

Analysis of Precipitation Extremes Trends in the Persian Gulf and Oman Sea Basin in Southern Iran

Peyman Mahmoudi^{1*}, Ebrahim Fattahi², Mohsen Heydari³, Allahbakhsh Rigi⁴, Atefeh Ansari⁵, Alireza Ghaemi⁶, Jabbar Rezaei⁷

1. *Corresponding Author*, Associate Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2. Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran
3. MSc. of Agricultural Engineering, Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran
4. MSc. of Mathematics, Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran
5. MSc. of Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
6. Postdoc Researcher, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
7. PhD student of Climatology, Geography Department, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 05 May 2024

Revised: 01 December 2024

Accepted: 02 January 2025

Keywords:

Sen's slope estimator, Trend, Climate change, Precipitation extremes, Iran.

ABSTRACT

In this research, to analyze the trends of precipitation extremes in the Persian Gulf and Oman Sea Basin, daily precipitation data from 47 meteorological stations over 30 years (1993-2022) were used. Fifteen precipitation extreme indices were extracted for all the studied stations, and their long-term trends were analyzed using Sen's slope estimator. The results indicated a decreasing trend in the annual total precipitation on wet days for the western and central parts and an increasing trend for the eastern parts of the Persian Gulf and Oman Sea Basin. Consistent with the decreasing trend in annual total precipitation, these two parts of the studied basin experienced a decrease in the number of days with heavy rains (more than 10 mm), very heavy rains (more than 20 mm), extremely heavy rains (more than 30 mm), and maximum consecutive 1-day, 3-day, and 5-day precipitations. However, in the eastern part of the studied basin, the trend of maximum length of dry spells was decreasing. In line with this trend, the number of days with heavy rains (more than 10 mm), very heavy rains (more than 20 mm), extremely heavy rains (more than 30 mm), and maximum consecutive 1-day, 3-day, and 5-day precipitations also showed increasing trends.

Cite this article: Mahmoudi, P. , Fattahi, E. , Heydari, M. , Rigi, A. , Ansari, A. , Ghaemi, A. and Rezaei, J. (2025). Analysis of Precipitation Extremes Trends in the Persian Gulf and Oman Sea Basin in Southern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(44), 15-18. DOI: 10.22111/jneh.2025.48651.2043



© Peyman Mahmoudi*

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2025.48651.2043

* Corresponding Author Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

INTRODUCTION

Floods caused by torrential precipitation are among the most frequent and recurring climatic hazards in Iran (Eslahi et al., 2022; Darand, 2015). This hazard imposes significant human and financial losses on the country's economic, social, and environmental structures annually (Melville, 1984; Asgharpour and Ajdari, 2011; Ebadi et al., 2020). Research conducted globally shows that a warmer atmosphere has substantially contributed to increased precipitation extremes at both global and regional scales. Warmer air retains more moisture and higher moisture content results in more water that can manifest as rainfall (Wu and Lau, 2016; Groisman et al., 2010; Manton et al., 2010; Pryor et al., 2009). The Persian Gulf and Oman Sea basin, due to its specific geographical location within Iran's arid and semi-arid regions, is highly vulnerable to climatic anomalies. One of its most critical climatic elements, precipitation, demonstrates significant variability. Therefore, examining and predicting climatic changes in this basin is crucial for mitigating risks and reducing losses across major sectors such as agriculture, industry, transportation, water resources, environment, tourism, health, and safety. The first step in managing crises associated with precipitation extremes and minimizing their destructive impacts in this basin is the identification, analysis, and study of the spatial-temporal behavior of precipitation extremes, their characteristics, and predicting their future occurrences while linking them to climatic changes.

DATA AND METHODOLOGY

This study analyzed the trend of precipitation extremes in the Persian Gulf and Oman Sea basin using daily precipitation data from 29 synoptic stations over 30 years (1993–2022), obtained from the Iranian Meteorological Organization. These stations provided the most complete and reliable data within the basin. Fifteen precipitation extreme indices defined by the Expert Team on Climate Risk and Sector-specific Indices (ETCCDI) under the Commission for Climatology (CCI) of the World Meteorological Organization (WMO) were used for this analysis. All indices were calculated and extracted using the ClimPACT software, which is R-based. After extracting the extreme precipitation indices, their long-term changes were analyzed using Sen's slope estimator method to assess trends over time.

