ارزیابی عملکرد دادههای ERA5 در بر آورد انواع مختلف CAPE و CIN در ایستگاههای جو بالا در ایران

نفیسه پگاهفر\*

استادیار پژوهشگاه ملّی اقیانوس شناسی و علوم جوّی،

چکيده

یکی از ابزارهای مطالعه توفانهای تندری دادههای گهانهزنی است که پراکندگی مکانی دارد. با توجه به تفکیک مناسب و پوشش جهانی دادههای بازتحلیل ERA5 استفاده از نمایههای قائم تولید شده توسط این مجموعه داده در تحقیقات بسیاری مورد استقبال واقع شده است. البته در صورتی دادههای بازتحلیل در یک مکان می تواند اطلاعات مفیدی در اختیار کاربر قرار دهد که قبل از استفاده اعتبارسنجی شده باشد. در این تحقیق اعتبار دادههای بازتحلیل ERA5 در برآورد دو پارامتر همرفتی EAP5 و CIN با استفاده از نودهزار داده مشاهداتی (در نه ایستگاه جو بالا در منطقه ایران) و در بازه زمانی ۳۱ ساله (از ابتدای ۲۹۹۰ تا انتهای ۲۰۰۰) و با استفاده از چهار شاخص آماری Rه MAE مقال و MAE او در منطقه ایران) و در بازه زمانی ۳۱ ساله (از ابتدای ۲۹۹۰ تا انتهای ۲۰۰۰) و با استفاده از MAE مقرفی تصرفی آماری Ro MAE و EAS5 ارزیابی شد. در این راستا، انواع پارامتر همرفتی ML-CIN و CAPE، SB-CAPE و CAPE بهار شاخص آماری Ro MAE و MAE او یارامتر همرفتی CIN اعم از CIN، NB-CIN او CIN این شدند. ایستگاهها عبارت بودند از ایستگاه تبریز، مشهد، تهران، کرمانشاه، اصفهان، اهواز، کرمان، شیراز و زاهدان. نتایج نشان داد که پارامترهای ML-CAPE و میچنین انواع پارامتر همرفتی CIN اعم از CIN، NB-CIN و CIN-CIN بر CIN برسی شدند. پارامترهای ML-CAPE و ایستگاه تبریز، مشهد، تهران، کرمانشاه، اصفهان، اهواز، کرمان، شیراز و زاهدان. نتایج نشان داد که مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. از این وه، نتیجه گیری می شود که با استفاده از دادههای باز تحلیل AL در پیشتر ایستگاههای بیشتری توانسته در بالاترین همبستگی و کمترین خطا میان مقادیر محاسبه شده مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. از این وه، نتیجه گیری می شود که با استفاده از دادههای باز تحلیل AL در آمتر همرفتی -LM مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. از این وه، نتیجه گیری می شود که با استفاده از دادههای باز تحلیل AL در بی محاسبه AL در یار محاسبه می در در این و باز تحلیل در آمتر همرفتی -LM مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. از این روه، نتیجه گیری می شود که با استفاده از دادههای باز تحلیل AL در یان محاسبه AL در یار این این این و در یار را وی اینفاده شود برای محاسبه و AL در یار تولید کاند. دار و بولی این وی پراز وی پیشتر این وی ای محاسبه می در در اینه و ای مخاده شاده شود.

كلمات كليدى: CIN ، CAPE، اعتبار سنجى، ERA5

Evaluation of the performance of ERA5 reanalysis data in estimating multiple types of CAPE and CIN convective parameters in upper-air stations in Iran

Abstract

Estimation of thunderstorm characteristics is important worldwide. Due to scattered nature of upper-Air soundings, reanalysis data is used as another approach. However, using reanalysis data without any evaluation process can lead to increased uncertainty. Iran with its diverse climate conditions, experiences thunderstorms in different parts of the country in different seasons. In this research, around 90,000 sounding measurements were used to evaluate the accuracy of ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) in determining all types of the two convective parameters of Convective Available Potential Energy (CAPE) and Convective Inhibition (CIN). The investigation area limits to

nine upper-air stations located in various climate regions including dry, coastal, mountainous and urban areas. The stations were in Tabriz, Mashhad, Tehran, Kermanshah, Esfahan, Ahwaz, Kerman, Shiraz and Zahedan. The analysis was done over a 31-yr period (from the beginning of 1990 to the end of 2020). Data measured at both 00:00 and 12:00 UTC were used. Four calculated types of CAPE parameter were (a) CAPE, (b) surface-based convective available potential energy (SB-CAPE), (c) 0-500 m mixed layer convective available potential energy (ML-CAPE) and (d) most-unstable convective available potential energy (MU-CAPE). Four computed types of CIN parameter were (a) CIN, (b) surface-based convective inhibition (SB-CIN), (c) 0-500 m mixed-layer convective inhibition (ML-CIN) and (d) most-unstable convective inhibition (MU-CIN). The main difference between various types of each convective parameter is referred to the focused parcel. The analysis was done using the statistical indices of correlation coefficient (R), mean error (ME), absolute mean error (AME) and root mean square error (RMSE). To filter incomplete and unreal observational profiles some criteria were imposed on the observational data to quality control them. The criteria were as (a) both profiles of temperature and dew point temperature should be measured, (b) the sounding should pass the 6-km height above the surface, (c) the profiles should contain measurements at more than 10 pressure levels, (d) lapse rate in mid-troposphere should be less than 9 K/km, and (e) lapse rate in lowtroposphere should be less than 11 K/km. Some criteria were imposed after the calculation of the convective parameters including (a) MU-CAPE values should be less than 8000 J/kg, (b) ML-CAPE values should be less than 6000 J/kg, and (c) CIN values should be more than -1000 J/kg. The results showed that the two parameters of ML-CAPE and ML-CIN in most stations produced the highest values of correlation coefficient for calculated convective parameters using observational and reanalysis data. Based on ME and MAE indices, ML-CAPE, ML-CIN, and SB-CIN parameters generated the least error in most stations. The RMSE index showed that ML-CAPE and ML-CIN produced the lowest values of error in most stations. In a conclusion, the obtained results indicated that the two convective parameters of CAPE and CIN calculated using air mass in the mixed layer (ML-CAPE and ML-CIN) from ERA5 reanalysis data provided the most reliable values over most stations compared with the observational data. Hence, it is suggested that the last mentioned type for the two studied convective parameters be considered for future research studies, especially in simulation of thunderstorms.

Keywords: Convective parameters, ERA5 reanalysis dataset, CAPE, CIN

#### ۱- مقدمه

توفانهای تندری سالانه خسارتهای سنگین اقتصادی و جانی بر مناطق مختلف جهان وارد می کنند. علی رغم پیشرفت ابزار پیش بینی عددی توفانهای تندری، ناهمگنی فضایی و مدت زمان کوتاه نمونه برداری پدیده توفان تندری موجب شده تا تامین داده معتبر اغلب با مشکل مواجه شود. برای غلبه بر این موارد بسیاری از محققان از هموردایی<sup>۱</sup> پارامترهای همرفتی که مبین شرایط محیطی مناسب برای توفان تندری هستند، استفاده کردهاند (دُسول و همکاران، ۱۹۹۶). ارتباط میان این پارامترها و وقوع توفانهای تندری موجب شده تا تامین پارامترها به عنوان نمایندهای برای احتمال وقوع شرایط مختلف آب و هوایی به کار برده شوند (آلن و کارولی، ۲۰۱۴). درک صحیحی از مشخصههای هواشناسی پارامترهای همرفتی موجب بر آورد دقیق تر مکان و زمان وقایع مرتبط محتمل می شود. از این رو، شناخت کیفیت ارتباط میان هموردایی پارامترهای همرفتی برای شناخت بیشتر ویژگیهای این وقایع و حتی پیش بینی به هنگام آنها از اهمیت بالایی برخوردار است.

