Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.302176.668600 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۱، بهمن ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۹۵۱-۲۹۳۷)

Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province

JAVANSHIR AZIZI MOBASER[1*], ALI RASOULZADEH[1], AKBAR RAHMATI[2], AFSHIN SHAYEGHI[3], AYDIN BAKHTAR[4]

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran.

(Received: May. 4, 2020- Revised: Aug. 25, 2020)

ABSTRACT

Inappropriate distribution of precipitation measurement stations has led to the use of gridded precipitation datasets, consisting of satellites, reanalysis and ground-based precipitation datasets in recent years. In this study, one of the important precipitation products named Era5 has been evaluated in Ardabil province. The observation data were first interpolated during the 2004–2014 statistical period and compared with Era5 data based on daily, monthly and annual time scales. Evaluations were performed using RMSE, correlation coefficient and contingency table indices consisting of POD, FAR, CSI and POFD. The results showed that the correlation coefficient for Era5 at the daily time scale was above 0.75 for most of the cells and RMSE was below 3 mm. Also, the correlation coefficient for monthly time scale was above 0.8 and the RMSE was below 20 mm in most of the cells. Evaluation using contingency table indices showed that POD index in the studied cells ranged from 0.7 to 0.85, FAR ranged from 0 to 0.25, POFD ranged from 0.1 to 0.2 and the CSI was in the range of 0.4 to 0.5. Precipitation values of both precipitation sources were classified into 6 classes using Ward cluster analysis method. The results of k-means method and Wilkes-Lambda model confirmed the classification accuracy and the difference between the means of the clusters. In general, it can be concluded that the Era5 precipitation product at both daily and monthly time scales can be used as an appropriate alternative to data scarce regions after bias correction.

Keywords: Bias Correction; Contingency Table Satellite; Reanalysis.

* Corresponding Author's Email: Ja.mobaser22@gmail.com
www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل‌شده Era-5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل

جوانشیر عزیزی[1*]، علی رسول‌زاده[1]، اکبر رحمتی[2]، افشین شایقی[3]، آیدین باختر[4]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. گروه مهندسی ابیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۲)

چکیده

پراکنش نامناسب ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری بارش، موجب استفاده از منابع اطلاعاتی دیگر بارش از قبیل منابع ماهواره‌ای، بازتحلیل و منابع بارش شبکه‌بندی شده زمینی در سال‌های اخیر شده است. در این پژوهش یکی از محصولات مهم بارشی به نام Era5 در سطح استان اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابتدا مشاهدات زمینی در طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ درون‌یابی شده و با داده‌های Era5 در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه مقایسه شدند. ارزیابی‌ها با استفاده از شاخص‌هایRMSE ، ضریب همبستگی و شاخص‌های جدول توافقی که متشکل از POD، FAR، CSI و POFD است، انجام شد. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه در اکثر سلول‌های مورد بررسی ضریب همبستگی برای منبع بارش Era5 بیش‌تر از ۰/۷۵ و مقدار RMSE نیز کم‌تر از ۳ میلی‌متر بود. در مقیاس ماهانه نیز مقدار ضریب همبستگی برای منبع Era5 بیش‌تر از ۰/۸ و شاخص RMSE نیز برای منبع بارش Era5 در اکثر سلول های مورد بررسی، کم‌تر از ۲۰ میلی‌متر بود. بررسی‌ها با استفاده از شاخص‌های جدول توافقی نشان داد که مقدار شاخص POD برای منبع بارش Era5 در سلول‌های محل تحقیق، در دامنه ۰/۷ تا ۰/۸۵، FAR در محدوده ۰ تا ۰/۲۵، POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ و CSI در محدوده ۰/۴ تا ۰/۵ متغیر می‌باشد. مقادیر بارش هر دو منبع بارشی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای Ward در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد. نتایج روش k-means و مدل ویلکز لامبدا صحت طبقه‌بندی و تفاوت بین میانگین‌های خوشه‌ها را تایید کرد. در حالت کلی می‌توان گفت که محصول بارشی Era5 در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌تواند بعد از اعمال تصحیحات اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش در سطح منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بازتحلیل، تصحیح اریبی، جدول توافقی، شبکه‌بندی.

مقدمه

متغیر بارش نقش بسیار مهمی در مطالعات آب و هواشناسی و کشاورزی دارد. پارامترهایی همچون رواناب، رطوبت خاک و دیگر پارامترهای آب و هواشناسی با تغییر در میزان و شدت بارش، تغییر می‌یابند. با توجه به تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد بارش، پایش آن در مقیاس‌های منطقه‌ای به‌وسیله ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار است. به‌طور کلی در مسائل هیدرولوژیکی همچون مدل‌سازی بارش-رواناب در سطح حوضه، میزان بارش در تمامی سطح حوضه مدنظر بوده و ورودی‌های مدل‌های بارش رواناب توزیعی، بایستی پیوستگی زمانی و مکانی داشته باشند. با توجه به این مساله عدم پیوستگی زمانی و مکانی ایستگاه‌های اندازه-گیری بارش در سطح زمین باعث نتایج نامناسب در برآورد میزان رواناب می‌شود (Lobligeois *et al.*, 2014; Ochoa-Rodriguez *et al.*, 2015). دستیابی به رابطه دقیق بین بارش و رواناب در مدل‌سازی، نیازمند استفاده از داده‌های مناسب بارش و رواناب در حوضه‌های آبریز می‌باشد که کمبود آن‌ها از مشکلات رایج در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌باشد. مهم‌ترین منبع اطلاعات در خصوص بارندگی، ایستگاهای اندازه‌گیری بارش، ماهواره‌ها و محصولات پایگاه‌های بازتحلیلی[1] می‌باشند (Hosseini-Moghari *et al.*, 2018; Hosseini-Moghari and Tang, 2020). ارزیابی محصولات مختلف بارش به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که برخی از آن‌ها عبارتند از: مقایسه ایستگاه‌های زمینی با محصولات بارش به صورت ایستگاهی-سلولی، که در این روش، میزان بارش ایستگاه‌های زمینی به صورت مستقیم و بدون هیچ تصحیحی با میزان بارش سلول متناظر با ایستگاه مدنظر مقایسه می‌شوند (Sharifi *et al.*, 2016;

*نویسنده مسئول: Ja.mobaser22@gmail.com

1 Reanalysis Precipitation Products

www.SID.ir

Archive of SID

Ward *et al*., 2011). روش دیگر مقایسه داده‌های شبکه‌بندی شده محلی با محصولات بارش به‌صورت سلول به سلول است. در این روش، ابتدا داده‌های ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی، شبکه‌بندی شده و در مرحله بعد میزان بارش سلول‌های مشاهداتی با مقدار بارش محصولات بارش جهانی مقایسه می‌شوند (Duan *et al*., 2016; Ma *et al*., 2009; Peña-Arancibia *et al*., 2013). (Duan *et al*., 2016; Ma *et al*., 2009; Peña-Arancibia *et al*., 2013; Duan *et al*., 2016; Ma *et al*., 2009; Peña-Arancibia *et al*., 2013). علاوه بر دو روش فوق، مقایسه به صورت غیرمستقیم با استفاده از دیگر متغیرها نیز انجام می‌شود. در این روش توانایی محصولات مختلف بارش جهانی در برآورد میزان رواناب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Behrangi *et al*., 2011; Tuo *et al*., 2016; Voisin *et al*., 2008). با استفاده از روش‌های ذکر شده و در مناطق مختلف دنیا تحقیقات زیادی انجام شده است، که به‌عنوان مثال، در ولز و انگلستان، داده‌های بارش بازتحلیل ERA-interim در مقایسه با اطلاعات مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد اطلاعات بارش روش باز تحلیل در مقیاس روزانه، با اطلاعات مشاهده‌ای همبستگی برابر ۰/۹۱ داشت. همچنین این منبع، در مقایسه با اطلاعات مشاهده‌ای نتایجی در حدود ۲۲ درصد کم‌برآوردی ارائه نمود (De Leeuw *et al*., 2015). دو محصول بارش محلی اسپانیا Spain02، SAFRAN و محصول بارش ERA-interim در سطح کشور اسپانیا، برای دوره آماری سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی روزانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که این دو منبع بارش، نسبت به ERA-interim از عملکرد بهتری در برآورد بارش‌های سبک برخودار هستند، با این حال ERA-interim در برآورد تعداد روزهای بارانی از عملکرد مناسبی نسبت به دو منبع دیگر برخودار بود . طی یک پژوهشی داده‌های GPM-IMERGV05، Era-Interim، Era5 و TMPA42V7 با داده‌های زمینی که متشکل از ۲۵۶ ایستگاه زمینی بودند در کشور ترکیه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این پژوهش را می‌توان در چند بخش خلاصه نمود؛ الف)در حالت کلی منبع بارش ماهواره‌ای GPM-IMERGV07 در برآورد بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی نتایج بهتری ارائه داد،ب) تمامی منابع بارش مورد اشاره در برآورد بارش روزانه دارای بیش برآوردی بودند، ج) منبع بارش بازتحلیل Era5 با توجه به شاخص‌های آماری ضریب همبستگی و شاخص‌های جدول توافقی نتایج بهتری نسبت به منبع بارش Era-interim ارائه داد، د) و در نهایت با توجه به پژوهش حاضر منابع بارش ماهواره‌ای نسبت به منابع بارش بازتحلیل از عملکرد بهتری برخوردار هستند (Amjad *et al*., 2020). همچنین در پژوهشی که به ارزیابی منابع بارش Capa، Era-interim، Era5، JRA55، MERRA-2 و NLDAS2 در سطح حوضه رودخانه آسینیبواین پرداخته شد، نتایج نشان داد که تمامی منابع بارش در دو فصل بهار و پاییز نسبت به دو فصل تابستان و زمستان از عملکرد بهتری برخوردارند. همچنین از نظر عملکرد منبع بارش Capa بهترین و بعد از MERRA2 بود. همچنین منبع بارش Era5 هم نسبت به Era-interim از عملکرد بهتری برخودار بود. در بین منابع بارش مورد اشاره نیز JRA55 بدترین عملکرد را با میزان بایاس شدید در روزهای بارانی در این حوضه داشت (Xu *et al*., 2019).

