

## واکاوی همدیدی - ترمودینامیکی بارش‌های سنگین غرب و جنوب غرب ایران (مطالعه موردی ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۶)

علی اکبر شمسی پور<sup>۱</sup>  
سیف‌اله کاکي<sup>۲</sup>  
ایوب جعفری<sup>۳</sup>  
سیدمیثم جاسمی<sup>۴</sup>

### چکیده

هدف پژوهش حاضر شناخت سازوکار بارش‌های سنگین غرب و جنوب غرب ایران با روش تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی است. برای واکاوی مطالعه موردی فرودین سال ۱۳۹۵، نخست آمار ساعتی بارش ۷۰ ایستگاه همدید در منطقه پژوهش و ۱۰ ایستگاه همدید خارج از منطقه از سازمان هواشناسی تهیه و مقدار بارش هر ایستگاه محاسبه و در محیط نرم‌افزار Arc/map10 پهنه بندی شد. سپس شاخص‌های ناپایداری  $TTiLi$ ،  $Ki$ ،  $Cape$  و  $Sweat$  ایستگاه‌های کرمانشاه و اهواز اخذ و تحلیل شدند. در نهایت نقشه‌های همدیدی تحلیل شد. بر اساس شاخص‌های ناپایداری، میزان ناپایداری جو در بیشتر موارد متوسط بوده و شرایط ایجاد همرفت و توفان تندی، رعدوبرق و گاهی نیز بارش برف فراهم بوده است. تحلیل نقشه‌های همدیدی تراز دریا نشان داد در روزهای قبل از بارش، غرب ایران زیر نفوذ زبانه پرفشار سیبری قرار داشته و همزمان مراکز کم‌فشار روی

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. (نویسنده مسؤول)

Email: Seyf.kaki72@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

دریای مدیترانه تشکیل شده‌اند که با جابجایی شرق‌سوی آن‌ها شرایط برای ایجاد ناپایداری و رخداد بارندگی در منطقه فراهم شده است. ریزش هوای سرد مراکز پرارتقاع به پشت ناوه مستقر در اطراف مدیترانه و عرض‌های پایین‌تر و انتقال هوای گرم و مرطوب به جلوی ناوه باعث تقویت سامانه بارشی و در نهایت سبب شکل‌گیری بارش‌های سنگین در منطقه شده است. شاخص‌های فیزیکی و دینامیکی جو نیز گویای آن است که مقادیر مثبت تاوایی، سرعت رودباد و امگای منفی به بیشینه خود در زمان بارندگی رسیده است.

**واژگان کلیدی:** بارش سنگین، شاخص ناپایداری، نوار غربی ایران، کمفشار مدیترانه و سودان.

## مقدمه

اهمیت بررسی پدیده بارش زمانی آشکارتر است که یک مکان شاهد ریزش ناچیز و قابل توجه و ناگهانی حجم زیادی بارش باشد (محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۹: ۴۷)؛ که تحت تأثیر فرایندهای فیزیکی و دینامیکی متعدد مانند تغییر مسیر چرخندها، جابجایی توده‌های هوای گرم و مرطوب در ترازهای پایینی جو و یا وضعیت ناهمواری در برخی فصول سال به ویژه فصل بهار رخ می‌دهد (حدادی و حیدری، ۱۳۹۱: ۹۹). تعریف جامعی که برای بارش-های سیل‌زا در مناطق مختلف به طور یکسان استفاده شود وجود ندارد. زیرا در هر ناحیه بدون توجه به شرایط فیزیکی و محلی و با توجه به شرایط همدید به وجود آورنده این رویدادها، مقدار مشخصی از بارش می‌تواند سیلاب را به وجود بیاورد (قلی‌زاده و محمدی، ۱۳۹۰: ۲۰). در مناطق غربی ایران همواره بارش‌هایی با حجم سنگین می‌بارد. بطوریکه در تاریخ ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ (۲۴ تا ۲۷ فروردین ۱۳۹۵) بارش‌هایی با مقدار زیاد و تداوم چند روزه در این منطقه رخ داد و موجب خسارات زیادی شد که در این تحقیق سازوکار رخداد آن مورد بحث است. تحقیقات فراوانی در سطح جهانی بر روی بارش‌های حدی و سیلابی صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات می‌توان به هیدالگو-مونز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ کاپکا<sup>۲</sup> و سیندریک<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱؛ کاوو<sup>۱</sup> و گانگولی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱؛ وارنر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛

<sup>۱</sup>- Hidalgo-Muñoz

<sup>۲</sup>- Capka

<sup>۳</sup>- Cindric

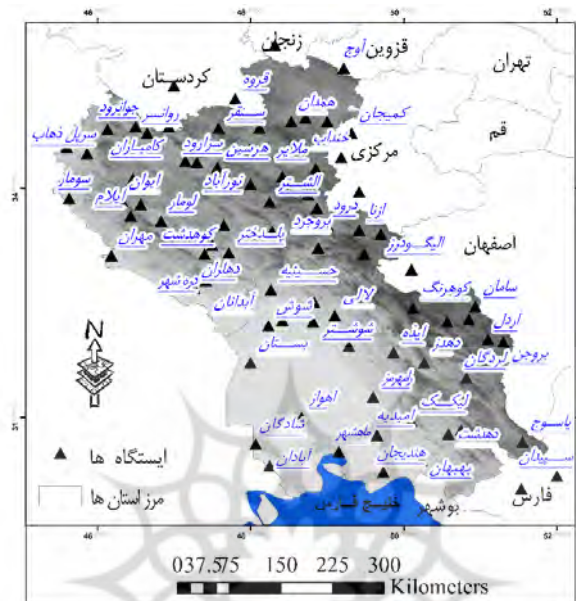
مانان<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی یو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارتین<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاماراسا بلمونته<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۴ و احامد<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴ اشاره کرد. در ایران نیز تحقیقات خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳؛ قویدل و همکاران، ۱۳۹۳، جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۴؛ آروین و همکاران، ۱۳۹۴؛ پرک و همکاران، ۱۳۹۴؛ لشگری و همکاران، ۱۳۹۴؛ رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۴؛ رفعتی و همکاران، ۱۳۹۵؛ زینالی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جلالی و همکاران، ۱۳۹۶ از جمله مواردی است که به بررسی سازوکار ایجاد بارش در مناطق مختلف ایران پرداخته‌اند.