RESULTS

The trend analysis of precipitation extremes in the Persian Gulf and Oman Sea basin revealed significant spatial-temporal variability. When dividing the basin into western, central, and eastern regions, the results showed a decreasing trend in annual precipitation for the western and central regions, while the eastern region exhibited an increasing trend. The decreasing trends in annual precipitation for the western and central regions led to significant changes in many precipitation extremes. In these two regions, the maximum length of dry periods increased, while the number of days with heavy precipitation (greater than 10 mm), very heavy precipitation (greater than 20 mm), and extreme precipitation (greater than 30 mm) decreased. Furthermore, the maximum one-day, three-day, and five-day precipitation also showed decreasing trends over the 30-year study period (1993–2022). In contrast, the eastern region demonstrated notably different conditions. The maximum length of dry periods in this region exhibited a decreasing trend, while the number of days with heavy, very heavy, and extreme precipitation, as well as the maximum one-day, three-day, and five-day precipitation, showed increasing trends. Given the observed changes in precipitation extremes, special attention is needed for the eastern basin, as the increasing trend in precipitation extremes suggests that torrential rainfall could become an inherent characteristic of its climate. However, apart from the eastern region, the western and central regions are experiencing drier conditions, with a high likelihood of these conditions becoming a permanent climatic feature in the future. Consequently, these two regions also require focused measures to mitigate the severe impacts of droughts.

CONCLUSION

This study analyzed the trend of precipitation extremes in the Persian Gulf and Oman Sea basin in southern Iran using daily precipitation data from 29 synoptic stations over 30 years (1993–2022). Fifteen precipitation extreme indices were calculated for all stations and analyzed for long-term changes using Sen's slope estimator method. The results indicated a decreasing trend in total annual precipitation for the western and central regions and an increasing trend for the eastern region. Consistent with the decreasing trend in total precipitation, the number of days with heavy precipitation (greater than 10 mm), very heavy precipitation (greater than 20 mm), extreme precipitation (greater than 30 mm), and the maximum one-day, three-day, and five-day precipitation also decreased in the western and central regions. However, in the eastern region, the maximum length of dry periods showed a decreasing trend, while the number of days with heavy, very heavy, and extreme precipitation and the maximum one-day, three-day, and five-day precipitation showed increasing trends.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is part of the project "Assessment of the impact of climate change on the change in precipitation patterns of the Persian Gulf and Oman Sea basins in southern Iran" which was carried out with the support of the Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS) under document number 2012015200L0011132901395. Therefore, the authors of this paper are grateful to the Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS) for their financial and moral support.

REFERENCES

References (in Persian)

Darand, M. (2015). Synoptic analysis of heavy precipitations of Kurdistan province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 15(37), pp 47-70. [In Persian]

Eslahi, M., Pourasghar, F., Akbarzadeh, Y., Omidfar, M., Shahmary, A., Mansouri Derakhshan, N. (2022). Determining flood-prone points and statistical-synoptic analysis of torrential rains in East Azarbaijan province. *Nivar*, 46(18), pp 79-88. [In Persian]

References (in English)

Asgharpour, S. E., Ajdari, B. (2011). A Case Study on Seasonal Floods in Iran, Watershed of Ghotour Chai Basin. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 19, pp. 556-566.

Ebadi, A. G., Toughani, M., Najafi, A., Babae, M. (2020). A brief overview of current environmental issues in Iran. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, 1(1), pp. 1-11.

Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Karl, T., Hegerl, G. and Razuvaev, V. (2005). Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *Journal of Climate*, 18(9) pp. 1326-1350.

Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N., Chambers, L. E., Collins, D. A., Daw, G., Finet, A., Gunawan, D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T. S., Lefale, P., Leyu, C. H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C. M., Pahalad, J., Plummer, N., Salinger, M. J., Suppiah, R., Tran, V. L., Trewin, B., Tibig, I. Yee, D. (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998. *International Journal of Climatology*, 21(3): pp. 269-284.

Melville, C. (1984). Meteorological Hazards and Disasters in Iran: A Preliminary Survey to 1950. *Iran*, 22, pp. 113–150.

