

ارزیابی اثر تاریخی تغییر اقلیم بر خطر بیابانزایی منطقه اسفراین-سبزوار (دوره مورد مطالعه: ۲۰۱۶-۱۹۷۹ میلادی)

اسماعیل سیلاخوری^۱

مجید اونق^{۲*}

mownegh@yahoo.com

عبدالرسول سلمان ماهینی^۳

ایمان بابائیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۱

چکیده

زمینه و هدف: در میان ۳۷ چالش مهم جهانی؛ تغییر اقلیم، بیابانزایی و کمبود آب شیرین، سه چالش اصلی فراروی بشر در قرن ۲۱ محسوب می‌شوند. در این پژوهش از مدل ESAs در راستای ارزیابی اثر تغییرات اقلیم بر خطر بیابانزایی منطقه اسفراین-سبزوار در سه دوره ۱۹۹۲-۱۹۸۱، ۲۰۰۴-۱۹۹۳ و ۲۰۱۶-۲۰۰۵ استفاده شد.

روش بررسی: به دلیل آمار و پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim و دوازده ایستگاه هواشناسی منطقه استفاده شد. داده‌های اقلیمی پروژه ERA-Interim برای منطقه اسفراین-سبزوار به صورت ۵۳ سلول به ابعاد ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه در دسترس است. در گام اول با استفاده از رابط وب، کدهای Python و همچنین ECMWF WebAPI، داده‌های اقلیمی روزانه برای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ دریافت و برای هر یک از سلول‌ها استخراج شد. داده‌های NetCDF دریافت شده با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای ۵۳ سلول به فرمت پایگاه داده خروجی گرفته شد و مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. سپس تطابق داده‌های ERA-Interim با داده‌های دوازده ایستگاه هواشناسی در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت. آریبی ماهانه به‌دست آمده به طور ماهانه به سال‌های فاقد آمار دیدبانی و سلول‌های فاقد ایستگاه هواشناسی اعمال شد و در نهایت با تصحیح آریبی، داده‌های تلفیقی بارش برای ۵۳ سلول استخراج شد. استمرار خشکسالی نیز با استفاده از نرم افزار R و شاخص SPI برای دوره مورد مطالعه محاسبه شد. پس از تهیه نقشه‌های پایه بارش، خشکی و خشکسالی برای سه دوره مورد مطالعه، با استفاده از ابزار مدل‌سازی GIS نقشه خطر بیابانزایی بر اساس مدل ESAs به‌دست آمد.

۱- دانشجوی دکتری تخصصی بیابانزدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- استاد، گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. * (مسوول مکاتبات)

۳- استاد، گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴- استادیار، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های تلفیقی (بازتخلیل و ایستگاهی) توانسته ضریب NSE را به ۱ افزایش، bias را از ۰/۳۹ به ۰/۲۴ و RMSE را از ۶/۶۹ به ۰/۳۲ کاهش دهد. در دوره ۳۶ ساله مورد مطالعه بارش به طور میانگین برای کل منطقه بیش از ۱۰ میلی‌متر کاهش و دما نزدیک به دو درجه افزایش یافته است که اثرات این تغییر بر خطر بیابانزایی ارزیابی شد. به طوری که در دوره دوم کلاس F2 جای خود را به کلاس C1 و در دوره سوم کلاس C1 جای خود را به کلاس C3 داده است.

بحث و نتیجه‌گیری: در نتیجه می‌توان گفت تغییرات اقلیمی در سه دوره باعث افزایش خطر بیابانزایی منطقه اسفراین-سبزوار شده است.

واژه‌های کلیدی: ERA-Interim ، مدل ESAs ، NetCDF، داده‌های بازتخلیل.

Assessment of the historical impact of climate change on the desertification hazard in the Esfarayen-Sabzevar Region (study period: 1979-2016)

Esmacil Silakhori¹

Majid Ownegh^{2*}

mownegh@yahoo.com

Abdolrasoul Salmanmahiny³

Iman Babaeian⁴

Admission Date: July 23, 2018

Date Received: December 10, 2017

Abstract

Background and objectives: Among the 37 important challenges of the world, climate change, desertification, and lack of fresh water are three main challenges against the human in the 21th century. In this research, the ESAs model was used to assess the impact of climate change on the desertification hazard in the Esfarayen-Sabzevar region in three periods of 1981-1992, 1993-2004, and 2005-2016.

Material and Methodology: Due to the inappropriate data and distribution of the meteorological stations of the region, reanalyzed data of the ERA-Interim and 12 meteorological stations of the region were used. The climate data related to the Esfarayen -Sabzevar region are available as 53 cells with the dimensions of 0.125×0.125 degrees. At the first step, daily climate data for the period of 1979-2016 were received using the web interfaces, Python script, and also ECMWF WebAPI and then the data were extracted for each of the cells. ArcGIS software was used to export the received NetCDF data in the data base format (dbf) for 53 cells. Drought consistency for the study period was computed using R software through SPI index. After preparing base maps of precipitation, aridity, and drought for three study periods, desertification hazard was provided using the modeling tool of the ArcGIS software based on the ESAs model.

Findings: Results indicated that use of the integrated (reanalyzed and observed) data led to increasing the NSE coefficient to the value of 1 as well as the values of bias and RMSE were decreased respectively from 0.39 to 0.24 and 6.69 to 0.32. In the 36- year study period, precipitation has decreased more than 10 mm in the entire region and the temperature has increased nearly 2 degrees that the impacts of these changes on the desertification hazard were assessed. So that, in the second period, C1 was replaced with F2 class and in the third period, C3 was replaced with C1.

1- PhD Student of Combating Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Professors of Desert Area Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. *(Corresponding Author)

3- Professors of Environmental Sciences Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

4- Assistant Professor, Climate Change Division, Climate Research Institute (CRI), Mashhad.

Discussion and conclusion: As a result, it can be said that climate change in three periods has led to increasing the desertification hazard in the Esfarayen-Sabzevar Region.

Keywords: ERA-Interim, ESAs model, NetCDF, reanalyzed data.

مقدمه

مدالوس را جهت ارزیابی بیابانزایی در کشورهای مدیترانه‌ای پیشنهاد کرد. این پروژه به مدت ۹ سال و در طی ۳ مرحله از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۹ به طول انجامید و در سال ۱۹۹۹ مدلی برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی تحت عنوان ESAs^۶ ارائه گردید. این روش از جدیدترین روش‌های ارزیابی بیابانزایی می‌باشد که در کشورهای اروپایی و بعضی کشورهای خاورمیانه انجام شده و نتایج مثبتی ارائه داده است (۶).