در سطح کشور ایران نیز پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی منابع بارش انجام پذیرفته به عنوان مثال در پژوهشی، سه منبع بارش مهم، متشکل از GPM-IMERG، TMPA-3B42 و ERA-interim و داده‌های مشاهداتی بارش، در برخی اقلیم‌های ایران ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که GPM-IMERG[1] در مقایسه با دو منبع دیگر در برآورد بارش‌های سبک و حدی، در مقیاس‌های زمانی مختلف عمکلرد به مراتب بهتری دارد (Sharifi *et al*., 2016). میزان خطای داده‌های بارش ماهانه ERA-Interim در مقایسه با داده‌های بارش ماهانه ۴۵ ایستگاه همدیدی در کل کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ERA-Interim از دقت بالایی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور برخوردار است. همچنین مشخص شد که ERA-Interim بارش ایستگاه‌های ناحیه ساحلی خزر و برخی ایستگاه‌های ناحیه ساحلی خلیج فارس را کم‌تر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. در پژوهشی نه محصول مختلف ماهواره‌ای متشکل از TRMM، PERSIANN، CMORPH[2]، GSmap[3] و ERA-interim در چندین منطقه کوهستانی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد محصولات ماهواره‌ای ارتباط مستقیمی با تغییرات بارندگی دارند. همچنین این تحقیق نشان داد که عملکرد منابع بارش ماهواره‌ای که توسط ایستگاه-های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین واسنجی شده بودند منطقه به منطقه متفاوت بوده و بستگی به تعداد باران‌سنج‌ها نیز داشت (Derin *et al*., 2016). در حوضه کارون، منابع بارش متشکل از ERA-interim، APHRODITE، CHIRPS، PERSIANN، PERSIANN-CDR و TRMM-3B42 در مقیاس زمانی روزانه به صورت سلول به سلول، ارزیابی شدند. این محققین دریافتند که

1 Global Precipitation Measurement Integrated Multi-satellite Retrievals

2 CPC MORPHing technique

3 Global Satellite Mapping of Precipitation

www.SID.ir

Archive of SID

منابع بارشی APHRODITE و ERA-interim نسبت به دیگر منابع بارشی از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌توانند با تصحیح اریبی جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح حوضه باشند. همچنین منبع بارش CHIRPS بدترین عملکرد را در بین کل منابع بارشی دارد (Rahmati and Massah bavani., 2019).

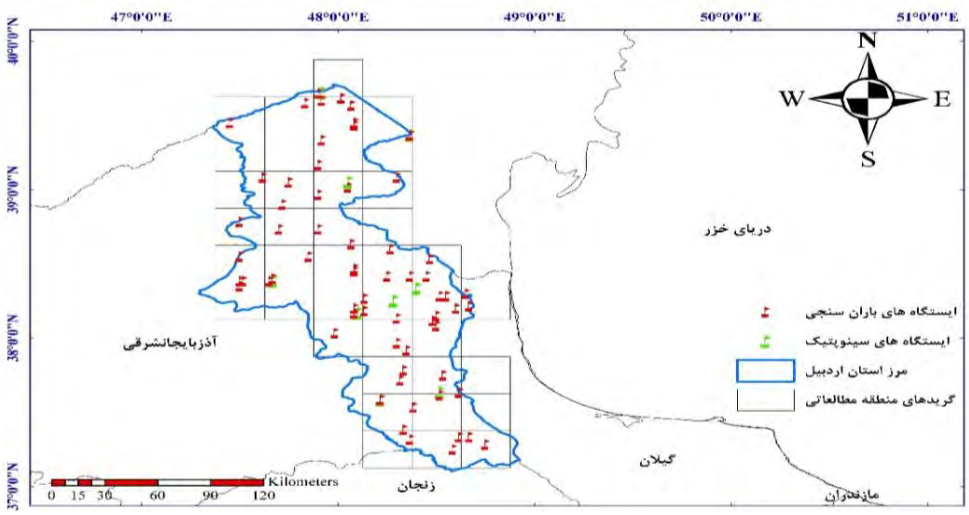
باتوجه به اهمیت اطلاعات بارش، تخمین دقیق آن، همواره به‌عنوان یک چالش اساسی در حوضه‌های فاقد آمار و مناطق با تراکم کم شبکه باران‌سنجی، مطرح بوده است. بنابراین، استفاده از اطلاعات منابع بارش بازتحلیلی یکی از راهکارهای پیش‌رو برای دستیابی به داده‌های بارش در این مناطق می‌باشد. شرایط کوهستانی استان اردبیل و عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی در بسیاری از مناطق استان از مهم‌ترین چالش‌های موجود در مطالعات منابع آبی در سطح استان اردبیل است. همچنین لازم به ذکر است که در محدوده مطالعاتی این پژوهش، بارش در یک کلاس یا طبقه‌بندی واحدی قرار نمی‌گیرد، بنابراین با توجه به این‌که ضرورت این پژوهش محدودیت زمانی و مکانی تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، سینوپتیک، کلیماتولوژی و ... است، هدف دستیابی به یک منبع جدید قابل اطمینان بارشی برای بررسی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در محدوده مطالعاتی مدنظر است.

برای این منظور، در این پژوهش منبع بارش Era5 که یکی از مهم‌ترین منابع بارش جهانی است، با استفاده از اطلاعات مشاهدات زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. این منبع بارش، جدیدترین نسخه از سری پیش‌بینی‌های مرکز ECMWF بوده که علی‌رغم استفاده وسیع جهانی، در مطالعات انجام گرفته در سطح کشور کم‌تر مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین با توجه به این که مدل‌های هیدرولوژیکی غیرتوزیعی در شبیه‌سازی رواناب، میانگین بارش حوضه را به عنوان ورودی در نظر می‌گیرند و مدل-های توزیعی و نیمه توزیعی به داده‌های سلولی نیاز دارند، لذا این مطالعه می‌تواند علاوه بر ارزیابی کارائی منبع بارش Era5، از این جهت نیز حائز اهمیت باشد. همچنین به روش k-means وقوع بارندگی هر دو منبع برای تقسیم‌بندی صحیح بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

استان اردبیل در منطقه‌ای سردسیر و در شمال غربی فلات ایران با وسعت ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع، حدود ۱ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی کوپن، دومارتون و آمبرژه استان اردبیل دارای ۴ نوع اقلیم بوده که به‌ترتیب، اقلیم نیمه‌خشک و اقلیم نیمه‌مرطوب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار وسعت را در سطح استان به خود اختصاص می‌دهند (Tavousi and Delara., 2010). استان اردبیل بخشی از فلات مثلثی شکل ایران در شرق فلات آذربایجان واقع است که حدود دوسوم آن دارای بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد بوده و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل داده است. متوسط مجموع بارندگی سالانه محاسبه‌شده از ایستگاه‌های موردمطالعه، ۳۳۴ میلی‌متر و مقدار بارندگی در مناطق شمالی استان نسبت به مناطق دیگر کم‌تر است. بیش‌ترین میزان بارش در ایستگاه سرعین ثبت شده است(۴۶۰ میلی‌متر). در شکل (۱) محدوده مطالعاتی به همراه توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی و شبکه‌بندی سلول‌های محاسباتی آورده شده است.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه به همراه محدوده و سلول‌های شبکه‌بندی‌شده

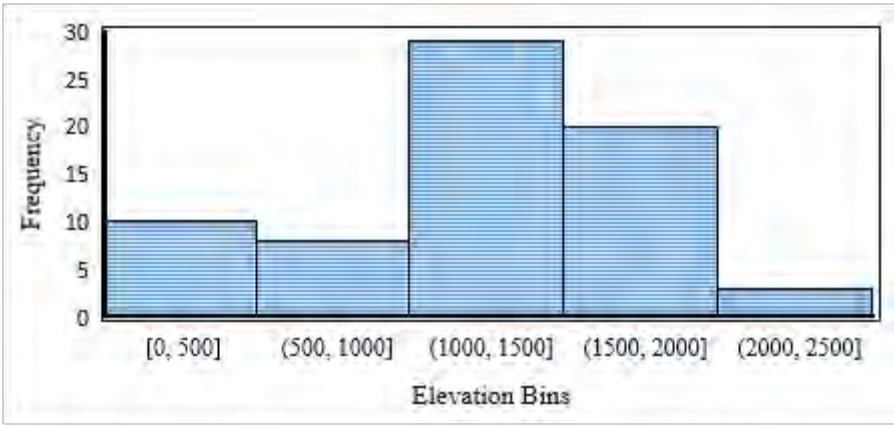
www.SID.ir

Archive of SID

برای ارزیابی محصول بارشی جدید (Era5) مرکز پیش-بینی‌های میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) از داده‌های مشاهداتی که از شبکه‌بندی آمار ۷۰ ایستگاه باران‌سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک موجود در سطح استان اردبیل به‌دست آمده است، استفاده شد. دوره آماری مورد استفاده در پژوهش حاضر ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ بوده که دلیل انتخاب این دوره آماری استفاده از حداکثر ایستگاه‌های زمینی می‌باشد (بهترین دوره آماری که در تمامی ایستگاه‌های زمینی داده بارش ثبت شده است).

پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی

پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی برای نشان دادن فراوانی توزیع مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی در ارتفاع‌های مختلف ارائه شده است (شکل۲). در ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تعداد ایستگاه‌های زمینی برای اندازه‌گیری بارش کم بوده و در این مناطق که با توجه به توپوگرافی استان اردبیل، سطح وسیعی از مناطق را پوشش می‌دهند، برای دستیابی به مقدار بارش ناگزیر به استفاده از منابع بارش جهانی می‌باشیم.



شکل ۲- نمودار هیستوگرام مربوط به توزیع مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در سطح استان اردبیل

روش درون‌یابی

مدل‌های بارندگی، مقدار بارندگی را در واحد سطح (مثلا شبکه-های ۲۵ کیلومتر در ۲۵ کیلومتری) ارائه می‌نمایند. ممکن است در هر واحد سطح تعریف شده، یک تا چند ایستگاه زمینی وجود داشته باشند که بارندگی‌های ثبت شده در آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. بنابرین، ابتدا ضروری است که برآورد یا میانگینی از ایستگاه‌های موجود در هر واحد، محاسبه شده و سپس آن مقدار، با بارندگی تخمین زده شده مقایسه شود. این یکی از ملزومات مقایسه مدل‌های تخمین بارندگی Grid-based با آمار مشاهداتی نقطه‌ای زمینی است که در این تحقیق علی‌رغم وجود روش‌های مختلف درون‌یابی از روشی که Sorooshian و همکاران (2001)، Habib و همکاران (2009) و همچنین Rahmati and Massah bavani, (2019) استفاده کردند، استفاده شده است. تخمین بارندگی در هر شبکه از طریق میان‌یابی انجام می‌شود. برای این منظور، ابتدا منطقه مورد مطالعه شبکه‌بندی شده و میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در هر سلول، به عنوان میانگین بارش آن سلول در نظر گرفته می‌شود. عملکرد هر کدام از روش‌های درون‌یابی بسته به نوع پدیده مورد نظر و تراکم نقاط موجود می-تواند متفاوت باشد. بررسی‌های صورت گرفته توسط محققین مختلف در زمینه ارزیابی کارائی روش‌های مختلف درون‌یابی برای تهیه نقشه رستری (شبکه‌بندی شده) بارش حاکی از آن است که این روش علی‌رغم دارا بودن ساختار ساده آن، از عملکرد قابل قبولی برخوردار می‌باشد (Ly *et al*., 2011;Driks *et al*., 1998 ; Azizian *et al*., 2019;Hsieh *et al*., 2006).

منبع بارش Era5

از منابع مهم برآورد بارش می‌توان به داده‌های باز تحلیل شده و یا تحلیل مجدد Era5 پایگاه اطلاعاتی ECMWF اشاره کرد. پایگاه اطلاعاتی ECMWF یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده باز تحلیل در جهان می‌باشد که مورد توجه بسیاری از محققین قرار دارد (Dee *et al*., 2011). طبق تحقیقات انجام شده، میزان خطای این منبع اطلاعاتی در مقایسه با داده‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل چشم پوشی است. به‌همین علت می‌توان از آن‌ها در کنار داده‌های زمینی و حتی به‌عنوان جایگزینی برای داده‌های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده نمود . داده‌های باز تحلیل شده از ترکیب نتایج شبیه‌سازی‌های کوتاه مدت مدل-های شبیه‌سازی عددی وضع هوا، با داده‌های مشاهداتی زمینی به‌دست می‌آیند. شبیه‌سازی مدل عددی که حدس اولیه نامیده می‌شود بر اساس داده‌های ورودی مدل و رابط ریاضی تعریف شده برای مدل به‌دست می‌آید (Balsamo *et al*., 2015; Dee *et al*., 2011). از آنجایی که شبیه‌سازی مدل‌های عددی مذکور همواره

www.SID.ir

Archive of SID

با عدم قطعیت‌هایی همراه است، این شبیه‌سازی اولیه با داده‌های مشاهده‌ای کنترل می‌شوند. به‌عبارت دیگر، با این‌کار مدل بهینه شده تا شبیه‌سازی‌های آن خطای کم‌تری داشته باشند. داده‌های پایگاه اطلاعاتی ECMWF بطور کاربردی از سال ۱۹۷۹ با پوشش سراسری از ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی، تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵، ۰/۲۵×۰/۲۵ و ۰/۴×۰/۴ تا ۳ درجه و در مقیاس زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه در دسترس می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های روزانه و با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه منبع بارش Era5 استفاده شده است.

شاخص‌های آماری مورد استفاده جهت اعتبارسنجی منبع بارش

برای ارزیابی و اعتبارسنجی منابع بارش از دو گروه شاخص استفاده شده است. شاخص‌های گروه اول متشکل از RMSE[1]، Bias و CC بوده و شاخص‌های گروه دوم که به شاخص‌های جدول توافقی معروف هستند، بسیاری از پدیده‌های آب‌وهوایی را می‌توان در حکم پیشامدهای دودویی ساده در نظر گرفت و هشدار در مورد این پیشامدها اغلب به صورت گزارش‌هایی کامل که این پدیده‌ها رخ می‌دهند یا نمی‌دهند صادر می‌شود. این نوع از پیش-بینی‌ها گاهی اوقات با عنوان پیش‌بینی‌های بله/خیر شناخته می-شوند (Taghavi *et al*, 2012). پیشامدهای دودویی برای محاسبه شاخص‌های آماری جدول توافقی بارش کاربرد دارد.

این شاخص‌ها متشکل از POFD[2]، POD، FAR و CSI می-باشند که روابط مربوط به محاسبه هر کدام ارئه شده است (جدول ۱). از بین شاخص‌های جدول (۱) شاخص‌های دسته اول بر اساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شوند، در حالی که شاخص-های دسته دوم بر اساس رخداد و عدم رخداد بارش تعیین می‌شوند. در این روابط، O_i: مقادیر مشاهداتی، S_i: مقادیر شبیه‌سازی، n: تعداد داده‌ها، $\bar{O}$: میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{S}$: میانگین مقادیر شبیه‌سازی توسط منبع داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد.

جدول ۱- شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

No	Measure	Equation
۱	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}$
۲	Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 \sum_{i-1}^{n}(S_i - \bar{S})^2}}$
۳	Bias	$Bias = \frac{\sum_{1}^{n}(S_i - O_i)}{\sum_{1}^{n} S_i}$
۴	Probability of False Detection	$POFD = \frac{FalseAlarm}{CorrectNegative + FalseAlarm}$
۵	Probability of Detection	$POD = \frac{Hit}{Hit + Miss}$
۶	False Alarm Ratio	$FAR = \frac{False\,Alarm}{Hit + False\,Alarm}$
۷	Critical Success Index	$CSI = \frac{Hit}{Hit + Miss + False\,Alarm}$

در ارتباط با شاخص‌های جدول توافقی نیز می‌توان به جدول (۲) اشاره کرد که بر اساس آن میزان Hit، Miss، Correct Negative و False Alarm تعیین شده و شاخص‌های مربوطه محاسبه می‌گردد. شاخص‌های جدول توافقی نشان دهنده میزان توانایی تخمین‌های منبع بارش در تشخیص وقوع و یا عدم وقوع بارش است. شاخص POD نشان‌دهنده نسبت شناسایی صحیح بارش منبع بارش به تعداد کل رخدادهای بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های زمینی است. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ بوده و هر چه میزان شاخص مذبور به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارش در پیش‌بینی وقوع بارندگی بهتر است (Stanski *et al*., 1989). شاخص CSI نشان‌دهنده این است که چه کسری از مقادیر وقوع بارش به درستی پیش‌بینی شده است. به عبارت دیگر اگر بارشی اتفاق افتاده است، توانایی منبع بارش ماهواره‌ای در برآورد این وقوع بارش چه اندازه می‌باشد. محدوده عددی این شاخص نیز بین صفر تا ۱ است و هر چه میزان شاخص CSI به ۱ نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارش موردنظر بهتر خواهد بود(Stanski *et al*., 1989). در توضیح شاخص POFD می‌توان گفت که بارشی رخ نداده است ولی به اشتباه میزان بارشی توسط منبع بارش ثبت شده است که این مورد توسط POFD بیان می‌شود مقادیر این شاخص نیز از ۰ تا ۱ بوده و هرچه قدر

1 Root Mean Square Error

2 Probability Of False Detection

www.SID.ir

Archive of SID

میزان این شاخص کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر منبع بارش مورد نظر است (Stanski *et al.*, 1989).

شاخص FAR نسبت مواقعی که بارندگی رخ داده است ولی مدل یا منبع بارش عدم وقوع بارندگی را پیش‌بینی نموده است، تعیین می‌کند. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ است و هر چه میزان شاخص FAR به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارش بهتر خواهد بود(Stanski *et al.*, 1989).