Pryor, S., Howe, J., Kunkel, K. (2009). How spatially coherent and statistically robust are temporal changes in extreme precipitation in the contiguous USA? *International Journal of Climatology*, 29 (1), pp. 31-45.

Wu, H., Lau, W. (2016). Detecting climate signals in precipitation extremes from TRMM (1998-2013) - increasing contrast between wet and dry extremes during the "global warming hiatus". *Geophysical Research Letters*, 43(3), pp. 1e9.



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۴، تیر ۱۴۰۴

تحلیل روند فرین های بارشی در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب

ایران

پیمان محمودی^{۱*}، ابراهیم فتاحی^۲، محسن حیدری^۳، اله بخش ریگی^۴، عاطفه انصاری^۵، علیرضا قائمی^۶، جبار رضایی^۷

۱. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول)

۲. دانشیار، اقلیم شناسی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی، اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد ریاضی، اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۵. دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۶. پژوهشگر پسا دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۷. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در این پژوهش جهت تحلیل روند فرین های بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران از داده های بارش روزانه ۴۷ ایستگاه هواشناسی برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) استفاده شد. ۱۵ نمایه فرین بارشی برای تمامی ایستگاه های مورد مطالعه استخراج و با استفاده از برآوردکننده شیب سن روند تغییرات بلندمدت آنها مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از وجود روند کاهشی در مقدار مجموع بارش سالانه برای بخش های غربی و مرکزی و وجود روند افزایشی برای بخش های شرقی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده است. هم راستا با روند کاهشی در مقدار مجموع بارش سالانه، این دو بخش از حوضه آبریز مورد مطالعه، تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلی متر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلی متر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلی متر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه آنها نیز کاهش پیدا کرده است. اما در بخش شرقی حوضه آبریز مورد مطالعه، روند حداکثر طول دوره های خشک کاهشی بوده است. هم راستا با این روند، تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلی متر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلی متر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلی متر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه نیز روند افزایشی داشته اند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳	
واژه های کلیدی:	
تخمینگر شیب سن، روند، تغییر اقلیم، فرین های بارش، ایران.	

استناد: محمودی، پیمان، فتاحی، ابراهیم، حیدری، محسن، ریگی، اله بخش، انصاری، عاطفه، قائمی، علیرضا و رضایی، جبار. (۱۴۰۴). تحلیل روند نمایه های فرین بارشی در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۴)، ۱۸-۱۵.

DOI: 10.22111/jneh.2025.48651.2043



ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان © پیمان محمودی، ابراهیم فتاحی، محسن حیدری، اله بخش ریگی، عاطفه انصاری، علیرضا قائمی، جبار رضایی.

