

Investigation of heavy rainfalls over Abadan on December 16, 2019

Mohammad Moradi  ¹ | Abbas Ranjbar Saadatabadi ¹ 

1. Associate Professor. of Atmospheric Science and Meteorological Research (ASMERC), Tehran, Iran
2. Associate Professor. of Atmospheric Science and Meteorological Research (ASMERC), Tehran, Iran

Article Info:

Article type:
Research Article

history:
Received:
2022/6/30
Received:
2022/8/5
Accepted:
2022/9/11
Published:
2022/10/7

Keywords:

Flooding in
Abadan
convective
rainfall
two-parameter
distribution

Abstract: On December 16, 2019, short-duration heavy rainfall leads to flashfloods occurred in Khuzestan province, causing many problems for the people in Ahvaz and Abadan. In this study, return period of precipitation and atmospheric pressure patterns leading to this flooded was studied. The data recorded in Abadan station in southwest of Iran is obtained from Iranian Meteorological Organization. To select the suitable distribution, the Anderson-Darling test is used. Based on this test, the two-parameter lognormal distribution is distinguished as the best one to be fitted on the recorded precipitation of the Abadan station. The statistical distribution characteristics are extracted by using Minitab software. In this paper the two-parameter lognormal distribution was used to calculate the return period of the maximum daily precipitation in Abadan station. Statistical results showed that the two-parameter lognormal distribution function was the best distribution function for fitting the highest daily and six-hour precipitation data for Abadan station. The highest 24-hour and 6-hour precipitation for Abadan on December 28 was 107 mm with a 11765-year return period and 113 mm with a 4000-year return period respectively. So extensive rainfall with a high return period and lack of necessary infrastructures to collect surface water can be the major causes of flooding in Abadan. Synoptic analyzes showed that crossing pressure patterns, which were associated with atmospheric fronts, over Southwest of Iran could provide conditions for extreme weather events spatially gust fronts and sever convective rainfall in the region. High relative humidity and intense vertical velocity in the lower and middle levels of the troposphere were the main factors affecting heavy convective rainfall in the region; the former was due to the humid and warm southerlies winds at the surface and the latter was due to the cyclonic relative vorticity advection in the middle level troposphere.

Cite this article: Moradi, M., Ranjbar Saadatabadi, A. (2022). Investigation of heavy rainfalls over Abadan on December 16, 2019. *Climate Change and Climate Disasters*, 1(2), 143-169.

© The Author(s).

Publisher: University of Zanjan.

Homepage: ccd.znu.ac.ir





مطالعه همدیدی بارش شدید آبادان در آذر ماه ۱۳۹۸

محمد مرادی ۱ | عباس رنجبر سعادت آبادی ۲

۱. دانشیار و عضو هیات علمی پژوهشگاه هواشناسی

۲. دانشیار، عضو هیات علمی و رئیس پژوهشگاه هواشناسی

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۴/۹

بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۰

انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱۵

واژگان کلیدی:

آبگرفتگی در آبادان

بارش همرفتی

توزیع لوگ نرمال دو فراسنجی

چکیده: در روز بیست و هشتم آذر ۱۳۹۸، رگبار شدید باران در مدت کوتاهی در استان خوزستان ریزش کرد و مشکلات و خسارات زیادی را به همراه داشت. در این تحقیق با نگاهی کوتاه به بارش‌های دیدبانی ایستگاه هواشناسی آبادان، دوره برگشت این بارش از دیدگاه آماری برآورد شد. سپس سامانه همدیدی منجر به بارش از دیدگاه همدیدی بررسی و با دو سامانه بارشی مشابه مقایسه شد. نتایج آماری نشان داد که تابع توزیع لوگ نرمال دو فراسنجی بهترین تابع توزیع برای برازش بر داده‌های بیشترین بارش روزانه و شش ساعته ایستگاه آبادان است. بیشترین بارش شش و بیست و چهار ساعته ایستگاه آبادان در روز بیست و هشتم آذر به ترتیب ۱۰۷ و ۱۱۳ میلیمتر ثبت شده است و دوره برگشت متناظر با آنها به ترتیب ۱۱۷۶۵ و ۴۰۰۰ سال بدست آمد. بزرگی دوره برگشت و نبود زیرساخت‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی می‌تواند از عوامل اصلی ایجاد آبگرفتگی در آبادان معرفی شود. نتایج بررسی همدیدی نشان داد که سامانه‌های همدیدی عبوری از جنوب غرب ایران که با جبهه‌های جوی همراهی دارند، می‌توانند شرایط کُزفشاری شدید و بارش‌های همرفتی را در منطقه فراهم کنند. نم نسبی بالا و حرکت صعودی شدید در ترازهای زیرین و میانی جو از عوامل موثر بارش‌های همرفتی شدید در منطقه است که اولی بوسیله فرارفت هوای گرم و مرطوب جریان‌های جنوبی در سطح زمین و دومی در اثر فرارفت تاوانی نسبی چرخندی در تراز میانی، بوجود می‌آید.

استناد: مرادی، محمد، رنجبر سعادت آبادی، عباس. (۱۴۰۱). مطالعه همدیدی بارش شدید آبادان در آذر ماه ۱۳۹۸. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب

و هوایی، (۲)، ۱۴۳-۱۶۹

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

رویدادهای حدی، رویدادهایی شدید و تصادفی هستند که بندرت رخ می‌دهند و در دنباله توزیع فراوانی، همواره دورتر از نقطه تمرکز توزیع قرار می‌گیرند (مرادی، ۱۳۹۷). در سالهای اخیر که فراوانی رویدادهای حدی جوی و اقلیمی افزایش یافته است، برخی پژوهشگران سعی کرده‌اند تا اثر تغییر اقلیم بر بارشهای حدی را بررسی نمایند و برخی نیز با بکارگیری روشهای آماری مناسب، مقادیر حدی جوی را تحلیل و احتمال تکرار آن را در زمانهای مختلف فرمول بندی نمایند. دما و بیشترین بارش روزانه از مهمترین کمیت‌های حدی جوی مورد توجه این پژوهشگران می‌باشد. برخی از پژوهشگران نیز با استفاده از مدل‌های پیش بینی عددی وضع هوا، بارش‌های حدی و همرفتی (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۷) در مناطق مختلف را شبیه‌سازی کرده‌اند. در زیر بطور کوتاه برخی از پژوهش‌های اخیر بررسی می‌شود.

چیکو و همکاران (۲۰۱۱)، اثر گرمایش جهانی را بر شدت، تداوم و فراوانی بارش‌های حدی قرن بیست و یکم تحلیل کردند و نشان دادند که

بارش‌های حدی در مقیاس جهانی افزایش یافته است. جونز و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات فصلی و سالانه بارش‌های حدی در بریتانیا در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۶۱ را بررسی کردند و نشان دادند که بارش‌های حدی در بریتانیا در فصل پاییز روند افزایشی دارد و بیشتر این بارش‌ها در اثر نفوذ نوسانات اطلس شمالی رخ می‌دهد. کارا و یوسل (۲۰۱۵)، اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های متوسط و بیشینه در حوضه رودخانه‌های استانبول ترکیه را بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که مقدار جریان برای دوره بازگشت‌های یک و پنج سال در آینده افزایش می‌یابد. آنها همچنین نشان دادند که تغییر در جریان‌های حدی از دوره پایه تا دوره آتی در زمستان و بهار افزایش یافته و در تابستان و پاییز با کاهش همراه است.

اوبادا و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از مدل‌های اقلیمی و بکارگیری دو سناریوی بدبینانه، مقادیر بارش بیشینه حوزه مکر و در غرب افریقا را شبیه سازی کردند و نشان دادند که مقدار بارش بیشینه در افق زمانی ۲۰۱۰،

نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱، حدود پنجاه درصد افزایش می یابد که می تواند به مسئولان در برنامه ریزی کمک نماید. بیگی و همکاران (۲۰۱۸)، در بررسی بارش روزانه ایستگاه نیانی واقع در کشور نیجریه طی دوره آماری ۱۹۵۰-۲۰۰۹، نشان دادند که مقدار بارش روزانه در این دوره آماری روند کاهشی دارد و در دوره کوتاه ۲۰۰۹-۱۹۸۰ روند افزایشی یافته است که روند افزایشی فوق، در اثر بهبود مقدار بارش پس از دوره خشکسالی ۱۹۸۵-۱۹۶۸ رخ داده است.