طاوسی و همکاران (۷) گسترش مکانی اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در ایران را طی دوره ۱۹۷۶-۲۰۰۵ مورد مقایسه قرار دادند. داده‌های مربوط به دو عامل میانگین دمای سالانه و جمع بارش سالانه ۴۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که بیشترین گسترش مکانی اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در دهه سوم روی داده است. نگارش و همکاران (۸) ناهنجاری‌های اقلیمی مؤثر بر فرآیند بیابانزایی در منطقه‌ی خضراباد یزد را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. برای این منظور دو عنصر تشکیل دهنده ساختار اقلیم (بارش و دما) را با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک یزد از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ در روندی ۲۵ ساله مورد مقایسه و تحلیل قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که در ۲۵ سال منتهی به سال ۲۰۰۵ بارش کاهش و دما افزایش یافته که نشان‌دهنده افزایش شرایط خشکی است. طباطبائی‌فر و همکاران (۹) تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی و ناهنجاری‌های اقلیمی مؤثر بر روند بیابانزایی دشت گرمسار را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. برای این منظور با استفاده از مدل IMDPA^۴ پیش و روند بیابانزایی دشت گرمسار را از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ بررسی و برای معیار اقلیم سه شاخص خشکی، بارش سالانه و

بیابانزایی، تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک جنب مرطوب ناشی از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بوده و تخریب مداوم پوشش گیاهی، یکی از مهمترین خصوصیات این فرایند است (۱). بررسی فرایندهای بیابانزایی نشان داده است که در مقیاس‌های جهانی و ناحیه‌ای، عوامل داخلی (گرم شدن جهانی^۳ و ایجاد تغییراتی در الگوی بارندگی و بروز خشکسالی) و عوامل خارجی (فعالیت‌های مخرب انسان و کاهش قابلیت و توان اکولوژیک در این مناطق) سبب گسترش کمربند خشک در عرض‌های جغرافیایی میانی اروپا-آسیا و نهایتاً بیابانزایی در این مناطق شده است (۲). تغییرات اقلیمی و بیابانزایی رابطه‌ای متقابل با یکدیگر دارند و یکدیگر را از طریق حلقه‌های بازخورد مثبت یا منفی، هدایت یا تشدید می‌کنند. درجه حرارت بالاتر، تغییر الگوهای بارش و شرایط اقلیمی بد نتیجه فرسایش خاک حاصلخیز از طریق باد و آب هستند (۳ و ۴). می‌توان با ارائه راهکارها و روش‌های مدیریتی مناسب از شدت این پدیده کاسته و نیز از گسترش و پیشروی آن جلوگیری به‌عمل آورد. در این راه شناخت رفتار فرآیندهای بیابانزایی و عوامل به وجود آورنده و تشدید کننده آن، امری مهم و ضروری است که باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. تحقیقات متعددی در کشورهای مختلف به‌منظور ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی، منجر به ارائه مدل‌های منطقه‌ای شده که از مهمترین آنها می‌توان به روش^۱ ICD، روش^۲ MICD با تاکید بر فرآیند فرسایش بادی، روش^۳ فائو-یونپ^۳ (۱۹۸۴)، روش^۴ IMDPA^۴، روش^۵ MEDALUS (کمیسیون بین المللی اروپا) و سایر مدل‌های منطقه‌ای اشاره نمود (۵). کمیسیون اروپا پروژه

6- Environmentally Sensitive Areas to desertification

1- Iranian Classification of Desertification
2- Modified Iranian Classification of Desertification
3- FAO-UNEP
4- Iranian Model of Desertification Potential Assessment
5- Mediterranean Desertification and Land Use

اند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داده که بیش از ۵۰ درصد حوزه دارای شرایط بیابانی است. در این پژوهش نیز از مدل ESAs در راستای پایش تغییرات اقلیم بر خطر بیابانزایی در دهه‌های ۱۹۹۲-۱۹۸۱، ۲۰۰۴-۱۹۹۳ و ۲۰۱۶-۲۰۰۵ استفاده شد.

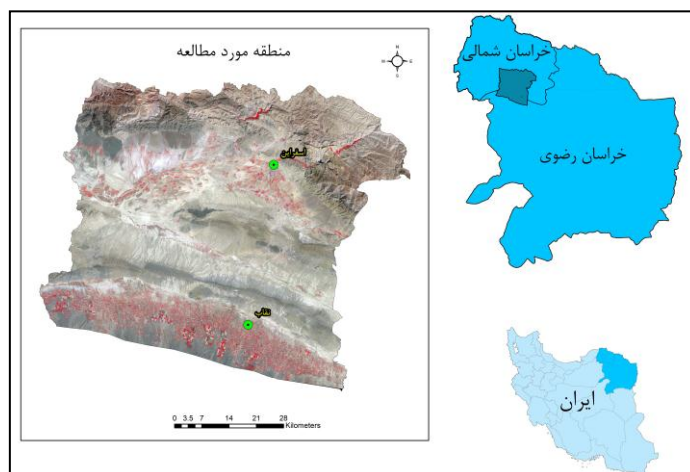
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۴۵۵۵۶/۱۹ از مرکز استان خراسان شمالی تا شمال استان خراسان رضوی امتداد دارد. به عبارتی منطقه بیابانی اسفراین و دشت جوین را در برمی‌گیرد. دشت جوین بخشی از حوزه آبریز کویر مرکزی و به شکل محدوده فرو افتاده ای است که توسط دو رشته ارتفاعات واقع در شمال و جنوب آن احاطه گردیده است. دشت جوین به خاطر وجود دو منطقه کوهستانی و دشت، محصولات کشاورزی اعم از زراعی و باغی بسیار متنوع در آن کشت می‌شود. ارتفاع منطقه از ۹۴۳ متر در جنوب تا ۳۰۰۷ متر از سطح دریا در کوهستان‌های شمال منطقه تغییر می‌کند. از شهرهای مهم موجود در منطقه می‌توان به اسفراین و نقاب اشاره کرد که در شکل ۱ مشخص شده است.

خشکسالی را در نظر گرفتند. نتایج پژوهش ایشان نشان‌دهنده افزایش کلاس بیابانزایی بر اساس تغییرات پارامترهای اقلیمی می‌باشد. راهداری و همکاران (۱۰) تخریب زمین را مدل‌سازی کرده و یک سیستم هشدار اولیه‌ی بیابانزایی ارائه نمودند. برای این منظور روند بیابانزایی را با استفاده از مدل^۱ IMDPA در یک دوره‌ی ده ساله در بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران مورد مطالعه قرار دادند. از نتایج به دست آمده از نقشه‌های محدوده‌ی هشدار معیار اقلیم، چنین نتیجه گرفتند که منطقه‌ی مورد مطالعه در یک روند غیرخطی برای عبور از آستانه‌ها قرار داشته است. بویوآبید^۲ و همکاران (۱۱)، به ارزیابی بیابانزایی به روش مدالوس در حوزه رودخانه سوس^۳ در مراکش پرداخته‌اند. این روش با کمی تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری که از چهار شاخص اصلی شامل خاک، پوشش گیاهی، آب و هوا و مدیریت جهت تهیه نقشه حساسیت بیابانزایی استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داده که بخش بزرگی از حوزه (۷۲ درصد)، شدیداً نسبت به بیابانزایی آسیب‌پذیر است و آب و هوا پارامتر بسیار تعیین‌کننده است که با عوامل فیزیکی و انسانی تشدید می‌شود. بکر^۴ و همکاران (۱۲) حساسیت اراضی را به خطر بیابانزایی در یک اکوسیستم شکننده کشاورزی در مصر و برای دو بازه زمانی ۱۹۸۴ و ۲۰۰۸ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. برای این منظور از مدل مدالوس^۵ استفاده شده است. نتایج پژوهش ایشان نشان داده که در دو سال ۱۹۸۴ و ۲۰۰۸ به ترتیب ۱۰۰ و ۷۸ درصد از منطقه در کلاس بحرانی بیابانزایی قرار دارد که علت آن تأثیر پوشش گیاهی برآورد شده است. د پینا تاواریس^۶ و همکاران (۱۳) مناطق حساس به بیابانزایی نواحی کوهستانی ساحلین از جزیره سانتیگو را مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار داده‌اند و برای این منظور از شش شاخص کیفیت مدل مدالوس استفاده کرده-