جدول ۲- جدول توافقی بارش

		Observation		
		YES	NO	
Forecast	YES	Hit	False alarms	Forecast Yes
	NO	Miss	Correct negative	Forecast No
Total	-	Total	Total	Total

خوشه‌بندی منابع بارش

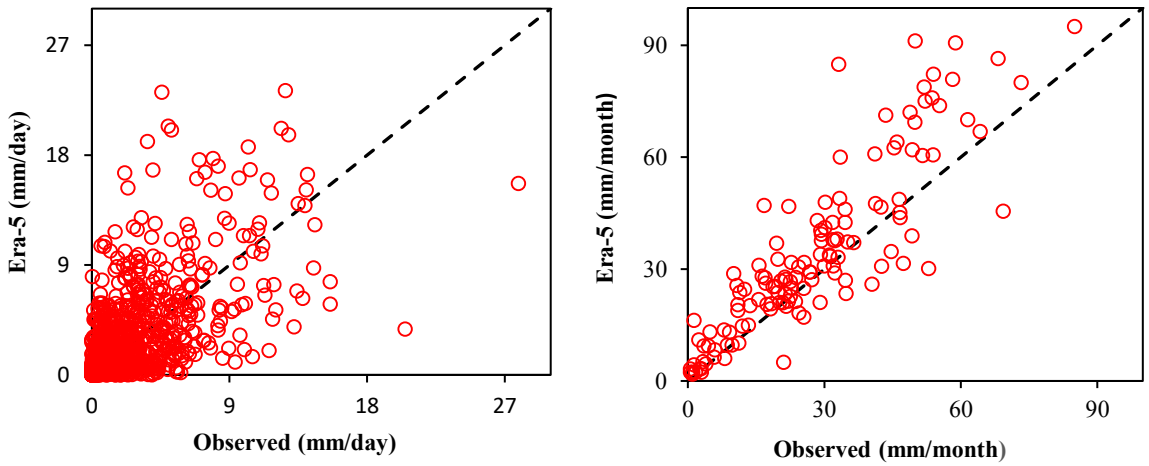
خوشه‌بندی اطلاعات هر دو منبع از روش موسوم به وارد[1]برای ایجاد خوشه‌های همگن از اعداد مختلف انجام شد، و برای بررسی دقت خوشه‌ها از روش k-means استفاده شد. روش k-means سعی می‌کند تا گروه‌های همگنی از اجزای موجود بر اساس یک ویژگی یکسان، به گونه‌ای دسته‌بندی کند که مربعات خطای درون گروهی در حالت کمینه باشد (Khosravi *et al.*, 2015). همچنین برای آزمون صحت نتایج مربوط به خوشه‌بندی از مدل ویلکز لامبدا[2] استفاده شد. با توجه به این که ضریب ویلکز لامبدا نشان دهنده نسبت مجموع مجذورات درون گروهی به مجذورات کل است، تفسیر آن عکس ضریب همبستگی است. مقدار این ضریب بین عدد صفر و یک در نوسان است. مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده تفاوت میانگین دو گروه بوده و برعکس، مقادیر نزدیک به یک به برابری دو میانگین دلالت دارد (Khorshiddoust and Shirzad., 2014).

نتایج و بحث

ارزیابی آماری منبع بارش Era5 در برآورد بارش "میانگین منطقه مطالعاتی"

نمودار پراکنش اطلاعات

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان تطابق منبع بارش Era5 با بارش مشاهداتی منطقه مطالعاتی، نمودار پراکنش اطلاعات میانگین بارش سلول‌های مورد مطالعه در سطح استان اردبیل در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه، به صورت مجزا در بازه آماری بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ ترسیم شده است.



شکل ۳- عملکرد منبع بارشی Era5 در تخمین بارش میانگین روزانه و ماهانه کل ایستگاه‌های مطالعاتی در سطح استان اردبیل

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های آماری مربوط به این منبع بارش Era5، نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول منبع بارش Era5 نسبت به داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است طبق محاسبات صورت گرفته مقدار شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه نشان‌دهنده همبستگی بالای داده‌های بدست آمده از منبع بارش Era5 و داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین با توجه به مقادیر شاخص RMSE که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهداتی و منبع Era5 است، منبع بارش Era5 دارای عملکرد قابل قبولی بوده و خطای منبع بارشی در تخمین مقدار میانگین بارش برآوردی بسیار اندک است. از نظر شاخص Bias نیز که بیانگر بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مقدار بارش بوده و

1 - Ward
2 - Wilks Lambda

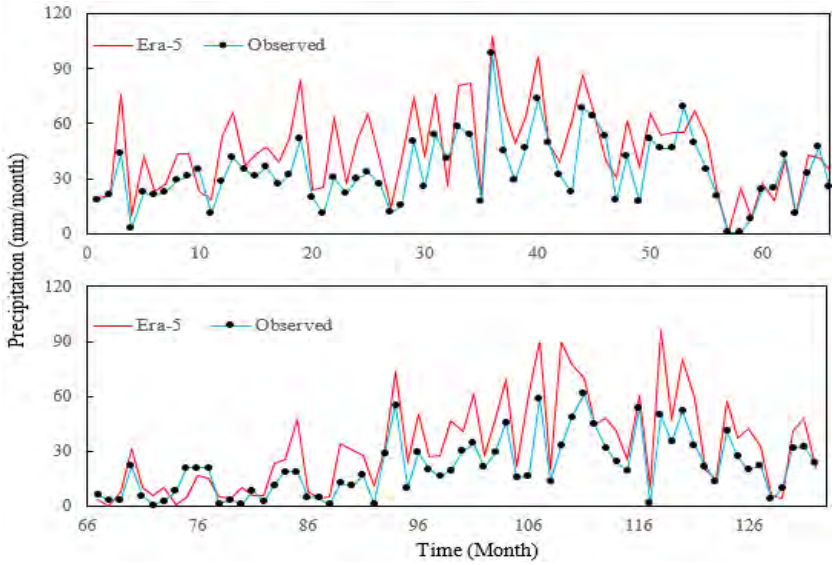
www.SID.ir

Archive of SID

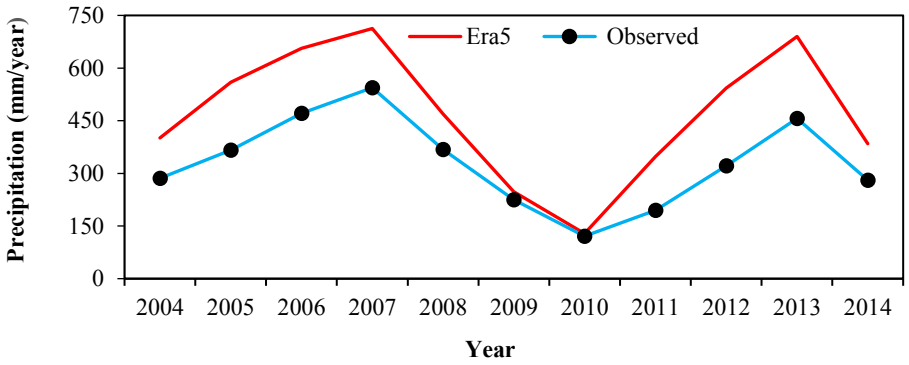
هرچقدر مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد عملکرد منبع بارش قابل قبول‌تر است، عملکرد مدل در هر دو مقیاس زمانی مورد بررسی مناسب ارزیابی شده و منبع بارش توانسته است به خوبی مقدار بارش میانگین منطقه مطالعاتی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه را در کل سلول‌های موجود در محدوده مطالعاتی برآورد نماید.

سری زمانی بارش

در شکل‌های (۴) و (۵) به‌ترتیب سری زمانی بارش میانگین ماهانه و سالانه سلول‌های موجود در محدوده مطالعاتی در مقابل سری زمانی بارش میانگین برآوردی منبع بارش Era5 در طول دوره آماری مورد بررسی ترسیم شده است (در شکل (۴) به‌علت تعداد زیاد ماه‌ها، برای مشاهده بهتر سری زمانی ماه‌های مورد بررسی در دو نمودار آورده شده است). با توجه به نتایج به‌دست آمده منبع بارش Era5 روند تغییرات بارش میانگین سلول‌های محدوده مطالعاتی را دو هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به‌خوبی برآورد نموده، به‌طوری که در تعدادی زیادی از ماه‌های دوره آماری مورد بررسی، سری زمانی منبع Era5 منطبق بر سری زمانی بارش مشاهداتی بدست آمده از سلول‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین بررسی بیش‌تر سری زمانی بارش‌ها نشان داد که منبع بارش Era5 در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی، مقدار بارش را بیش‌تر از مقدار واقعی آن تخمین زده است. با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که در مقیاس زمانی سالانه منبع بارش Era5 در سال‌هایی که میزان بارش بیش‌تر بوده بارش را بیش‌تر از مقدار مشاهداتی برآورد نموده است به عنوان مثال در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ میزان بیش‌برآوردی بالای ۱۰۰ میلی‌متر بوده که این خطای زیاد به دلیل خطای ناشی از میانگین‌گیری از ایستگاه‌های زمینی موجود در منطقه مطالعاتی است، با این حال Era5 روند تغییرات میزان بارش را در کل منطقه به خوبی برآورد کرده است.



