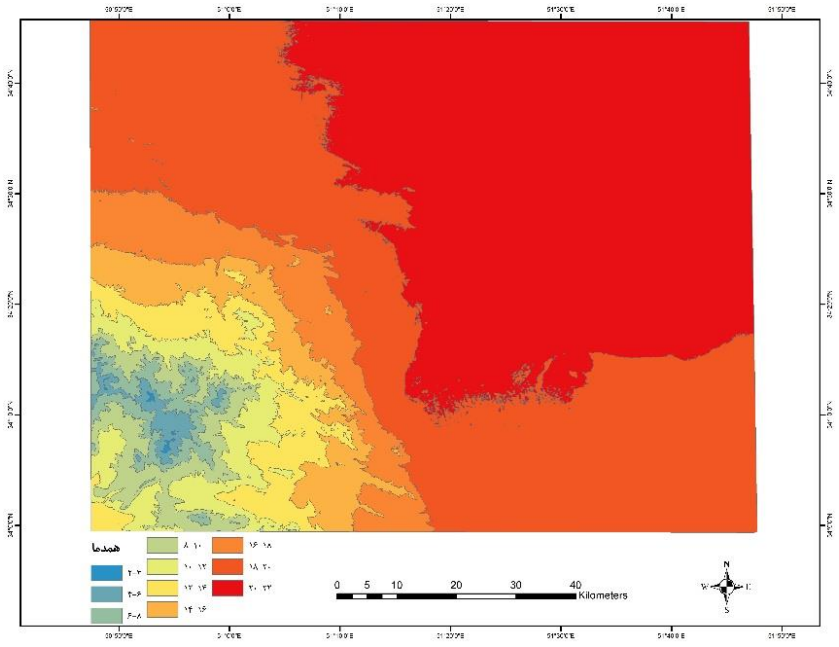


شکل ۱۴. نرمال روزانه دما ایستگاه سینوپتیک کاشان در دوره ۱۳۶۹-۱۳۹۵

۳-۵-۵. بررسی گرادیان دما محدوده مطالعاتی

با بررسی آمار طولانی مدت دمای میانگین محدوده مطالعاتی و رابطه گرادیان متوسط دمای سالیانه منطقه (نیکلسون[1]، ۲۰۰۱) (معادله ۲)، نقشه گرادیان میانگین دمای سالیانه ارگ مطالعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم گردید (شکل ۱۵).

$$Tmean = 25.9 - 0.0071H$$ رابطه ۲)



شکل ۱۵. نقشه گرادیان بارندگی منطقه مطالعاتی

بر اساس نقشه، گرادیان میانگین دمای سالیانه منطقه مطالعاتی مشخص گردید. تغییرات میزان میانگین دما در محدوده ارگ مذکور از ۸ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات تا حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد در محدوده دشتی متغیر بوده است، بطوریکه تپه‌های ارگ مذکور در محدوده ۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد واقع شده‌است.

۳-۵-۶. بررسی اقلیم

شاخص خشکی دومارتن در محدوده مورد مطالعه بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک کاشان ۱۰/۰۱ و براساس آمار ایستگاه سینوپتیک قم ۱۰/۰۲ می باشد که طبق طبقه بندی اقلیمی دومارتن (جدول ۴) محدوده مورد مطالعه، اقلیمی نیمه‌خشک دارد.

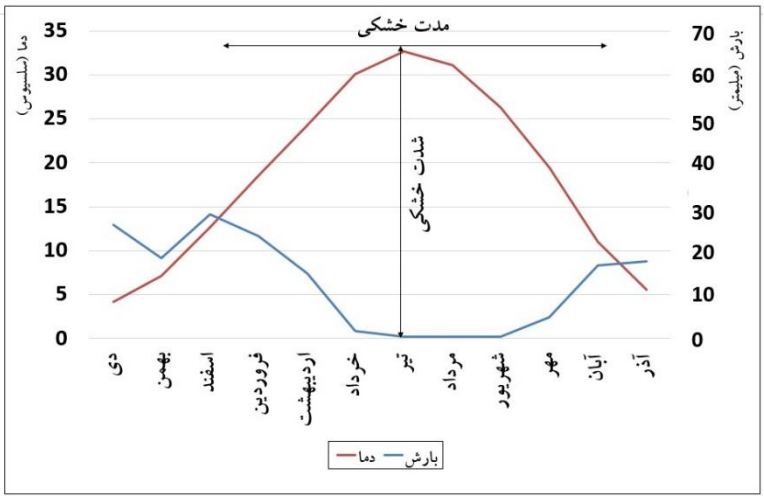
جدول ۴. شاخص خشکی دومارتن منطقه مورد مطالعه

	قم	کاشان
شاخص خشکی	۱۰/۰۱	۱۰/۰۲
اقلیم منطقه	نیمه خشک	نیمه خشک

1 Nicholson

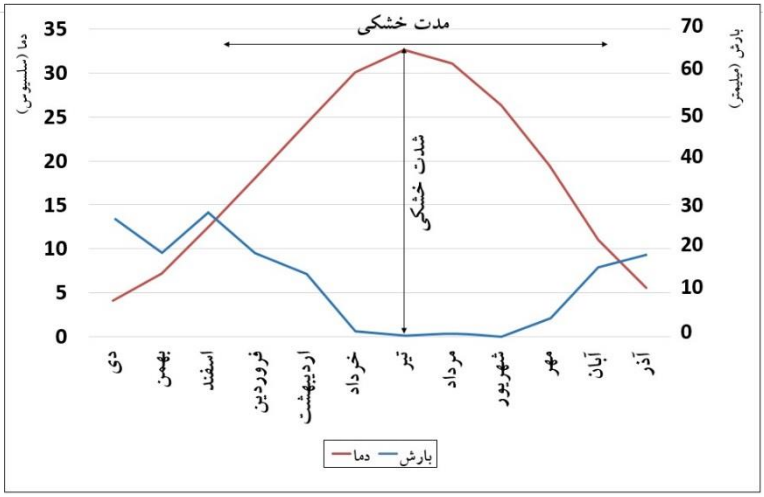
۳-۵-۶-۱. نمودار آمبروترمیک

به‌منظور شناخت بهتر از مدت و شدت خشکی منطقه، نمودار آمبروترمیک ایستگاه قم و کاشان ترسیم شد (شکل‌های ۱۶ و ۱۷).