Covariance (https://glossary.ametsoc.org/wiki/Covariance) '

در مطالعات بسیاری از اطلاعات حاصل از گمانهزنی ها استفاده شده تا پارامترهایی که به عنوان پیش نشانگرهای مطلوب توفان تندری هستند، تشخیص داده شوند. این نکته که احتمال مخاطرات همرفتی تابع ناپایداری ترمودینامیکی است در تحقیقات بسیاری تایید شده است (پوسیک و همکاران، ۲۰۱۵؛ تازارک و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از این پارامترهای ترمودینامیکی انرژی پتانسیل دسترس پذیر همرفتی<sup>۲</sup> است که وقوع توفان تندری به شدت به آن وابسته است. مقدار این پارامتر در توفانهای تندری با و بدون آذرخش بین J/kg ۱۰۰ تا J/kg است که وقوع توفان تندری به شدت به آن وابسته است. مقدار این پارامتر در توفانهای تندری با و بدون آذرخش بین The د۱۰۰ تا SJ/kg است که وقوع توفان تندری به شدت به آن وابسته است. مقدار این پارامتر در توفانهای تندری با و بدون آذرخش بین Calu دار تا یاد ۲۰۰ تفاوت دارد (تازارک و همکاران، ۲۰۱۷). طبق یافته های وسترمایر و همکاران (۲۰۱۷) احتمال آذرخش در زمانی که CAPE بیش از J/kg باشد و مقدار بازدارنده همرفتی (Convective inhibition , CIN) احتمال آذرخش در زمانی که است. البته وابستگی مکانی ایمن مقادیر بایستی مورد توجه قرار گیرد، برای نمونه، گروندوالد و بروکس (۲۰۱۱) نشان دادند که در اروپا پیچندها اغلب با CAPE کمتری نسبت به ایالات متحده آمریکا شکل می گیرند.

کارایی بالای پارامترهای همرفتی در درک درصد احتمال رویداد یک پدیده خاص در مناطق مختلف موجب شده تا در بررسیهای اقلیمی نیز مورد توجه واقع شوند. برای نمونه، بررسی چرخه سالانه پارامترهای همرفتی در مکانهای متنوع اروپا نشان داد که شرایط مطلوب برای توفانهای تندری شدید اغلب طی بهار و تابستان رخ میدهد (بروکس و همکاران، ۲۰۰۷) و بیشترین مقدار متوسط CAPE در نیمه جنوبی و جنوب شرقی اروپا در تابستان و در نیمه غربی در زمستان رخ داده است (ریمن-کامپ و همکاران، ۲۰۰۹). اهمیت پارامترهای همرفتی از دید اقلیم شناسان هم پنهان نمانده و در بسیاری از مطالعات پدیده همرفت و توفانهای همرفتی با استفاده از بروندادهای مدلهای اقلیمی بررسی شده و افزایش تعداد محیطهایی با توفانهای تندری شدید در شبیه سازیها به ثبت ممکاران (۲۰۱۷) برای نمونه، مارش و همکاران (۲۰۰۹) برای اروپا، پوسیک و همکاران (۲۰۱۷) برای مرکز و شرق اروپا و ویستو و

از آنجا که اعتبارسنجی اغلب مدل های اقلیمی به کمک داده های بازتحلیل انجام می شود، می توان به اهمیت داده های بازتحلیل در این مورد پی برد. هدف از تولید داده های بازتحلیل فراهم آوردن تصویر اقلیمی از شرایط است به گونه ای که به واقعیت نزدیک باشند (تورن و ووس، ۲۰۱۰). با وجود عدم قطعیت های ذاتی در مدل های پیش بینی، در داده های ورودی و در داده گواری، مهم است که کیفیت داده های بازتحلیل ارزیابی شود (هُدگس و همکاران، ۲۰۱۱). اهمیت این امر از آنجائی بسیار بالاست که پارامترهای همرفتی اطلاعاتی از کمیت های پایه همانند دما، رطوبت و بادها در تازهای مختلف را در بر می گیرند و این بررسی آزمون مناسبی برای کیفیت داده های بازتحلیل هستند. در کاربست داده های بازتحلیل برای مطالعه پارامترهای همرفتی می توان به تحقیق بروکس و همکاران است که اشاره کرد که از داده های جهانی بازتحلیل <sup>۳</sup> محاله استفاده کردند تا متغیرهای کمکی متمایزی توسعه دهند که میزان

Convective Available Potential Energy (CAPE)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> National Center for Atmospheric Research/United States National Centers for Environmental Prediction

شدید را در طول نوار مداری روی اروپای جنوبی و مرکزی شناسایی کردند. جنسینی و همکاران (۲۰۱۴) دادههای باز تحلیل -NCAR از مرکز اروپایی پیش بینی های جوی میان مدت (ECMWF) را برای استرالیا و پیستوتنیک و همکاران (۲۰۱۶) و تازارک و همکاران (۲۰۱۸) دادههای باز تحلیل -ERA Interim را برای اروپا بررسی کردند. تازارک و همکاران (۲۰۱۷) نزدیک به یک میلیون گمانهزنی از ERA-Interim در بازه سی و هشت ساله ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ را استفاده کردند و نشان دادند که دادههای الدوست الماه یا رامترهای رطوبت لایه مرزی و آهنگ کاهش مشت ساله ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ را استفاده کردند و نشان دادند که دادههای ERA-Interim پارامترهای رطوبت لایه مرزی و آهنگ کاهش مشت ساله ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ را استفاده کردند و نشان دادند که دادههای ERA-Interim پارامترهای رطوبت لایه مرزی و آهنگ کاهش مانگین فروتخمین کرده بود، در حالیکه اغلب ERA-Sal می محاسبه شده با استفاده از ناپایدارترین بسته هوا را فراتخمین کرده بود. تازارک و همکاران (۲۰۲۱) نیز با با بررسی ۴ دهه گذشته دادههای باز تحلیل نسل پنجم (ERA5) از مرکز اروپایی پیش بینی میانمدت وضع هوا دریافتند که در منطقه عرض های میزان ECAP افزایش یافته در حالیکه برای منطقه حاره و جنب حاره کاهش یافته است. علی رغم اینکه وانگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز با با برسی ۴ دهه گذشته دادههای باز تحلیل نسل پنجم (۲۰۸۶) از مرکز اروپایی پیش بینی میانمدت وضع هوا دریافتند که در منطقه عرض های میزان ECAP افزایش یافته در حالیکه برای منطقه حاره و جنب حاره کاهش یافته است. علی رغم اینکه وانگ و همکاران (۲۰۲۱) اعتبار دادههای باز تحلیل در شناسایی توزیع ERA- را زیر سوال بردند، اما پیلگوج و همکاران (۲۰۲۲) در منطقه ایالت متحده آمریکا در برآورد مشخصههای انواع پارامترهای مختلف، نیاز به اعتبارسنجی آنها در هر منطقه و برای هر نوع پارامتر را بیش از پیش آشکار می سازد.

در ایران نیز شاخصهای ناپایداری مورد توجه هواشناسان واقع شدهاند. برای نمونه، صادقی حسینی و رضانیان (۱۳۸۵) بر بررسی شاخص CAPE در اصفهان در دوره ۲۰۰۲–۱۹۹۱ مقدار یا ۱۰۰/kg برای ۲۵۴۲ رخداد توفان تندری نشان دادند که بارورسازی ابر معرفی کردند هجرد و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از ERA-Interin برای ۲۵۴۲ رخداد توفان تندری نشان دادند که دادههای باز تحلیل مقدار CAPE را اندکی بیش از مقادیر مشاهداتی تخمین میزند و بیشترین میزان CAPE را در استانهای جنوبی و چنوب غرب سواحل خزر بدست آوردند. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) شاخصهای ترمودینامیکی CAPE و ۲۱۲ را در دوره وقوع چرخند حاره ای نیلوفر بررسی کردند و نشان دادند که مقدار این دو کمیت در آن زمان در بهترین وضعیت ممکن برای شکل گیری و توسعه چرخند حاره ای نیلوفر بررسی کردند و نشان دادند که مقدار این دو کمیت در آن زمان در بهترین وضعیت ممکن برای شکل در شناسایی مناطق رخداد آذرخش برای ۷ رخداد در منطقه تهران بررسی کردند و نشان دادند که شاخص مذکور عملکرد قابل قبولی در شناسایی مناطق رخداد آذرخش برای ۷ رخداد در منطقه تهران بررسی کردند و نشان دادند که شاخص مذکور عملکرد قابل قبولی در شناسایی مناطق رخداد آذرخش برای ۷ رخداد در منطقه تهران بررسی کردند و نشان دادند که شاخص مذکور عملکرد قابل قبولی افرلس/غرب روسیانی مکانهای رخداد آذرخش برای موارد مطالعاتی در تهران دارد. طهماسی پاشا و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی ارتباط میان در پیش بینی مکانهای رخداد آذرخش برای ۷ رخداد در منطقه تهران بررسی کردند و نشان دادند که شاخص مذکور عملکرد قابل قبولی افرلس/غرب روسیه این سبت به فاز مثبت آن در دریای عمان (دارد. طهماسی پاشا و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی ارتباط میان اطلس/غرب روسیه ایست به فاز مثبت آن در دریای عمان دادند که بیشترین افزایش شاخص ۲۹۵ و ای ای با با بر سی و رفته دورپیوندها و شاخص های همرفتی در منطقه غرب آسیا نشان دادند که بیشترین افزایش شاخص موازی (۱۴۰۰) و طی فاز مثبت دوقطبی اقیانوس هند (نوسان مادن – جولیان) نسبت به فاز منفی آن در غرب هند (دریای عمان) به بیش از موازه (۱۴۰۶) می رسد. با این حال تاکنون در هیچ تحقیقی عملکرد دادههای باز تحلیل در بر آورد پارامترهای همرفتی در ایران انجام نشده است. در این پژوهش سعی شده مده تاعتبار دادهمای باز تحلیل دادهای کرای برای رزدای و حوی و دار را در در یا مده در ای ای بین برده است. در شود. با توجه به تنوع اقلیمی ایستگاههای مورد نظر و مقادیر متفاوت ارتفاع از سطح دریا در هر ایستگاه تمامی انواع این پارامترها مورد توجه قرار گرفت. در ادامه بعد از بیان دادهها و روش کار (بخش ۲)، نتایج عینی و تحلیلهای آماری در بخش ۳ و سپس نتیجه گیری در بخش ۴ ارائه می گردد.