شکل ۴- سری زمانی بارش میانگین ایستگاه‌های زمینی و منبع بارش Era5 در مقیاس زمانی ماهانه



شکل ۵- سری زمانی بارش میانگین ایستگاه‌های زمینی و منبع بارش Era5 در مقیاس زمانی سالانه

توزیع مکانی شاخص‌های آماری

داده‌های منابع بارش شبکه‌بندی شده جهانی از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و امروزه با اطمینان در مورد صحیح بودن اطلاعات منبع بارش خاص، نمی‌توان اظهارنظر کرد. بنابراین

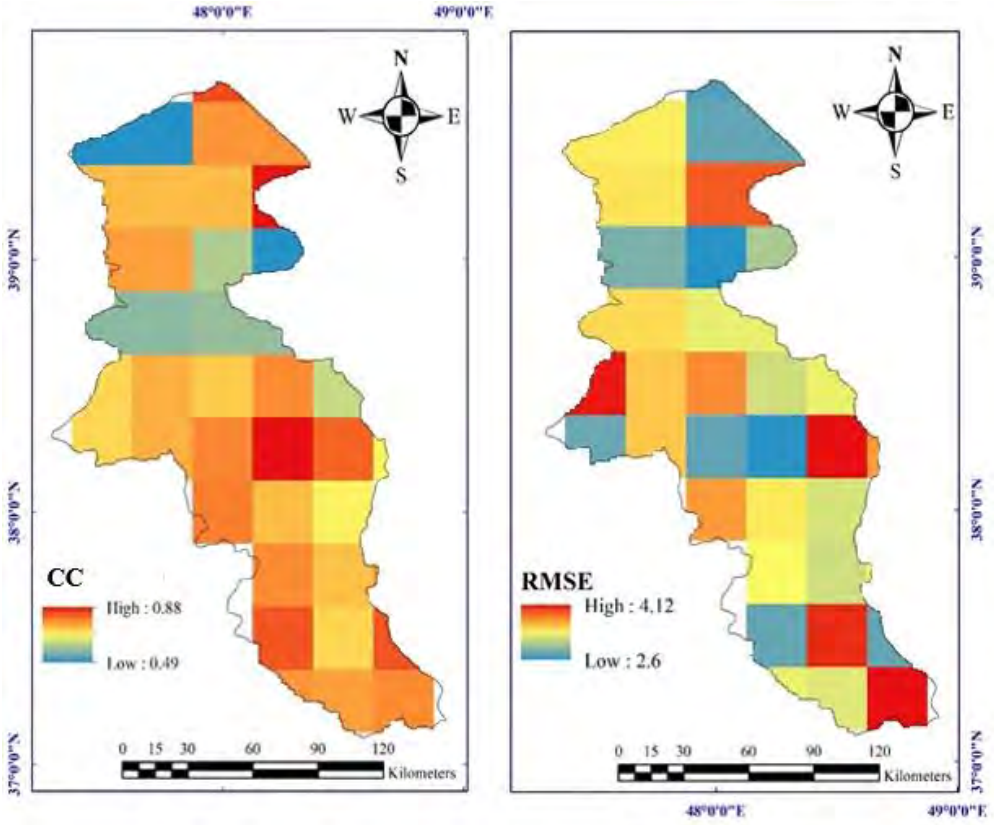
www.SID.ir

Archive of SID

در چنین شرایطی بررسی و تحلیل مکانی داده‌های بدست آمده از منابع مختلف، یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص دقت هر کدام از این منابع می‌باشد. برای این منظور در شکل‌های (۶) و (۷) توزیع مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE به‌ترتیب در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برای ارزیابی کارائی منبع بارش Era5 در سطح کل سلول‌های محدوده مطالعاتی ارائه شده است.

مقیاس زمانی روزانه

بررسی شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه برای کل سلول‌های محاسباتی در سطح استان اردبیل نشان داد که نتایج به‌دست آمده از منبع بارشی Era5 از همبستگی قابل توجهی با اطلاعات مشاهده‌ای زمینی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که منبع بارش Era5 در منطقه مطالعاتی از دقت مناسب و قابل قبولی برخوردار بوده به طوری که میزان ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و این منبع در اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۰/۶ تا ۰/۸۸ متغیر بود (شکل ۶). بیش‌ترین میزان ضریب همبستگی در حرکت از سمت مرکز به سمت جنوب استان مشاهده می‌شود و به جز چند سلول واقع در قسمت شمالی استان، در سایر سلول‌های مطالعاتی مقدار ضریب همبستگی مناسب و قابل قبول بوده که اکثراً بیش‌تر از ۰/۷ می‌باشند. یکی از دلایل همبستگی بالای منبع بارش Era5 و سلول‌های مشاهداتی در مناطق جنوبی را می‌توان تراکم بالای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در این مناطق عنوان نمود که روند تغییرات بارش قابل بررسی بوده در حالی که در مناطق مرکزی و شمال غرب استان به دلیل تراکم نامناسب ایستگاهای زمینی میزان بارش را به شکل قابل قبولی نمی‌توان بررسی نمود. شاخص آماری دیگری که مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص RMSE می‌باشد. این شاخص در واقع میزان خطای برآوردی منبع بارش Era5 را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، می‌توان گفت که در مقیاس زمانی روزانه میزان خطای RMSE برای منبع بارش Era5 برای اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۳ تا ۴ میلی‌متر متغیر است. بررسی نتایج مربوط به محدوده مطالعاتی در مقیاس زمانی روزانه نشان‌دهنده عملکرد مناسب و قابل قبول منبع بارش Era5 در اکثر سلول‌های مطالعاتی بوده و منبع بارش توانسته است به‌خوبی مقدار بارش سلول‌ها را تخمین بزند.



شکل ۶- تغییرات مکانی شاخص‌های CC و RMSE منبع بارش Era5 در سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس روزانه)

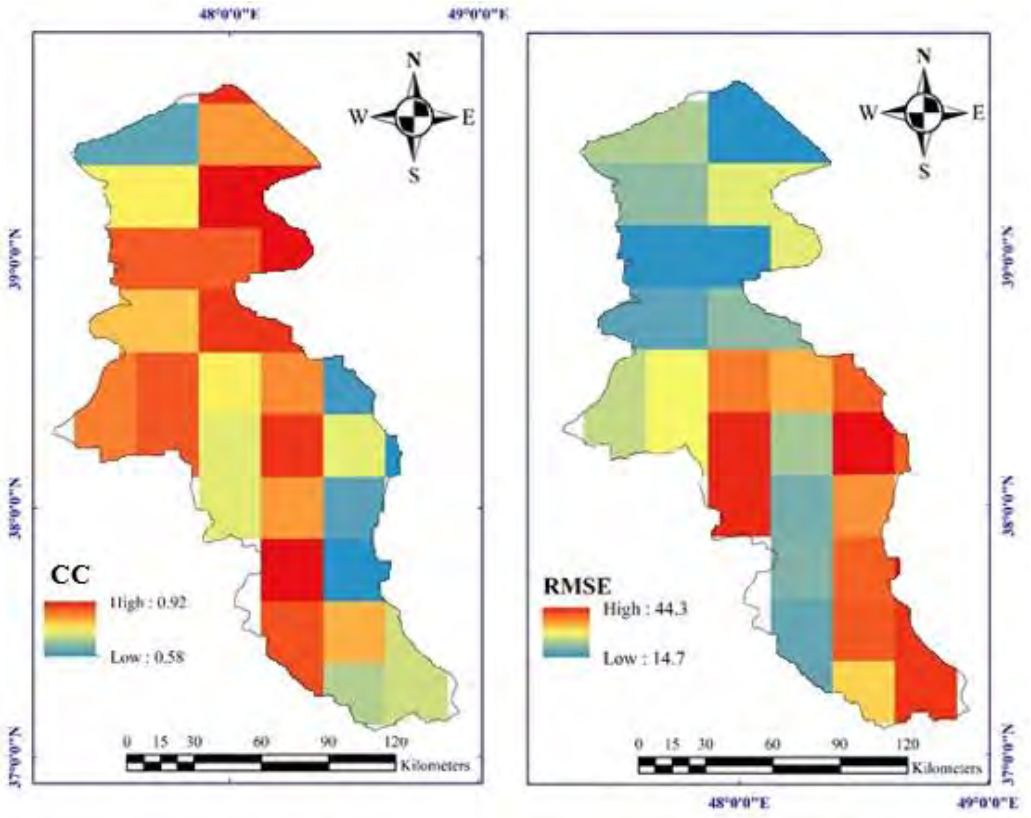
مقیاس زمانی ماهانه

در مقیاس زمانی ماهانه میزان شاخص ضریب همبستگی نسبت به مقیاس زمانی روزانه در اکثر سلول‌های مطالعاتی (به‌جزء چند ایستگاه واقع در قسمت جنوب شرقی استان) افزایش پیدا کرده و