تقوی و محمدی (۱۳۸۶)، روند و دوره برگشت شاخص های حدی را برای ایستگاه هواشناسی تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ و نیز برای چند ایستگاه نمونه در دوره آماری ده ساله بررسی کردند و نشان دادند که دوره برگشت نمایه های گرم، سرد و بارشی طولانی تر شده است و فراوانی رخداد شاخص های سرد نیز کاهش یافته است. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۴)، در دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵، تعداد ۲۶۸ سامانه همرفتی که در جنوب غرب ایران سبب ریزش بارش بیش از ۱۰ میلیمتر شده بود را شناسائی کردند و نشان

دادند که دسامبر و آوریل به ترتیب با ۶۹ و ۶۷ مورد، پر رخدادترین و فوریه با ۵ مورد کم رخدادترین ماه های سال از نظر بارش همرفتی بوده اند. برنا و حسن زاده (۱۳۹۵)، در تحلیل رویدادهای حدی استان خوزستان بارش و دما در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ را در ایستگاه های اهواز و آبادان بررسی کردند و نشان دادند که تعداد روزهای مرطوب، میانگین بارش روزانه و روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در این دوره روند نداشته اند. مظفری و شفیع (۱۳۹۵)، روند فراوانی بارش های حدی مناطق غربی ایران در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ را بطور ماهانه و سالانه بررسی کردند و نشان دادند که در ماه های مختلف روند روزهای با بارش حدی متفاوت است ولی در طول سال، روند منفی و کاهشی می باشد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۶) بارش های حدی روزانه ایران را در دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۲ بررسی کردند و نشان دادند که در نود و دو درصد ایستگاه های هواشناسی ایران بارش روند کاهشی داشته و در هفتاد و دو درصد ایستگاه ها تعداد روزهای خشک افزایش یافته است. بینش و همکاران (۱۳۹۷)، بارش

و رواناب حداکثری تحت اثر تغییر اقلیم در حوضه سیل برگردان غرب تهران را بررسی کردند و بر اساس خروجی مدل‌های اقلیمی و بکارگیری سناریوی انتشار، تغییرات رخ داده در دوره بازگشت‌های بارش و رواناب حدی حوضه را در دوره آینده ۲۰۹۰-۲۰۸۰ برآورد و با دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۹۹ مقایسه کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شدت بارش‌های حدی در دوره زمانی آینده نسبت به دوره پایه اندکی کاهش می‌یابد. آزر م و همکاران (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از یک مدل اقلیمی منطقه محدود، سازوکار میان مقیاس حاکم بر بارش‌های همرفتی بهاره شمال غرب ایران را بررسی کردند. این پژوهشگران با استفاده از داده‌های ایستگاهی، رقومی و خروجی مدل اقلیمی نشان دادند که بخش قابل توجهی از بارش‌های فصل بهار در شمال غرب ایران را نمی‌توان به عنوان بارش همرفتی مستقل در نظر گرفت زیرا بدون واداشت‌های دینامیکی در مقیاس همیدی، گرمایش محلی و رطوبت به تنهایی قادر به ایجاد ناپایداری مورد نیاز برای وقوع بارش نمی‌باشد.

ویوکناندان طی مقالات متوالی (ویوکناندان، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) تابع توزیع گامبل و فریچت را روی مقادیر حدی بارش، دما و سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی جنوب هند بکار برد و نشان داد که تابع توزیع گامبل برای مقادیر حدی بارش و دما و تابع توزیع فریچت برای مقادیر حدی سرعت باد این منطقه مناسب‌تر می‌باشد. این پژوهشگر همچنین روشهای محاسبه پارامترهای تابع چگالی را روی مقادیر حدی مختلف مانند، دمای کمینه و بیشینه سطح زمین، بیشترین سرعت باد و بیشترین بارش ارزیابی کرد. او نشان داد که برای برآورد دمای بیشینه سطح زمین، روش لوگ نرمال نوع سوم و برای برآورد دمای کمینه روش لوگ پیرسون نوع سوم مناسب‌تر می‌باشد.

حسن و همکاران نیز در یک سلسله مقالات (حسن، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) مقادیر حدی دما و بارش را بطور موردی در مناطق مختلف مالزی بررسی و مدل سازی کردند. این پژوهشگران در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۱ برای بیست و دو ایستگاه هواشناسی، دمای روزانه و بیشینه دما را بررسی کردند و با بکارگیری دو روش گشتاورها و بیشینه

درشتنمائی، پارامترهای تابع توزیع گامبل را برآورد کردند. آنها در ادامه دوره برگشت ۱۲۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ ماهه مقادیر حدی دما را برای ایستگاه‌های تحت بررسی بدست آوردند.

چن و همکاران (۲۰۱۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸) در یک سلسله مقالات، متعدد بارشهای شدید موردی روی تایوان را از دیدگاه همدیدی بررسی کردند و سپس با استفاده از مدل WRF اثر صعود اروگرافی و مانع کوهستان را در این بارشها شبیه سازی کردند. از جمله این بارشها می توان به بارش شدید باران روز ۱۱ اکتبر ۲۰۰۹ در شمالشرق تایوان (۲۰۱۳)، بارش شدید عصر دوم ژون تا صبح روز سوم ژون ۱۹۸۴ در شمال تایوان (۲۰۱۳) و بارش شدید باران ۱۱-۱۲ ژون ۲۰۱۲ در شمال تایوان (۲۰۱۸) اشاره کرد.

مرادی (۱۳۹۷) با بکارگیری روشهای مختلف برای برآورد فراسنج‌های مقیاس و محل، رابطه گامبل نوع اول را برای برآورد دوره برگشت سریعترین باد ایستگاه بوشهر بکار گرفت و نشان داد که روش گشتاورها برای محاسبه دوره برگشت سریعترین باد ایستگاه بوشهر در دوره آماری انتخابی از دقت بیشتری

برخوردار است. بر این اساس از روش گشتاورها برای محاسبه دوره برگشت سریعترین باد سالانه ایستگاه بوشهر استفاده کرد.

بیشتر پژوهش‌های پیشین به نحوه اثرات تغییر اقلیم بر جریانهای حدی در کل حوضه رودخانه یا بخش برون شهری آن تمرکز داشته‌اند و درک اثرات تغییر اقلیم بر جریانهای حدی در مناطق شهری و نیز شبکه زهکشی شهری و تطبیق آن با شرایط تغییر اقلیم کمتر مورد توجه قرار گرفته است (بینش و همکاران، ۱۳۹۷). شبکه زهکشی رواناب در شهرها یک زیرساخت کلیدی در پیشگیری از وقوع سیلاب شهری است که با توجه به آثار زیانبار سیلاب در محیط شهری، انجام پژوهش در زمینه چگونگی عملکرد و کارایی سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی از اهمیت بسیاری برخوردار است. اگر چه این تحقیق به این مسئله نمی‌پردازد ولی اهمیت این موضوع را مشخص می‌کند.

در روز بیست و هشتم آذر ۱۳۹۸ معادل با شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، رگبار شدید باران که در مدت کوتاهی در استان خوزستان ریزش کرد، مشکلات زیادی

این مدت بارش گزارش شده در ساعت ۰۶۰۰ گرینویچ، به بازه زمانی دوازده ساعته از ساعت ۱۸۰۰ روز قبل تا ساعت ۰۶۰۰ روز بعد و بارش ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ، به بازه زمانی شش ساعته بین ۰۶۰۰ تا ۱۲۰۰ گرینویچ تعلق دارد. از سال ۱۹۹۳ تا پایان سال ۲۰۱۹، گزارش‌ها در هشت نوبت در روز تهیه شده است و بارش این ایستگاه به صورت شش ساعته در ساعت‌های ۰۰۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ گرینویچ گزارش شده است. بنابراین، در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۹، بیشترین بارش روزانه ابتدا در ماه‌های مختلف و سپس در سال‌های مختلف تعیین شد. در دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۱۹، نیز بیشترین بارش شش ساعته روزانه در ماه‌ها و سال‌های گوناگون دوره آماری استخراج گردید. این کار با برنامه‌های رایانه‌ای نوشته شده در متلب، انجام شد.

۱-۳- روش‌ها

در این بررسی ابتدا با استفاده از نرم افزار آماری مینی‌تب و استفاده از آزمون آندرسن-دارلینگ، بر داده‌های فوق بهترین تابع چگالی احتمال برازش شد و سپس با استفاده از این تابع، دوره بازگشت بیشترین بارش روزانه بدست

را برای مردم این استان فراهم کرد بطوری که در اهواز و آبادان به دلیل نبود زیر ساخت‌های مناسب این بارش مانند شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، آبگرفتگی معابر عمومی و هجوم آب به منازل مسکونی خسارات مالی فراوانی در این دو شهر استان خوزستان به بار آورد.

در این تحقیق با نگاهی کوتاه به بارش‌های دیدبانی ایستگاه هواشناسی آبادان، ابتدا دوره برگشت این بارش از دیدگاه آماری و سپس سامانه همیدی منجر به بارش از دیدگاه همیدی بررسی می‌شود.