### مواد و روش‌ها

پهنه مورد پژوهش استان‌های کرمانشاه، ایلام، لرستان، همدان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان است (شکل ۱). در این منطقه رودهای بزرگی جریان دارد که به دلیل قرارگیری سکونت‌گاه‌های انسانی و تأسیسات زیربنایی در مسیر آن‌ها، در زمان بارش‌های حدی و سنگین، خسارات بی‌شماری به همراه دارند. بنابراین بررسی سازوکار ایجاد این بارش‌ها برای آمادگی در مقابله با خسارات احتمالی آن ضرورت دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

<sup>1</sup>- Kao  
<sup>2</sup>- Ganguly  
<sup>3</sup>- Warner  
<sup>4</sup>- Mannan  
<sup>5</sup>- Liu  
<sup>6</sup>- Martin  
<sup>7</sup>- Camarasa-Belmonte  
<sup>8</sup>- Ahammed



شکل (۱) محدوده جغرافیایی منطقه پژوهش و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

برای انجام این پژوهش، داده‌های روزهای بارندگی از سایت سازمان هواشناسی کل کشور<sup>۱</sup> برای ۷۰ ایستگاه در منطقه پژوهش و ۱۰ ایستگاه که در نزدیکترین فاصله از منطقه پژوهش قرار داشتند اخذ و با استفاده از نرم افزار Arc/map10 پهنه‌بندی شد. در ادامه برای محاسبه عددی ناپایداری، از داده‌های جو بالای ایستگاه اهواز و کرمانشاه که در منطقه مورد مطالعه هستند و با پرتاب رادیوسوند این داده‌ها را برداشت می‌کنند، از طریق سایت دانشگاه وایومینگ<sup>۲</sup> آمریکا استفاده شد و مقادیر شاخص‌های Ki، TTI، Sweat، Li و Cape در نرم‌افزار<sup>۳</sup> RAOB 6.0 محاسبه شد. در ادامه تعاریف و جبر آماری این شاخص‌ها آورده شده است.

<sup>۱</sup>- <http://www.irimo.ir>

<sup>۲</sup>- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

<sup>۳</sup>- RAwinsond OBservation (RAOB)

$K_i$ : این شاخص برای محاسبه و آشکارسازی ناپایداری و همرفت در سطوح فوقانی جو استفاده می‌شود. در جدول ۱ طبقات و در رابطه ۱ روش محاسبه این شاخص آورده شده است.

$$K_i = (T_{850} + T_{500}) + Td_{850} (T_{700} + Td_{700}) \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه  $T$  دما،  $Td$  دمای نقطه شبنم و اندیس‌ها ترازهای جوی است.

جدول ۱: درصد احتمال توفان تندی بر اساس شاخص  $K_i$

ردیف	مقدار $K_i$	درصد احتمال وقوع توفان تندی
۱	۰ تا ۱۵	صفر
۲	۱۵ تا ۲۰	۲۰
۳	۲۰ تا ۲۵	۲۰ تا ۴۰
۴	۲۵ تا ۳۰	۴۰ تا ۶۰
۵	۳۰ تا ۳۵	۶۰ تا ۸۰
۶	۳۵ تا ۴۰	۸۰ تا ۹۰
۷	بیشتر از ۴۰	۱۰۰

$TTi$ : شاخص مجموع مجموعه‌ها برای محاسبه احتمال وقوع رعد و برق و توفان‌های تندی است. در جدول ۲ طبقات و در رابطه ۲ روش محاسبه این شاخص آورده شده است.

$$TTi = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500}) \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه نیز  $T$  دما،  $Td$  دمای نقطه شبنم و اندیس‌ها ترازهای جوی است.

جدول ۲: تعیین ناپایداری و آشکارسازی توفان‌های تندی بر اساس شاخص  $TTi$

ردیف	مقدار $TTi$	وضعیت
۱	تا ۴۴	احتمال کم برای حرکات همرفتی
۲	بیش از ۴۴ تا ۵۰	احتمال تندر (توفان رعد و برق)
۳	بیش از ۵۰ تا ۵۲	احتمال توفان تندی شدید
۴	بیش از ۵۲ تا ۵۶	توفان تندی حتمی
۵	بیشتر از ۵۶	توفان تندی شدید

Sweat: این شاخص برای ارزیابی بالقوه شدت توفان‌ها و خطرات ناپایداری‌های جوی است. در جدول ۳ طبقات و در رابطه ۲ روش محاسبه این شاخص آورده شده است.

رابطه ۳:

$$SW = 12Td_{850} + 20(TTi - 49) + 2(V_{850}) + (V_{500}) + 125(\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0/2)$$

در این رابطه TTi شاخص مجموع دمای نقطه شبنم، V سرعت باد به نات، dd جهت باد به درجه و اندیس‌ها نیز گویای ترازهای جوی هستند.