www.SID.ir

Archive of SID

در اکثر سلول‌ها مقدار شاخص بیش‌تر از ۰/۷۵ می‌باشد (شکل ۷). می‌توان گفت که میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و منبع بارش در مقیاس زمانی ماهانه زیاد بوده و منبع بارش توانسته است به خوبی روند تغییرات بارش را در سلول‌های مطالعاتی برآورد نماید. به‌صورت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era5 توانسته روند تغییرات بارش را در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه به خوبی برآورد کرده و عملکرد مناسبی از خود نشان داده است. نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد که بیش‌ترین میزان این شاخص، مربوط به سلول‌های واقع در جنوب شرقی استان بوده که در محدوده ۳۰ تا ۴۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد و نشان‌دهنده خطای بیش‌تر منبع بارش در این سلول‌ها است (شکل ۷). بررسی نتایج نشان داد که در سایر مناطق استان، میزان شاخص RMSE نسبت به سلول‌های جنوب شرقی کم‌تر بوده و در بیش‌تر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۱۴ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر بوده و عملکرد منبع بارش Era5 قابل قبول می‌باشد. با استفاده از نتایج بدست آمده، می‌توان چنین استنباط نمود که این منبع بارش از کفایت مناسبی برای تخمین مقدار بارش برخوردار می‌باشد. همچنین روند کلی تغییرات نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه، تقریبا مشابه مقیاس زمانی روزانه است. بنابراین، یکی از دلایل افزایش خطای منبع بارش Era5 در مناطق جنوب شرقی در مقیاس ماهانه به دلیل وقوع بارش‌های فرین در سلول‌های واقع در این مناطق بوده و این خطا، نمی‌تواند نشان دهنده ارتباط ضعیف بین بارش مشاهداتی و بارش پیش‌بینی شده توسط منبع بارش Era5 باشد. در واقع می‌توان چنین استنباط نمود که منبع بارش Era5 در مناطق دارای بارش‌های فرین، دارای کم‌برآوردی بوده و این امر باعث بروز خطای منبع بارشی در برآورد مقدار بارش شود. متعاقب آن مقدار بارش برآوردی در سلول‌های مورد بررسی واقع در این مناطق، با افزایش مقدار شاخص RMSE مواجه خواهد شد. با توجه به نتایج شاخص CC و RMSE، منبع بارش Era5 از عملکرد مناسبی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برخوردار بوده و در اکثر سلول‌های مورد بررسی در سطح استان اردبیل از کارایی مناسبی برخودار است. در نهایت با اعمال روش‌های تصحیح اریبی می‌توان خطای ناشی از برآورد بارش در تعدادی از سلول‌های مورد بررسی را کاهش داده و این منبع بارش را به‌عنوان جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی استفاده نمود.



شکل ۷- تغییرات مکانی شاخص‌های CC و RMSE منبع بارش Era5 دز سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس ماهانه)

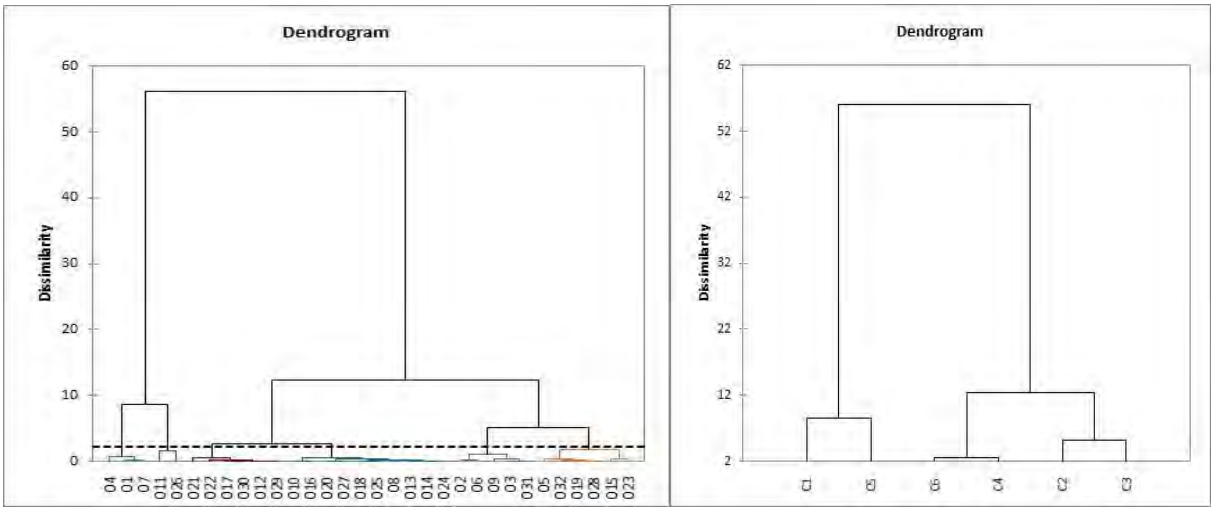
خوشه‌بندی بارندگی مشاهده‌ای و منبع بارش Era5

تحلیل خوشه‌ای به روش وارد بر رو نتایج مربوطه به بارندگی هر دو منبع به صورت جداگانه انجام شد. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و منبع بارش Era5، مشخص شد که این اطلاعات در بهتر است که در ۶ طبقه کلاس‌بندی شود. نمودار درختی (دندروگرام) حاصل از تحلیل خوشه‌ای در شکل‌های (۸) و

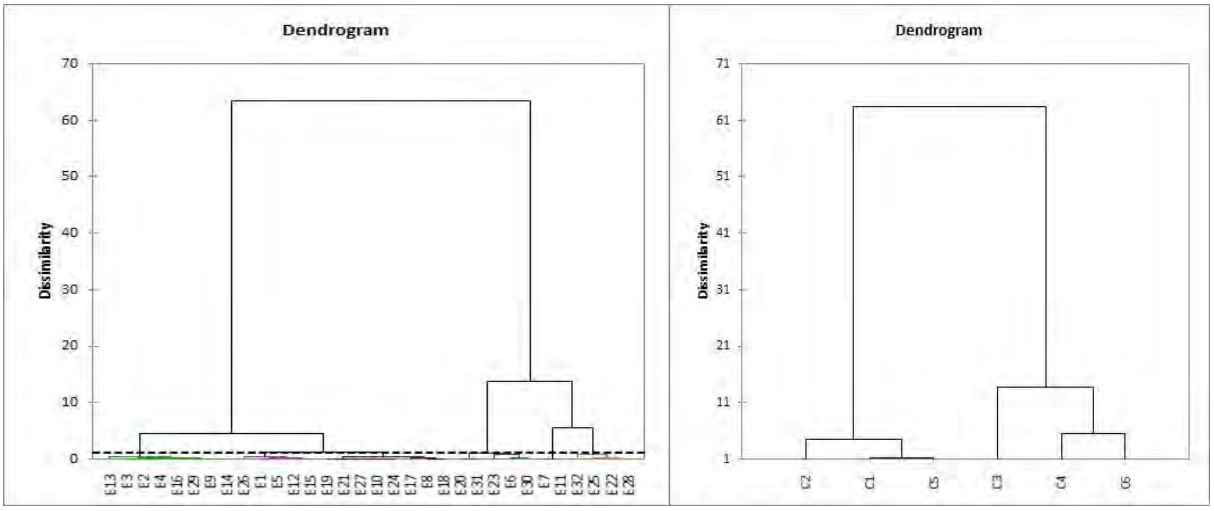
www.SID.ir

Archive of SID

(۹) نشان داده شده است.



شکل ۸- درخت خوشه بندی بارش ایستگاه‌های مشاهداتی



شکل ۹- درخت خوشه بندی بارش منبع Era5

با استفاده از آزمون k-means قرارگیری اعداد در طبقه‌های مختلف بررسی شد. با توجه به اینکه هدف این آزمون کاهش خطای بین اعداد هر طبقه و افزایش اختلاف میانگین طبقات است، این شرایط در وضعیتی که مقادیر بارش ایستگاه‌ها به شش طبقه تقسیم شود حاصل شد. بر این اساس از کل خطای موجود برای ایستگاه‌ها، خطای درون خوشه ۵/۹ درصد و بین خوشه‌ای ۹۴/۱ درصد و برای منبع بارش Era5 خطای درون خوشه ۵/۵ درصد و بین خوشه‌ای ۹۴/۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). علاوه بر این با توجه به اینکه ضریب ویلکز لامبدا به صفر نزدیک است، بنابراین تفکیک گروه‌ها به درستی انجام شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس و مدل ویلکز لامبدا

منبع بارندگی	نتیجه تجزیه واریانس طبقه‌بندی بهینه		نتایج مدل ویلکز لامبدا	
	منبع تغییرات	درصد تغییرات خطا	تکرار	ضریب ویلکز لامبدا
ایستگاه‌های مشاهده‌ای	درون خوشه	۵/۹	۰	۰/۶۶۹
	بین خوشه‌ها	۹۴/۱	۱	۰/۰۷۲
	کل اعداد	۱۰۰	۲	۰/۰۱۲
Era5	درون خوشه	۵/۵	۰	۰/۷۰۳
	بین خوشه‌ها	۹۴/۵	۱	۰/۱۲۶
	کل اعداد	۱۰۰	۲	۰/۰۳