-
- 1- Iranian Model of Desertification Potential Assessment
 - 2- Bouabid
 - 3- Souss
 - 4- Bakr
 - 5- Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALLUS)
 - 6- D Pina Tavares



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical Location of studied region

ایستگاه‌ها تراکم کمی دارند از مدل‌سازی استفاده می‌شود. یکی از انواع داده‌های بازتحلیل، ERA-Interim است. این داده‌ها ناشی از آخرین تحلیل دوباره جو است که سازمان پیش‌بینی وضعیت آب و هوای اروپا از ۱۹۸۹ آغاز کرده و تا کنون ادامه دارد (۲۰). فاصله مکانی این داده‌ها تا ۰/۱۲۵ درجه نیز قابل دسترس است که کره زمین را به صورت شبکه‌هایی با همین ابعاد در بر می‌گیرد.

منطقه اسفراین - سبزوار با ۵۳ سلول با ابعاد ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه پوشش داده شده که برای هریک از این شبکه‌ها بارش ماهانه توسط پروژه ERA-Interim تهیه شده است (شکل ۶). همان‌طور که ذکر شد تقریباً همه ایستگاه‌های موجود در منطقه فاقد آمار بلند مدت و داده‌های آنها مخدوش می‌باشد. در گام اول با استفاده از رابط وب (web interfaces)، اسکریپت Python و همچنین ECMWF WebAPI، داده‌های اقلیمی روزانه برای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ دریافت و برای هر یک از سلول‌ها استخراج شد. داده‌های دریافت شده با فرمت NetCDF وارد نرم‌افزار ArcGIS شد تا با ابزار Multidimension، داده‌ها برای هر یک از ایستگاه‌ها به فرمت پایگاه داده (dbf) خروجی گرفته شود. در نهایت داده‌های روزانه ERA-Interim مرتب و به صورت ماهانه طبقه‌بندی شد. پس از طبقه‌بندی، داده‌های ERA-Interim، مورد راستی‌آزمایی قرار گرفتند و تطابق آنها با داده‌های دیدبانی

تهیه داده‌های تلفیقی بارش ماهانه (داده‌های بازتحلیل شده ERA-Interim و ایستگاهی)

در بسیاری از مطالعات هواشناسی، اقلیمی، هیدرواقليمی، هیدرولوژیکی و همچنین برنامه ریزی های آبیاری وجود داده های بارش و دما و به ویژه توزیع مکانی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دما در کنار بارش از مهم ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌گردد که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است. در حالی که برای تقریباً همه مطالعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی از داده های دما و بارش ایستگاه های هواشناسی استفاده می‌گردد، بعضی مناطق به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و صعب العبور بودن خالی از ایستگاه بوده است و در این نقاط داده ای در دسترس نمی‌باشد. شبکه متشکل از گره‌های اطلاعاتی، بهترین راه حل برای پوشش یکنواخت و مطالعه یک دست سطوح وسیع می‌باشد (۱۴). بسیاری از بانک‌های اطلاعاتی در دسترس، فاقد آمار بلند مدت با پوشش یکنواخت و مناسب‌اند. به همین دلیل در بسیاری از مطالعات اخیر در سراسر دنیا و همچنین ایران ملاحظه می‌شود که از داده‌های مجموعه‌ای موسوم به بازتحلیل^۱ استفاده شده است (۱۵-۱۹). در واقع داده‌های بازتحلیل، تلفیقی از داده‌های دیدبانی و مدل‌سازی هستند. برای منطقه‌هایی که فاقد داده هستند یا شبکه

1- reanalyzed

با مقادیر عددی متفاوت می‌باشد (۲۱). در این تحقیق از رابطه ۴ برای محاسبه SPI استفاده شده است.

$$SPI = \frac{(X_i - \mu)}{\delta} \quad (4)$$

که در این رابطه: SPI نسبت بی‌بعد شده داده‌ها، X_i مقدار متغیر مورد نظر در هر سال، μ میانگین داده‌ها و δ انحراف معیار داده‌ها می‌باشند.

ارزیابی خطر بیابانزایی

جهت ارائه نقشه خطر بیابانزایی منطقه اسفراین-سبزوار بر اساس معیار اقلیم از روش ESAs استفاده شد. برای این منظور شاخص‌های بارندگی سالانه، خشکی و خشکسالی استفاده شد. بعد از تهیه نقشه داده‌های تلفیقی بارش و دما، برای هر دوره زمانی نقشه‌های بارش و دما و خشکی و وضعیت خشکسالی به-دست آمد. سپس بر پایه جدول ۲ نقشه ارزش هر یک از شاخص‌ها در بیابانزایی به‌دست آمد. در نهایت با میانگین‌گیری هندسی این شاخص‌ها با استفاده از رابطه ۵ و به کمک ابزار مدل‌سازی GIS (model builder)، شاخص حساسیت ESAI^۳ تعیین شد و بر پایه جدول ۳ کلاس‌های بیابانزایی مشخص شد. هر یک از شاخص‌ها، با توجه به اثری که در بیابانزایی دارند، بر اساس روش ESAs وزن‌دهی شدند؛ به طوری که دامنه ارزش آنها بین ۱ (بهترین حالت) و ۲ (بدترین حالت) می‌باشد (۲۲).

(۵)

$$ESAI = CQI = (\text{خشکسالی} \times \text{بارش سالانه} \times \text{خشکی})^{1/5}$$

مناطق دارای ایستگاه بارانسنجی مورد بررسی قرار گرفت. دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برای محاسبه آریبی ماهانه هر یک از ایستگاه‌ها انتخاب شد. با توجه به سهم بالای سلول‌های فاقد آمار بارش، لزوم استفاده از داده‌های تلفیقی در این تعداد از ایستگاه‌ها کاملاً محسوس است. آریبی ماهانه به‌دست آمده به طور ماهانه به سال‌های فاقد آمار دیدبانی و سلول‌های فاقد ایستگاه هواشناسی اعمال شد و در نهایت داده‌های تلفیقی بارش برای ۵۳ سلول به‌دست آمد. برای بررسی کارآیی سری داده‌های بارش Era، از شاخص‌های آریبی^۱، میانگین مربعات خطا و ناش ساتکلیف^۲ استفاده شد (روابط ۱ تا ۳).