جدول ۳: طبقات شاخص SWEAT برای احتمال وقوع توفان و میزان خطر

ردیف	مقدار SW	وضعیت	میزان خطر
۱	کم‌تر از ۲۷۲	بدون توفان	بدون خطر
۲	۲۷۳ تا ۲۹۹	توفان‌های ضعیف	خطر کم
۳	۳۰۰ تا ۴۰۰	وقوع توفان تندی	خطر متوسط
۴	۴۰۱ تا ۶۰۰	احتمال وقوع تورنادو	خطر زیاد
۵	۶۰۱ تا ۸۰۰	توفان در حد تورنادو	خطر بسیار بالا

Li: شاخص بالابری برای پیش بینی وقوع برف، باران و توفان استفاده می‌شود. در جدول ۴ طبقات و در رابطه ۴ روش محاسبه این شاخص آورده شده است.

$$Li = T_{500} - Td \quad \text{رابطه ۴:}$$

در این رابطه T دما، Td دمای نقطه شبنم و اندیس‌ها ترازهای جوی هستند.

جدول ۴: مقادیر آستانه شروع ناپایداری و وقع توفان بر اساس شاخص Li

وضعیت	مقدار Li	ردیف
احتمال وقوع رگبارهای باران و برف	۰ تا -۲۰	۱
احتمال وقوع توفان	کمتر از -۲ تا -۵	۲
احتمال توفان شدید	کمتر از -۵ تا -۶	۳
احتمال وقوع تورنادو (دیو باد)	کمتر از -۶ تا -۷	۴

Cape: معرف انرژی بالقوه در دسترس برای همگرایی یک بسته هوای در حال صعود و در محیطی بی تلاطم است. جدول ۵ طبقات و رابطه ۵ روش محاسبه این شاخص است.

$$\text{CAPE} = g \int_{\text{SFC}}^{\text{LFC}} \frac{\text{PT}}{\text{EPT}} \text{DZ} \quad \text{رابطه ۵:}$$

در این رابطه EL تراز تعادلی بسته هوا، g نیروی جاذبه، LFC تراز آزاد همرفتی، PT دمای پتانسیل (مجازی) بسته هوا و PET دمای پتانسیل (مجازی) محیط هستند.

جدول ۵: تعیین میزان ناپایداری بر اساس شاخص CAPE

وضعیت	مقدار CAPE (j/kg)	ردیف
ناپایداری متوسط	۱۵۰۰	۱
ناپایداری شدید	۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰	۲
ناپایداری بسیار شدید	بیشتر از ۲۵۰۰	۳

برای تحلیل همیدی و دینامیکی این بارش از داده‌های شبکه‌بندی بازپردازش شده پایگاه داده‌های جوی مرکز پیش‌یابی اقلیم<sup>۱</sup> NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده به صورت میانگین روزانه و با تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه در محدوده صفر تا ۷۰ درجه عرض شمالی و صفر تا ۸۰ درجه طول شرقی استفاده شد و نقشه‌های مورد نیاز در نرم افزار<sup>۲</sup> GRADS 2.0a9 ترسیم شد. تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به دلیل نزدیکی به سطح زمین به نوعی نمایشگر ویژگی‌های تعدیل شده سطح زمین است

<sup>۱</sup> - <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis>

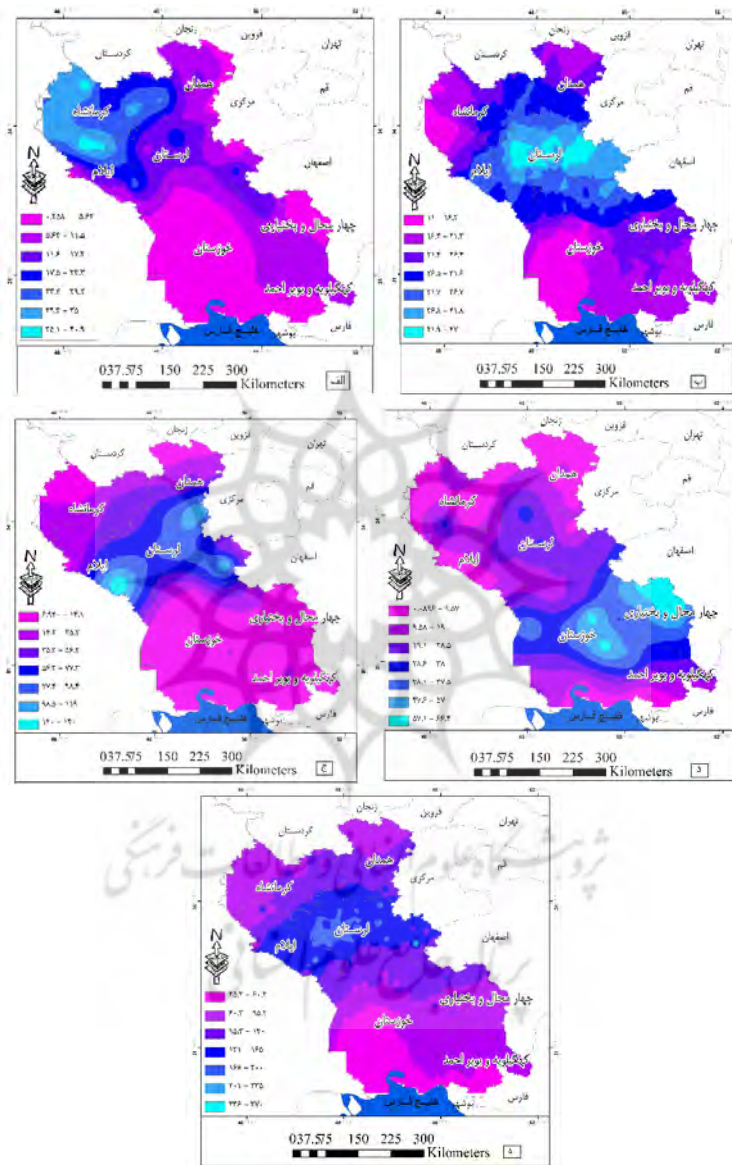
<sup>۲</sup> - Grid Analysis and Display System

(عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۸) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز به دلیل فاصله‌ای که از سطح زمین دارد، کم‌تر تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد. بنابراین برای تحلیل همدید و دینامیک از نقشه‌های تهیه شده در این دو تراز استفاده شد.