شکل ۱۶. نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک قم ۱۳۹۵-۱۳۶۹

بر اساس نتایج حاصل از رسم نمودار آمبروترمیک قم (شکل ۱۷) در حدود نه ماه از سال (اسفند تا آبان) شرایط خشکی حاکم است و شدت خشکی در ماه تیر مشاهده می شود. دوره مرطوب منطبق بر ماه های سرد سال یعنی آذر، دی و بهمن می‌باشد.



شکل ۱۷. نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک کاشان دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۹

نمودار آمبروترمیک کاشان (شکل ۱۷) نیز نشان می دهد، در حدود نه ماه از سال (اسفند تا آبان) شرایط خشکی حاکم است و شدت خشکی در ماه تیر و دوره مرطوب نیز منطبق بر ماه های سرد سال یعنی آذر، دی و بهمن می‌باشد. مطالعات نشان داد که شرایط خشکی شامل دوره خشک، دوره مرطوب و شدت و مدت خشکی هر دو منطقه کاملا" مشابه یکدیگر است.

۳-۶. پایش پدیده خشک‌سالی

۳-۶-۱. پایش سالیانه خشک‌سالی ایستگاه‌های کاشان و قم بر اساس شاخص بارش استاندارد شده

در جدول ۵ مقادیر و وضعیت خشک‌سالی ایستگاه سینوپتیک کاشان و قم در بازه زمانی مورد مطالعه، بر اساس شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده، نشان داده شده است.

جدول ۵. وضعیت خشک‌سالی ایستگاه‌های کاشان و قم براساس شاخص بارش استاندارد شده

ایستگاه سینوپتیک کاشان				ایستگاه سینوپتیک قم			
سال	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	شاخص عددی SPI	وضعیت خشک‌سالی	سال	بارندگی سالانه (میلی متر)	شاخص عددی SPI	وضعیت خشک‌سالی
۱۳۶۹	۸۲/۹	-۱/۶۸	خشک‌سالی شدید	۱۳۶۹	۹۰/۴	-۱/۵۶	خشک‌سالی شدید
۱۳۷۰	۱۰۷/۹	-۰/۹۸	تقریباً نرمال	۱۳۷۰	۱۲۹/۵	-۰/۶۲	تقریباً نرمال
۱۳۷۱	۲۲۹/۷	۱/۳۱	خشک‌سالی متوسط	۱۳۷۱	۱۸۵/۱	۰/۴۵	تقریباً نرمال
۱۳۷۲	۱۵۶/۱	۰/۱۴	تقریباً نرمال	۱۳۷۲	۱۹۳/۵	۰/۵۸	تقریباً نرمال
۱۳۷۳	۱۰۴	-۱/۰۸	خشک‌سالی متوسط	۱۳۷۳	۲۰۲	۰/۷	تقریباً نرمال
۱۳۷۴	۹۰/۵	-۱/۴۵	خشک‌سالی متوسط	۱۳۷۴	۸۵/۱	-۱/۷۱	خشک‌سالی شدید
۱۳۷۵	۲۱۹/۸	۱/۱۸	خشک‌سالی متوسط	۱۳۷۵	۲۰۶/۲	۰/۷۶	تقریباً نرمال
۱۳۷۶	۸۸/۱	-۱/۵۲	خشک‌سالی شدید	۱۳۷۶	۷۶/۱	-۱/۹۸	خشک‌سالی شدید
۱۳۷۷	۱۵۲/۳	۰/۰۷	تقریباً نرمال	۱۳۷۷	۱۴۲/۱	-۰/۳۳	تقریباً نرمال
۱۳۷۸	۱۵۴/۹	۰/۱۲	تقریباً نرمال	۱۳۷۸	۱۶۳/۶	۰/۰۸	تقریباً نرمال
۱۳۷۹	۱۳۶/۹	-۰/۲۶	تقریباً نرمال	۱۳۷۹	۱۷۵/۱	۰/۲۸	تقریباً نرمال
۱۳۸۰	۹۴/۱	-۱/۳۵	خشک‌سالی متوسط	۱۳۸۰	۱۵۱/۵	-۰/۱۴	تقریباً نرمال
۱۳۸۱	۲۰۵/۸	۰/۹۸	تقریباً نرمال	۱۳۸۱	۱۴۹/۷	-۰/۱۷	تقریباً نرمال
۱۳۸۲	۱۴۹/۷	۰/۰۱	تقریباً نرمال	۱۳۸۲	۱۶۵/۴	۰/۱۲	تقریباً نرمال
۱۳۸۳	۱۴۸/۷	-۰/۰۱	تقریباً نرمال	۱۳۸۳	۱۷۷/۴	۰/۳۲	تقریباً نرمال
۱۳۸۴	۱۰۵/۲	-۱/۰۵	خشک‌سالی متوسط	۱۳۸۴	۱۴۶/۴	-۰/۲۴	تقریباً نرمال
۱۳۸۵	۱۲۸/۲	-۰/۴۶	تقریباً نرمال	۱۳۸۵	۱۵۶/۲	-۰/۰۴	تقریباً نرمال
۱۳۸۶	۱۰۵/۵	-۱/۰۴	خشک‌سالی متوسط	۱۳۸۶	۱۸۳/۹	۰/۴۳	تقریباً نرمال
۱۳۸۷	۱۲۰/۳	-۰/۶۷	تقریباً نرمال	۱۳۸۷	۹۹/۵	-۱/۳۲	خشک‌سالی متوسط
۱۳۸۸	۱۵۹/۵	-۰/۲۱	تقریباً نرمال	۱۳۸۸	۱۶۵	-۰/۱۱	تقریباً نرمال
۱۳۸۹	۸۱/۸	-۱/۷۱	خشک‌سالی شدید	۱۳۸۹	۷۸/۱	-۱/۹۲	خشک‌سالی شدید
۱۳۹۰	۱۷۳	۰/۴۵	تقریباً نرمال	۱۳۹۰	۱۵۲/۲	-۰/۱۲	تقریباً نرمال
۱۳۹۱	۱۳۷/۲	-۰/۲۵	تقریباً نرمال	۱۳۹۱	۱۴۶/۷	-۰/۲۳	تقریباً نرمال
۱۳۹۲	۱۰۷/۴	-۰/۹۹	تقریباً نرمال	۱۳۹۲	۷۷/۴	-۱/۹۴	خشک‌سالی شدید
۱۳۹۳	۱۳۶	-۰/۲۸	تقریباً نرمال	۱۳۹۳	۷۲	-۲/۱۲	خشک‌سالی بسیار شدید
۱۳۹۴	۱۰۵/۵	-۱/۰۴	خشک‌سالی متوسط	۱۳۹۴	۱۰۱/۲	-۱/۲۸	خشک‌سالی متوسط