## ۲- دادهها و روش کار

در این بخش به ترتیب دادههای مورد استفاده، پارامترهای همرفتی ارزیابی شده و شاخصهای آماری به کار رفته بیان خواهد شد.

# ۲- ۱ دادها

دادههای به کار رفته در این تحقیق شامل دو دسته داده بازتحلیل و مشاهداتی است که در ادامه ویژگیهای آنها بیان خواهد شد.

# T- 1- 1 دادههای باز تحلیل ERA5

در این تحقیق از داده های بازتحلیل ERA5 (بر گرفته از \_ERA5 (بر گرفته از \_https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5) در بازه زمانی ۳۱ ساله ( از ابتدای ۱۹۹۰ تا انتهای ۲۰۲۰) استفاده شد. تفکیک داده های بازتحلیل رود در مراستای طول و عرض جغرافیایی است. داده های دما، بردار باد، ارتفاع ژئو پتانسیلی، رطوبت نسبی و رطوبت ویژه در ترازهای فشاری از ۱۹۰۹ تا ۱۹۹۹ استفاده شدند. همچنین از داده های دما، بردار باد، ارتفاع ژئو پتانسیلی، رطوبت نسبی و رطوبت ویژه در ترازهای فشاری از همای و مرض جغرافیایی است. داده های دما، بردار باد، ارتفاع ژئو پتانسیلی، رطوبت نسبی و رطوبت ویژه در ترازهای فشاری از ۱۹۰۹ تا ۱۹۹۹ استفاده شدند. همچنین از داده های دما، بردار باد، ارتفاع ژئو پتانسیلی، در ارتفاع ۲ متری و سرعت باد در ارتفاع مشاری از استفاده شده است. از تقریب نزدیکترین نقطه شبکه ای برای استخراج اطلاعات در مکان هر ایستگاه استفاده شده ...

# ۲- ۱- ۲ دادههای مشاهداتی

دادههای رادیو گمانه از دادههای گمانهزنی دانشگاه وایومینگ از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ برای ساعتهای UTC ... و ۱۲:۰۰ و ۱۲:۰۰ برای ۹ ایستگاه جو بالا در کشور ایران استفاده شدند. مشخصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه و نزدیک ترین نقطه شبکهای به ایستگاه و تعداد دادههای برداشت شده در کل دوره به تفکیک برای ساعتهای یاد شده در جدول ۱ آورده شده است. عواملی همچون (۱) تنوع اقلیمی ایستگاههای مورد مطالعه، (۲) فصلی بودن پدیدهها در هر منطقه و نبود تحقیق جامعی از زمان واقعی پدیدههای توفان تندری (همچون پیچند، تگرگ بزرگ و بادهای جستی شدید) در هر ایستگاه موجب شد تا هر دو زمان UTC ... و UTC برای بررسی مورد آزمون قرار گیرد.

#### جدول ۱ مشخصات ایستگاهها

									-		
اده	تعداد دا	تعداد کل	تعداد داده-	تعداد داده-	عرض	عرض	طول	طول	شناسه	نام	رديف
از	بعد		ها در	ها در	جغرافيايي	جغرافيايي	جغرافيايي	جغرافيايي	ایستگاه	ایستگاه	
	كنترل		UTC	UTC	نزديكترين		نزديكترين				
	كيفيت		17:00	••:••	نقطه شبكه		نقطه شبكه				
	0717	٩٢٢٤	1797	YOTA	۳۸/۰	۳۸/۰۸	٤٦/٢٥	22/28	٤٠٧٠٦	تبريز	۱
	112	18200	٤٠١٠	9190	۳٦/۲٥	۳٦/٢٦	०९/४०	٥٩/٦٣	٤٠٧٤٥	مشهد	۲
	1.997	ነልምል٦	9514	٨٩٦٩	۳٥/٧٥	۳٥/٦٨	01/10	01/70	٤•٧٥٤	تهران	٣
	YXYY	18080	٧٢٣٩	٦٢٩٩	32/20	25/22	٤٧/٠	٤٧/١١	٤٠٧٦٦	كرمانشاه	٤

EOTA	2152	٥٣٠٨	275.	۳۲/۵	34/22	01/Yo	01/71	٤٠٨٠٠	اصفهان	٥
٣٢٨٤	٤٩٦٥	۸۳۰	٤130	31/20	۳۱/۳۳	٤٨/٧٥	٤٨/٦٢	٤٠٨١١	اهواز	٦
٤٤٣٢	771	٥٢٩٨	۳۰٦٣	۳۰/۰	3.42	٥٧/٠	٥٦/٩٦	٤٠٨٤١	كرمان	۲
٤١٦٤	٨٤٨٩	٥٠	٨٤٣٩	44/0	29/08	07/0	04/01	٤٠٨٤٨	شيراز	٨
۳۳۳۰	EETY	۲.	2007	19/0	29/27	٦١/٠	٦•/٨٨	٤٠٨٥٦	زاهدان	٩

همانطور که جدول ۱ نشان میدهد، تعداد دادههای برداشت شده در ساعتهای UTC ۰۰:۰۰ و ۱۲:۰۰ یکسان نبوده و با توجه به محدودیتهای مورد نیاز برای محاسبه پارامترهای CAPE و CIN تعداد گمانهزنیها بعد از فرایند کنترل کیفی که در ادامه شرح داده شده است، از ۸۹۲۴۰ عدد به ۵۲۰۰۵ عدد کاهش یافت. توزیع دادههای هر ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.



## ۲- ۲ یارامترهای CAPE و CIN

برای محاسبه CAPE و CIN از رابطه پیشنهاد شده توسط هوبز (۱۹۷۷) به صورت ذیل استفاده شده است:

$$CAPE = -R_d \int_{LFC}^{EL} (T_{parcel} - T_{env}) dln(p)$$
<sup>(1)</sup>

$$CIN = -R_d \int_{SFC}^{LFC} (T_{parcel} - T_{env}) dln(p)$$
(Y)

که در آن <sup>۲</sup>GPL <sup>6</sup>LB <sup>6</sup>LB <sup>7</sup>Re <sup>7</sup>LE <sup>6</sup>LE <sup>6</sup>LE <sup>6</sup>LE <sup>6</sup>LE <sup>6</sup>LE <sup>7</sup>LE <sup></sup>

پارمتر به اختصار توضيح داده مي شود.

# جدول ۲ انواع CAPE و CIN محاسبه شده

	61						
رديف	پارامتر				حروف اختصاري		واحد
۱	انرژی پتانسیل	ل دسترس پذیر همرفتے			CAPE		
۲	انرژی پتانسیل	ل دسترس پذیر همرفت <u>ے</u>	<b>ر برای بسته هوا از سطح</b>	زمين	based CAPE (SB CAPE)	Surface	J/ kg
٣	ناپايدار ترين	انرژی پتانسیل دسترس	،پذیر همرفتی		table CAPE (MU CAPE)	Most Unst	J/ kg
٤	انرژی پتانسیل	ل دسترسپذیر همرفت <u>ے</u>	ل لایه آمیخته از سطح	مین تا ۵۰۰ متری	ayer CAPE (ML CAPE)	Mixed L	J/ kg
٥	بازدارنده هم	مرفت			CIN		J/ kg
٦	بازدارنده هم	<b>مرفت در سطح زمین</b>			ace based CIN (SB CIN)	Surf	J/ kg
۷	بازدارنده هم	مرفت برای بسته هوای	ناپايدار		Unstable CIN (MU CIN)	Most	J/ kg
٨	بازدارنده هم	برفت در لایه آمیخته (	از سطج زمین تا ۵۰۰ م	رى)	ed Layer CIN (ML CIN)	Mixe	J/ kg

Level of Free Convection<sup>\*</sup>

Equilibrium Level ۵

Surface '