### یافته‌ها و بحث

داده‌های ایستگاهی به نوعی نماینده برخی از اتفاقات رخ داده در ترازهای جو می‌باشند که در ایستگاه‌های زمینی ثبت می‌شوند. بررسی داده‌های ایستگاهی نشان داد که در روز شروع بارش‌ها (۱۲ آوریل) اوج بارندگی در برخی از ایستگاه‌های استان کرمانشاه و ایلام قرار داشته است (شکل ۲: الف). در روز دوم (۱۳ آوریل) در اغلب ایستگاه‌های استان کرمانشاه، ایلام، لرستان و همدان بارندگی قابل توجه بوده و بیشینه بارش‌های این روز در ایستگاه شول‌آباد الیگودرز به ثبت رسیده است. نقشه بارش در این روز (شکل ۲: ب) بیانگر جابجایی هسته بارشی به سمت شرق است و در منطقه پربارش روز قبل بارندگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در روز اوج بارش‌ها (۱۴ آوریل) شدت بارش زیاد شده و در برخی از ایستگاه‌ها ۱۰۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر بارندگی رخ داده است. در روز پایانی بارش‌ها (۱۵ آوریل) در ایستگاه‌های استان خوزستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد بارندگی قابل توجه بوده است. همانطور که مشخص است (شکل ۲: د) بیشینه بارش روز پایانی در جنوب منطقه پژوهش قرار داشته است. با توجه به نقشه مجموع بارش در روزهای ۱۲ تا ۱۵ آوریل (شکل ۲: ه) مشخص شد که استان‌های لرستان و ایلام دارای بیشینه بارندگی بوده‌اند و کمترین مقدار نیز در قسمت‌های جنوب و جنوب غرب استان خوزستان باریده است.





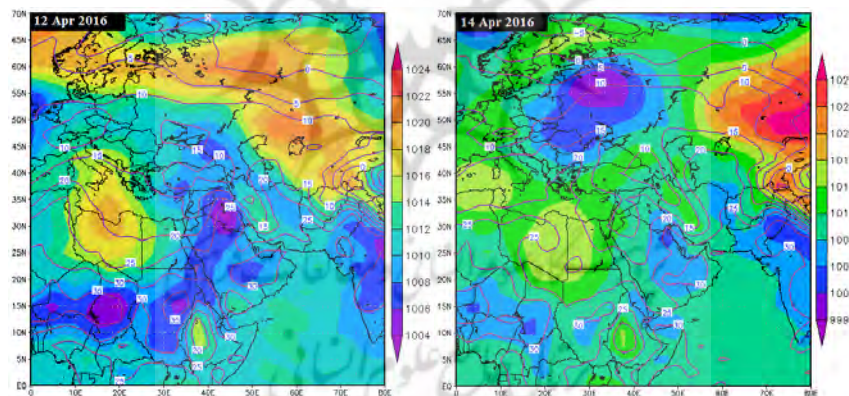
شکل (۲) بیهنه‌بندی بارش روزهای ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ (به ترتیب الف تا د) و مجموع بارش (ه)

با بررسی شاخص Ki مشخص شد در هر دو ایستگاه اهواز و کرمانشاه در روزهای ۱۲، ۱۳ و ۱۵ آوریل ناپایداری هوا و همرفت متوسط وجود دارد که نشان از احتمال بارش می‌دهد. بر اساس شاخص TTI در تمام ساعات احتمال طوفان و رعد و برق بوده و تنها در ساعت ۳:۳۰ روز ۱۴ آوریل حرکات همرفتی با احتمال کم وجود دارد. در ایستگاه اهواز و در روز ۱۲ و ۱۳ آوریل مقادیر مثبت شاخص Li نشان می‌دهد که هوا پایدار است. در روز ۱۴ احتمال وقوع توفان و در روز ۱۵ نیز احتمال وقوع رگبار باران و برف وجود دارد. در ایستگاه کرمانشاه روز ۱۲ آوریل احتمال رخداد توفان وجود دارد و در سایر روزها شرایط پایدار است. در روزهای بارندگی، در گردنه گاماسیاب ۱۵ سانتی‌متر و در شهرکرد ۱۰ سانتی‌متر برف و در محور خرم‌آباد-بروجرد نیز کولاک و برف باریده است. بررسی شاخص CAPE نشان داد که در هر دو ایستگاه کرمانشاه و اهواز وضعیت ناپایداری متوسط بوده است؛ بیشترین میزان این ناپایداری در ایستگاه اهواز در ۱۴ آوریل ۷۶۳ ژول بر کیلوگرم و در ایستگاه کرمانشاه نیز در ساعت ۱۵:۳۰ روز ۱۲ آوریل ۵۳۰ ژول بر کیلوگرم بود. شاخص SWEAT نشان داد، در ساعت ۳:۳۰ روز ۱۲ آوریل در ایستگاه اهواز احتمال توفان ضعیف با خطر کم وجود دارد و در ایستگاه کرمانشاه نیز در ساعت ۱۵:۳۰ روز ۱۲ آوریل نشان از وقوع توفان تندی با خطر متوسط است؛ در سایر روزها شرایط بدون خطر بوده است (جدول ۶).