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O}_i)^2} \right) \quad (3)$$

ایستگاه‌های مورد استفاده

با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان خراسان شمالی و رضوی، ۱۲ ایستگاه هواشناسی در منطقه اسفراین-سبزوار مشخص شدند که اغلب فاقد آمار بلندمدت هواشناسی هستند که داده‌های ماهانه این ۱۲ ایستگاه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

ارزیابی خشکسالی

داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق در مرحله قبل در بازه ۲۰۱۶-۱۹۷۹ میلادی تطویل شدند، و داده‌ها به صورت ماهانه به فرمت مناسب در نرم‌افزار R قرار گرفت (جدول ۲). در ادامه برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی در منطقه مورد بررسی و مقایسه ایستگاه‌های مختلف در سال-های مشترک با یکدیگر داده‌ها به نسبتی بی‌بعد تبدیل شدند. شاخص SPI یکی از مناسب‌ترین روش‌های بی‌بعد کردن داده‌ها

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده

Table 1.Stations Location of studied region

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تعداد سال دارای آمار	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تعداد سال دارای آمار
چهل دختران	۵۷۰۲	۳۶۵۷	۱۰۱۴	۱۴	گرمه خوش	۵۷۲۰	۳۷۰۸	۱۱۳۷	۱۲
دولت آباد	۵۷۳۲	۳۶۵۷	۱۱۷۷	۱۸	منگلی علیا	۵۷۴۴	۳۶۴۵	۱۱۷۱	۲۰
سرچشمه	۵۷۴۵	۳۷۰۷	۱۶۸۰	۳۶	نوشیروان	۵۷۳۶	۳۷۰۴	۱۴۰۵	۳۶
صقی آباد	۵۷۵۵	۳۶۴۱	۱۲۴۱	۱۰	اسفراین	۲۹۵۷	۳۷۰۲	۱۲۲۱	۸
قاسم خان	۵۷۲۱	۳۶۵۲	۱۰۵۷	۱۴	جوین حکم آباد	۵۷۲۴	۳۶۳۸	۱۱۳۸	۳۰
کلات اسفراین	۵۷۲۴	۳۷۱۳	۱۲۲۹	۱۶	جغتای	۵۷۰۲	۳۶۳۶	۱۳۷۳	۱۰

جدول ۲- کلاس‌ها و وزن‌های لایه‌های کیفیت اقلیم (CQI) (22)

Table 2.Classes and weights of the Climate Quality layers

شاخص (لایه)	شرح	ارزش	شاخص (لایه)	شرح	ارزش
بارندگی سالانه (mm)	>۶۵۰	۱	خشکی (دامنه) (BGI)	<۵۰	۱
	۲۸۰-۶۵۰	۱/۵		۵۰-۷۵	۱/۱
	<۲۸۰	۲		۷۵-۱۰۰	۱/۲
استمرار خشکسالی	۳ تا ۴ سال	۱	۱۰۰-۱۲۵	۱/۴	۲
	۵ تا ۶ سال	۱/۲	۱۲۵-۱۵۰	۱/۸	
	۶ تا ۷ سال	۱/۵	>۱۵۰	۲	
بیشتر از ۷ سال	۲				

جدول ۳- تیپ‌های (ESAs) (22)

Table 3. ESAs types

کلاس	علامت	دامنه ESAs
بحانی	C3	۸ >۱/۵۳
	C2	۷ ۱/۴۲-۱/۵۳
	C1	۶ ۱/۳۸- ۱/۴۱
شکننده	F3	۵ ۱/۳۳- ۱/۳۷
	F2	۴ ۱/۲۷- ۱/۳۲
	F1	۳ ۱/۲۳- ۱/۲۶

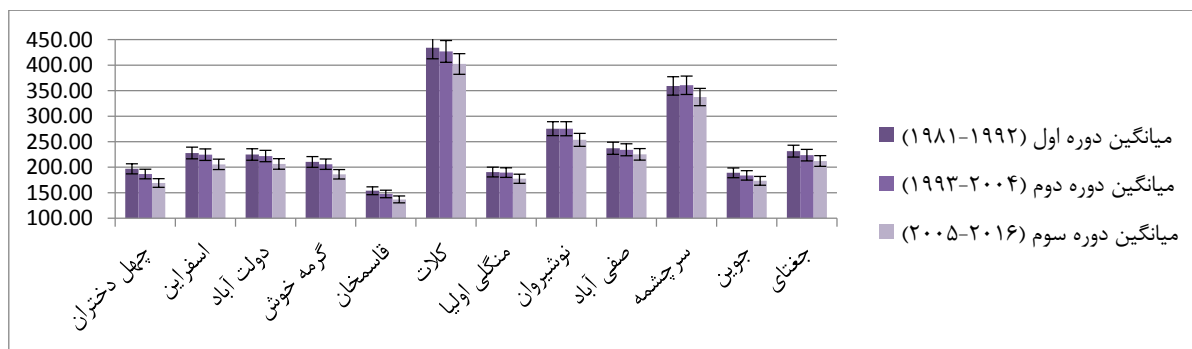
۱/۱۷ - ۱/۲۲	۲	P	مناطق دارای پتانسیل تخریب در صورت عدم رعایت مدیریت بالقوه
< ۱/۱۷	۱	N	بی اثر

نتایج

تهیه داده‌های تلفیقی

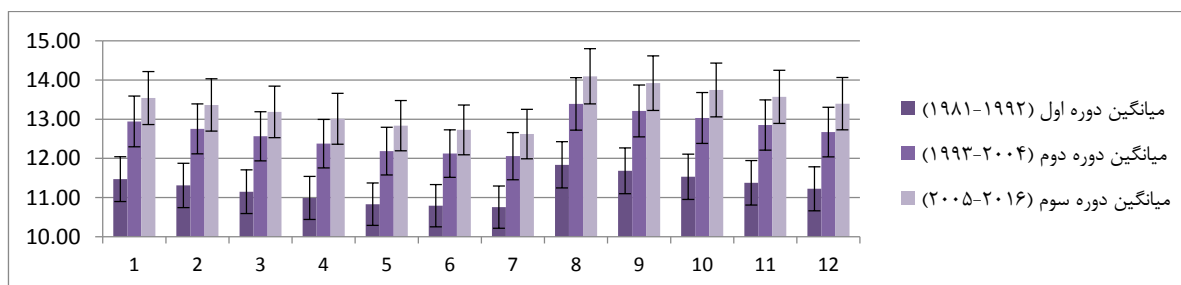
در جدول ۴ میانگین آریبی، ضریب ناش ساتکلیف و میانگین مربعات خطا بین سری داده‌های ماهانه بارش شبکه‌ای ERA-Interim و داده‌های دیدبانی بر روی سلول‌های با تفکیک-پذیری مشابه، آورده شده است. کمترین آریبی به مقدار ۰/۶۱ میلی‌متر در ایستگاه صفی‌آباد و بیشترین آن به مقدار ۱۱/۶۲ میلی‌متر در ایستگاه؟ رخ داده است. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌کنید پس از اعمال آریبی به داده‌های دیدبانی و تهیه داده‌های تلفیقی، آریبی تا حد زیادی کاهش یافته و ضریب NSE به یک رسیده است. همین‌طور RMSE برای کل ایستگاه‌ها کاهش یافته است. میانگین آریبی بین داده‌های ERA-Interim و دیدبانی برای کل منطقه ۰/۳۹ بوده است