۱۳۹۵	۶۶/۴	-۲/۲۴	خشک‌سالی بسیارشدید	۱۳۹۵	۱۰۰/۱	-۱/۳۱	خشک‌سالی متوسط

بر اساس جدول ۵، در ایستگاه کاشان سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۵ شرایط خشک‌سالی شدید و سال ۱۳۹۳ خشک‌سالی بسیار شدید بوده است. در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۷۳، ۱۳۷۴، ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۴ شرایط خشک‌سالی متوسط و در بقیه سال‌ها شرایط تقریبا" نرمال بوده است و در ایستگاه قم سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۴، ۱۳۷۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ شرایط خشکسالی شدید و سال ۱۳۹۳ خشک‌سالی بسیار شدید بوده است. در سالهای ۱۳۸۴، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ شرایط خشک‌سالی متوسط و در بقیه سال‌ها شرایط تقریبا نرمال بوده است. نتایج نشان داد که به طور کلی بر اساس جدول ۵ شرایط خشک‌سالی برای ایستگاه کاشان شدیدتر از ایستگاه قم می‌باشد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

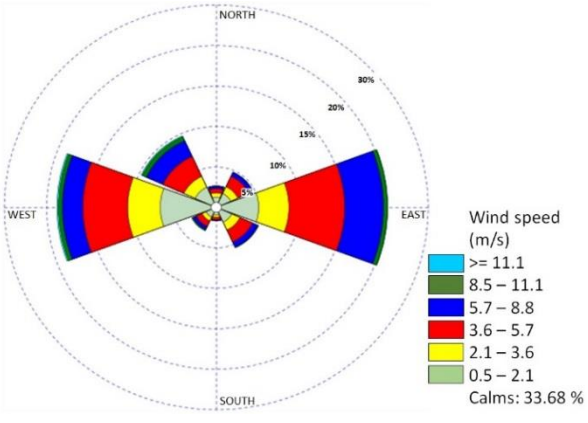
۴-۱. بحث

۴-۱-۱. رابطه بین دوره خشک و مرطوب منحنی آمبروترمیک و باد

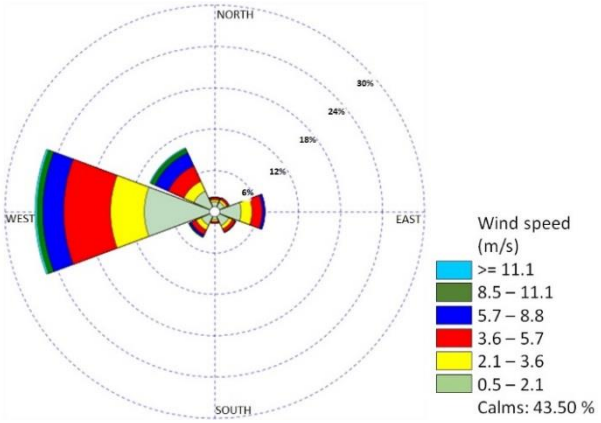
بررسی منحنی آمبروترمیک ایستگاه قم نشان داد که دوره خشک از ماه فروردین آغاز و تا آبان ماه ادامه دارد و دوره مرطوب از آذر ماه شروع و تا اواخر اسفند ادامه می یابد (شکل ۱۶). بر اساس نتایج بادسنجی در این دو دوره خشک و مرطوب (جداول ۶ و ۷) نیز مشخص گردید که درصد بادهای آرام در گل‌باد و گل‌توفان در دوره خشک کمتر از دوره مرطوب بوده است و یا به عبارتی بادهای شدید در دوره خشک درصد بالاتری دارند یا منطقه در این دوره نسبتا بادخیزتر از دوره مرطوب بوده است. بررسی منحنی‌های آمبروترمیک در تفسیر پدیده خشک‌سالی نیز بیانگر این مطلب بود که شاخص خشک‌سالی در دوره‌های خشک منحنی آمبروترمیک در شرایط خشک‌سالی شدید و خشک‌سالی بسیار شدید است (غریب، حسینی، ۲۰۰۹). همچنین بادهای این دوره دو جهته بوده‌اند (شکل‌های ۱۸ و ۱۹)، بنابراین بادهای دوره خشک می‌توانند بر کشیدگی و فرم تپه‌های ماسه‌ای منطقه اثرگذار باشند.