#### SB-CAPE 1 - 7 - 7

پارامتر <sup>VI</sup>SB-CAPE میزان ناپایداری در وردسپهر را نشان میدهد. این پارامتر مقدار کلی انرژی پتانسیل دسترس پذیر همرفتی را برای بسته هوایی نشان میدهد که از سطح زمین به سمت بالا حرکت میکند و تا تراز همرفت آزاد بالا میرود. این بسته هوا هیچ درون-آمیزی با محیط بیرون ندارد و براساس تصحیح دمای مجازی محاسبه میشود. برای محاسبه SB-CAPE بین تراز همرفت آزاد و تراز تعادل انتگرال گیری انجام میشود و نقاط تقاطع نیم خدمای مشاهداتی و نیم خدمای بسته به طور لگاریتمی درون یابی میشود. تازارک و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که ضریب همبستگی میان SB-CAPE مشاهداتی و بازتحلیل دسترس با ۲۰۱۷ است. همچنین نشان دادند که در اروپای شرقی خطای مطلق ناشی از کاربست SB-CAPE تقریبا یک دهم میزان خطای مطلق تولید شده توسط MIL-CAPE تقریبا یک در غرب و جنوب اروپا و اروپای مرکزی و بالکان چنین نبوده است. وارگا و بروئر (۲۰۲۳ نشان دادند که در شرق و مرکز اروپا همبستگی میان SB-CAPE حاصل از مشاهداتی و دادهای باز تحلیل دهمای مطلق تولید شده توسط CAPE است. در حالیکه در غرب و جنوب اروپا و اروپای مرکزی و بالکان چنین نبوده است. وارگا و بروئر (۲۰۲۳ نشان دادند که در شرق و مرکز اروپا همبستگی میان SB-CAPE حاصل از مشاهداتی و دادهای باز تحلیل Weather Research andn Forecasting Model از مدل CAPE بیش از سایر انواع در تو تایج آنها حتی در شیوسازی های با استفاده از مدل CAPE حاصل از مشاهداتی و داده محیل تولیل Weather Research and Forecasting Model نیز اثبات شد.

#### ML-CAPE Y -Y -Y

پارامتر <sup>۸</sup>ML-CAPE که انرژی پتانسیل دسترس پذیر همرفتی لایه آمیخته نامیده می شود، میزان ناپایداری در وردسپهر را نشان می دهد. این پارامتر مقدار متوسط انرژی پتانسیل دسترس پذیر همرفتی را برای بسته هوایی که در ۱۰۰ hPa ابتدایی جو قرار دارد نشان می دهد که تا تراز همرفت آزاد بالا می رود. این بسته هیچ درون آمیزی با محیط ندارد و براساس تصحیح دمای مجازی محاسبه می شود. با توجه به تغییرات فصلی و شبانه روزی ارتفاع لایه آمیخته، پارامتراهای مورد نیاز در تمام موارد از ۵۰۰ متر ابتدایی این لایه استخراج و استفاده شد (مشابه با روش کار تازارک و همکاران، ۲۰۱۸). برای محاسبه ML-CAPE بین تراز همرفت آزاد و تراز تعادل انتگرال گیری انجام می شود و نقاط تقاطع نیم رخ دمای مشاهداتی و نیم رخ دمای بسته به طور لگاریتمی درون یابی می شود.

#### MU-CAPE 🕈 – ۲ – ۲

پارامتر <sup>۹</sup> MU-CAPE که ناپایدارترین انرژی پتانسیل دسترس پذیر همرفتی نامیده می شود، میزان ناپایداری در وردسپهر را نشان می دهد. این پارامتر مبین مقدار کلی انرژی پتانسیل دسترس پذیر برای بسته هوایی است که بیشینه دمای پتانسیل هم ارز <sup>۱۰</sup> را در ۳۰۰ هکتو پاسکال ابتدایی جو دارد و تا تراز LFC بالا می رود. این بسته هیچ درون آمیزی با محیط ندارد و براساس تصحیح دمای مجازی محاسبه می شود. برای محاسبه MU-CAPE بین تراز همرفت آزاد و تراز تعادل انتگرال گیری انجام می شود و نقاط تقاطع نیم رخ دمای مشاهداتی و نیم-

Surface Based Convective Available Potential Energy<sup>v</sup>

Mixed Layer Convective Available Potential Energy<sup>^</sup>

Most Unstable Convective Available Potential Energy

equivalent potential temperature "

#### CIN £ -7 -7

پارامتر CIN که بازدارنده همرفت نامیده می شود، منطقه ای منفی در دیاگرام ترمودینامیک است. بازدارنده همرفت مقدار انرژی جنبشی است که باید به بسته هوا داده شود تا بتواند خود را به تراز همرفت آزاد برساند. از این رو، بایستی قبل از آغازگری توفان بر آن غلبه شود. برای محاسبه انواع پارامتر CIN از همان شرایط که برای پارامتر CAPE گفته شد، استفاده می شود. البته برای محاسبه CIN از سطح تا تراز همرفت آزاد انتگرال گرفته می شود.

برای محاسبه پارامترهای ذکر شده از گمانهزنیهای مشاهداتی و بازتحلیل استفاده شد. برای هر گمانهزنی نیمرخهای قائم فشار، ارتفاع، دما، دمای نقطه شینم و بردار باد در راستای قائم به طور خطی درونیابی شد. بعد از استخراج پارامترهای مورد نیاز از ۵۰۰ متر ابتدایی لایه آمیخته، تصحیح دمای مجازی انجام شد (دس ول و راسموسن، ۱۹۹۴).

۲- ۳ کنترل کیفی دادہھا

با توجه به بازه مورد بررسی و حجم وسیع داده، احتمال وجود خطاهای متنوع اعم از نیمرخهای ناقص و مقادیر غیرواقعی یا نامعتبر در مجموعه داده دور از انتظار نیست. از این رو نیاز است تا قبل از شروع کار کیفیت مجموعه داده کنترل گردد. برای این منظور ابتدا دادههای ناقص از مجموعه داده حذف شدند. برای نمونه، تاریخهایی که در آن نیمرخ قائم دما اندازه گیری شده ولی نیمرخ قائم دمای نقطه شبنم اندازه گیری نشده بود، حذف شدند. سپس گمانهزنیهایی که تا قبل از رسیدن به ارتفاع ۶ کیلومتری از سطح زمین متوقف شده بودند و یا در کمتر از ۱۰ تراز فشاری مقادیر اندازه گیری را ثبت کرده بودند، کنار گذاشته شدند. در ادامه گرادیانهای دما و باد بررسی شدند. طبق روش تحقیق تازارک و همکاران (۲۰۱۸) گمانهزنیهایی که شامل موارد زیر بودند نیز حذف شدند:

الف) چنانچه آهنگ کاهش دما در وردسپهر میانی بیش از ۹ درجه کلوین در هر کیلومتر باشد،

ب) چنانچه آهنگ کاهش دما در وردسپهر پایین بیش از ۱۱ درجه کلوین در هر کیلومتر باشد،

ج) چنانچه مقدار MU – CAPE بیش از J/kg بدست آمده باشد،

د) چنانچه مقدار ML – CAPE بیش از ۶۰۰۰ J/kg بدست آمده باشد.

ه) چنانچه مقدار CAPE بیش از ۶۵۰۰ J/kg بدست آمده باشد و

و) چنانچه مقدار CIN کمتر از ۱۰۰۰ J/kg– بدست آمده باشد.

تعداد گمانهزنی های کنترل کیفی شده در هر ایستگاه در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