۱- داده‌ها و روش‌ها

۱-۲- داده‌ها

برای بررسی آماری، کمیت بارش ایستگاه آبادان که در گزارش‌های سینوپ این ایستگاه آمده است، استفاده شد. این داده‌ها، از سازمان هواشناسی گرفته شد. از بررسی داده‌های این ایستگاه، دیده شد که از ژانویه ۱۹۵۱ تا سپتامبر ۱۹۹۲، داده‌ها به صورت پنج نوبت در روز، در ساعت‌های ۰۳۰۰، ۰۶۰۰، ۰۹۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ گرینویچ ثبت شده است و مقدار بارش در ساعت‌های ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ گزارش شده است. در

T دوره برگشت بر حسب سال است، از این رو، رخداد x_T با دوره برگشت T سال از رابطه زیر بدست می‌آید (ویوکناندان، ۲۰۱۵):

(۳)

$$x_T = \exp\left[\mu + \sigma \sqrt{-2 \ln\left[\sqrt{2\pi}\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]}\right]$$

از تحلیل آماری بیشترین بارش روزانه چند حالت موردی برای تحلیل همدیدی و مقایسه آن با بارش سنگین شانزده دسامبر ۲۰۱۹ انتخاب شد. برای بررسی همدیدی از داده‌های بایگانی NCEP/NCAR استفاده شد. فشار سطح متوسط دریا، باد و دما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ارتفاع و دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نم نسبی و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، مولفه قائم سرعت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و میدان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال از جمله کمیت‌هایی هستند که در این تحقیق بررسی می‌شوند.

۲- یافته‌ها و نتایج

دیده می‌شود که بیشترین بارش شش ساعته بیشتر از ۴ میلیمتر در این ایستگاه در سالهای ۲۰۱۶، ۲۰۰۶، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ ثبت شده است که

آمد تا احتمال ریزش بارش‌های این ایستگاه از دیدگاه آماری بررسی گردد. برای داده‌های بیشترین بارش روزانه و شش ساعته که مقادیر مثبت و غیر صفر هستند، بر اساس آزمون فوق، تابع توزیع لوگ‌نرمال دو فراسنجی انتخاب شد (لمپرت و همکاران، ۲۰۰۱):

(۱)

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

در این معادله σ و μ به ترتیب، فراسنج‌های مقیاس و محل ۱ و $f(x)$ تابع چگالی احتمال می‌باشد. تابع تجمعی این توزیع نیز با رابطه زیر مشخص می‌شود (سامی و همکاران، ۲۰۱۶):

(۲)

$$F(x) = \phi\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

که در آن ϕ انتگرال لاپلاس است. با معکوس کردن معادله فوق، می‌توان x را بر حسب $F(x) = 1 - p$ کرد که در آن p تابع احتمال و عکس

۲-۱- نتایج آماری

شکل (۱) بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۹۳ را نشان می‌دهد. از این شکل

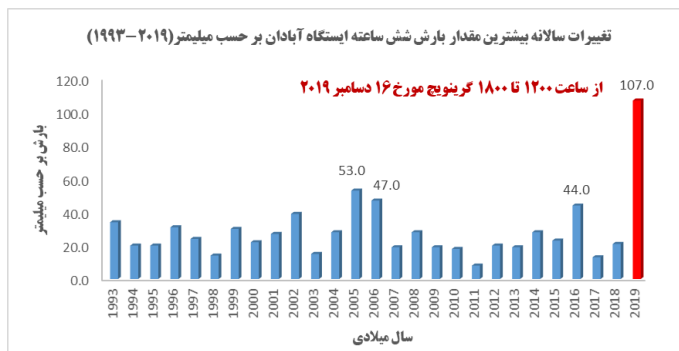
مجموع بارش سالانه و بیشترین مجموع بارش سالانه ایستگاه آبادان که در سال ۱۹۵۴ ثبت شده است، مقایسه شده است (شکل ۳). بررسی‌ها نشان داد که میزان بارش این روز حدود ۷۶ درصد میانگین مجموع بارش سالانه و حدود ۳۵ درصد بیشترین مجموع بارش سالانه ایستگاه آبادان بوده است.

نتایج حاصل از آزمون آندرسن-دارلینگ به ترتیب بر روی بیشترین بارش روزانه و بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان در دوره‌های آماری مختلف نشان داد که مقدار این شاخص برای توزیع لوگ نرمال از بقیه توزیع‌ها کمتر است. بنابراین تابع احتمال لوگ نرمال با فرانسج‌های محل و مقیاس متفاوت به عنوان بهترین تابع برای برازش بر داده‌های بیشترین بارش روزانه و شش ساعته ایستگاه آبادان انتخاب شد. مقدار فرانسج‌های محل و مقیاس برای این بارش‌ها در جدول (۱) آورده شده است. جدول ۱ - فرانسج‌های محل و مقیاس در تابع توزیع لوگ نرمال برازش داده شده بر داده‌های ایستگاه

آبادان

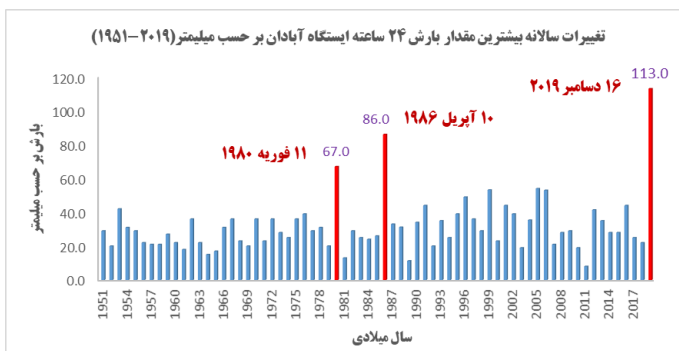
دوره آماری	فرانسج مقیاس	فرانسج محل	بیشترین بارش
۱۹۵۱-۲۰۱۸	۰/۳۹۷۱۱۱	۳/۳۴۳۷۸	بیست و چهار ساعته
۱۹۹۳-۲۰۱۸	۰/۴۰۰۸۰۵	۳/۱۶۹۲	شش ساعته

مقادیر آن به ترتیب ۴۴، ۴۷، ۵۳ و ۱۰۷ میلیمتر است. بیشترین مقدار این کمیت در سال ۲۰۱۹ ریزش کرده است. این مقدار بارش در کمتر از شش ساعت در حد فاصل ساعت ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ گرینویچ در این ایستگاه ثبت شده است. شکل (۲) بیشترین بارش روزانه ایستگاه آبادان در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۵۱ را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که در این ایستگاه مقدار بیشترین بارش روزانه در طول دوره آماری در یازدهم فوریه ۱۹۸۰، دهم آپریل ۱۹۸۶ و شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ به ترتیب ۶۷، ۸۶ و ۱۱۳ میلیمتر برآورد شده است. در غیاب مقدار بارش روز شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، دیده می‌شود که میزان بارش شش ساعته در آبادان از مقادیر بیشترین بارش روزانه نیز بزرگتر است. برای نشان دادن بزرگی مقدار بارش ریزش شده در شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، این مقدار با میانگین

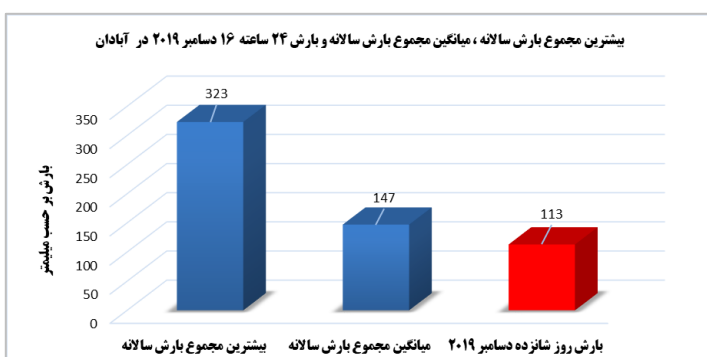


شکل ۱- تغییرات بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان بر حسب میلیمتر در دوره آماری ۲۰۱۹-

۱۹۹۳



شکل ۲- تغییرات بیشترین بارش روزانه ایستگاه آبادان بر حسب میلیمتر در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۵۱



شکل ۳- بیشترین مجموع بارش سالانه، میانگین مجموع بارش سالانه در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۵۱ و

بارش روزانه شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ در ایستگاه آبادان

از برآزش تابع احتمال لوگ نرمال دو فراسنجی بر داده‌های بیشینه بارش روزانه ایستگاه آبادان، دوره برگشت بیشترین بارش روزانه برای یازدهم فوریه ۱۹۸۰، دهم آپریل ۱۹۸۶ و شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ بدست آمد. مقادیر بر حسب سال در جدول (۲) آورده شده است. از این جدول دیده می‌شود که دوره برگشت برای بارش ۶۷ میلیمتر مربوط به یازدهم فوریه ۱۹۸۰،

حدود ۶۷ سال، برای بارش ۸۶ میلیمتر مربوط به دهم آپریل ۱۹۸۶، حدود ۴۰۰ سال و برای بارش ۱۱۳ میلیمتر مربوط به شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، حدود ۴۰۰۰ سال برآورد شده است. بنابراین می‌توان گفت مقدار بارش روزانه ریزش شده در شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، در ایستگاه آبادان در دوره آماری این ایستگاه بی‌سابقه بوده است.