جدول ۶. مقایسه میانگین سرعت باد و باد غالب در دوره خشک و مرطوب منحنی آمبروترمیک ایستگاه قم دوره (۱۳۹۵-۱۳۶۹)

نوع گلباد	باد آرام (درصد)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	باد غالب
دوره خشک (فروردین- اردیبهشت- خرداد- تیر- مرداد- شهریور- مهر- آبان)	۳۳/۶۸	۲/۵۸	شرقی و غربی
دوره مرطوب (ماه های آذر-دی-بهمن-اسفند)	۴۳/۵۰	۱/۹۳	غربی



دوره خشک

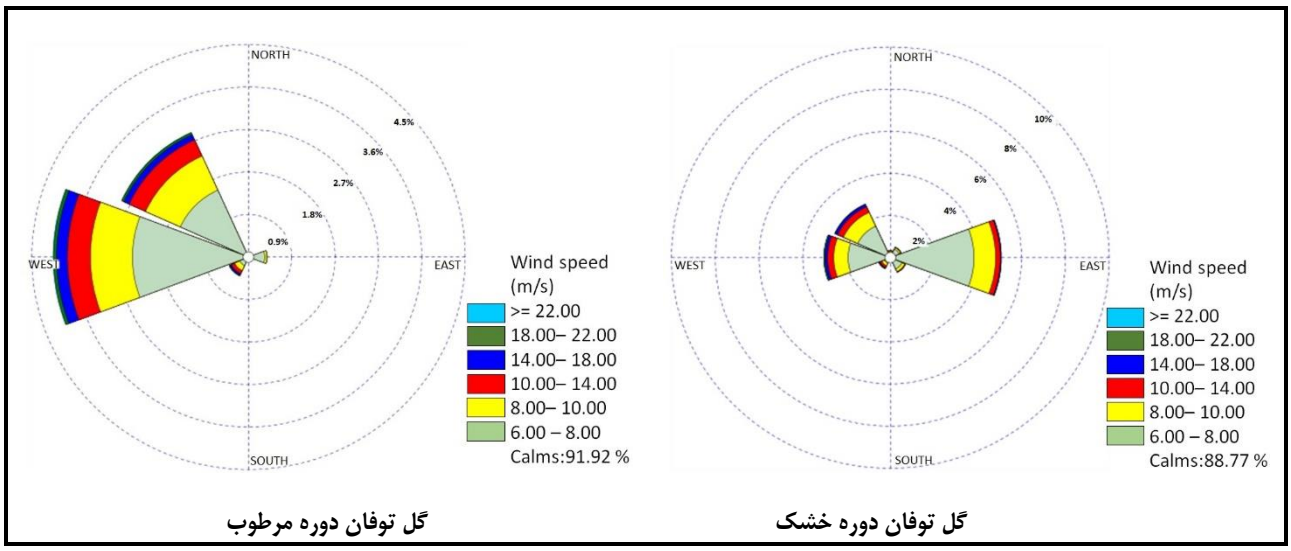


دوره مرطوب

شکل ۱۸. گلبادهای دوره خشک و مرطوب منحنی آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک قم (دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۹)

جدول ۷. مقایسه باد غالب دوره خشک و مرطوب ایستگاه قم دوره (۱۳۹۵-۱۳۶۹)

نوع گل‌توفان	باد آرام (درصد)	جهت وزش باد توفان‌زا و فرساینده
دوره خشک (فروردین- اردیبهشت- خرداد- تیر- مرداد- شهریور- مهر- آبان)	۸۸/۷۷	شرقی، غربی و شمال‌غربی
دوره مرطوب (ماه های آذر-دی-بهمن-اسفند)	۹۱/۹۲	غربی و شمال غربی



شکل ۱۹. گل‌توفان دوره خشک و مرطوب منحنی آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک قم (دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۹)

۴-۱-۲. پویایی عوامل اقلیمی در منطقه

بررسی‌های دو پارامتر اصلی اقلیمی یعنی بارندگی (شکل‌های ۸ و ۹) و دما (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) نشان داد که روند کاهشی قابل توجهی در میانگین بارندگی در منطقه رخ داده است و در مقابل دما در همین دوره یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. مطالعات نشان داده است که این شرایط در بسیاری از مناطق خشکی‌های زمین به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک نیز رخ داده است (هابز و همکاران، ۲۰۱۰؛ کوسنگایا[1]، و همکاران، ۲۰۱۴؛ ایران‌نژاد و همکاران، ۱۹۹۵؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک منطقه، دما و بارندگی می‌تواند تأثیر مستقیمی بر کاهش پوشش گیاهی (مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷) و افزایش میزان فرسایش بادی خاک داشته باشد (قوچی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال، رشد پوشش گیاهی، که تحت تاثیر الگوهای زمانی و مکانی آب و دما می‌باشد، می‌تواند به طور غیرمستقیم بر فرسایش بادی خاک نیز تأثیر بگذارد (میائو[2] و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین بررسی نقشه‌های گرادیان بارندگی و دمای محدوده ارگ مطالعاتی بیانگر شرایط خشک و کم‌بارش با دمای میانگین بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده است که شرایط محیطی را برای کاهش پوشش گیاهی و افزایش ضریب فرسایش‌پذیری خاک مستعدتر نموده است.