از جمله محدودیتهای این تحقیق تغییر کیفیت اندازه گیریها بویژه رطوبت در گذر زمان است. محدودیت دیگر محاسبه شبه گمانه-زنی (pseudo sounding ) با استفاده از دادههای ERA5 است، زیرا در مناطق کوهستانی و ساحلی امکان دارد مکان انتخاب شده (با استفاده از نزدیکترین نقطه شبکهای) به خوبی نماینده ایستگاه مورد نظر نباشد. البته در این تحقیق طبق جدول ۱ فاصله نزدیکترین نقطه شبکهای به ایستگاهها در حد صدم درجه بوده که با توجه به استاندارهای مورد نیاز برای تاسیس ایستگاه هواشناسی و همچنین مشابه با روش تحقیق استفاده شده توسط وارگا و بروآ (۲۰۲۲) و همچنین تازارک و همکاران (۲۰۱۸)، می توان از خطای ناشی از این ام صرفنظر کرد. همچنین تغییر نمایش لایه مرزی و محدودیت تعداد تراز در راستای قائم در دادههای ERA5 (۳۰ تراز) نسبت به گمانه-زنیهای مشاهداتی (به طور میانگین تا ۴۷ تراز) نیز می تواند بر نتایج اعتبارسنجی تاثیر داشته باشد که با توجه به پارامتر انتخابی و تمرکز بر ۶ کیلومتر ابتدایی جو می توان از این خطا نیز چشم پوشی کرد. البته طبق یافتههای تازارک و همکاران (۲۰۱۸) برای منطقه شرق و جنوب اروپا، به طور میانگین دادههای بازتحلیل نسبت به مشاهداتی نماینده بهتری هستند. از طرفی به دلیل تفکیک افقی دادههای بازتحلیل، در مدل تولید کننده دادههای بازتحلیل نسبت به مشاهداتی نماینده بهتری هستند. از طرفی به دلیل تفکیک افقی دادههای می تواند منجر به تولید کننده داده های بازتحلیل از پارامترسازی همرفت استفاده می شود که بدلیل تقریب های مرتبط با پارامترسازی می تواند منجر به تولید خط در نمایه قائم دما و رطوبت و نهایتا CAPE شود. از طرف دیگر کمیتهای مرتبط با ترازهای پایین می تواند می تواند منجر به تولید خط در نمایه قائم دما و رطوبت و نهایتا CAPE شود. از طرف دیگر کمیتهای مرتبط با ترازهای پاین می تواند می تواند منجر به تولید خط در نمایه قائم دما و رطوبت و نهایتا CAPE شود. از طرف دیگر کمیتهای مرتبط با ترازهای پایین می تواند

# ۲- ٤ شاخصهای آماری

شاخص های آماری استفاده شده در این تحقیق عبارتند از خطای متوسط (Mean Error, ME)، خطای مطلق متوسط (Root Mean Square Error, ) و ریشه میانگین مربع خطا (Root Mean Square Error, MAE) و ریشه میانگین مربع خطا (Root Mean Square Error, MAE) که روابط استفاده شده برای محاسبه آنها در ذیل آورده شده است:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n} (M_i - O_i)}{n}, \qquad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |(M_i - O_i)|}{n}, \qquad (Y)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (M_i - O_i)^2}{n}}, \qquad (Y)$$

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} \left( \left( \frac{O_i - \bar{O}}{\sigma_0} \right) * \left( \frac{M_i - \bar{M}}{\sigma_M} \right) \right), \qquad (F)$$

که در آن 0 و M به ترتیب مقادیر مشاهداتی و ERA5 را نشان میدهند. زیرنویس i معرف رویداد مطالعاتی و n تعداد رویداد مورد استفاده در هر ایستگاه و σ نشانه انحراف معیار میباشد.

### ۳- نتايج

در این مقاله از دادههای گمانهزنی مشاهداتی بعنوان پایهای برای ارزیابی دادههای بازتحلیل استفاده خواهد شد.

۳– ۱ تحلیل عینی
به منظور فراهم آوردن درک واضح تر و همچنین مقایسه عینی از میزان دقت مقادیر انواع CAPE و CIN محاسبه شده با استفاده از دادههای باز تحلیل نسبت به مقادیر مشاهداتی در ایستگاههای مختلف، شکلهای ۲ تا ۹ ترسیم شد. در شکلهای ۲ تا ۵ به تر تیب مقادیر محاسبه شده عدی مقادیر محاسبه شده با استفاده از محاسبه شده با استفاده از میزان دقت مقادیر انواع CAPE و CAPE با دادههای ۲ تا ۹ ترسیم شد. در شکلهای ۲ تا ۵ به تر تیب مقادیر معادیر معادیر مشاهداتی در ایستگاههای مختلف، شکلهای ۲ تا ۹ ترسیم شد. در شکلهای ۲ تا ۵ به تر تیب مقادیر محاسبه شده با سیم محاسبه شده با استفاده از میزان دقت مقادیر انواع CAPE و ۵ محاسبه شده با استفاده از معادیر معادی معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادی معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادی معادیر معادی معادیر معادی معادیر معادیر معادیر معادیر معادیر معادی کمانه زندن معادی و باز تحلیل برای معادی ای معادیر معادی معادی معادیر معادی معادی معادیر معادی معادی معادی معادیر معادی معادی معادی معادیر معادی معادی معادیر معادی معادی



شکل ۲ مقادیر محاسبه شده CAPE با استفاده از دادههای بازتحلیل (محور قائم) بر حسب مقادیر محاسبه شده با استفاده از دادههای مشاهداتی (محور افقی) برای ایستگاههای (الف) تبریز، (ب) مشهد، (ج) تهران، (د) کرمانشاه، (ه) اصفهان، (و) اهواز، (ز) کرمان، (ح) شیراز و (ط) زاهدان.





(ط)

شکل ۵ همانند شکل ۲ اما برای MU-CAPE.



در شکلهای ۶ تا ۹ نیز به ترتیب مقادیر محاسبه شده CIN ،SB-CIN ، SB-CIN و MU-CIN برای هر یک از ایستگاهها به تفکیک ترسیم شده است.

شکل **3 مقادیر محاسبه شده CIN با استفاده از دادههای بازتحلیل (محور قائم) برحسب مقادیر محاسبه شده با استفاده از دادههای مشاهداتی (محور افقی) برای ایستگاههای (الف) تبریز، (ب) مشهد، (ج) تهران، (د) کرمانشاه، (ه) اصفهان، (و) اهواز، (ز) کرمان، (ح) شیراز و (ط) زاهدان.** 



شکل ۲ همانند شکل ۲ اما برای SB-CIN.



شکل ۹ همانند شکل ۲ اما برای MU-CIN.

نتیجه تحلیل عینی شکلهای ۲ تا ۹ برای هر ایستگاه عبارت است از:

(الف) ایستگاه تبریز: داده های باز تحلیل در این مکان مقدار انواع CAPE را فراتخمین کرده که این رفتار برای مقادیر کمتر از J/kg ۳۰۰ ۲۰۰۰ به مراتب بیشتر است در حالیکه مقادیر بیش از ۲۰۰۰ J/kg توسط داده های باز تحلیل فرو تخمین شده است (شکل های ۲-الف، ۳-الف، ۴-الف و ۵-الف). این رفتار برای سایر CAPE ها نیز مشاهده می شود با این تفاوت که در مورد ML-CAPE (شکل ۴-الف) مقادیر بیش از ۲۰۰۰ در واقعیت رویت نشده است. مقدار CIN باز تحلیل نسبت به مشاهداتی با فراتخمین همراه بوده (شکل ۶-الف) بویژه برای مقادیر کوچکتر از ۲۰۰۶ این امر در SB-CIN (شکل ۷-الف) نیز روی داده است. البته پراکندگی داده در -ML CIN (شکل ۸-الف) و MU-CIN (شکل ۹-الف) به مراتب از دو نوع دیگر CIN متقارن تر بوده است.

(ب) ایستگاه مشهد: در این ایستگاه CAPE با مقادیر در بازه ۲۰۰۰ ـ ۲۰۰۰ پراکندگی کمتری میان داده های مشاهداتی و بازتحلیل مشاهده می شود (شکل ۲-ب). داده های بازتحلیل در برخی موارد که مقدار CAPE کمتر از J/kg است بوده مقادیر بیش از SB-CAPE را تولید کرده است (شکل ۲-ب). این رفتار برای ML-CAPE (شکل ۴-ب) از شدت کمتری برخوردار است، اما برای SB-CAPE (شکل ۳-ب) از شکل ۳-ب) و MU-CAPE (۵-ب) همچنان برقرار است. در این ایستگاه داده بازتحلیل توانسته ML-CIN (شکل ۸-ب) را با

(ج) ایستگاه تهران: در این ایستگاه، که تعداد داده های ثبت شده در آن قابل توجه بوده است، برای برآورد مقادیر CAPE کمتر از J/kg ۲۰۰ و برای CAPEهای بیش از ۱۰۰۰ J/kg به ترتیب فراتخمین و فروتخمین شده است (شکل ۲-ج). این رفتار در مورد ML-CAPE (شکل ۴-ج) با شدت کمترو در MU-CAPE (شکل ۵-ج) با شدت بیشتری برقرار بوده است. داده بازتحلیل در این ایستگاه با فروتخمین چشم گیری مقادیر ML-CIN (شکل ۸-ج) و MU-CIN (شکل ۹-ج) را تولید کرده است.

(د) ایستگاه کرمانشاه: در این ایستگاه مقادیر CAPE کمتر از ۱۰۰۰ J/kg به شدت فراتخمین شده است و در برخی موارد که مقدار ML-CIN بیش از ۲۰۰۰ J/kg بوده به شدت فروتخمین شده است (شکل ۲–د). در این ایستگاه دادههای بازتحلیل مقدار ML-CIN (شکل ۸–د) را با خطای کمتری نسبت به CIN (شکل ۶–د) و SB-CIN (شکل ۷–د) تولید کرده، هرچند MU-CIN را به شدت با فروتخمین تولید کرده است (شکل ۹–د).