جدول ۲- دوره برگشت (سال) برای بیشترین بارش روزانه ایستگاه آبادان، در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۸
بیشترین بارش ۲۴ ساعته بر حسب میلیمتر

دوره برگشت (سال)	برآورد بارش	۱۱ فوریه ۱۹۸۰	۱۰ آپریل ۱۹۸۶	۱۶ دسامبر ۲۰۱۹
5000	116.0	67.3	86.7	113.0
4000	113.3			
400	86.7			
66.6	67.3			

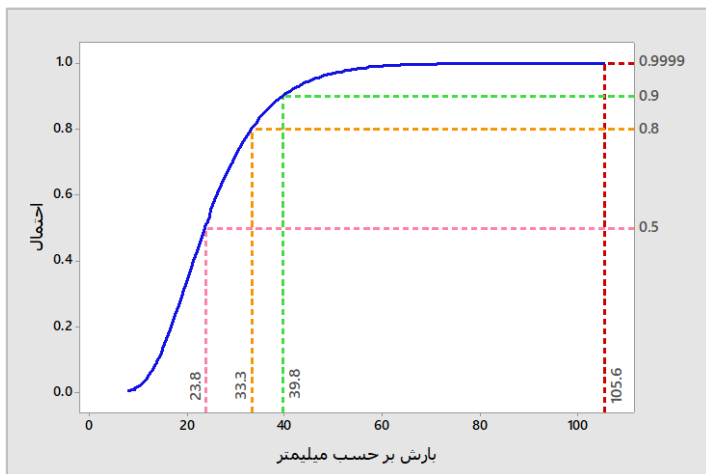
مشابه قبل، با برآزش تابع توزیع لوگ نرمال دو فراسنجی بر داده‌های بیشترین بارش شش ساعته، احتمال رخداد بارش‌های حدی بدست آمد. در شکل (۴) نحوه برآورد دوره برگشت بیشترین بارش شش ساعته در ایستگاه آبادان در احتمالات مختلف برآورد شده است (مرادی و رنجبر، ۱۳۹۸). از این شکل دیده می‌شود که بیشترین بارش مطابق با احتمال ۰/۹۹۹۹ است، ۱۰۵/۶

میلیمتر است و دوره برگشت آن در این ایستگاه مطابق با تعریف دوره برگشت، ده هزار $[1/(1-0.9999)=10000]$ سال می‌باشد. برای احتمال‌های دیگر نیز این محاسبات انجام شد و نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است. از این جدول دیده می‌شود که بیشترین بارش شش ساعته با دوره برگشت ده هزار ساله، ۱۰۵/۶ میلیمتر است. مقدار بارش ۱۰۷ میلیمتر در شش ساعت در

یافته است. از این رو چنین به نظر می‌رسد که در استفاده از کمیت دوره برگشت و تحلیل آن، افزایش شدت و فراوانی بارش‌های سیل‌آسا در نظر گرفته شود و سطح احتمال بالاتری برای پدیده‌های حدی در این استان در طراحی سازه‌های شهری بکار گرفته شود.

ایستگاه آبادان دوره برگشتی معادل ۱۱۷۶۴ سال دارد.

نتایج این تحلیل و بررسی بارش‌های سیل آسای فوریه ۲۰۱۹ در استان‌های گلستان، لرستان، فارس و خوزستان، نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر فعالیت بارشی سامانه‌های همیدی در مناطق مختلف استان خوزستان شدت



شکل ۴- تابع توزیع لوگ نرمال دوفراسنجی برازش شده بر بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان (۲۰۱۸-۱۹۹۳)

جدول ۳- دوره برگشت (سال) برای بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان، در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۳

بیشترین بارش شش ساعته ایستگاه آبادان، در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۳

احتمال	دوره برگشت (سال)	بیشترین بارش روزانه (میلیمتر)	بیشترین بارش ۶ ساعته در دسامبر ۲۰۱۹ (میلیمتر)
0.999920	12500	108.0	107.0
0.999915	11765	107.4	
0.999910	11111	106.7	

۲- نتایج همدیدی

بر اساس تحلیل آماری بند پیش، سه سامانه بارشی برای تحلیل همدیدی انتخاب شد. این سامانه‌ها به ترتیب فعالیت بارشی در این بند بررسی می‌شود. از آنجائی که بارش‌های شدید استان خوزستان از نوع همرفتی است، از این رو برای بررسی همدیدی از الگوهای فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مولفه قائم بردار باد تراز میانی، نحوه فرارفت دما و فرارفت نم ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال استفاده می‌شود. این نقشه‌ها در هنگام توفان، در بازه زمانی شش ساعته تحلیل می‌گردد.

۲-۱- تحلیل همدیدی بارش یازدهم

فوریه ۱۹۸۰

شکل‌های (۵) الگوهای همدیدی مورد یازدهم فوریه ۱۹۸۰ در ساعت‌های ۰۰۰۰ (سمت چپ) و ۱۲۰۰ (سمت راست) گرینویچ را نشان می‌دهد. میدان فشار سطح متوسط دریا و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت‌های ۰۰۰۰ و ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم فوریه ۱۹۸۰ در شکل‌های (a) و (d) نشان داده شده است. از شکل (a) دیده می‌شود که در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ، یک مرکز

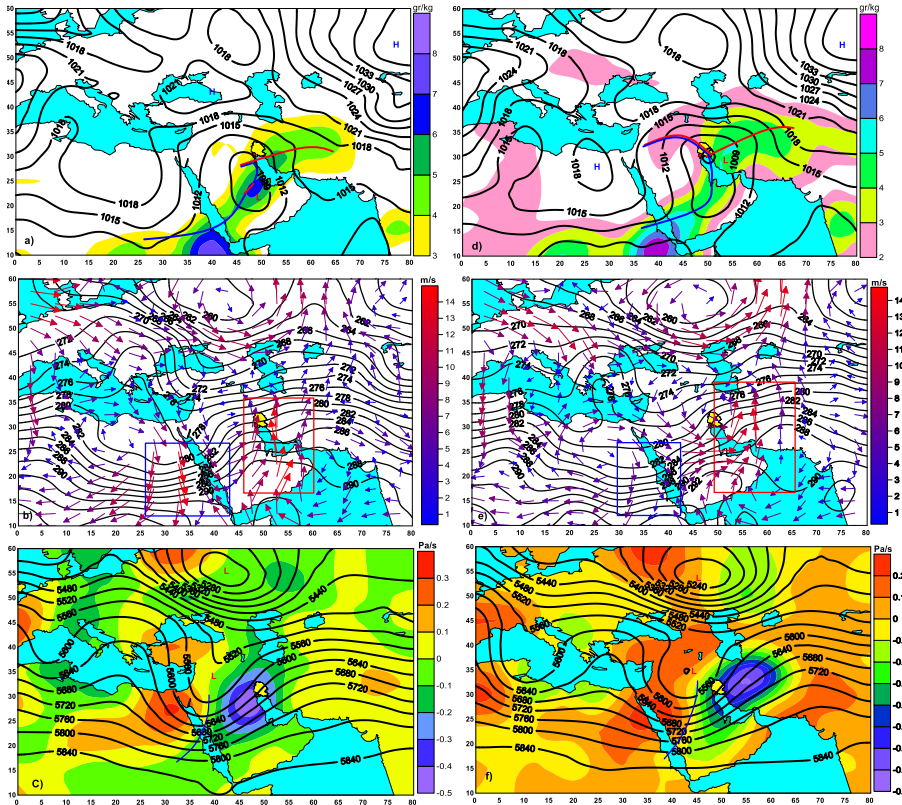
کم فشار توسعه یافته به مرکز ۱۰۰۹ هکتوپاسکال در جنوب غرب خلیج فارس قرار گرفته است. این مرکز با یک سیستم جبهه‌ای همراه است و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال هماهنگ با این سیستم جبهه‌ای در جنوب غرب استان خوزستان قرار گرفته است. ایستگاه آبادان که در شکل به دایره قرمز رنگ مشخص شده است، در این ساعت در جلو جبهه گرم قرار دارد. در این ساعت در این ایستگاه بارش باران از ابرهای نیمبو استراتوس به میزان ۷ میلی‌متر گزارش شده است. شکل (d) نشان می‌دهد که در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ مرکز کم فشار تقویت می‌شود و هسته کوچکی با خط هم فشار ۱۰۰۶ هکتوپاسکال در جنوب استان خوزستان قرار می‌گیرد. نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال این ساعت معرف وجود یک جبهه مخلوط توسعه یافته است که نقطه سه گانه آن از ایستگاه آبادان عبور کرده است. بررسی ساعت رخداد بارش نشان داد که بارش باران در ساعت ۰۹۰۰ گرینویچ تشدید شده است و مقدار بارش شش ساعته در فاصله

۰۶۰۰ تا ۱۲۰۰ گرینویچ به ۶۳ میلیمتر رسیده است.