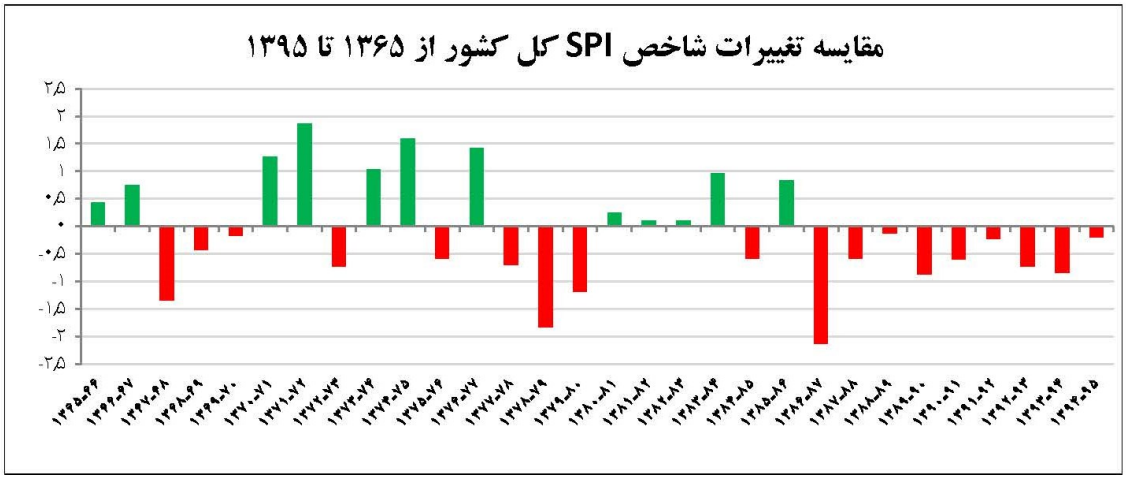
۴-۱-۳. پایش بادهای منطقه با ریخت‌شناسی

1 Kusangaya
2 Miao

درک الگوهای باد در هر منطقه بیابانی مستلزم پایش این الگوها با ریخت‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد (مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷). بر این اساس داده‌های بادسنجی دو ایستگاه قم و کاشان که فاصله حدود یکسانی از ارگ آب‌شیرین داشتند با ریخت‌شناسی تپه‌ها انالیز و پایش گردیدند. همانگونه که در شکل‌های ۳ و ۴ و ۵ نشان داده شده است شکل‌گیری، گسترش و تکامل اشکال تپه‌ها از ویژگی‌های باد منطقه قم پیروی می‌کنند. مطالعات گل‌بادها و گل‌توفان‌های فصلی (شکل‌های ۶ و ۷) نشان داد که بادهای پاییز، زمستان و بهار در تشکیل و کشیدگی فرم تپه‌ها و بادهای تابستان در گسترش و تکامل فرم تپه‌ها موثر هستند.

۴-۱-۴. پایش وقوع پدیده خشک‌سالی

مطالعات انجام شده در پایش خشک‌سالی در کشور نشان داده که بر اساس شاخص بارش استاندارد شده دوازده ماهه از مهر تا شهریور در یک دوره ۳۰ ساله ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵، شرایط خشک‌سالی و ترسالی به تناوب در کشور وجود داشته است، ولی از سال ۱۳۸۶ به بعد وضعیت خشک‌سالی با شدت و ضعف در کشور حاکم بوده است (سالنامه مرکز ملی هشدار و پایش خشکسالی، ۲۰۱۸) (شکل ۲۰).



شکل ۲۰. تغییرات شاخص خشکسالی SPI کشور در دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

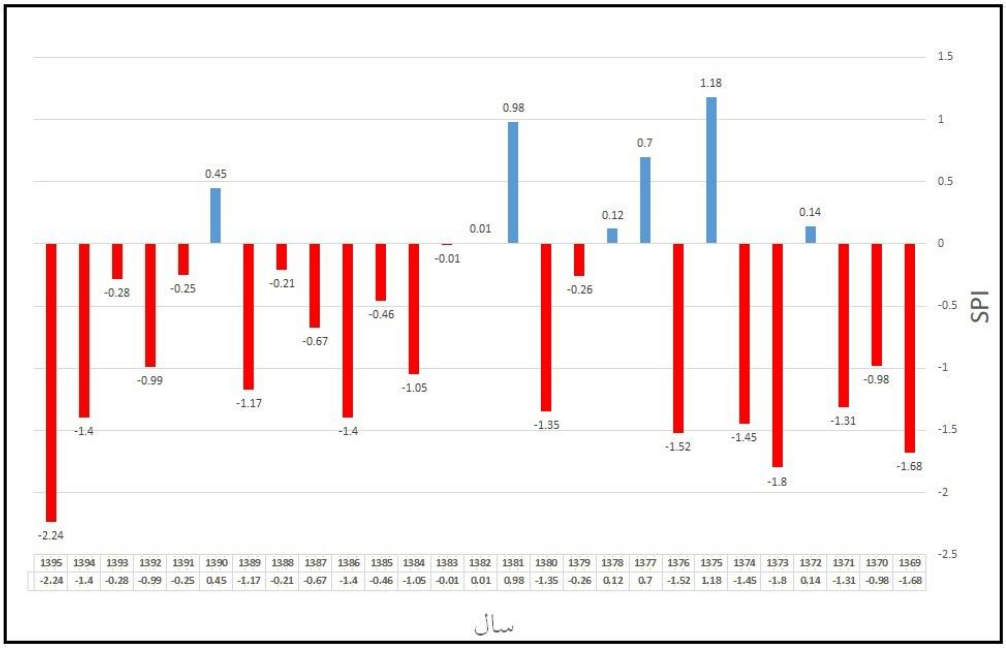
همانگونه که در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ مشاهده می‌گردد تناوب خشک‌سالی و ترسالی در دو ایستگاه قم و کاشان نیز رخ داده است. به طوریکه شرایط وضعیت خشک‌سالی در کاشان نا منظم‌تر از قم بوده ولی در قم و در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های شدیدتر، بیشتر از کاشان و نیز طول سال‌های خشک‌سالی بیشتر رخ داده است. با این حال در هر دو مکان تغییرات شاخص بارش استاندارد شده از روند کلی کشور پیروی نموده و در سال‌های اخیر خشک‌سالی بیشتر از تر سالی رخ داده است.