جدول ۶: مقادیر برخی شاخص‌های ناپایداری در روزهای بارندگی

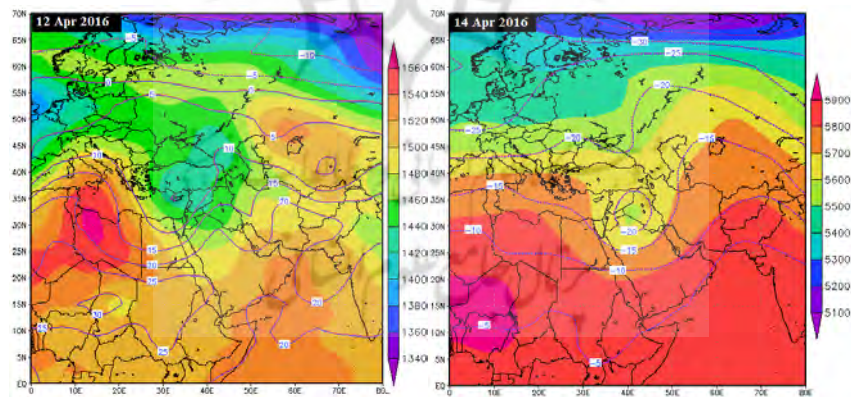
کرمانشاه				اهواز				شاخص ناپایداری		
۱۵ آوریل	۱۴ آوریل		۱۲ آوریل	۱۵ آوریل	۱۴ آوریل	۱۲ آوریل	۱۲ آوریل			
۱۵:۳۰	۳:۳۰	۱۵:۳۰	۳:۳۰	۳:۳۰	۱۵:۳۰	۲:۳۰	۳:۳۰	۳:۳۰		
۲۷/۱	۲۵/۴	۲۱/۷	۲۲/۱	۳۱/۸	۳۵/۷	۲۷/۳	۲۰/۱	۳۴/۸	Ki	
۲	۴/۳	۰/۴	۸	۲/۳	-۳/۱	-۱/۵	-۳/۴	۵/۵	۴/۴	Li
۸	-	۰	-	۱	۵۳۰	۱۵۲	۷۶۳	-	-	Cape
۴۸	۴۷/۱	۴۹/۹	۴۱/۸	۴۸/۳	۵۵/۲	۵۲/۴	۴۷/۶	۴۹/۶	۴۶/۶	TTi
۴۷/۶	۷۹/۴	۸۲	۱۲۶/۸	۱۱۸	۳۱۶/۶	۱۸۴/۲	۱۶۶	۱۸۴/۸	۲۸۵	Sweate

در روز قبل از شروع بارش، مراکز کم فشار بر روی شمال مدیترانه، شرق اروپا تا دریای سیاه و در غرب دریای سرخ نیز کم فشار سودانی قرار دارد. در شمال آفریقا و دریای عرب نیز مراکز پرفشار حاکم هستند. زبانه‌ای از پرفشار سبیری بر روی ایران کشیده شده و یک شرایط جوی آرام و پایدار در اکثر مناطق کشور حاکم است. در روزهای بارندگی زبانه پرفشار سبیری از روی ایران عقب‌نشینی کرده و پرفشار شمال آفریقا با ریزش هوای سرد عرض-های بالا، باعث افزایش گرادیان حرارتی و تقویت سیستم‌های کم فشار شده و سراسر غرب ایران تحت تسلط سیستم کم فشار قرار دارد (شکل ۳). تقویت این مراکز فشار باعث تشدید گرادیان حرارتی و فشاری و فراهم شدن شرایط ناپایداری و رخداد بارندگی می‌شود. در روزهای پایانی سراسر شمال آفریقا و منطقه مدیترانه تحت تسلط زبانه پرفشار قرار گرفته و مراکز کم فشار که در منطقه قرار داشتند نظم روزهای قبل را ندارند، زیرا با تضعیف پرفشار شمال آفریقا و عدم انتقال هوای سرد، گرادیان حرارتی و فشاری از بین رفته و مراکز کم فشار تضعیف شده‌اند.



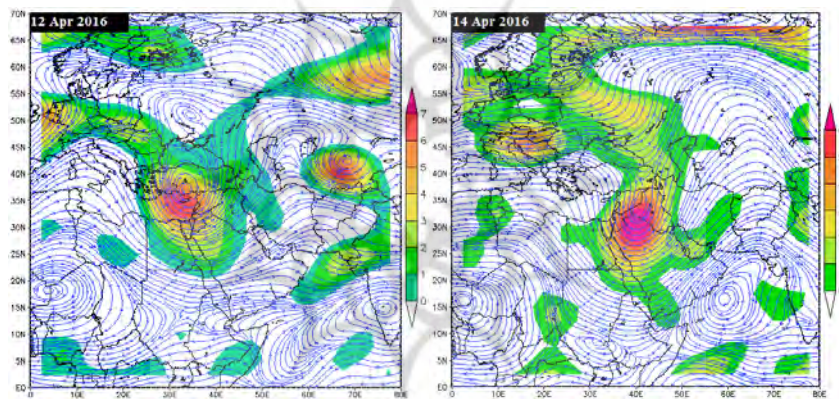
شکل (۳) میانگین فشار تراز دریا (دامنه رنگ) و دما (خطوط آبی) روز ۱۲ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۶