که با تصحیح آریبی به ۰/۲۴ برای کل منطقه کاهش یافت. همچنین RMSE از ۶/۶۹ به ۰/۳۲ کاهش یافته است. با بررسی روند داده‌های اقلیمی مشخص شد بارش و دما در تمام سلول‌ها و ایستگاه‌ها تغییر کرده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ و ۳ مشخص است در تمام ایستگاه‌ها و سلول‌های منطقه اسفراین - سبزوار بارندگی کاهش و دما افزایش یافته است. میانگین بارندگی ایستگاه‌ها در دوره اول ۲۴۴/۲۷ میلی‌متر، دوره دوم ۲۴۰/۱۰ میلی‌متر و در دوره سوم به ۲۲۳/۸۲ میلی‌متر کاهش یافته است (شکل ۲). میانگین دما در منطقه اسفراین - سبزوار در دوره اول ۱۱/۸۷ درجه سلیسیوس، دوره دوم ۱۳/۴۲ درجه و در دوره سوم به ۱۴/۲۵ درجه افزایش یافته است.



شکل ۲- تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی و اشتباه معیار هر یک در سه دوره مورد مطالعه

Figure 3. Annual precipitation changes of meteorological stations with Standard deviation in each of the three study periods



شکل ۳- تغییرات میانگین دمای سالانه سلول‌های ۱ تا ۱۲ در منطقه مورد مطالعه در سه دوره مورد استفاده

Figure 4. Changes in the mean annual temperature in 1-12 pixels in the study areas derived from three periods

جدول ۴- مقایسه دقت داده‌های Era-Interim و تلفیقی در هر یک از ایستگاه‌های منطقه

Table 4. Comparison of Era-Interim and Combined Data in stations

داده‌های تلفیقی			داده‌های Era-Interim			ایستگاه هواشناسی	داده‌های تلفیقی			داده‌های Era-Interim			ایستگاه هواشناسی
میانگین اربنی ماهانه	RMSE	NSE	میانگین اربنی ماهانه	RMSE	NSE		میانگین اربنی ماهانه	RMSE	NSE	میانگین اربنی ماهانه	RMSE	NSE	
۰/۳۴	۰/۴۵	۱	۴/۱۳	۸/۵	۰/۷۷	منگلی اولیا	۰/۳۸	۰/۷۷	۱	۷/۱۱	۰/۷۹	۳/۲۷	اسفراین
۰/۱۲	۰/۱۳	۱	-۰/۴	۴/۷۸	۰/۹۲	نوشیروان	۰/۴۱	۰/۶۷	۱	۷/۲۵	۰/۸۱	۳/۷۲	چهل دختران
۰/۰۱	۰/۰۳	۱	۰/۶۱	۳/۱۶	۰/۹۵	صفی آباد	۰/۱۷	۰/۳۷	۱	۵/۹۳	۰/۸۷	۱/۸۱	دولت آباد
۰	۰	۱	-۶/۹۶	۶/۴	۰/۸۹	سرچشمه	۰/۲۶	۰/۲۸	۱	۶/۸۱	۰/۸۵	۴/۳۹	گرمه سرخ
۰/۰۹	۰/۱۹	۱	۱/۸۳	۵/۲۴	۰/۸۶	جوین	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۹۹	۸/۹	۰/۷۱	۶/۵۸	قاسم خان
۰/۲۴	۰/۲۹	۱	-۲/۷۴	۵	۰/۸۲	جغتای	۰/۱۲	۰/۰۴	۱	۱۱/۱۹	۰/۵۷	-۱۱/۶۲	کلات
۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۳۹	۶/۶۹	۰/۸۲	میانگین							

استمرار خشکسالی

بر اساس تحقیقات سرانو^۱ و همکاران (۲۳) برای مشخص نمودن دوره های اصلی و باثبات خشکی می‌بایستی بازه‌های زمانی بلندمدت‌تر از ۶ ماهه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد؛ زیرا فراوانی زیاد دوره‌های ترسالی و خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت، این امکان را به وجود می‌آورد که دوره‌های مهم خشکسالی از نظر پنهان بمانند. بنابراین در این پژوهش بازه زمانی ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد استمرار خشکسالی‌ها کمتر از ۴ سال می‌باشد که طبقه ۱ مدل ESAs را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۲). شکل ۴ نمودار تغییرات ماهانه SPI برای همه ایستگاه‌ها با بازه‌های زمانی دوازده ماهه را در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در بازه های زمانی ۱۲ ماهه در تمام ایستگاه‌ها چهار دوره مهم خشکسالی در دهه های ۱۹۸۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ مشهود است که در طبقه خشکسالی شدید و بسیار شدید قرار دارند.

ارزیابی خطر بیابانزایی

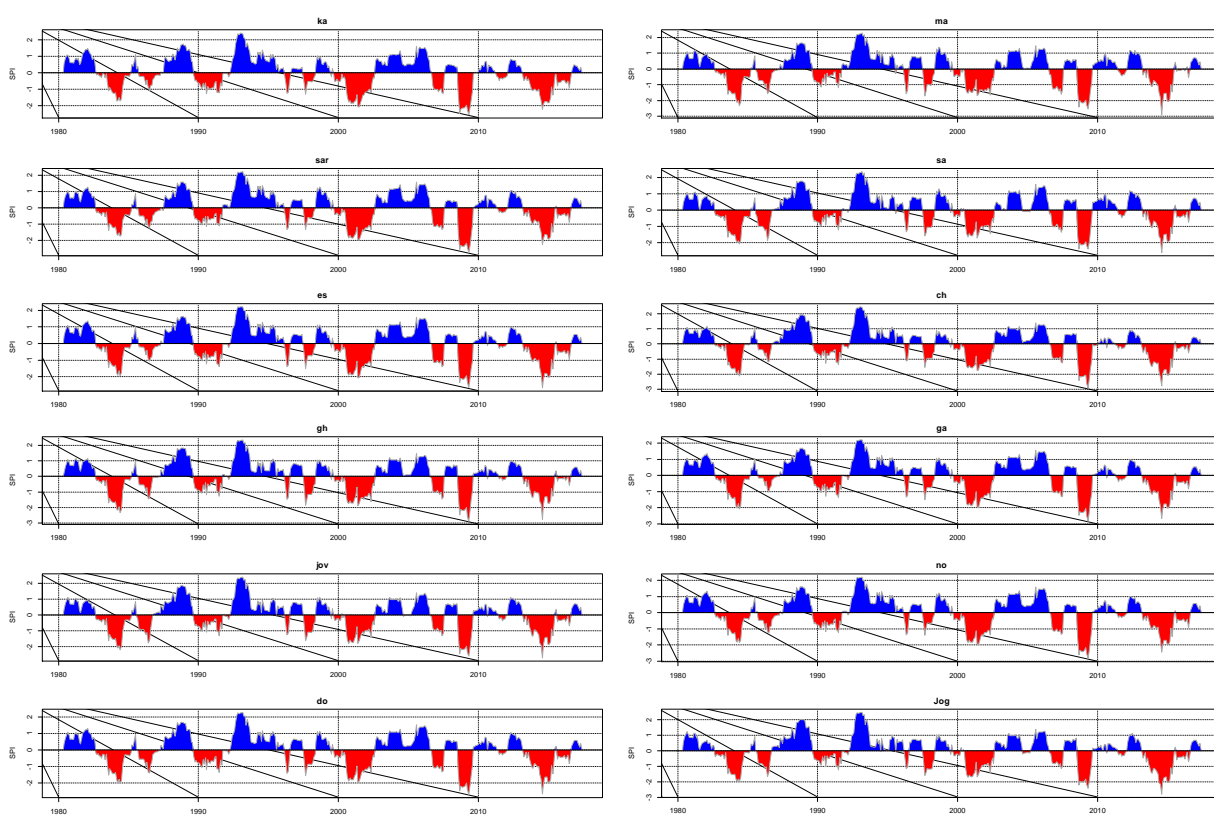
با استفاده از مدل ESAs و طبقه‌بندی جدول ۲ نقشه‌های ارزش بارش و خشکی به‌دست آمد که در شکل‌های ۷ تا ۱۲ مشاهده می‌کنید. از میانگین هندسی سه نقشه تولید شده در هر بازه زمانی مقادیر ESAI برای هر دوره زمانی تولید شد و مورد طبقه‌بندی قرار گرفت که در نهایت نقشه خطر بیابانزایی برای هر دوره زمانی به‌دست آمد (شکل‌های ۱۳ تا ۱۵). همان‌طور که در جدول ۵ و شکل ۵ مشاهده می‌کنید کلاس خطر بیابانزایی F2 در دوره اول بخش کمی از منطقه را پوشش می‌دهد که در دوره‌های دوم و سوم سهم خود را به کلاس بحرانی بیابانزایی (C1 و C3) داده است. کلاس بیابانزایی C1 نیز از ۱۴/۲۲ درصد در دوره اول به ۱۵/۶۸ درصد در دوره دوم افزایش یافته است و در دوره سوم به ۱۲/۶۴ درصد کاهش یافته و جای خود را به کلاس C3 که شرایط بحرانی‌تر بیابانزایی را بیان می‌کند داده است. کلاس C3 نیز در دوره اول و دوم ثابت ولی در دوره سوم به ۸۷/۳۶ درصد از سطح منطقه تغییر یافته است. که نشان می‌دهد در دوره دوم کلاس F2 به کلاس C1