در شکل‌های (b) و (e) الگوی دما و میدان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داده شده است. از شکل (b) دیده می‌شود که در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم فوریه، فرارفت هوای گرم (مستطیل قرمز) به سوی جنوب استان خوزستان و فرارفت هوای سرد (مستطیل آبی) به سوی غرب دریای سرخ ایجاد شده است. این الگو معرف سیستم جبهه‌ای است که درون مرکز کم‌فشار قرار گرفته است. سرعت باد ۸ تا ۹ متر بر ثانیه همراه با گرادبان دمائی مناسب و زاویه بین بردار باد و خطوط هم‌دما نشان می‌دهند که این شرایط می‌توانند تضاد دمائی مناسبی در ایستگاه آبادان را ایجاد کند. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ که در شکل (e) نشان داده شده است، فرارفت هوای گرم به شرق استان خوزستان منتقل شده است و در روی ایستگاه مطالعاتی جهت باد جنوبی به غربی تغییر یافته است.

شکل‌های (c) و (f) الگوی میدان ارتفاع و مولفه قائم باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان داده است. از

شکل (c) دیده می‌شود که در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم فوریه، یک ناوه ارتفاع عمیق در روی عراق قرار گرفته است و نوار غربی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. در این ساعت حرکت بالاسوی شدیدی با خط هم مقدار $0/3$ - پاسکال بر ثانیه، استان خوزستان را در بر گرفته است. در روی آبادان این مقدار به کمتر از $0/4$ - واحد کاهش یافته است. هنگامی که ناوه به سوی شمال‌شرق حرکت می‌کند، یک مرکز کوچک بسته کم ارتفاع در غرب استان کرمانشاه ایجاد می‌شود و مناطق تحت تاثیر این ناوه ارتفاع به تدریج به نوار مرکزی ایران کشیده می‌شود. مرکز کمینه مولفه قائم باد با هسته کمتر از $0/7$ - از روی آبادان عبور می‌کند. این شرایط در شکل (f) نشان داده شده است. از بررسی این حالت موردی دیده می‌شود که عبور یک مرکز کم‌فشار همراه با ناوه تراز میانی از جنوب غرب ایران، نم‌نسبی مناسب همراه با سرعت بالاسوی قوی ایجاد کرده است و در نتیجه شرایط مناسبی را برای بارش همرفتی ایجاد کرده است.



شکل ۵- (a و d) میدان فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و نم و یژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (گرم بر کیلوگرم)، (b) و (e) میدان باد (متر بر ثانیه) و دما (کلوین) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، (c و f) گرته ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) و مولفه قائم سرعت باد (پاسکال بر ثانیه) در ساعت ۰۰۰۰ (سمت چپ) و ۱۲۰۰ (سمت راست) گرینویچ روز ۱۱ فوریه ۱۹۸۰

۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم آپریل ۱۹۸۶ در شکل های (a و d) نشان داده شده است. بررسی میدان فشار در این حالت موردی نشان می دهد که یک مرکز کم فشار توسعه یافته با خط هم فشار ۱۰۰۳ هکتوپاسکال در روی اروپا است که ناوه آن تا شرق دریای مدیترانه امتداد یافته است. یک کم فشار دیگر

- تحلیل همیدی بارش دهم آپریل ۱۹۸۶ شکل های (۶) الگوهای همیدی مورد دهم آپریل ۱۹۸۶ در ساعت های ۰۰۰۰ (سمت چپ) و ۱۲۰۰ (سمت راست) گرینویچ را نشان می دهد. میدان فشار سطح متوسط دریا و نم و یژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت های ۰۰۰۰ و

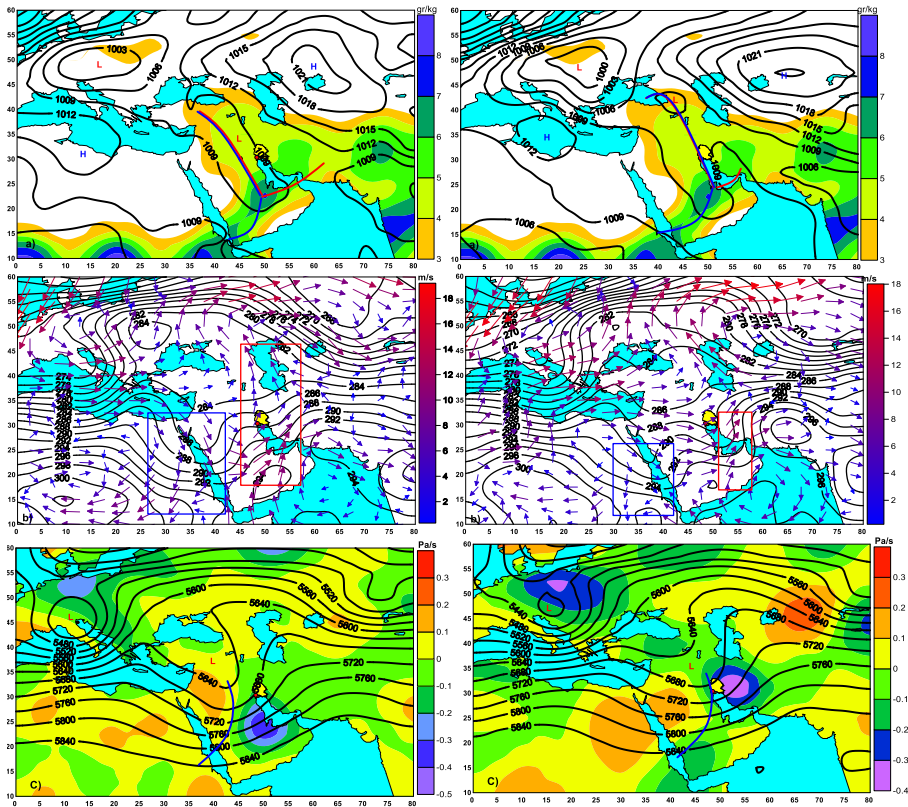
است. شکل (d) نشان می‌دهد که در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ مرکز کم فشار روی اروپا تقویت شده است و با وجودیکه یک هسته کم فشار کوچک از بخش شمالی ناوه عمیق جدا شده است، اما ناوه فوق به سوی شرق حرکت رکنده است و نوار غربی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. در این ساعت جبهه مخلوط این سامانه از روی آبادان در حال عبور می باشد. طی بازه زمانی ۰۶۰۰ تا ۱۲۰۰ گرینویچ نیز در ایستگاه آبادان همچنان رگبار و رعدو برق ثبت شده است و میزان بارش در این شش ساعت، ۳۶ میلیمتر اندازه‌گیری شده است. در شکل‌های (b) و (e) الگوی دما و میدان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داده شده است. از شکل (b) دیده می‌شود که در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز دهم آپریل ۱۹۸۶، فرارفت هوای گرم (مستطیل قرمز) از جنوب خلیج فارس به سوی شمال‌غرب ایران و فرارفت هوای سرد (مستطیل آبی) از شرق دریای مدیترانه به سوی غرب دریای سرخ ایجاد شده است. این الگو معرف سیستم جبهه‌ای است که درون مرکز کم‌فشار قرار گرفته است. در ایستگاه آبادان سرعت باد ۸ تا ۹ متر بر

نیز در جنوب‌غرب خلیج فارس است که ناوه آن به سوی شمال غرب امتدا یافته است. به تدریج که پشته فشاری به جنوب‌شرق نفوذ می‌کند، ناوه فشاری وارون ناشی از کم فشار جنوبی از این سامانه جدا می‌شود و با ناوه شرق دریای مدیترانه ترکیب می‌گردد و یک ناوه فشاری عمیق از جنوب خلیج فارس تا شرق دریای سیاه ایجاد می‌شود. این ناوه با یک سیستم جبهه‌ای همراه است که جبهه گرم در جنوب خلیج فارس، جبهه سرد در شرق دریای سرخ و جبهه مخلوط یا اکلوده این سامانه نیز در داخل ناوه فشاری تا جنوب‌شرق دریای سیاه را تحت تاثیر قرار داده است. استان خوزستان و ایستگاه آبادان در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ در شرق این جبهه قرار دارند. این شرایط در شکل (a) نشان داده شده است. این شرایط از ساعت ۰۰۰ تا ۰۶۰۰ گرینویچ با ابرهای پوششی و کومه‌ای باران، بارش باران و رگبار و رعدو برق همراه بوده است بطوریکه در این شش ساعت، میزان بارش در آبادان ۵۰ میلیمتر ثبت شده است. میزان نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در این ساعت در آبادان بین ۴ تا ۵ گرم بر کیلوگرم برآورد شده

ثانیه همراه با گرادبان دمائی مناسب قرار گرفته است. زاویه برخورد بردار باد و خطوط همدمیم در این ایستگاه حدود هشتاد درجه است و در غرب این ایستگاه فرارفت هوای سرد وجود دارد. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ که در شکل (e) نشان داده شده است، فرارفت هوای گرم به شرق استان خوزستان منتقل شده است و در روی ایستگاه مطالعاتی جهت باد جنوبی به غربی تغییر یافته است.