۴-۱-۵. سهم نسبی فعالیت‌های انسانی در پویایی فرسایش بادی

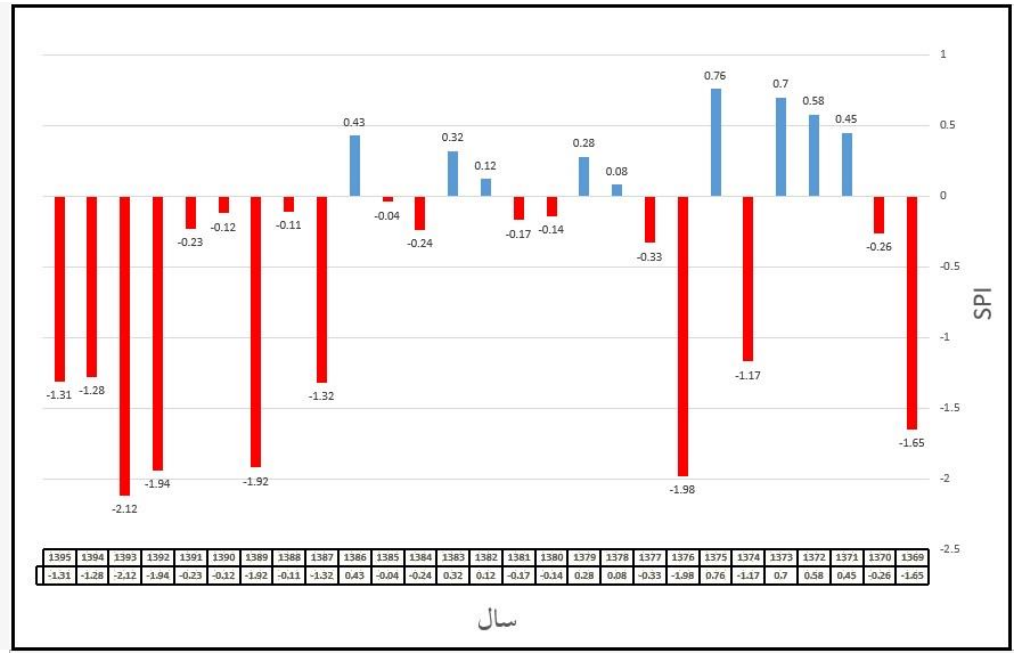
این مطالعه بر تحلیل پویایی و تغییرات الگوهای زمانی و مکانی عناصر آب و هوا در فرآیند بادی پایه‌گذاری گردیده است. با این حال فعالیت انسانی به صورت کلی و با نگرش در کاربری و پوشش سرزمین در نظر گرفته شد (مشهدی، ۲۰۱۹). کاربری و پوشش سرزمین معمولاً با تغییر زبری سطح خاک و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در مقیاس زمانی متفاوت بر فرایند بادی تأثیر می‌گذارد و این روند با توجه به نوع فعالیت و گستردگی آن در مقایسه با عوامل اقلیمی می‌تواند کندتر یا تندتر باشد (رضایی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۷).

با توجه به مطالعه انجام شده در مورد الگوهای باد با ریخت‌شناسی تپه‌ها، بادهای منطقه عمومی قم در شکل‌گیری و گسترش تپه‌ها و

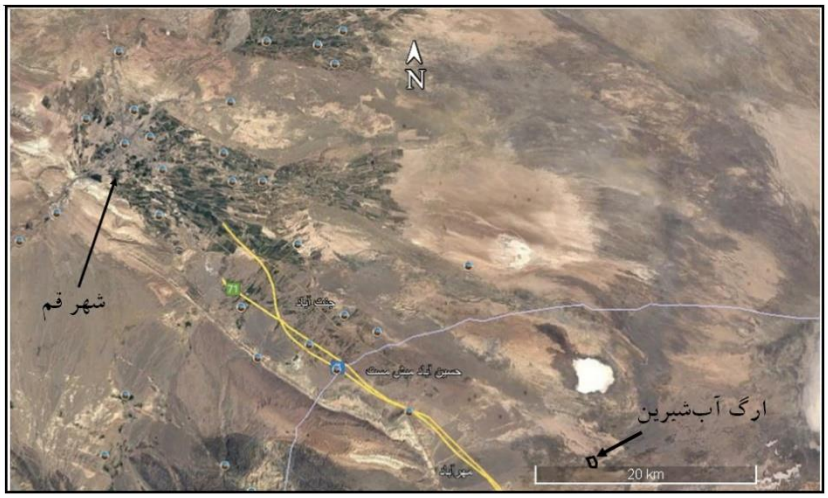
همچنین در باز فعالیت تپه‌های قدیمی و تشـــکیل تپه‌های جدید موثر هســـتند. بر این اســـاس و با توجه به مشـــاهدات صـــحرایی از ریخت‌شـناسـی و رنگ تپه‌های ماسـه‌ای و تغییرات بسـیار واضـح مکانی و زمانی آن‌ها در سـال‌های مورد نظر، مطالعه کاربری سـرزمین به صورت اجمالی فقط در مقیاس مقایسه بین دو سال ۱۹۸۴ و ۲۰۲۱ صورت گرفت (شکل‌های ۲۳ و ۲۴). بر این اساس پیشـنهاد می‌گردد که مطالعه و پژوهش اصولی و کاربردی در این مورد صورت گیرد (مشهدی، ۲۰۱۹).