تغییر و در دوره سوم کلاس C1 جای خود را به کلاس C3 داده است.

جدول ۵- تغییرات کلاس خطر بیابانزایی در هر یک از دوره‌های مورد مطالعه

Table 5. Changes of desertification hazard classes in each of the studied periods

تغییر دوره ۳ نسبت به ۱	تغییر دوره ۲ نسبت به ۱	دوره ۳ (۲۰۰۵-۲۰۱۶)	دوره ۲ (۱۹۹۳-۲۰۰۴)	دوره ۱ (۱۹۸۱-۱۹۹۲)	کلاس خطر بیابانزایی
۰	-۱/۴۶	۰	۰	۱/۴۶	F2
-۳/۰۴	۱/۴۶	۱۲/۶۴	۱۵/۶۸	۱۴/۲۲	C1
۳/۰۴	۰	۸۷/۳۶	۸۴/۳۲	۸۴/۳۲	C3



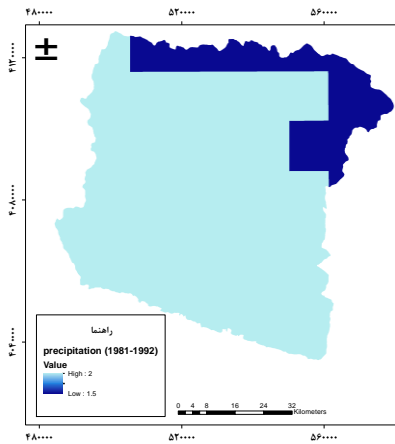
شکل ۴- تغییرات خشکسالی ۱۲ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 4. Diagram of the monthly variations of SPI and SPEI of the stations during the statistical period and on the time scales of 12 months.



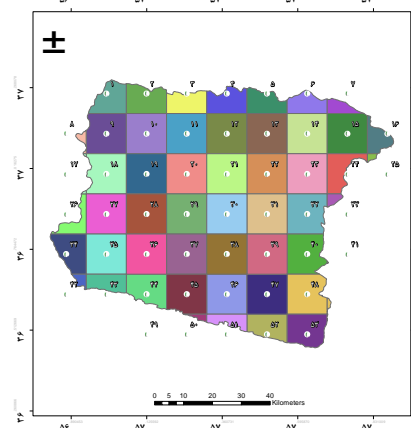
شکل ۵- تغییرات کلاس خطر بیابانزایی در سه دوره زمانی

Figure 5. Changes of desertification hazard classes in three periods



شکل ۷- ارزش بیابانزایی بارندگی سالانه در دوره اول

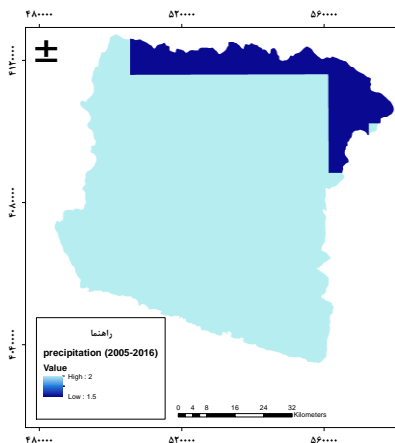
Figure 8. desertification value of yearly precipitation in the first period



شکل ۶- سلول های ERA-Interim در منطقه مورد

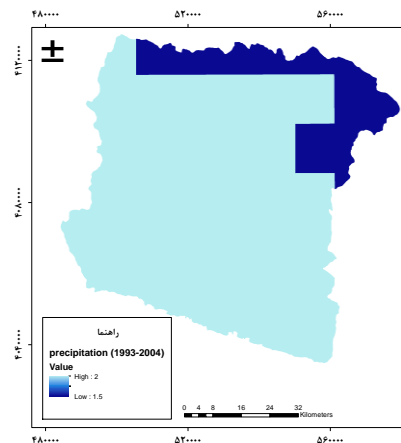
مطالعه

Figure 7. Era-Interim pixels in Case study



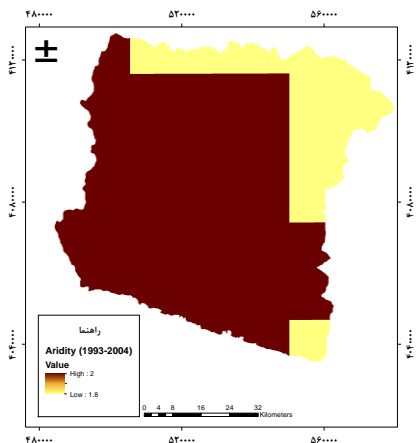
شکل ۹- ارزش بیابانزایی بارندگی سالانه در دوره سوم