شکل‌های (c) و (f) الگوی میدان ارتفاع و مولفه قائم باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان داده است. از شکل (c) دیده می‌شود که در ساعت

۰۰۰۰ گرینویچ روز دهم آپریل ۱۹۸۶، یک ناوه ارتفاع عمیق در روی عراق قرار گرفته است و نوار غربی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. استان خوزستان و ایستگاه آبادان در شرق این ناوه ارتفاع قرار گرفته‌اند. در این ساعت حرکت بالاسو با خط هم مقدار ۰/۲- پاسکال بر ثانیه، استان خوزستان را در بر گرفته است. هنگامی که ناوه به سوی شمال شرق حرکت می‌کند، مرکز کمینه مولفه قائم باد با هسته ۰/۳- تا ۰/۴- استان خوزستان را در بر می‌گیرد. مقدار این کمیت در روی آبادان حدود ۰/۲- پاسکال بر ثانیه است. این شرایط در شکل (f) نشان داده شده است.



شکل ۶- (a و d) میدان فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (گرم بر کیلوگرم)، (b) و (e) میدان باد (متر بر ثانیه) و دما (کلوین) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، (c) و (f) گرته ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) و مولفه قائم سرعت باد (پاسکال بر ثانیه) در ساعت ۰۰:۰۰ (سمت چپ) و ۱۲:۰۰ (سمت راست) گرینویچ روز ۱۰ آپریل ۱۹۸۶

در شکل های (a و d) نشان داده شده است. بررسی میدان فشار نشان می دهد که یک مرکز پرفشار گسترده با خط هم فشار ۱۰۲۳ هکتوپاسکال، در روی دریای مدیترانه وجود دارد که دارای دو پشته می باشد. پشته شرقی با عبور از روی دریای سیاه، تا شمال غرب ایران امتداد یافته است و پشته غربی به

۳-۲- تحلیل همدیدی بارش شانزدهم

دسامبر ۲۰۱۹

شکل های (۷) الگوهای همدیدی مورد شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ در ساعت های ۱۲:۰۰ (سمت چپ) و ۱۸:۰۰ (سمت راست) گرینویچ را نشان می دهد. میدان فشار سطح متوسط دریا و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز شانزدهم دسامبر

میزان نم ویژه در جنوب استان خوزستان به $4/5$ واحد افزایش می‌یابد. در این ساعت ایستگاه آبادان در جلو جبهه گرم سامانه قرار می‌گیرد. این وضعیت در شکل (a) نشان داده شده است. در ایستگاه آبادان میزان بارش در شش ساعت منتهی به ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ، ۶ میلیمتر ثبت شده است. در ایستگاه اهواز نیز طی این مدت $0/7$ میلیمتر بارش گزارش شده است. شکل (d) نشان می‌دهد که در ساعت ۱۸۰۰ گرینویچ جبهه سرد در روی ایستگاه آبادان قرار گرفته است. بنابراین در حین نزدیک شدن این جبهه به استان، ریزش بارش‌های همرفتی شدید از ابرهای کومه‌ای باران مناطق مختلف استان را تحت تاثیر قرار داده است. در فاصله زمانی شش ساعته منتهی به ساعت ۱۸۰۰ گرینویچ میزان بارش در اهواز ۷۳ میلیمتر و در آبادان ۱۰۷ میلیمتر ثبت شده است.

در شکل‌های (b) و (e) الگوی دما و میدان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داده شده است. از شکل (b) دیده می‌شود که در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ، فرارفت هوای گرم (مستطیل قرمز) به سوی استان خوزستان و فرارفت هوای

صورت نصف‌النهاری به سوی جنوب دریای مدیترانه گسترده شده است. در جنوب دریاچه بالخاش نیز پرفشار سرد با هسته مرکزی ۱۰۴۱ هکتوپاسکال قرار گرفته است که دو پشته از آن به ترتیب به سوی شمال‌غرب و جنوب‌غرب امتداد یافته است. پشته اولی تا شمال دریای خزر و پشته دومی تا جنوب‌شرق ایران گسترده شده است. در بین این دو سامانه پرفشار، دو ناوه فشاری به صورت شمالی و جنوبی قرار دارد. ناوه فشاری اولی تا شمال دریای خزر امتداد دارد. ناوه فشاری دومی که به ناوه فشاری وارون دریای سرخ معروف است، از غرب دریای سرخ به سوی شمال گسترده شده است. در بخش شمالی و این ناوه نیز یک ناوه فشاری است که در شرق دریای مدیترانه قرار دارد که دارای سیستم جبهه‌ای می‌باشد. نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در جنوب استان خوزستان و روی آبادان حدود سه گرم بر کیلوگرم است. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ پرفشار روی دریای مدیترانه تقویت می‌شود و هسته پرفشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال در روی قبرس و شرق دریای سیاه ایجاد می‌گردد. ناوه فشاری وارون، استان خوزستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

سرد(مستطیل آبی) به سوی غرب دریای سرخ ایجاد شده است. در ساعت ۱۸۰۰ گرینویچ که در شکل e) نشان داده شده است، فرارفت هوای گرم به شرق استان خوزستان منتقل شده است و در روی ایستگاه مطالعاتی ضعیف شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک ناوه ارتفاع عمیق در شرق دریای مدیترانه است که در طرفین آن در شرق و غرب، دو پشته ارتفاعی قرار گرفته است. پشته غربی بطور مورب از جنوب دریای مدیترانه تا شمال شرق دریای سیاه و پشته شرقی اجنوب شرق ایران تا شمال دریاچه اورال را تحت تاثیر قرار داده‌اند. نوار غربی ایران تحت تاثیر خط ناوه ارتفاعی قرار دارد. مولفه قائم با در روی آبادان حدود ۰/۲- پاسکال بر ثانیه است. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ که در شکل c) نشان داده شده است، دیده می‌شود که عمق ناوه ارتفاع افزایش یافته است و در حین حرکت شرق سو به جنوبغرب ایران نزدیکتر شده است. در این ساعت مولفه قائم سرعت باد در استان خوزستان به ۰/۴۵- تا ۰/۵- واحد تغییر یافته است. ارتفاع تراز میانی در روی آبادان از ۵۷۲۰ متر به ۵۷۰۰ متر کاهش یافته است. در ساعت ۱۸۰۰

گرینویچ ناوه عمیق در روی عراق به یک مرکز بسته تبدیل شده است و مولفه سرعت قائم باد به بیش از ۰/۶- واحد در روی استان، کاهش یافته است. این وضعیت در شکل f) نشان داده شده است.

شکل ۸) اسکویوتی ایستگاه کاوش جو اهواز را در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز شانزدهم دسامبر نشان می‌دهد(شکل چپ). آنچه در این نمودار ترمودینامیکی قابل توجه است، برابر بودن دما و دمای نقطه شبنم در ترازهای نزدیک سطح زمین تا تراز فشاری ۴۳۳ هکتوپاسکال است که بیانگر نم نسبی ۱۰۰ درصد در لایه‌های مختلف جو منطقه مطالعاتی می‌باشد. شاخص شولتر در این زمان کمی بیشتر از ۲ درجه سلسیوس است. در این نمودار فعالیت بارش همرفتی و سنگین مشخص نیست و ناپایداری لایه‌های زیرین جو که با شاخص شولتر ارزیابی می‌شود، آشکار نشده است. برای آشکارسازی این ناپایداری، از داده‌های ایستگاه کاوش جو القسیمه کویت در جنوبغرب ایستگاه آبادان که تنها ایستگاه کاوش جو فعال نزدیک به آبادان است، استفاده شد(شکل راست). از اسکویوتی این ایستگاه در ساعت

از مورد ۱۹۸۰ به مراتب کمتر می‌باشد. با نزدیک شدن به زمان بارش، دیده شد که این کمیت در مورد ۲۰۱۹ از دو حالت موردی دیگر تا تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال، بیشتر است.