شکل ۲۱. تغییرات شاخص SPI و تناوب خشکسالی و ترسالی در ایستگاه کاشان



شکل ۲۲. تغییرات شاخص SPI و تناوب خشکسالی و ترسالی در ایستگاه قم



شکل ۲۳. موقعیت ارگ آب‌شیرین و کاربری سرزمین بالا دست (به ویژه شهر قم به طرف جنوب شرق) در تصاویر ماهواره ۱۹۸۴

شکل ۲۴. موقعیت ارگ آب‌شیرین و کاربری سرزمین بالا دست (به ویژه شهر قم به طرف جنوب شرق) در تصاویر ماهواره ۲۰۲۱

۴-۲. نتیجه‌گیری

در جنوب شرقی قم و شمال کاشان در طی دهه‌های گذشته، تجمعی از تپه‌های ماسه‌ای فعال با مساحت قابل توجهی ایجاد شده است. مقایسهٔ تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های اخیر از تپه‌های ماسه‌ای، مشاهدات صحرایی، مطالعات گل‌باد، گل‌توفان و مطالعه مورفولوژی تپه‌ها نشان داد که این مجموعه تپه‌های ماسه‌ای (ارگ) در حال حاضر فعال است. بر اساس مطالعات ریخت‌شناسی تپه‌ها، ماسه این ارگ از منابع ماسه در شمال شرق و شمال غرب تغذیه می‌شود. وجود تپه‌های جدید متعدد به صورت منفرد یا تجمعی (ارگ) نشان از آن دارد که منطقه وسیعی تحت تاثیر فعالیت فرایند باد و اشغال سرزمین توسط لندفرم‌های بادی است. مطالعات فیزیکی ماسه‌های بادی از جمله دانه‌بندی این تپه‌ها نشان داد که منطقه‌ای به طول حدود ۵۰ کیلومتر در بالادست منطقه رسوبگذاری تحت تاثیر فرایند باد باشد (مشهدی، ۲۰۱۹). مطالعات نشان داده است که پویایی فرسایش بادی هم توسط فرآیندهای طبیعی از جمله اقلیم و نوسانات آن و هم فعالیت‌های انسانی هدایت می‌شود (له، ۲۰۱۱؛ فی و همکاران، ۲۰۱۷؛ تژن[1] و همکاران، ۱۹۹۶).

تحقیق حاضر با بررسی داده‌های اقلیم و نوسانات این داده‌ها به ارزیابی فرایند بادی منطقه و تغییرات زمانی و مکانی آن پرداخته و تأثیر پویایی اقلیم بر فرسایش بادی را بررسی نموده است. تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی نشان داد که نوسانات متوسط دمایی در یک دوره ۲۷ ساله افزایش یافته، در حالیکه در همین دوره میزان بارندگی سالانه با کاهش همراه بوده است. در همین راستا وقوع پدیده خشک‌سالی نیز از نظر تعداد و میزان عددی شاخص بارش استاندارد شده افزایش نشان داده است. این تغییرات باعث تغییر در پوشش گیاهی از نظر کمی و کیفی گردیده و بنابراین می‌تواند در تشدید فرایند بادی موثر باشد. اما مطالعه اجمالی فعالیت انسانی نشان داد که فعالیت و تغییر کاربری سرزمین از پوشش گیاهی طبیعی به پوشش زیستی – پرورشی مثل کشاورزی و باغ و تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به فعالیت‌های شهرسازی و صنعتی به ویژه کارخانه‌های سنگبری در سطح نسبتا وسیع می‌تواند عامل اثرگذار روی فعالیت فرایند بادی باشند. میزان تاثیر فعالیت انسانی نیاز به یک مطالعه گسترده در منطقه دارد، به طورکلی می‌توان بیان کرد که پویایی فرایند بادی در منطقه حاصل دو عامل اقلیم و فعالیت انسانی است.

References

1 Tegen

Alcántara Carrió, J., & Alonso Bilbao, I. (2001). Aeolian sediment availability in coastal areas defined from sedimentary parameters. Application to a case study in Fuerteventura. Scientia Marina.

Almazroui, M. (2013). Climatology and monitoring of dust and sand storms in the Arabian Peninsula. Center of Excellence for Climate Change Research (CECCR), King Abdulaziz University, Jadeh, Saudi Arabia, 1-12.

Bagnold, R. A. (2012). *The physics of blown sand and desert dunes*. Courier Corporation.

Bärring, L., Jönsson, P., Mattsson, J. O., & Åhman, R. (2003). Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate—a review. *Catena*, *52*(3-4), 173-190.

Chi, W., Zhao, Y., Kuang, W., & He, H. (2019). Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the total environment*, *668*, 204-215.

D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in water resources*, *51*, 326-344.

Du, H., Wang, T., & Xue, X. (2017). Potential wind erosion rate response to climate and land-use changes in the watershed of the Ningxia–Inner Mongolia reach of the Yellow River, China, 1986–2013. *Earth Surface Processes and Landforms*, *42*(13), 1923-1937.

El-Baz, F. (1986). Monitoring the sand-moving desert winds. *Physics of desertification*, 141-158.

Gavrilescu, M. (2021). Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water*, *13*(19), 2746.

Gharib. M. Hosseini, E. (2009). Investigating Embrothermic curves in the interpretation of drought phenomenon (a case study in Semnan province, 2014). National Conference on the Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Iran Management of Natural Disasters). (In Persian).

Ghouchizadeh, A., MOEINADDINI, M., SHAHBAZI, R., AHMADI, N., & Navour, N. M. (2018). Study of the importance of quaternary dust sources emission on Qom air quality.

Hasani Darabad, F. Mashhadi, N. (2017). The relationship between Wind-Rose and Storm-Rose with dry and wet periods of normal amberothermic curve (case study: Qom synoptic station). International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries. https://civilica.com/doc/780619. (In Persian).

Hobbs, S. W., Paull, D. J., & Bourke, M. C. (2010). Aeolian processes and dune morphology in Gale Crater. *Icarus*, *210*(1), 102-115.

IRIMO. I.R. of Iran Meteorological Organization. Meteorological Organization Report.

IRIMO. I.R. of Iran Meteorological Organization. (20154). Yearbook of the National Drought warning and monitoring Center.

Khaledi, Sh. (2005). The effect of climate on the vegetation (Qom province-central Iran). Applied Research of Geographical Sciences, 5, 127-145. (In Persian).