(ه) ایستگاه اصفهان: در این ایستگاه با توجه به تعداد کم تر داده نسبت به سایر ایستگاه ها و با توجه به اینکه در این ایستگاه از نظر اقلیمی امکان مشاهده ناپایداری کمتر است، به ندرت CAPE بیش از ۲۰۰۰ دیده شده که آن هم با فروتخمین شدید توسط داده های بازتحلیل همراه تولید شده است (شکل ۲-ه) در حالیکه مقادیر کمتر از ۵۰۰ لراتخمین شده اند. داده های بازتحلیل مقدار CIN و SB-CIN را با پراکندگی قابل قبولی برای این ایستگاه تولید کرده است (شکل های ۶-ه و ۷-ه).

(و) ایستگاه اهواز: در این ایستگاه مقادیر CAPE بیشتر از ۱۰۰۰ J/kg و کمتر از ۲۰۰۰ J/kg فروتخمین شده در حالیکه پراکندگی بیشتری برای مقادیر بیش از ۲۰۰۰ J/kg نیز مشاهده میشود (شکل ۲–و). این رفتار برای MU-CAPE و SB-CAPE نیز مشاهده میشود (شکل های ۳-و و ۵-و). البته برای ML-CAPE این پراکندگی دیده نمی شود (شکل ۴-و). در این ایستگاه به غیر از MU-CIN (شکل ۹-و) سایر انواع CIN (شکل های ۶-و، ۷-و و ۸-و) با پراکندگی قابل قبولی توسط داده ای باز تحلیل تولید شده است.

(ز) ایستگاه کرمان: در این ایستگاه مقادیر CAPE بیش CAPE به غیر از دو مورد رویت نشده و برای مقادیر کمتر نیز پراکندگی قابل قبولی مشاهده می شود (شکل ۲-ز). البته یارامتر MU-CAPE مقادیر مشاهداتی بیش از ۲۰۰۰ J/kg بیش از سایر انواع CAPE تولید مشاهده می شود (شکل ۵-ز). در این ایستگاه دادههای بازتحلیل تمام انواع CIN با فروتخمین تولید کرده است (شکل های ۶-ز، ۷–ز، ۸–ز و ۹–ز).

(ح) ایستگاه شیراز: در این ایستگاه با تراکم مقادیر کمتر از ۵۰۰ J/kg ، برای تمام انواع CAPE فراتخمین دادههای بازتحلیل قابل مشاهده است (شکل های ۲-ح، ۳-ح، ۴-ح و ۵-ح). دادههای بازتحلیل CIN (شکل ۴-ح) و CIN-SB (شکل ۷-ح) را با فراتخمین برای این ایستگاه تولید کرده و پراکندگی چشم گیری برای MU-CIN (شکل ۹-ح) تولید کرده است. البته دادههای بازتحلیل مقدار ML-CIN را در این ایستگاه با پراکندگی قابل قبولی تولید کرده است (شکل ۶-ح).

(ط) ایستگاه زاهدان: در این ایستگاه همچون ایستگاه شیراز به غیر از سه مورد که CAPE بیش از ۲۰۰۰ J/kg توسط دادههای باز تحلیل فروتخمین شده است، دادههای بازتحلیل مقادیر کمتر از J/kg ۵۰۰ را با فراتخمین تولید کرده است (شکل ۲-ط). دادههای بازتحلیل در این ایستگاه CIN (شکل ۶–ط)، SB-CIN (شکل ۷–ط) و ML-CIN (شکل ۸–ط) را با پراکندگی قابل قبولی تولید کرده است، هرچند برای MU-CIN بیشترین پراکندگی تولید شده است (شکل 9-ط).

# ۳-۱ تحلیل آماری

به منظور تحلیل کمّی بررسی عملکرد و دقت دادههای بازتحلیل در بر آورد مقدار انواع CAPE و CIN در ایستگاههای مختلف، مقدار R، MAE و RMSE برای هر ایستگاه و برای پارامترهای همرفتی جدول ۲ به ترتیب در جدولهای ۳ تا ۶ فهرست شده است. تحلیل جدول ۳ نشان میدهد که در ایستگاههای تبریز، اصفهان پارامتر SB-CAPE، در ایستگاههای مشهد، تهران، اهواز، کرمان و زاهدان پارامتر ML-CAPE، در ایستگاههای کرمانشاه و شیراز پارامتر MU-CAPE بیشترین همبستگی را تولید کردهاند. برای ایستگاه-های تبریز، اصفهان، شیراز و زاهدان یارامتر SB-CIN، برای ایستگاههای مشهد، تهران، کرمانشاه، اهواز و شیراز یارامتر ML-CIN و برای ایستگاههای کرمان و شیراز پارامتر MU-CIN بیشترین همبستگی را تولید کرده است.

جدول ا	معدار x برای انو	SCIN YCALE E	فكاسبه سده	0000010		للاالى وبارتحقي	ں			
رديف	نام ایستگاه	شناسه ایستگاه	CAPE	CIN	SB-CAPE	SB-CIN	ML-CAPE	ML-CIN	MU-CAPE	MU-CIN
۱	تبريز	٤٠٧٠٦	•/84	•/££	٠/٩٥	•/٤0	•/٣٩	•/72	٠/٥٤	•/۲٥
۲	مشهد	٤٠٧٤٥	•/1٨	•/٤٦	•/1٨	•/0٤	•/٣١	•/oY	•/•٩	•/££
٣	تهران	٤٠٧٥٤	•/1٤	•/00	•/•٨	•/00	•/0٣	٠/٦١	•/•٣	•/0•
٤	كرمانشاه	٤٠٧٦٦	•/•¥	•/٣•	•/•٦	•/٣١	•/٣٢	•/٦٢	•/27	•/٣٢
٥	اصفهان	٤٠٨٠٠	•/¥•	۰/٦٣	•/٧٤	•/٦٤	•/٦•	•/£Y	•/7٦	•/٣١
٦	اهواز	٤٠٨١١	•/00	•/&1	+/00	•/84	•/٦٦	•/97	٠/٦٦	•/٦٢
۷	کر مان	٤٠٨٤١	•/٤٣	•/٣•	•/٣٨	•/1٨	٠/٨٩	•/٣•	۰/٥٣	۰/۳٥

•/ <b>"Y</b>	٠/٢٥	•/Yo	•/45	+/Y0	•/1•	•/٧٣	•/1۲	٤•٨٤٨	شيراز	٨
•/٣٣	•/11	•/٦٤	٠/٥٩	•/Y0	•/٣٦	•/٧٢	٠/٣٤	٤٠٨٥٦	زاهدان	٩

جدول ٤ مقدار ME برای انواع CAPE و CIN محاسبه شده با استفاده از دادههای مشاهداتی و بازتحلیل

MU-CIN	MU-CAPE	ML-CIN	ML-CAPE	SB-CIN	SB-CAPE	CIN	CAPE	شناسه ایستگاه	نام ایستگاه	رديف
12/82	1.92/.7	20/21	935/97	120/08	11.1/07	123/08	11.5/98	٤٠٧٠٦	تبريز	۱
-28/29	282/97	37/22	31/93	14/41	229/12	۲۰/۱۳	225/22	٤٠٧٤٥	مشهد	۲
-134/91	"ለለ/ዒለ	-117/27	3779/72	-85/78	٣٦٥/٩٢	- <b>~</b> ٩/••	***	٤.40٤	تهران	٣
-138/41	oty/ta	-29/08	٤٢٠/٩٨	٦/٠٥	300/21	2/25	TOY/EA	٤٠٧٦٦	كرمانشاه	٤
-211/+9	202/02	-1.3%	3477/29	-80/82	49X/77	-91/08	8.0/20	٤. ٨	اصفهان	٥
YA/YY	-18/72	04/44	- <b>k</b> o/Yo	٨٠/٣٣	122/02	25/12	129/00	٤٠٨١١	اهواز	٦
-191/•8	-Y•/A٩	-129/19	01/10	-£•/Y•	٤٨/٧٣	-0./14	77/12	٤-٨٤١	كرمان	۷
-11•/•*	1227/12	-85/92	11+7/07	152/25	1822/88	129/01	1827/29	٤٠٨٤٨	شيراز	٨
-122/02	777/29	-28/20	¥•¥/A¥	٤٩/٠٦	٢٥٦/٩٣	29/28	Y07/+9	٤٠٨٥٦	زاهدان	٩
						1000				