شکل (۱۰) نیمرخ قائم نم نسبی را در نزدیکترین زمان به بارش را در حالت‌های موردی نشان می‌دهد. در فوریه ۱۹۸۰ و آپریل ۱۹۸۶، ساعت ۰۰۰۰ و در دسامبر ۲۰۱۹ ساعت ۱۲۰۰ نزدیکترین زمان بارش است که داده‌های نم نسبی و امگا در دسترس بود. از این شکل دیده می‌شود که در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ یازدهم فوریه ۱۹۸۰، نم نسبی از ۸۹ درصد در سطح زمین با شیب متوسط به ۷۳ درصد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کاهش می‌یابد. در این ساعت در روز دهم آپریل ۱۹۸۶، این کمیت از ۵۸ درصد در سطح زمین با ارتفاع ابتدا کاهش می‌یابد و سپس تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روند افزایشی دارد بطوریکه در این تراز به ۷۱ درصد می‌رسد. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، نم نسبی از ۷۰ درصد در سطح زمین با ارتفاع افزایش یافته و در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال به

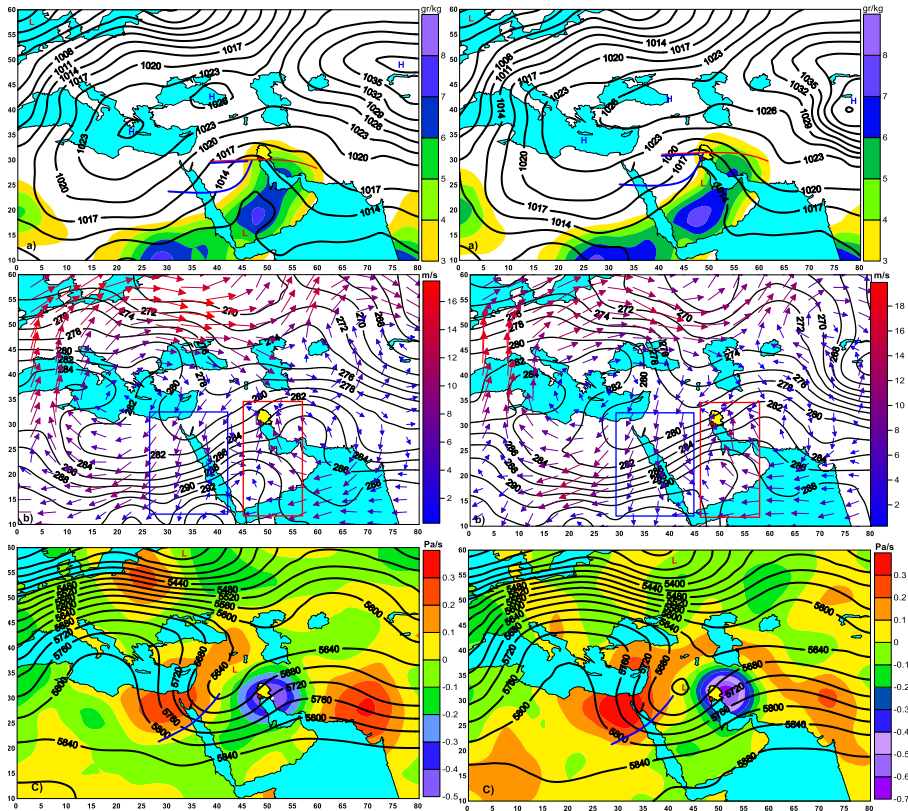
۰۰۰۰ گرینویچ روز شانزدهم دسامبر دیده می‌شود که یک لایه هوای خشک در لایه ۷۰۰-۸۰۰ هکتوپاسکال در بالای لایه هوای مرطوب زیرین قرار دارد، این لایه نشان می‌دهد که ناپایداری شدید در لایه‌های زیرین قرار دارد و شاخص شولتر در این ایستگاه کمتر از ۳- درجه سلسیوس برآورد شده است. چنین به نظر می‌رسد که ناپایداری لایه‌های زیرین با جریان‌های جنوب‌غربی به سوی آبادان انتقال یافته است. چون نمودار ترمودینامیکی اسکیتی در موردهای قبلی در دسترس نبود، لذا برای مقایسه نیمرخ قائم مولفه نصف‌النهاری باد، نم نسبی و مولفه قائم باد، از داده‌های نزدیکترین نقطه به ایستگاه آبادان استفاده شد.

شکل (۹) نیمرخ قائم مولفه نصف‌النهاری باد قبل از رخداد بارش را در حالت‌های موردی نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که در ترازهای زیرین مقدار این کمیت در شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ نسبت به دو مورد دیگر کمتر است. با افزایش ارتفاع، مولفه نصف‌النهاری باد در این حالت موردی افزایش می‌یابد و از حالت موردی ۱۹۸۶ پیشی می‌گیرد. ولی مقادی ۷ همچنان

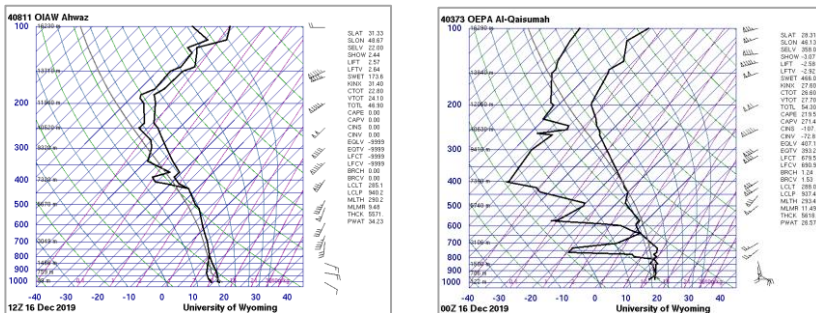
و امگا، ریزش بارش این حالت را نمی‌توان به بارش همرفتی شدید نسبت داد. در دو حالت فوریه ۱۹۸۰ و دسامبر ۲۰۱۹، تغییرات امگا با ارتفاع تقریباً مشابه هستند. با توجه به تغییرات نم نسبی مربوط به دسامبر ۲۰۱۹، بارش همرفتی شدید این حالت موردی توجیه می‌شود.

۸۰ درصد و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۷۸ درصد می‌رسد.

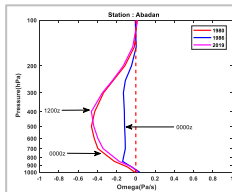
در شکل (۱۱) نیمرخ قائم امگا آورده شده است. از این شکل دیده می‌شود که مقدار مولفه قائم باد در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم آپریل نسبت به دو مورد دیگر بطور قابل ملاحظه‌ای کم است. بنابراین با توجه به مقدار نم نسب



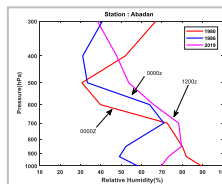
شکل ۷- (a) و (d) میدان فشار متوسط دریا (هکتوپاسکال) و نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (گرم بر کیلوگرم)، (b) و (e) میدان باد (متر بر ثانیه) و دما (کلوین) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، (c) و (f) گرته ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) و مولفه قائم سرعت باد (پاسکال بر ثانیه) در ساعت ۱۲۰۰ (سمت چپ) و ۱۸۰۰ (سمت راست) گرینویچ روز ۱۶ دسامبر ۲۰۱۹



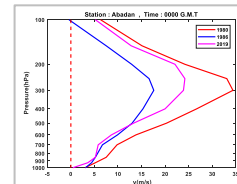
شکل ۸- اسکبوتی ایستگاه القسیمه در کویت در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ (راست) و ایستگاه اهواز (چپ) در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز ۱۶ دسامبر ۲۰۱۹ (منبع دانشگاه ایومینگ)



شکل ۱۱- نیمرخ قائم امگا (Pa/s) در ایستگاه آبادان در حالت‌های مختلف



شکل ۱۰- نیمرخ قائم نسبی (%) در ایستگاه آبادان در حالت‌های مختلف.



شکل ۹- نیمرخ قائم مولفه نصف‌النهاری باد (m/s) در ایستگاه آبادان در حالت‌های مختلف.

نتیجه‌گیری
در روز شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹، به سبب بارش شدید باران کوتاه مدت در استان خوزستان به ویژه در اهواز و آبادان، آبرفتگی معابر عمومی رخ داد و به علت نبود زیر ساخت مناسب برای تخلیه این نوع بارش، آب‌های سطحی به منازل مسکونی و خیابان‌های اهواز و آبادان هجوم بردند و علاوه بر خسارت مالی فراوان، زندگی مردم را با مشکل مواجه کردند. بیشترین مقدار بارش در

این روز در ایستگاه آبادان ثبت شد که مقدار شش ساعته آن ۱۰۷ میلی‌متر گزارش شد. این مقدار در بازه زمانی ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ ریزش کرده است. بیشترین مقدار بارش روزان نیز در این روز ۱۱۳ میلی‌متر می‌باشد. برای بررسی شرایط رخداد این بارش از دیدگاه آماری و همیدی، بیشترین بارش روزانه ایستگاه آبادان در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۵۱ بررسی شد و دو حالت موردی مشابه روز شانزدهم

این روز در ایستگاه آبادان ثبت شد که مقدار شش ساعته آن ۱۰۷ میلی‌متر گزارش شد. این مقدار در بازه زمانی ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ ریزش کرده است. بیشترین مقدار بارش روزان نیز در این روز ۱۱۳ میلی‌متر می‌باشد. برای بررسی شرایط رخداد این بارش از دیدگاه آماری و همیدی، بیشترین بارش روزانه ایستگاه آبادان در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۵۱ بررسی شد و دو حالت موردی مشابه روز شانزدهم

دسامبر برای تحلیل انتخاب شد. در این دو حالت موردی بیشترین مقدار بارش روزانه در یازدهم فوریه ۱۹۸۰ و دهم آپریل ۱۹۸۶ به ترتیب ۶۷ و ۸۶ میلیمتر بارش ثبت شده است.