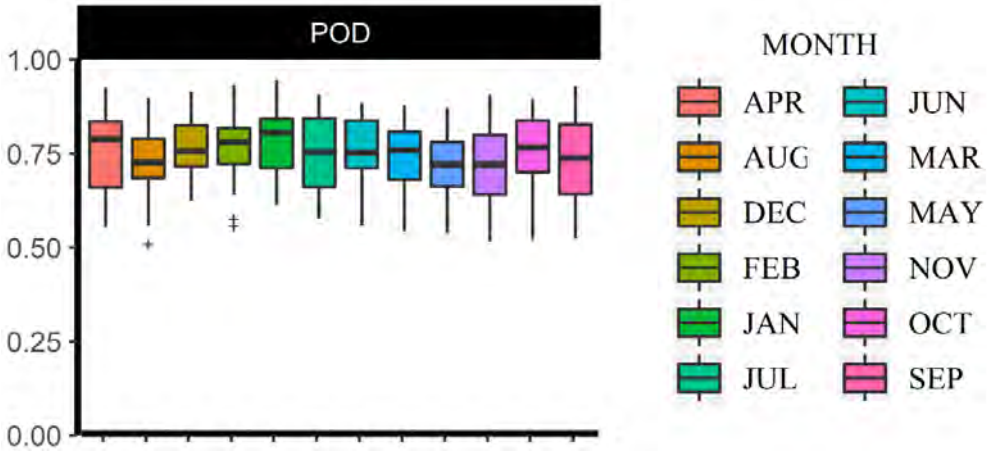
www.SID.ir

Archive of SID

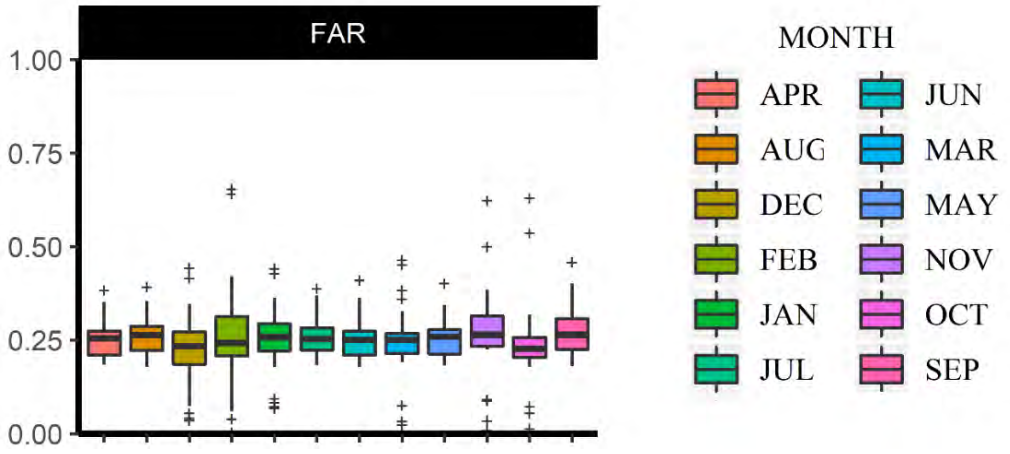
اعتبارسنجی منبع بارش Era5 بر اساس شاخص‌های جدول توافقی

با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد شاخص‌های جدول توافقی در فصل سوم، در این پژوهش از مقادیر روزانه شاخص‌های POFD، POD، FAR و CSI در ماه‌های مختلف برای کل سلول-های منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ جهت اعتبارسنجی داده‌های روزانه بارش، منبع بارش Era5 استفاده شده است، که در ادامه به بررسی یک به یک این شاخص‌ها، بر اساس نمودارهای رسم شده برای منبع بارش مورد استفاده در پژوهش پرداخته می‌شود.

میزان شاخص POD که احتمال تشخیص درست وقوع بارندگی را نشان می‌دهد، مقدار عددی بین صفر و یک دارد و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارشی در تشخیص وقوع بارندگی بهتر است. همانطور که در شکل شماره (۱۰) قابل مشاهده است، میزان شاخص POD، در اکثر ماه‌های سال در محدوده ۰/۷ تا ۰/۸۵ متغیر بوده که نشان از عملکرد مناسب منبع بارش Era5 در این ماه‌ها است. با توجه به پراکنش شاخص POD در ماه‌های آوریل، جولای و نوامبر، علیرغم پایین بودن مقدار شاخص POD نسبت به سایر ماه‌ها، در این ماه‌ها نیز عملکردهای مناسب ثبت شده است (بیش‌تر از ۰/۷۵) ولی وجود خطا در بعضی از سلول‌ها باعث پایین آمدن میانگین عمکرد منبع بارش Era5 در این ماه‌ها شده است.



شکل ۱۰- جعبه‌ای شاخص POD جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴



شکل ۱۱- نمودار جعبه‌ای شاخص FAR جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

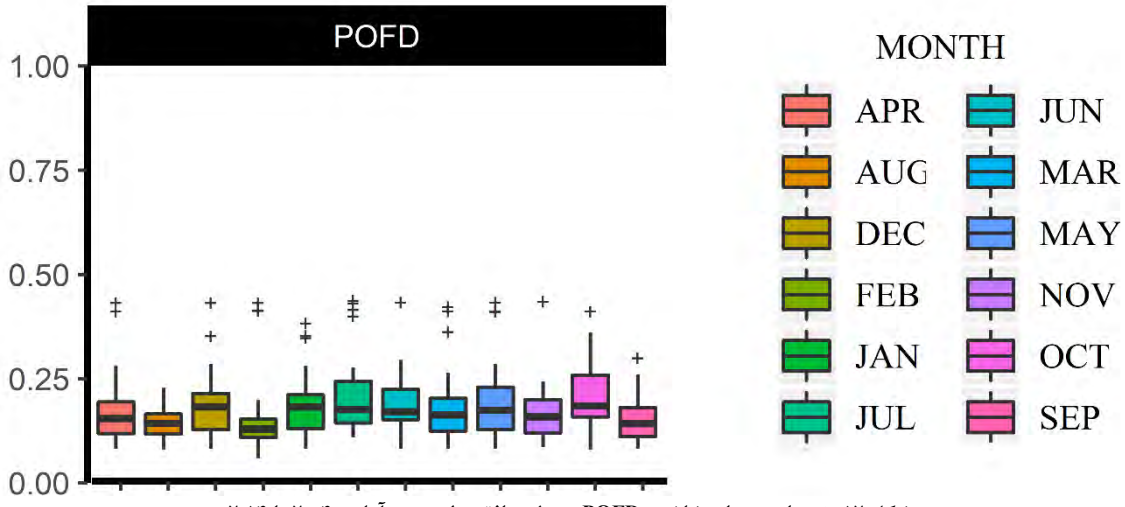
شاخص FAR بیانگر حالت‌هایی است که در آن داده بدست آمده از منبع بارشی وقوع بارش را نشان داده اما در داده‌های مشاهداتی بارشی ثبت نشده است. میزان این شاخص همواره دارای مقدار عددی بین صفر و یک می‌باشد و دارای جهت‌گیری منفی می‌باشد. بدین صورت که مقادیر کوچکتر آن، برآورد بهتری را نشان می‌دهد. بنابراین هرچه میزان این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، یعنی منبع بارشی عملکرد بهتری در عدم ثبت گزارش‌های اشتباه خواهد داشت. بر اساس نمودار جعبه‌ای مقادیر بدست آمده

www.SID.ir

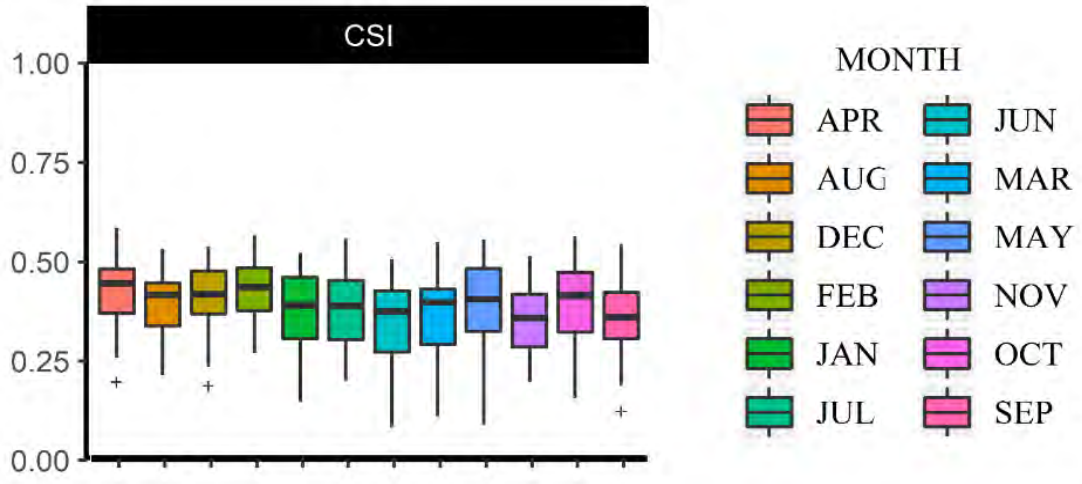
Archive of SID

از رابطه FAR برای منبع بارش Era5 که در شکل (۱۱) قابل مشاهده است، در همه ماه‌های سال (به‌جزء ماه نوامبر و سپتامبر) عملکرد مدل بسیار مناسب و قابل قبول بوده است. منبع بارش تعداد روزهای بسیار کمی را با خطا برآورد کرده و نتایج حاکی از دقت بالای منبع بارش Era5 در تخمین روزهای بارشی می‌باشد. ثبت گزارش‌های اشتباه فراوان از وقوع بارندگی در ماه‌های نوامبر و سپتامبر می‌تواند به این دلیل باشد که منبع بارشی Era5 در مواقعی توانسته است بارش را به درستی تشخیص دهد، ولی به دلیل حجم کم بارش و تلفات در طی مسیر، بارش در سطح زمین مشاهده و ثبت نگردد که می‌تواند دلیلی بر ثبت گزارش اشتباه از سوی منبع بارشی باشد.

بررسی مقادیر شاخص POFD که بیانگر خطای منبع بارش در تشخیص نادرست وقوع بارش می‌باشد، (به‌عبارت دیگر بارشی اتفاق نیفتاده باشد و منبع Era5 بارش ثبت کند) نشان دهنده این است که در همه ماه‌های سال عملکرد منبع بارش Era5 قابل قبول و بسیار مناسب بوده و مقدار شاخص POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲۵ متغیر می‌باشد که نشان از خطای بسیار پایین منبع بارش Era5 در تشخیص صحیح وقوع بارش است (شکل۱۲).