شرایط غالب روزهای قبل از شروع بارش‌ها، قرارگیری مرکز کم ارتفاع روی بخشی از اروپا، دریای سرخ و شرق مدیترانه و تشکیل ناوه با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد. بر روی دریای عرب و شمال غرب اقیانوس هند نیز مرکز پراارتفاع بسته شده است. در روزهای بارش ناوه مذکور با حرکت شرق سوی خود و قرارگیری محور آن روی منابع رطوبتی مانند دریای مدیترانه، سیاه و به خصوص دریای سرخ تقویت شده و باعث ایجاد ناپایداری و شروع بارش در تعدادی از ایستگاه‌های غرب کشور شده است. در این روز خط همدمای ۱۵ درجه سانتیگراد از روی منطقه پژوهش عبور کرده است و با عمیق‌تر شدن ناوه مذکور مرکز کم‌ارتفاع آن روی کشور عراق قرار گرفته است (شکل ۴). به طور کلی استقرار خطوط همدمای و فشار به شکلی است که ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا به پشت ناوه و انتقال هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین به جلوی آن، باعث تقویت هرچه بیشتر آن‌ها می‌شود. عمیق‌تر شدن ناوه حاکی از طول موج بلند امواج می‌باشد که باعث حرکت کندتر ناوه و به تبع ماندگاری آن و اثرگذاری بیشتر ناپایداری روی منطقه می‌شود. انتقال هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین در جلوی محور ناوه و برخورد با هوای سرد عرض‌های بالا باعث تشکیل جبهه و در نهایت بارش‌های سنگین در منطقه شده است.



شکل (۴) میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (دامنه رنگ) و دما (خطوط آبی) روز ۱۲ آوریل در تراز ۸۵۰ و روز ۱۴ آوریل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

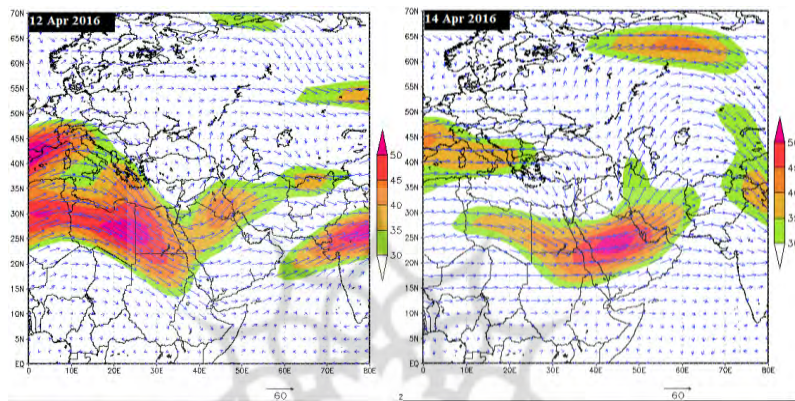
بررسی نقشه‌های تاوایی (شکل ۵) در روزهای قبل از شروع بارش‌ها نشان داد در منطقه پژوهش تاوایی منفی وجود داشته که با ریزش هوای سطوح بالا به سطح زمین باعث ایجاد شرایط پایدار شده است. اما در روزهای بارش به دلیل وجود تاوایی مثبت شرایط پایدار از بین رفته و بارش‌های سنگینی به وقوع پیوسته است. بیشینه تاوایی مثبت منطبق بر مناطق دارای بیشترین همگرایی است و از این مناطق به سمت اطراف به تدریج جریانات واگرا شده‌اند. بررسی تاوایی برای روزهای بارندگی نشان داد که به مرور منطقه بیشینه تاوایی به سمت منطقه بارش‌ها جابجا شده است و مجموع این شرایط نشان می‌دهد که به دلیل وجود تاوایی مثبت، شرایط به لحاظ دینامیکی برای صعود هوا و ایجاد ناپایداری فراهم بوده است.



شکل (۵) نقشه تاوایی مثبت (دامنه رنگی) و جریان بادتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۶

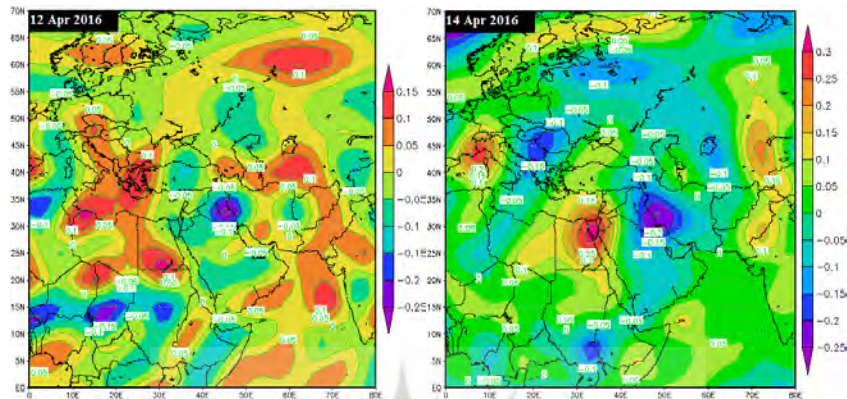
بررسی نقشه‌های رودباد نشان داد که در روزهای بارندگی رودباد جنب حاره از روی منطقه پژوهش عبور کرده و گاهی به صورت یک کمربند تا شمال افغانستان و پاکستان امتداد داشته است. بسته به جابجایی هسته رودباد به سمت جنوب و شرق خود، منطقه بیشینه بارندگی نیز تغییر داشته است. اما آنچه مهم است این است که در این روزها منطقه بارش‌ها در قسمت شمال شرق یا خروجی سمت چپ رودباد قرار داشته است (شکل ۶). چون در این قسمت از هسته جت همگرایی سطح بالا وجود دارد، بنابراین شرایط برای صعود هوا و ایجاد ناپایداری مهیا است و در غرب و جنوب غرب کشور با ایجاد ناپایداری، اغتشاش‌های جوی و تشکیل سیکلون و صعود شدید هوا بارش‌های سنگینی را در منطقه ایجاد کرده

است. بنابراین وجود یک رودباد با سرعت زیاد در ترازهای بالا که هوای سطح زمین را در کنترل خود دارد و قرارگیری منطقه پژوهش در خروجی سمت چپ آن، نقش مهمی در شدت بارش داشته است.