Figure 9. desertification value of yearly precipitation in the third period



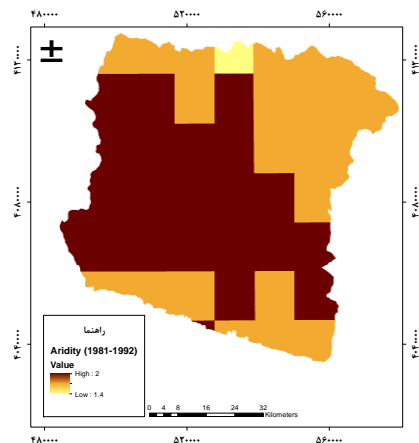
شکل ۸- ارزش بیابانزایی بارندگی سالانه در دوره دوم

Figure 8. desertification value of yearly precipitation in the Second period



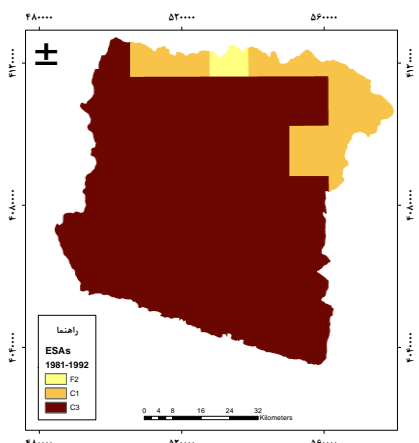
شکل ۱۱- ارزش بیابانزایی شاخص خشکی در دوره دوم

Figure 11. desertification value of Aridity Index in the Second period



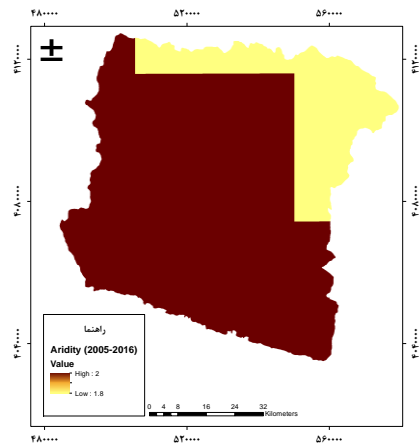
شکل ۱۰- ارزش بیابانزایی شاخص خشکی در دوره اول

Figure 10. desertification value of Aridity Index in the first period



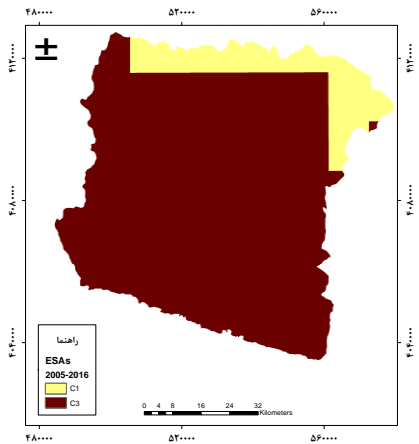
شکل ۱۳- کلاس‌های خطر بیابانزایی در دوره اول

Figure 13. classes of desertification hazard in the first period



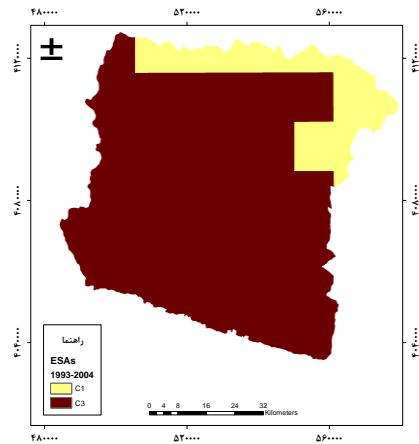
شکل ۱۲- ارزش بیابانزایی شاخص خشکی در دوره سوم

Figure 12. desertification value of Aridity Index in the third period



شکل ۱۵- کلاس خطر بیابانزایی در دوره سوم

Figure 15. classes of desertification hazard in the third period



شکل ۱۴- کلاس‌های خطر بیابانزایی در دوره دوم

Figure 14. classes of desertification hazard in the Second period

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در نتایج ذکر شد در ابتدا داده‌های تلفیقی بارش و دما برای منطقه اسفراین- سبزوار به‌دست آمد. پس از اعمال آریبی به داده‌های دیدبانی و تهیه داده‌های تلفیقی، آریبی تا حد زیادی کاهش یافته و ضریب NSE به یک رسیده است. همین‌طور RMSE برای کل ایستگاه‌ها کاهش یافته است. میانگین آریبی بین داده‌های ERA-Interim و دیدبانی برای کل منطقه ۰/۳۹ بوده است که با تصحیح آریبی به ۰/۲۴ برای کل منطقه کاهش یافت. همچنین RMSE از ۶/۶۹ به ۰/۳۲ کاهش یافته است که نشان‌دهنده دقت بسیار بالای داده‌های تلفیقی است. همان‌طور که در نتایج ملاحظه می‌شود در فصول پربارش داده‌های بارش ERA-Interim دارای آریبی بیشتری نسبت به فصول کم بارش هستند. در تمام فصول آریبی بین داده‌های بارش ERA-Interim با داده‌های دیدبانی در حد بالایی بوده و تمامی مقادیر قابل قبول هستند که نشان می‌دهند این دو سری داده دارای نوسانات هماهنگی با یکدیگر می‌باشند، لذا با حفظ نوسان پذیری ماهانه، امکان کاهش آریبی بر روی منطقه وجود دارد. در نتیجه مشاهده می‌شود، کاهش آریبی باعث نزدیک شدن داده‌های دیدبانی و ERA-Interim شده است. با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده در زمینه کیفیت داده‌های ERA-Interim و ارزشیابی آن، روش پیشنهادی دریافت داده روش بسیار مناسب و دقیق و گزینه موجهی برای دریافت داده‌های بلند مدت برای مناطق خشک و نیمه خشک که فاقد آمار مناسب و بلند مدت هستند، می‌باشد. از داده‌های تلفیقی در جهت ارزیابی نقش شاخص‌های اقلیمی در خطر بیابانزایی استفاده شد. به منظور دستیابی به میزان نقش هر یک از پارامترهای اقلیمی در تشدید بیابانزایی، داده‌های دوره‌ی ۳۶ ساله به سه دوره ۱۲ ساله تقسیم و تغییرات آن مشخص گردید. بارش به عنوان یکی از مهمترین عوامل اقلیمی که تعیین کننده بسیاری از ویژگی‌های هر منطقه‌ای به شمار می‌رود. ضمن دنبال نمودن روند نزولی در طول دوره دارای تغییراتی ملموسی در دوره زمانی ۳۶ ساله است. از مقایسه این تغییرات چنین نتیجه‌گیری می‌شود که بارش ۳۶ سال اخیر به میزان ۵/۰۵ میلی‌متر در دوره دوم نسبت به اول و ۲۰/۹۱