شکل ۱۲- نمودار جعبه‌ای شاخص POFD جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴



شکل ۱۳- نمودار جعبه‌ای شاخص CSI جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

میزان این شاخص که بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط منبع بارشی به درستی تشخیص داده شده است، مقدار عددی بین صفر و یک دارد و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارشی در تشخیص وقوع بارندگی بهتر است. با توجه به نتایج به‌دست آمده که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است، پراکنش شاخص CSI در ماه‌های تر نسبت به ماه‌های خشک سال قابل قبول و مناسب‌تر بوده است ولی در ماه‌های خشک عملکرد منبع بارش از نظر این شاخص ضعیف بوده و به جزء ماه آوریل در سایر ماه‌ها از ۰/۴ نیز مقادیر شاخص CSI کم‌تر است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تخمین مقدار بارندگی با استفاده از محصول بارش Era5 در مقیاس روزانه و ماهانه ارزیابی شد. یکی از محدودیت‌هایی که در زمینه ارزیابی منابع بارش جهانی همچون منابع بارش ماهواره‌ای و بازتحلیل وجود دارد در مقیاس روزانه بین ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی و شبیه‌سازی‌های Era5تفاوت ساعت وجود دارد بنابراین به طور کاملا دقیق نمی‌توان آن‌ها را باهم مقایسه کرد. در این پژوهش ارزیابی‌ها به دو صورت و با استفاده از شاخص‌های ضریب همبستگی، RMSE و شاخص‌های جدول توافقی در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که محصول بارشی Era5 با توجه به مقدار شاخص RMSE و ضریب همبستگی برای این محصول بارش در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه، همخوانی قابل توجهی با داده‌های مشاهداتی داشته است. همچنین شاخص‌های جدول توافقی (دو شاخص POFD و POD به‌ترتیب زیر ۰/۲ و بالای ۰/۷ در اکثر سلول‌ها ثبت شده بود) نیز نشان داد که محصول بارش Era5 در مقیاس روزانه، در برآورد روزهای بارانی و همچنین روزهای بدون باران، از عملکرد و دقت مناسبی برخودار می‌باشد. پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی محصولات مختلف بارش در سطح ایران و بین‌المللی انجام پذیرفته است، با این حال به دلیل ارائه محصول بارشی Era5 در ماه‌های اخیر نمی‌توان به پژوهش‌هایی اشاره کرد که از این محصول استفاده کرده‌اند. با این وجود نسخه قبلی این منبع بارش یعنی Era-Interim در پژوهش‌های مختلف در سطح کشور مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفته است. به عنوان مثال پژوهشی که در سطح حوضه کارون انجام پذیرفته بود حاکی از برتری منبع بارش ERA-interim نسبت به منابع بارش دیگر داشت (Rahmati and Massah bavani., 2019). همچنین در پژوهش دیگری که در سطح حوضه سفیدرود انجام پذیرفت، منبع بارش ERA-interim نسبت به منابع بارش TRMM، PERSIANN-CDR و PERSIANN از عملکرد بهتری در سطح حوضه برخوردار بود (Azizian *et al*., 2019؛ Azizian and Ramezani, 2019).

همچنین در پژوهشی که در بالادست سد مارون انجام گرفت، داده‌های منابع ERA-interim، CHIRPS و PERSIANN-CDR را با داده‌های چند ایستگاه مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج این پژوهش نیز حاکی از برتری منبع بارش ERA-interim داشت (Gorjizadeh *et al*., 2019). نتایج نشان داد که با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای Ward مقادیر بارش هر دو منبع بارشی در ۶ کلاس (۰-۱۰، ۱۱-۲۰، ۲۱-۳۰، ۳۱-۴۰، ۴۱-۵۰ و بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر) طبقه‌بندی می‌شود. همچنین با استفاده از روش k-means و مدل ویلکز لامبدا تفاوت میانگین طبقه‌های ایجاد شده تایید شد که نشان دهنده صحت طبقه‌بندی بود.

به‌طور کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era5 در برآورد روند تغییرات بارش‌های سبک تا متوسط از دقت قابل قبولی برخوردار بوده ولی در برآورد روند تغییرات بارش‌های سنگین از عملکرد نسبتاً متوسطی برخوردار می‌باشد. پژوهش‌های انجام پذیرفته در سطح کشور که به ارزیابی منابع بارش در مقیاس سلولی و ایستگاهی پرداخته‌اند حاکی از این است که پیش‌بینی‌های بارش که توسط مرکز ECMWF انجام پذیرفته است نسبت به دیگر منابع بارش از عملکرد بهتری در سطح کشور برخودار است که این تاییدی بر نتایج حاکی از این پژوهش که بیانگر عملکرد مناسب و دقیق منبع بارش Era5 است، می‌باشد. به همین منظور در منطقه مورد مطالعه که استان اردبیل می‌باشد منبع بارش Era5 را می‌توان با تصحیح اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های موجود به منظور مطالعات منابع آبی همچون مدلسازی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در مناطق مختلف استان اردبیل به کار گرفت.

سپاس‌گزاری

هزینه انجام این طرح توسط معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی تامین شده است که بدینوسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه محقق اردبیلی، تشکر و قدردانی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Amjad M, Yilmaz MT, Yucel I and Yilmaz KK (2020) Performance evaluation of satellite- and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. Journal of Hydrology 584:124707.

Azizian A, Shayeghi A, Bruca L. (2019). Evaluation of reanalysis rainfall product based on remote sensing techniques for hydrological modeling using the large-scale VIC-3L model. Journal of Water Resources Research, 15(2):57-72 (In Farsi).

Azizian A, Ramezani H. (2019). Evaluation of the performance of Era-Interim re-analysis data in estimating daily and monthly rainfall. Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4): 791-779 (In Farsi).

De Leeuw J, Methven J and Blackburn M (2015) Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Wiley Online Library.

www.SID.ir

Archive of SID

141(688):798–806

Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G and Bauer d P (2011) The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the royal meteorological society. Wiley Online Library 137(656):553–597

Derin Y, Anagnostou E, Berne A, Borga M, Boudevillain B, Buytaert W, Chang C-H, Delrieu G, Hong Y, Hsu YC, … Yilmaz KK (2016) Multiregional Satellite Precipitation Products Evaluation over Complex Terrain. Journal of Hydrometeorology. American Meteorological Society 17(6):1817–1836

F. Lobligeois, V. Andréassian, C. Perrin, P. Tabary, C. Loumagne. (2014). When does higher spatial resolution rainfall information improve stream flow simulation? An evaluation using 3620 flood events. Hydrology and Earth System Sciences, European Geosciences Union, 18 (2), p. 575 - p. 594.

Gorjizadeh A, Akhundali A, Shahbazi A, Moridi A. (2019). Comparison of rainfall estimated by ERA-Interim, PERSIANN-CDR and CHIRPS models above Maron Dam. Journal of Water Resources Research, 15(1):267-279 (In Farsi).

Hosseini-Moghari S-M, Araghinejad S and Ebrahimi K (2018) Spatio-temporal evaluation of global gridded precipitation datasets across Iran. Hydrological Sciences Journal. Taylor & Francis 63(11):1669–1688

Hosseini-Moghari, S. M., & Tang, Q. (2020). Validation of GPM IMERG V05 and V06 Precipitation Products over Iran. Journal of Hydrometeorology 21(5):1011–1037

Khorshiddoust, A., Shirzad, A. (2014). 'The Study of Precipitation in North of Iran Using Cluster and Discriminative Function Analyses', *Geography and Planning*, 18(49), pp. 101-118. (In Farsi)

Khosravi, H., Moradi, E., Darabi, H. (2015). 'Identification of Homogeneous Groundwater Quality Regions Using Factor and Cluster Analysis;A case study Ghir Plain of Fars Province', *Irrigation and Water Engineering*, 6(1), pp. 119-133. (In Farsi)

Ma L, Zhang T, Frauenfeld OW, Ye B, Yang D and Qin D (2009) Evaluation of precipitation from the ERA-40, NCEP-1, and NCEP-2 Reanalyses and CMAP-1, CMAP-2, and GPCP-2 with ground-based measurements in China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. John Wiley & Sons, Ltd 114(D9). Available at: https://doi.org/10.1029/2008JD011178.

Ochoa-Rodriguez S, Wang L P, Gires A, Pina R D, Reinoso-Rondinel R, Bruni G, ... & Kroll S. (2015). Impact of spatial and temporal resolution of rainfall inputs on urban hydrodynamic modelling outputs: A multi-catchment investigation. Journal of Hydrology, 531, 389-407.

Peña-Arancibia J. L, van Dijk A. I, Renzullo L. J, & Mulligan M. (2013). Evaluation of precipitation estimation accuracy in reanalyses, satellite products, and an ensemble method for regions in Australia and South and East Asia. Journal of Hydrometeorology, 14(4), 1323-1333.

Sharifi E, Steinacker R and Saghafian B (2016) Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. Remote Sensing. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 8(2):135.

Stanski HR, Wilson LJ and Burrows WR (1989) Survey of common verification methods in meteorology. World Meteorological Organization Geneva.

Rahmati A, Massah bavani A. (2019). Evaluation of Global Precipitation products for Use in Physical Models, Case Study: Karun Basin, Journal of Water Resources Research, 15(1):178-192 (In Farsi).

Taghavi F, Neiestani A and Sarmad gh. (2012). WRF numerical model forecasts to assess short-term rainfall during a month in Iran. Journal of Earth and Space Physics, 39(2): 145-170. (In Farsi)

Tavousi T, Delara GH. (2010). Climate zoning of Ardabil province, Nivar journal, 34(70-71): 47-52 (In Farsi).

Xu X, Frey S. K , Boluwade A, Erler A. R, Khader O, Lapen D. R, & Sudicky E. (2019). Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. Journal of Hydrology, Regional Studies, 24, 100608.

www.SID.ir