بررسی آماری بارش‌های ایستگاه آبادان نشان داد که بهترین تابع برای برازش بر داده‌های بارش بیشینه ایستگاه آبادان، تابع توزیع لوگ نرمال دو فراسنجی است و بر اساس آن دوره برگشت بیشترین بارش روزانه معادل ۱۱۳ میلیمتر برابر ۴۰۰۰ سال و دوره برگشت بیشترین بارش شش ساعته معادل ۱۰۷ میلیمتر برابر ۱۱۷۶۵ سال برآورد شد. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر فعالیت بارشی سامانه‌های همدیدی در مناطق مختلف استان خوزستان شدت یافته است. از آنجائی که سازه‌های شهری استان بر اساس آمارهای تاریخی پیشین برای دوره برگشت ۱۰۰۰ ساله طراحی شده است و دوره برگشت بارش شدید شانزدهم دسامبر ۲۰۱۹ خیلی بزرگتر از این دوره است، لذا طبیعی است که بارش شدید کوتاه مدت این ایستگاه نتواند به راحتی تخلیه شود. بنابراین نبود زیر ساخت‌های مناسب تخلیه

آبهای سطحی ناشی از بارش‌های شدید همرفتی از عوامل مهم آبرگرفتی معابر عمومی در آبادان و اهواز بوده است. توصیه می‌شود که از این به بعد در طراحی سازه‌های جدید شهری، افزایش شدت فعالیت سامانه‌های بارشی مورد توجه قرار گیرد.

بررسی همدیدی سامانه‌های منجر با ریزش بارش‌های شدید ایستگاه آبادان نشان داد که سامانه‌های همدیدی عبوری از جنوب غرب ایران که با جبهه‌های جوی همراهی دارند، می‌توانند شرایط کژفشاری شدید و بارش‌های همرفتی را در منطقه فراهم کنند. نم نسبی بالا و حرکت صعودی شدید در ترازهای زیرین و میانی جو از عوامل موثر بارش‌های همرفتی شدید در منطقه است که اولی بوسیله فرارفت هوای گرم و مرطوب ناشی از جریان‌های جنوبی بخش شرقی کم‌فشارهای سطح زمین ایجاد می‌شود و دومی در اثر فرارفت تاوانی نسبی چرخندی ناشی از بخش شرقی کم ارتفاع تراز میانی، هماهنگ با کم‌فشار سطح زمین بوجود می‌آید. هرچه این مقادیر بیشتر باشد، فعالیت چرخندی سامانه شدیدتر و

مقدار بارش ریزش شده نیز بیشتر می‌باشد.

منابع

- آزر، کامل، مفیدی، عباس و خورشید دوست، علی محمد، (۱۳۹۸)، بررسی سازوکار وقوع بارش‌های همرفتی بهاره در شمال غرب ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۵۷۳-۵۵۳.
- برنا، رضا، و حسن زاده شاه‌رضائی، الناز، (۱۳۹۵)، ارزیابی و تحلیل رویدادهای حدی آب و هوایی استان خوزستان با استفاده از روش من-کندال، فصلنامه جغرافیا(برنامه‌ریزی منطقه‌ای) سال ششم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۸-۷.
- بینش، نگین، نیک سخن، محمد حسین و سازنک، امین، (۱۳۹۷)، مطالعه رژیم بارش و دبی حداکثر روناب شهری در شرایط اقلیمی آینده. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۵، سال ۱۳۹۷، صفحات ۸۲۶-۸۱۵.
- رنجبر سعادت آبادی، عباس، تاجبخش، سحر و مرادی، محمد، (۱۳۹۷)، مطالعه بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان. نشریه هواشناسی و علوم جو، جلد ۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۳۹۷-۱۳۹۷.
- حجازی زاده، زهرا، ضیائیان، پرویز، کریمی، مصطفی و رفعتی، سمیه، (۱۳۹۴)، تحلیل الگوهای فضائی و زمانی سامانه‌های همرفتی در با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در جنوب غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۰۶-۹۳.
- مظفری، غلامعلی، شفیعی، شهاب، (۱۳۹۵)، واکاوی زمانی-مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران، فصلنامه جغرافیائی سرزمین، سال سیزدهم، شماره ۵۲، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۹۵-۷۷.
- مرادی، محمد، (۱۳۹۷)، بررسی دوره برگشت سریعترین باد سالانه در ایستگاه بوشهر، پژوهش‌های اقلیم شناسی، شماره ۳۶، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۴۲-۳۱.
- مرادی، محمد و رنجبر سعادت آبادی، عباس، (۱۳۹۸)، بررسی موردی بارش‌های سیل آسا در مارس ۲۰۱۹ در ایران، مجله علمی ترویجی نیوار، دوره

- Chu, Y.-J., 2013: The favorable conditions for the occurrence of heavy rainfall over Taiwan during 10–12 June 2012. M.S. thesis, Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan, 121 pp.
- Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Zeng, H.-T., Chen, C.-Y., Liu, C.-L., (2013), Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season, Atmos. Res. 122, 310–335.
- Chen, C.-Y., Y.-L. Chen, C.-S. Chen, P.-L. Lin, and C.-L. Liu, (2013), Revisiting the heavy rainfall event over northern Taiwan on 3 June 1984, Terr, Atmos. Oceanic Sci., 24, 999–1020.
- Chen, Y.-L., Ghu, Y.-J., Chen, C.-S., Tu, C.-C., Teng, J.-H. and Lin, P.-L., (2018), Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event over Northern Taiwan during 11–12 June 2012, Monthly Weather Review, Volume 146, Pages 2715–2697.
- ۴۳، شماره‌های ۱۰۴–۱۰۵، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۷۱–۸۷.
- تقوی، فرحناز، و محمدی، حسین، (۱۳۸۶)، بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، محیط شناسی، ۳۳:۴۳، صفحات ۲۰–۱۱.
- محمدی، حسین، عزیزی، قاسم، خوش اخلاق، فرامرزی، و رنجبر، فیروز، (۱۳۹۶)، تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۱، صفحات ۳۷–۲۱.
- Bigi, V., Pezzoli, A., and Rosso, M., (2018), Past and Future Precipitation Trend Analysis for the City of Niamey (Niger): An Overview, Climate, 6(3), 73.
- Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Hsu, N.-N., Liu, C.-L., Chen, C.-Y., (2011), Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the Post-Mei-Yu season, Atmos. Res. 101, 595–610.

- Lognormal distribution across the science : keys and clues , Bio Science , Vol. 51, No 5 , Pages 341-352.
- Obada, E., E.A., Alamou, J., Zandagba, A., Chabi and Afouda,A., (2017), Change in future rainfall characteristics in the Mekrou catchment (Benin), from an Ensemble of RCMs (MPI-REMO, DMI-HIRHAM and SMHI-RCA), Journal of Hydrology, 4(1), 16pp.
 - Sami,G., D.,Hadda, and K., Mehdi, (2016), Estimation and mapping of extreme rainfall in the catchment area of Batna(ALGERIA), Analele Universităţii din Oradea, Seria Geografie. 1: 107-117.
 - Vivekanandan, N., (2015), Modelling of annual extreme rainfall, temperature and wind speed Using OSA of EV1 and EV2 distributions, International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology, 3(4):57-60.
 - Vivekanandan, N.,(2016), Evaluation of Parameter
 - Chieh-Kao S and Ganguly, A.R., (2011), Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st-century warming scenarios, Journal of Geophysical Research, 2011, Vol. 116, D16119.
 - Hasan,H., S., Norfatin, and S., Kassim, (2013), Modeling annual extreme temperature using generalized extreme values distribution: A case study in Malaysia. AIP Conf. Proc. 1522, p1195-1203.
 - Hasan, H. and W.C., Yeong, (2014), Extreme value modelling and prediction of extreme rainfall: A case study of Penang. AIP Conference Proceedings. V1309, pp. 372-393.
 - Jones, M.,R., Fowler, H.,J., Kilsby, C.,G., Blenkinsop, S., (2013), An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 an 2009. Int.J. Climatology,33,1178-1194.
 - Limpert, E., Stahel, W. A., Abbet, M., (2001),

Temperature, Journal of Scientific and Engineering Research, 2016, 3(1):74-81.

Estimation Methods of Probability Distributions for Modelling of Surface