میلی‌متر در دوره سوم نسبت به گذشته کاهش یافته است که با پژوهش بوآیید و همکاران (۲۰۱۰) و نگارش و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. کاهش بیش از ۱۰ میلی‌متری بارش نسبت به دوره مشابه گذشته خود بدون در نظر گرفتن اثرات ترکیبی و تشدید کننده روی سایر عوامل، حداقل به همین میزان در خشکی هوا و خاک و نتایج نفی ناشی از آن به علت فشار انسان و طبیعت مؤثر بوده است. روند افزایشی میانگین دمای سالانه و تغییرات افزایشی آن در سه دوره ۱۲ ساله چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در ۳۶ سال اخیر دما از ۱۱/۸۷ درجه در دوره اول به ۱۳/۴۲ در دوره دوم و ۱۴/۲۵ درجه در دوره سوم افزایش یافته است که با پژوهش نگارش و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. افزایش ۱/۵۵ درجه‌ای در دوره دوم و ۲/۳۸ درجه‌ای دمای میانگین به دنبال آن با اثرپذیری سایر پارامترها مرتبط با دما تشدید شرایط مؤثر در فرایند بیابانزایی امری حتمی است که در مدل ESAs مشخص شده است. در مجموع می‌توان گفت تغییرات اقلیمی در سه دوره در جهت افزایش کلاس خطر بیابانزایی رخ داده است و به عبارتی تغییرات اقلیمی باعث بیابانی‌تر شدن منطقه اسفراین-سبزوار شده‌اند؛ به طوری که در دوره دوم (۲۰۰۴-۱۹۹۳) نسبت به دوره اول (۱۹۹۲-۱۹۸۱) ۱/۴۶ درصد از منطقه که در کلاس F2 قرار داشتند، جای خود را به کلاس C1 دادند و در دوره سوم (۲۰۱۶-۲۰۰۵) نسبت به دوره اول ۳/۰۴ درصد از سطح منطقه که در کلاس C1 قرار داشتند به کلاس C3 افزایش یافتند. بر اساس نقشه‌های تهیه شده برای سه زیردوره مورد مطالعه، مشاهده شد که بیشترین گسترش مکانی بیابانزایی در دوره سوم رخ داده است. این تغییرات در شمال منطقه اسفراین-سبزوار مشهود است. که با نتایج پژوهش طاوسی و همکاران (۱۳۸۹)، نگارش و همکاران (۱۳۹۰)، طباطبائی‌فر و همکاران (۱۳۹۲)، و راهداری و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که در معیار اقلیم، شاخص خشکی بیشترین و شاخص خشکسالی کمترین نقش را در بیابانزایی منطقه اسفراین سبزوار ایفا کرده‌اند.

- Intensity using ESAs Model in Niyatak Region (Sistan, Iran), Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 63, No. 2. pp.149-163. (In Persian)
7. Tavosi, T., Mahmoudi, P., and Moghadam, F.S. 2010. Comparison of spatial spreading of arid and semi-arid climates in Iran during 1976-2005, Iranian journal of Range and Desert Research, Vol. 17 No. (1), 94-105. (In Persian)
 8. Negaresh, H., Fallahian Firouzabad, H., and Khosravi, M. 2011. The Analysis of Climatical Abnormalities Influencing on Desertification Process in Khezer Abad Region of Yazd, Geography and Environmental planning, 22 (30): 69-94. (In Persian)
 9. Tabatabaeifar M, zehtabian G, rahimi M, khosravi H, nikoo S. The Analysis of Groundwater Quality and Quantity Changes and Climate Abnormalities Influencing on Desertification Trend in Garmsar Plain. Arid Regions Geographic Studies . 2013; 4 (13) :55-68. (In Persian)
 10. Rahdari, G.H.R; Fakhireh, A.; Shahriari, A.R; Khosravi, H., and Rahdari, M.R. 2015. Modelling and assessment of land degradation and EWSs of desertification, DEEJ 2015, 3(5): 63-71. (In Persian)
 11. Bouabid, R. Rouchdi, M. Badraoui, M. Diab, A. and Louafi, S. 2010. Assessment of land Desertification Based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: The case study of the Souss River basin, Morocco. Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation. 15 pp.

References

1. Kundu, Arnab and Dipanwita, D. 2011. Monitoring desertification risk through climatic change and human interference using Remote sensing and GIS techniques. INTERNATIONAL JOURNAL OF EOMATICS & GEOSCIENCES Volume 2, No 1. P190-201
2. Kaneko, D., Yang, P., Chang, N.B. and Kumakura, T. 2010. Developing a desertification assessment system using a photosynthesis model with assimilated multi satellite data. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan.
3. Reed, Mark S, and Lindsay C Stringer. 2016. Land Degradation, Desertification and Climate Change: Anticipating, Assessing and Adapting to Future Change. Routledge publication.
4. Ekhtessassi, M.R., and Sepehr, A. 2011. Methods and models of desertification assessment and mapping. Yazd University Press, 286p. (In Persian)
5. Ahmadi, H., Abrisham, E., Zehtabian, G.R., and Amiraslani, F. 2006. The comparison of ICD and MICD models for assessment of desertification in a desertified pilot region, Iran, 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19. (In Persian)
6. Parvari Asl, S.H., Pahlavanravi, A., and Moghaddam Nia, A. 2010. Classification of Desertification

- al. (Eds) Tools for drought mitigation in Mediterranean regions. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 147–157.
19. Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta, and A. Sutera. 2006. Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 re-analyses. *Water Resour. Manage.*, 20: 899–915.
20. Xie, P., Janowiak J. E., Arkin P. A., Adler R., Gruber A., Ferraro R., Huffman G. J., Curtis S. 2003. GPCP pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates. *Journal of Climate*, 16:2197–2214, doi:10.1175/2769.1.
21. Mckee TB, Doesken NJ and Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conference on Applied Climatology (January)*: 179–184.
22. Shahriari, A., Parvari, H., and Behi, M.J. 2008. Stages of desertification mapping by using ESAs, *Journal of Forest and Rangeland*, 87: 13-20. (In Persian)
23. Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountains Mediterranean basin, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 523-533.
12. Bakr, Noura, David C. Weindorf, Mohamed H. Bahnassy, and Mohamed M. El-Badawi. 2012. Multi-Temporal Assessment of Land Sensitivity to Desertification in a Fragile Agro-Ecosystem: Environmental Indicators. *Ecological Indicators* 15(1): 271–80.
13. De Pina Tavares, Jacques et al. 2015. “Assessment and Mapping the Sensitive Areas to Desertification in an Insular Sahelian Mountain Region Case Study of the Ribeira Seca Watershed, Santiago Island, Cabo Verde.” *Catena* 128: 214–23.
14. Masoudian, S.A. 2005. Study of Iran's temperature trend in the last half century, *Journal of Geographical Research*, 54: 29-45. (In Persian)
15. Raziei, T., B. Saghafian, A. A. Paulo, L. S. Pereira, and I. Bordi. 2009. Spatial and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resour. Manage.*, 23: 439–455. (In Persian)
16. Raziei, T., I. Bordi, L. S. Pereira and A. Sutera. 2010. Space-time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets. *Hydrology and Earth System Science*, 14: 1919–1930. (In Persian)
17. Raziei, T., I. Bordi and L. S. Pereira. 2011. An Application of GPCC and NCEP/NCAR Datasets for Drought Variability Analysis in Iran. *Water Resour Manage.*, 25:1075–1086. (In Persian)
18. Rossi, G. 2003. Requisites for a drought watch system, in G. Rossi et