Kocurek, G., & Lancaster, N. (1999). Aeolian system sediment state: theory and Mojave Desert Kelso dune field example. *Sedimentology*, *46*(3), 505-515.

Kusangaya, S., Warburton, M. L., Van Garderen, E. A., & Jewitt, G. P. (2014). Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, *67*, 47-54.

Lal, R. (2014). Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*, *2*(3), 36-47.

Larney, F. J., Bullock, M. S., Janzen, H. H., Ellert, B. H., & Olson, E. C. (1998). Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*, *53*(2), 133-140.

Leh, M. D. K. (2011). *Quantification of sediment sources in a mixed land use watershed: A remote sensing and modeling approach*. University of Arkansas.

Maghsoudi, M. Yamani, M. Mashhadi, Taghizadeh, N., and Zahabnazouri, M. S. (2011). Identification of Sand Sources of Nogh Erg by Using of Wind Analysis and Sand Grain Morphometry Geography and Environmental Planning Journal. 43(3). (In Persian).

Mainguet, M. (1986). The wind and desertification processes in the Saharo-Sahelian and Sahelian regions. *Physics of desertification*, 210-240.

Mashhadi, N. (2022). The effect of the aeolian process on the natural environment of the desert (Case study: New Erg of Ab shirin). The 4th National Conference on Environmental Engineering and Management. https://civilica.com/doc/1477331.

Mashhadi, N. (2019). Land use change in sand sources as an agent on changing wind erosion process (case study: Damghan erg. *Geography (Regional Planning)*, *9*(3), 61-79.

Mashhadi, N., AHMADI, H., Ekhtesasi, M. R., FEYZNIA, S., & Feghhi, G. (2007). Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran).

Mashhadi, N., Karimpour reihan, M. (2021). Analysis of geomorphologic- anthropogenic changes in sources of Sand and dust storms (Case study: Damghan Erg). Scientific-Research Quarterly of New Attitudes in Human Geography, 13 (1), pp. 100-111. (In Persian).

Masroor, M., Sajjad, H., Rehman, S., Singh, R., Rahaman, M. H., Sahana, M., & Avtar, R. (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, India. *Geoscience Frontiers*, *13*(2), 101312.

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).

Mckenna Neuman, C. (2003). Effects of temperature and humidity upon the entrainment of sedimentary particles by wind. *Boundary-Layer Meteorology*, *108*, 61-89.

Miao, C. Y., Yang, L., Chen, X. H., & Gao, Y. (2012). The vegetation cover dynamics (1982–2006) in different erosion regions of the Yellow River Basin, China. *Land Degradation & Development*, *23*(1), 62-71.

Nazari Samani1, A.K. Rahdari, M.R., and Rahi, Gh.R. (2020). Assessment of Spatial variabilities of Soil Erodibility by Wind on Margial land of the Lake UrmiaDesert Management. Desert Management. 15, pp 53-72 (In Persian).

Nicholson, S. E. (2001). Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate research*, *17*(2), 123-144.

Parviz Irannejad, under the supervision of Ali Khalili. (1995). Climatic knowledge of Iran. Agricultural research, education and promotion organization. (In Persian).

Pi, H., Sharratt, B., Feng, G., & Lei, J. (2017). Evaluation of two empirical wind erosion models in arid and semi-arid regions of China and the USA. *Environmental Modelling & Software*, *91*, 28-46.

Potocki, M., & Angiel, P. (2004). Change of grain size parameters of sediments as a result of wind activity. Barchans Jarangiyn els in Gobi, Mongolia. *Miscellanea Geographica*, *11*(1), 81-91.

Rezaei, M., Sameni, A., Shamsi, S. R. F., & Bartholomeus, H. (2016). Remote sensing of land use/cover changes and its effect on wind erosion potential in southern Iran. *PeerJ*, *4*, e1948.

Sarre, R. D. (1988). Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. *Sedimentology*, *35*(4), 671-679.

Sherman, D. J., & Hotta, S. H. I. N. T. A. R. O. (1990). Aeolian sediment transport: theory and measurement. *Coastal Dunes: form and process*, *17*, 37.

Stewart, D. A., & Essenwanger, O. M. (1978). Frequency distribution of wind speed near the surface. *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, 1633-1642.

Tavakkoli Fard, A. Ghasemieh, H. Nazari Samani, A. A. Mashhadi, N, and Mirzavand, M. (2012). Investigation of the Role of Different Land Uses in a Sand Storm by using Wind Rose and Storm Rose (Case Study: Kashan). Quarterly Journal of Environmental Erosion Research. 2(2), 25-41 (In Persian).

Tegen, I., Lacis, A. A., & Fung, I. (1996). The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils. *Nature*, *380*(6573), 419-422.

Tsoar, H. (1984). The formation of seif dunes from barchans-a discussion. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, *28*(1), 99-103.

Visser, S. M., & Sterk, G. (2007). Nutrient dynamics—wind and water erosion at the village scale in the Sahel. *Land Degradation & Development*, *18*(5), 578-588.

Zhang, H., Fan, J., Cao, W., Harris, W., Li, Y., Chi, W., & Wang, S. (2018). Response of wind erosion dynamics to climate change and human activity in Inner Mongolia, China during 1990 to 2015. *Science of the Total Environment*, *639*, 1038-1050.

Zhao, C., Zhang, H., Wang, M., Jiang, H., Peng, J., & Wang, Y. (2021). Impacts of climate change on wind erosion in Southern Africa between 1991 and 2015. *Land Degradation & Development*, *32*(6), 2169-2182.

Zhao, Y., Wu, J., He, C., & Ding, G. (2017). Linking wind erosion to ecosystem services in drylands: a landscape ecological approach. *Landscape Ecology*, *32*, 2399-2417.

Zhenda, Z. (1984). Aeolian landforms in the Taklimakan Desert. *Deserts and arid lands*, 133-143.