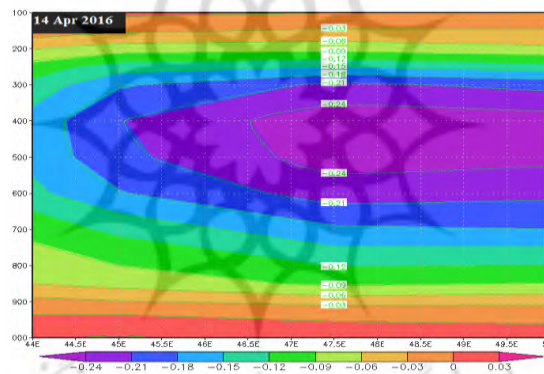


شکل (۶) نقشه رودباد (دامنه رنگ) و بردار باد (بیکان آبی) تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۶

با بررسی نقشه‌های امگا (شکل ۷) مشخص شد که بارندگی روز اول (۱۲ آوریل) ناشی از صعود هوا و ناپایداری در ترازهای پایین جو می‌باشد ولی در روزهای بعدی حرکات صعودی شدید در ترازهای میانی جو باعث ایجاد ناپایداری و ایجاد بارش شده است. بررسی نقشه نیمرخ قائم امگا در روز اوج بارش‌ها برای عرض ۳۲ درجه (شکل ۸) نشان داد که در ترازهای پایینی جو مقدار امگا برای صعود توده هوا پایین بوده و از سطح زمین تا تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال هیچ جریان صعودی هوا وجود نداشته است ولی در ترازهای میانی جو و از طول ۴۶/۵ تا ۵۰ درجه شرقی در تراز ۵۰۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال جریان صعودی شدیدی با مقدار امگای ۰/۲۴- پاسکال در ثانیه وجود داشته است که نقش مهمی در بارندگی داشته است و نشان می‌دهد که با عبور سیستم از روی منطقه و کاهش بارندگی در ترازهای پایین جو، ناپایداری در ترازهای بالایی جو وجود داشته و سبب بارندگی در روز پایانی شده است.



شکل (۷) نقشه امگا (پاسکال بر ثانیه) روز ۱۲ آوریل در تراز ۸۵۰ و ۱۴ آوریل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



شکل (۸) نقشه نیم رخ قائم امگا (پاسکال بر ثانیه) عرض ۳۲ درجه روز ۱۴ آوریل ۲۰۱۶

### نتیجه گیری

در این پژوهش نخست با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های واقع در منطقه پژوهش، بارش پهنه‌بندی شد. در ادامه از شاخص‌های ناپایداری برای بررسی میزان ناپایداری مطالعه شد و سپس به تحلیل نقشه‌های همیدی از روزهای قبل تا روز پایانی بارش‌ها پرداخته شد. نتایج بررسی‌های ایستگاهی نشان داد که در روز شروع بارش‌ها، بیشینه بارش در قسمت‌های شمالی منطقه قرار داشته است اما در روزهای بعد به سمت جنوب و جنوب شرق جابجا شده است. بر اساس شاخص‌های ناپایداری، در طول روزهای

بارندگی، میزان ناپایداری و شرایط همرفتی متوسط بوده و احتمال وقوع توفان و رعد و برق و بارش و برف وجود داشته است که این شرایط با بررسی داده‌های ایستگاهی تأیید شد. تحلیل هم‌پیدی نقشه‌های تراز دریا نشان داد که مراکز کم فشاری در اطراف و روی دریای مدیترانه قرار دارد. بر روی شمال آفریقا نیز مرکز پراتفعا قرار دارد که با تقویت آن هوای سرد به پشت ناوه ریزش می‌کند. بر روی منطقه پژوهش نیز زبانه‌ای از پرفشار سیبری قرار داشت که در روزهای بعد با حرکت شرق سوی مراکز فشار، از روی منطقه خارج شد. وجود این مراکز فشار در اطراف منطقه پژوهش باعث ایجاد یک گرادیان حرارتی و فشاری می‌شود. با عمیق شدن ناوه، طول موج آن بلند و به تبع حرکت آن کندتر می‌شود و ناپایداری آن بیشتر روی منطقه اثر می‌گذارد. از برخورد هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین با هوای سرد ریزش کننده از عرض‌های بالا جبهه تشکیل می‌شود که با نتیجه پژوهش عزیز و همکاران مطابقت دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۷). در روزهای بارندگی مقادیر مثبت تاوایی که با یک کم فشار در سطح زمین همراه بوده است، باعث صعود هوا و باعث ایجاد شرایط ناپایدار شده است. در تمام روزهای بارشی، قرارگیری منطقه بارش‌ها در خروجی سمت چپ هسته رودباد باعث همگرایی هوا به داخل مرکز کم فشار شده و در نتیجه باعث ناپایداری و صعود هوا می‌شود که مطابق با نتیجه تحقیق خوش اخلاق و همکاران می‌باشد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۱۷). حرکات قائم هوا نشان داد که در روز شروع بارش‌ها جریان صعودی در ترازهای پایینی شدیدتر بوده ولی در روزهای بعدی در ترازهای میانی جو جریان صعودی شدیدی وجود داشته است.