مقایسه مقدار خطای تولید شده توسط داده های باز تحلیل در بر آورد انواع CAPE و CIN در مقایسه با مقادیر مشاهداتی (جدول ۴) نشان می دهد که در ایستگاه های مشهد، کرمانشاه و کرمان پارامتر SB-CAPE، در ایستگاه های تبریز، تهران، شیراز و زاهدان پارامتر -ML CAPE، در ایستگاه های اصفهان و اهواز پارامتر MU-CAPE کمترین خطا را تولید کرده است. همچنین در ایستگاه کرمانشاه پارامتر CIN، در ایستگاه های تهران، اصفهان و کرمان پارامتر SB-CIN کمترین خطا را تولید کرده است. همچنین در ایستگاه کرمانشاه پارامتر III، در ایستگاه های تهران، اصفهان و کرمان پارامتر SB-CIN کمترین خطا را تولید کرده است. همچنین در ایستگاه کرمانشاه پارامتر SB-CIN، در ایستگاه های تهران، اصفهان و کرمان پارامتر SB-CIN کمترین خطا در ایستگاه های مشهد، شیراز و زاهدان پارامتر ایستگاه های تبریز و اهواز پارامتر MU-CIN کمترین خطا را تولید کرده است. عملکرد داده های باز تحلیل در فرا تخمین کردن یا فرو تخمین کردن پارامترها در جدول ۴ نشان داده شده است. مقدار مطلق خطا میان انواع پارامترهای CAPE و CIN محاسبه شده با استفاده از داده های مشاهداتی و باز تحلیل در جدول ۵ قابل مقایسه است.

			1 1~7 11. 4	مام مشاهدات		1	CINAC		MARINE	
			و بار تحليل	قای مساهداتے	استفاده از داده	کاسبه سده با	. CIN و CIN ه	برای انواع AFE	معدار IVIAE	جدول د
MU-CIN	MU-CAPE	ML-CIN	ML-CAPE	SB-CIN	SB-CAPE	CIN	CAPE	شناسه ایستگاه	نام ایستگاه	رديف
12/22	1.91/.4	20/21	٩٣٤/٩٦	120/08	=11+1/08	124/04	11.5/98	٤٠٧٠٦	تبريز	۱
٤٨/٢٩	282/97	٣/٢٢	۳۸۱/۹۳	14/41	229/12	۲۰/۱۳	225/22	٤.٧٤٥	مشهد	۲
150/91	۳۸۸/۹۸	115/22	344/15	٣٤/٨٩	170/91	۳٩/۰۰	***	٤٠٧٥٤	تهران	٣
134/21	034/14	٤٩/٥٣	٤٧٠/٩٨	٦/٠٥	30./11	2/25	TOY/EA	٤٠٧٦٦	كرمانشاه	٤
111/.9	202/02	1.7%	TTA/29	10/17	49X/41	91/08	3.0/20	٤٠٨٠٠	اصفهان	٥
YA/YY	12/22	04/44	٨٥/٧٥	٨٠/٣٣	122/02	25/12	129/00	٤•٨١١	اهواز	٦
191/+2	۲۰/۸۹	129/19	07/7.	15.14.	٤٦/٣	100/74	22/25	٤•٨٤١	كرمان	۲
11./.*	1227/12	35/92	11.7/07	122/22	1822/88	129/01	1822/29	٤٠٨٤٨	شيراز	٨
125/04	777/29	٤٨/٤٥	Y•Y/AY	٤٩/٠٦	٢٥٦/٩٣	٤٩/٤٢	۲٥٣/٠٩	٤٠٨٥٦	زاهدان	٩

طبق جدول ۶، محاسبه جذر میانگین مربع خطا برای انواع پارامترهای CAPE و CIN برای هر ایستگاه نشان می دهد که برای سه ایستگاه تبریز، مشهد و تهران پارامترهای ML-CAPE و ML-CIN، برای ایستگاه کرمانشاه پارامترهای CAPE و ML-CIN، برای ایستگاه اصفهان پارامترهای CAPE و SB-CIN، برای ایستگاه اهواز پارامترهای ML-CAPE و ML-CIN، برای ایستگاه کرمان پارامترهای ML-CAPE و SB-CIN، برای ایستگاه شیراز پارامترهای ML-CAPE و ML-CIN و ML-CAPE و برای ایستگاه زاهدان پارامترهای SB-CIN و CAPE و CIN CAPE کمترین مقادیر خطا را تولید کردهاند. همچنین ایستگاههای تبریز و شیراز برای انواع پارامتر CAPE بیشترین مقدار خطا (بیش از (۱۰۰۰ J/kg را داشتهاند، در حالیکه خطا در برآورد انواع پارامترهای CAPE برای ایستگاه کرمان کمتر از A۰ J/kg بوده است. برای برآورد انواع پارامتر CIN، ایستگاههای شیراز و تبریز و کرمان بیشترین خطا (در حدود J/kg) و ایستگاههای کرمانشاه و مشهد کمترین خطا را داشتهاند.

MU-CIN	MU-CAPE	ML-CIN	ML-CAPE	SB-CIN	SB-CAPE	CIN	CAPE	شناسه ایستگاه	نام ایستگاه	رديف
41./41	1022/20	2.5/25	1292/20	229/22	1200/08	121/00	1092/11	0 2.4.5	تبريز	1
2+9/21	1 • • ٧/٩٤	128/00	779/88	190/25	212/21	212/20	٨. ٧/ ٨.	٤.٧٤٥	مشهد	۲
202/99	977/92	188/92	VTT/T 1	229/28	٨٦١/٥٥	12.1.1	YV/YOA	٤.٧٥٤	تهران	٣
777/70	1220/12	102/02	917/17	172/2.	940/19	122/20	941/41	٤٠٧٦٦	كرمانشاه	٤
252/91	11.7/48	222/02	874/27	215/12	٨٦٦/٦١	TI9/AL	10/42	٤٠٨٠٠	اصفهان	٥
212/29	1240/80	1•4/•9	٤٦٧/٣٤	1٩٠/١٦	1221/20	193/79	1820/02	٤•٨١١	اهواز	٦
222/09	xyy/9x	212/92	072/20	194/22	759/05	190/+1	201/22	5.451	كرمان	۲
۳۰۰/۹۳	1222/28	120/72	1017/22	100/11	1295/25	22./.2	1291/+2	٤٠٨٤٨	شيراز	٨
777/70	12 • 37/3 •	140/0+	185./28	177/28	1017/29	129/01	1017/15	5.402	زاهدان	٩

۴- نتیجه گیری

در این تحقق حمی شد تا اعتبار داده های باز تحلیل ERA5 در بر آورد انواع پارامتر های همرفتی CAPE و CAPE در CAPE م CIN CIN و ML-CAPE و MU-CAPE و CIN تو A معرفتی CIN اعم از CIN SB-CIN SB-CIN SB-CIN در مقایسه با داده-های مشاهداتی ارزیابی گرده برای این منظور از داده های گمانه زنی ۹ ایستگاه جو بالا در تبریز، مشها، تهران، کرمانشاه، اصفهان، اهواز، کرمان، شیراز و زاهدان استفاده شد. این ارزیابی در بازه زمانی ۴۱ ساله از ابتدای ۱۹۹۰ تا انهای ۲۰۰۰ انجام شد. البته بازه زمانی برای هر ایستگاه بر حسب داده های مشاهداتی دردسترس در آن ایستگاه جو بالا در تبریز، مشها، تهران، کرمانشاه، اصفهان، برای هر ایستگاه بر حسب داده های مشاهداتی دردسترس در آن ایستگاه منغیر بوده است. برای ارزیابی از ۴ شاخص آماری R، MA MAE و MAE استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامتر CAPE و CIN-M در ایستگاههای بیشتری توانسته بالاترین همبستگی میان داده های مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. همچنین ارزیابی شاخص آماری ME CIN در ایستگاههای بیشتری توانسته الاترین همبستگی میان داده های مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. همچنین ارزیابی شاخص آماری M و AD-CIN در ایستگاههای بیشتری توانسته الاترین همبستگی میان داده های مشاهداتی و باز تحلیل را تولید کند. همچنین ارزیابی شاخص آماری M و AD-CIN ماری جذر میانگین مربع خطا برای انواع میان داده های بیشتری کمینه خطا را تولید کند. بابراین، نتیجه گیری می شود که با استفاده از داده های باز تحلیل کرامتر ایستگاههای بیشتری کمینه خطا را تولید می کند. بنابراین، نتیجه گیری می شود که با استفاده از داده های باز تحلیل پارامترهای AD-CIN و CIN-در میشتری میشتری کمینه خطا را تولید می کند. بابراین، نتیجه گیری می شود که با استفاده از داده های باز تحلیل در میای کین مربع خطا برای تولید کرده-ایستگاههای بیشتری کمینه خطا را تولید می کند. بابراین، نتیجه گیری می شود که با استفاده از داده های کمتری را تولید کرده-ار معرفتی AD-CAPE و CID در بیشتر ایست تا بسته هوایی که کاملا آمیخته است مورد توجه قرار گیرد. از این در وش ناست که برای محاسه که در جو ایستگاههای مورد بررسی، شاخص ناپایداری AD-CAPE حاصل از داده های باز تحلیل و داند. روم می می نوان به این نتیجه رسید که در جو ایستگاههای مورد بررسی، شاخص ناپایداری AD-CAPE حاصل از داده های باز تحلیل و داده های مشاهداتی راد هوای کاملا آمیخته نماینده کامل تری از جو حاکم بر ایستگاهها بوده است. به عبارتی می توان این گونه بیان کرد که در اغلب موارد جو حاکم بر ایستگاههای ذکر شده به جو کاملا آمیخته نزدیک تر بوده است. نتایج حاصل شده از اعتبارسنجی ML-CAPE و ML-CIN حاصل از دادههای ERA5 در ایستگاههای ایران، مشابه نتایج تازارک و همکاران (۲۰۲۱۵) برای اروپا و شمال آمریکا است که این دو پارامتر را از سایر پارامترهای بررسی شده دقیق تر معرفی کردند. از اینرو، پیشنهاد می شود در صورت نیاز به محاسبه CAPE و CIN با استفاده از دادههای بازتحلیل ERA5 از دو پارامتر ML-CAPE و ML-CIN استفاده شود.

۵- مراجع
صادقی حسینی، س.ع. و رضائیان، م.، (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه
اصفهان. مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۳(۲)، ۸۳–۹۸.

صالح، ن.، قرایلو، م.، مزرعه فراهانی، م.، (۱۳۹۹). مطالعه عددی عملکرد شاخص تهدید آذرخش در پیشبینی آذرخش، نوزدهمین کنفرانس ژئوفنز بک، تهران، ایران.

طهماسبیپاشا، الف، میرزایی، م.، محب الحجه، ع. (۱۴۰۰)، ارتباط شاخصهای همرفتی و دورپیوندی در منطقه غرب آسیا، مجله ژئوفنز بک ایران، ۱۵(۳)، ۱–۲۶.

قویدل رحیمی، ی.، عباسی، الف، فرجزاده، م.، (۱۳۹۷)، واکاوی دینامیک و ترمودینامیک شدیدترین چرخند حارّهای مؤثر بر سواحل جنوبی ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۱)، ۹۷–۱۱۲.

مجرد، ف.، کوشکی، س.، معصومپور، ج.، میری، م.، (۱۳۹۶) تحلیل شاخص های ناپایداری توفانهای تندری در ایران با استفاده از دادههای بازتحلیل. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴، ۳۳–۴۸.

Allen, J.T., & Karoly, D.J. (2014). A climatology of Australian severe thunderstorm environments 1979–2011: Inter-annual variability and ENSO influence. *International Journal of Climatology*, 34, 81–97.

Brooks, H.E, Anderson, A.R., Riemann, K., Ebbers, I., & Flachs, H. (2007). Climatological aspects of convective parameters from the NCAR/NCEP reanalysis. *Atmospheric Research*, 83, 294–305.

Brooks, H.E., Lee, J.W., & Craven, J.P. (2003). The spatial distribution of severe thunderstorms and tornado environments from global reanalysis data. *Atmospheric Research*, 67–68, 73–94.

Bunkers, M.J., Klimowski, B.A. and Zeitler, J.W., 2002. The importance of parcel choice and the measure of vertical wind shear in evaluating the convective environment, Preprints, 21st Conf. Severe Local Storms, San Antonio, *American Meteorological Society*, J117–J120, pp.11-16.

Craven, J.P., Jewell, R.E. and Brooks, H.E., 2002. Comparison between observed convective cloud-base heights and lifting condensation level for two different lifted parcels. *Weather and Forecasting*, 17(4), pp.885-890.

Doswell, III.C.A., & Rasmussen, E.N. (1994). The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculations. *Weather Forecasting*, 9, 625–629.

Doswell, III,C.A., Brooks, H.E., & Maddox, R.A. (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Weather Forecasting*, 11, 560–581.

Firouzabadi, M., Mirzaei, M. and Mohebalhojeh, A.R., 2019. The climatology of severe convective storms in Tehran. *Atmospheric Research*, 221, pp.34-45.

Gensini, V.A., Mote, T.L., & Brooks, H.E. (2014). Severe-thunderstorm reanalysis environments and collocated radiosonde observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53, 742–751.

Grünwald, S., & Brooks, H.E. (2011). Relationship between sounding derived parameters and the strength of tornadoes in Europe and the USA from reanalysis data. *Atmospheric Research*, 100, 479–488.

Hobbs, P.V., & Wallace, J.M., (1977). Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press, 350 pp.

Hodges, K.I., Lee, R.W. & Bengtsson, L. (2011). A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25. *Journal of Climate*, 24, 4888–4906.

Marsh, P.T., Brooks, H.E., & Karoly, D.J. (2009). Preliminary investigation into the severe thunderstorm environment of Europe simulated by the Community Climate System Model 3. *Atmospheric Research*, 93, 607–618.

Pilguj, N., Taszarek, M., Allen, J.T. and Hoogewind, K.A., 2022. Are trends in convective parameters over the United States and Europe consistent between reanalyses and observations? *Journal of Climate*, 35(12), pp.3605-3626.

Pistotnik, G., Groenemeijer, P., & Sausen, R. (2016). Validation of convective parameters in MPI-ESM decadal hindcasts (1971–2012) against ERA-Interim reanalyses. *Meteorology*, 25, 753–766.

Púcik, T., Groenemeijer, P., Rýva, D., & Kolár, M. (2015). Proximity soundings of severe and nonsevere thunderstorms in central Europe. *Monthly Weather Review*, 143, 4805–4821.

Púčik, T., Groenemeijer, P., Rädler, A.T., Tijssen, L., Nikulin, G., Prein, A.F., van Meijgaard, E., Fealy, R., Jacob, D., & Teichmann, C. (2017). Future changes in European severe convection environments in a regional climate model ensemble. *Journal of Climate*, 30, 6771–6794.

Riemann-Campe, K., Fraedrich, K., & Lunkeit, F. (2009). Global climatology of convective available potential energy (CAPE) and convective inhibition (CIN) in ERA-40 reanalysis. *Atmospheric Research*, 93, 534–545.

Singh, M.S., Kuang, Z., Maloney, E.D., Hannah, W.M. and Wolding, B.O., 2017. Increasing potential for intense tropical and subtropical thunderstorms under global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), pp.11657-11662.

Taszarek, M., Brooks, H.E., & Czernecki, B. (2017). Sounding-derived parameters associated with convective hazards in Europe. *Monthly Weather Review*, 145, 1511–1528.

Taszarek, M., Brooks, H.E., Czernecki, B., Szuster, P., & Fortuniak, K. (2018). Climatological aspects of convective parameters over Europe: A comparison of ERA-Interim and sounding data. *Journal of Climate*, 31(11), pp.4281-4308.

Taszarek, M., Pilguj, N., Allen, J.T., Gensini, V., Brooks, H.E. and Szuster, P., 2021a. Comparison of convective parameters derived from ERA5 and MERRA-2 with rawinsonde data over Europe and North America. *Journal of Climate*, 34(8), pp.3211-3237.

Taszarek, M., Allen, J.T., Marchio, M. and Brooks, H.E., 2021b. Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data. *NPJ climate and atmospheric science*, 4(1), p.35.

Thorne, P.W., & Vose, R.S. (2010). Reanalyses suitable for characterizing long-term trends. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 353–361.

Varga, Á. J., & Breuer, H. (2022). Evaluation of convective parameters derived from pressure level and native ERA5 data and different resolution WRF climate simulations over Central Europe. Climate Dynamics, 58, no. 5-6, 1569-1585.

Viceto, C., Marta-Almeida, M., & Rocha, A. (2017). Future climate change of stability indices for the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 37, 4390–4408.

Wang, Y.C., Pan, H.L. and Hsu, H.H., 2015. Impacts of the triggering function of cumulus parameterization on warm-season diurnal rainfall cycles at the Atmospheric Radiation Measurement Southern Great Plains site. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(20), pp.10-681.

Wang, Z., Franke, J.A., Luo, Z. and Moyer, E.J., 2021. Reanalyses and a high-resolution model fail to capture the "high tail" of CAPE distributions. *Journal of Climate*, 34(21), pp.8699-8715.

Westermayer, A.T., Groenemeijer, P., Pistotnik, G., Sausen, R., & Faust, E. (2017). Identification of favorable environments for thunderstorms in reanalysis data. *Meteorology*, 26, 59–70.