## منابع

- آروین، عباسعلی؛ سجادیان، سیدمحمد؛ فانقرمه، عبدالعظیم و حیدری، جلال (۱۳۹۴)، «تأثیر رودباد جنب حاره‌ای بر بارش‌های روزانه بیش از ده میلی‌متر در حوضه زاینده رود»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۷، شماره ۱، صص ۱۴۲-۱۲۵.
- آمار و اطلاعات روزانه بارش (۱۳۹۴) سازمان هواشناسی کشور.
- پرک، فاطمه؛ روشنی، احمد و علیجانی، بهلول (۱۳۹۴)، «واکاوی همیدی سامانه کم فشار سودانی در رخداد ترسالی‌ها و خشکسالی‌های نیمه جنوبی ایران»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، سال ۴، شماره ۱۵، صص ۹۰-۷۵.
- جلالی، مسعود؛ شاهبانی، علی و کمریان، وهاب (۱۳۹۶) «شناسایی الگوهای همید بارش‌های تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۱، شماره ۵۹، صص ۳۹-۲۳.
- جهانخوش، سعید؛ میرهاشمی، حمید و تدینی، معصومه (۱۳۹۴)، «تحلیل همید- ترمودینامیک بارش‌های ابرسنگین شمال غرب ایران (آذربایجان شرقی)»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۹، شماره ۵۱، صص ۱۲۵-۱۰۷.
- حدادی، حسین و حیدری، حسین (۱۳۹۱)، «تحلیل سینوپتیکی بارش سنگین ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۹ ایلام»، *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، دوره ۲۱، شماره ۸۲، صص ۱۰۳-۹۹.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ صفایی‌راد، رضا و سلمانی، داود (۱۳۹۳)، «واکاوی همید رخداد سیلاب آبان‌ماه ۱۳۹۳ در شهرستان‌های بهبهان و لیکک»، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۵۲۴-۵۰۹.
- رضایی‌بنقشه، مجید؛ علیپورگزی، فرشته؛ جعفری شندی، فاطمه و علی محمدی، مجید (۱۳۹۴)، «تحلیل همیدی بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران (با تأکید بر الگوهای ضخامت جو)» *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۹، شماره ۵۳، صص ۱۳۵-۱۱۷.

- رفعتی، سمیه؛ فتح نیا، امان اله و کریمی، مصطفی (۱۳۹۵)، «تأثیر رودبادهای سطح پایین در شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان مقیاس در جنوب غرب ایران»، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۸۲-۶۹.
- زینالی، بتول؛ عالی جهان، مهدی؛ دشنبانی، فاطمه و فاضلی، عبدالرحیم (۱۳۹۶)، «آشکارسازی همدید و هیدرومتئولوژیک ریشه‌های جوی سیلاب هروچای» *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۱، شماره ۱، صص ۲۲۱-۲۰۳.
- عزیززی، قاسم؛ نیری، معصومه و رستمی جلیلیان، شیما (۱۳۸۸)، «تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی: بارش دوره ۷-۱۴ مارس ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵)»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال ۱، شماره ۴، صص ۱۳-۱.
- قلی‌زاده، محمدحسین و محمدی، بختیار (۱۳۸۹)، «تحلیل شرایط جبهه‌زایی در زمان بارش‌های سنگین استان کردستان»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، سال ۱۱، شماره ۳۵، صص ۳۶-۱۹.
- قویدل‌رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)، «کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۱۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، سال ۱۱، شماره ۳۳، صص ۲۰۸-۱۸۲.
- لشکری، حسن؛ پژوه، فرشاد و بی‌تا، محمد (۱۳۹۴)، «تحلیل همدید بارش تگرگ فراگیر در غرب ایران»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، سال ۱۵، شماره ۴۹، صص ۸۵-۸۳.
- محمدی، بختیار و مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۹)، «تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران مطالعه موردی: آبان‌ماه ۱۳۷۳»، *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، دوره ۸، شماره ۱۹، صص ۷۰-۴۷.

-Ahammed, F., Hewa, G.A., & Argue, J.R. (2014), "Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh", *Atmospheric Research*, Vol. 137, pp.176-182.

-Camarasa-Belmonte, A.M., & Soriano, J. (2014), "Empirical study of extreme rainfall intensity in a semi-arid environment at different time scales", *Journal of Arid Environments*, Vol. 100, PP.63-71.

- Chieh-Kao S and Ganguly, A.R. (2011), "Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st-century warming scenarios", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, pp. 1-14.
- Gajic-Capka, M. and Cindric, K. (2011), "Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2008", *Geofizika*, Vol. 28, pp. 293-312.
- Hidalgo-Muñoz, J.M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M.J., & Castro-Díez, Y. (2011), "Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula", *Journal of Hydrology*, Vol. 409, pp.497-511.
- Liu, W., Zhang, M., Wang, S., Wang, B., Li, F., & Che, Y. (2013), "Changes in precipitation extremes over Shaanxi Province, northwestern China, during 1960–2011", *Quaternary International*, Vol. 313, PP.118-129.
- Mannan, M.A., Chowdhury, M.A.M., & Karmakar, S. (2013), "Application of NWP model in prediction of heavy rainfall in Bangladesh", *Procedia Engineering*, Vol. 56, PP.667-675.
- Martín, J.R., García, M.M., de Pablo Dávila, F., & Soriano, L.R. (2014), "Regimes of intense precipitation in the Spanish Mediterranean area", *Atmospheric Research*, Vol. 137, PP. 66-79.
- Warner, M.D.; Mass, C.F. and Salathe, E.P. (2012), "Wintertime Extreme Precipitation Events along the Pacific Northwest Coast: Climatology and Synoptic Evolution", *Monthly Weather Review*, Vol. 140, pp. 2021-2043.