مقدمه

وقوع سیل‌های ناشی از بارش‌های سیل‌آسا یکی از فراوان‌ترین و پرتکرارترین مخاطره اقلیمی در ایران به شمار می‌رود (اصلاحی و همکاران، ۱۴۰۱؛ دارند، ۱۳۹۴). این مخاطره اقلیمی هر ساله خسارات جانی و مالی زیادی بر ساختار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ایران تحمیل می‌کند (ملویل، ۱۹۸۴؛ اصغرپور و اژدری، ۲۰۱۱؛ عبادی و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج تحقیقات در بسیاری از نقاط جهان نشان می‌دهند که جو گرم‌تر در افزایش بارش‌های فرین در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای تاثیرات اساسی داشته است. زیرا هوای گرم‌تر رطوبت بیشتری را در خود نگه می‌دارد و رطوبت بیشتر به معنای آب بیشتری است که می‌تواند به صورت باران ظاهر شود (وو و لائو، ۲۰۱۶؛ گرویسمن و همکاران، ۲۰۱۰؛ مانتون و همکاران، ۲۰۱۰؛ پریور و همکاران، ۲۰۰۹). حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگرفتن آن در پهنه خشک و نیمه خشک ایران، در مواجهه با ناهنجاری‌های اقلیمی به شدت آسیب پذیر است، به طوری که یکی از مهمترین عنصر اقلیمی آن یعنی بارش، تغییر پذیری شدیدی از خود نشان می‌دهد. لذا لزوم بررسی و پیش بینی تغییرات اقلیمی در این حوضه آبریز، جهت کاهش خطرات و زیان‌هایی در سطوح و بخش‌های کلان کشاورزی، صنعت، حمل و نقل، منابع آب، محیط زیست، گردشگری، بهداشت و سلامت از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا نخستین گام در جهت مدیریت بحران فرین‌های بارشی و کاهش اثرات مخرب آن در این حوضه آبریز، شناخت، بررسی و تحلیل رفتار فضایی- زمانی فرین‌های بارشی و ویژگی‌های آن و پیش یابی چگونگی رخداد آنها در آینده و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش جهت تحلیل روند فرین‌های بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان از داده‌های بارش روزانه ۲۹ ایستگاه همدید برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۲۲-۱۹۹۳) که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد، استفاده گردید. این ایستگاه‌ها دارای کامل‌ترین و معتبرترین داده‌ها در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان هستند. برای تعریف و استخراج شاخص‌های بارشی از ۱۵ شاخص فرین بارشی مربوط به تیم کارشناسی شاخص‌ها و آشکارسازی تغییر اقلیم (ETCCDI) وابسته به کمیسیون اقلیم شناسی (CCI) سازمان هواشناسی جهانی (WMO) استفاده شد. تمامی این ۱۵ شاخص با استفاده از نرم افزار ClimPACT که یک نرم افزار مبتنی بر R است محاسبه و استخراج شدند. بعد از استخراج شاخص‌های فرین بارشی، با استفاده از روش تخمینگر شیب سن روند تغییرات بلندمدت آنها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تحلیل روند فرین‌های بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان الگوهای زمانی و فضایی بسیار متفاوتی را نشان دادند. اگر حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان را به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم نمود، نتایج حاکی از وجود روند کاهشی در میزان بارش سالانه برای بخش‌های غربی و مرکزی و وجود روند افزایشی برای بخش‌های شرقی حوضه آبریز مورد مطالعه بوده است. وجود همین روندهای کاهشی در میزان بارش‌های سالانه در بخش‌های

غربی و مرکزی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان باعث شده است که بسیاری از فرین های بارشی دستخوش تغییرات بسیار زیادی گردند. شاخص حداکثر طول دوره های خشک در این دو بخش از حوضه آبریز مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است. تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلیمتر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلیمتر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلیمتر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه نیز مهمترین شاخص های فرینی بودند که روند آنها در طول دوره سی ساله مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) کاهش یافته است. اما بخش شرقی حوضه آبریز مورد مطالعه شرایط بسیار متفاوت تری از دو بخش غربی و شرقی نشان می دهند. روند حداکثر طول دوره های خشک در این بخش از حوضه آبریز کاهش یافته است. تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلیمتر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلیمتر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلیمتر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه نیز افزایش یافته است. لذا با توجه به تغییرات مشاهده شده در فرین های بارشی این بخش از حوضه آبریز لازم است که توجه ویژه ای به آن شود. چون با توجه به روند افزایشی فرین های بارشی در این بخش از حوضه آبریز وقوع بارش های سیل آسا می تواند تبدیل به یکی از ویژگی های ذاتی اقلیم آن گردد. اما جدا از بخش شرقی این حوضه، بقیه بخش های حوضه آبریز در غرب و مرکز آن در حال تجربه شرایط خشک تری هستند و امکان اینکه این شرایط در آینده تبدیل به یکی از ویژگی های پایدار اقلیمی این بخش ها از حوضه آبریز شوند بسیار زیاد است. لذا این دو بخش نیز نیاز به نگاه ویژه ای در جهت کاهش اثرات شدید خشکسالی های هستند.

نتیجه گیری

در این پژوهش جهت تحلیل روند فرین های بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران از داده های بارش روزانه ۲۹ ایستگاه هواشناسی برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) استفاده شد. ۱۵ شاخص فرین بارشی برای تمامی ایستگاه های مورد مطالعه استخراج و با استفاده از برآوردکننده شیب سن روند تغییرات بلندمدت آنها مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از وجود روند کاهش در مقدار مجموع بارش سالانه برای بخش های غربی و مرکزی و وجود روند افزایشی برای بخش های شرقی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده است. هم راستا با روند کاهش در مقدار مجموع بارش سالانه، این دو بخش از حوضه آبریز مورد مطالعه، تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلیمتر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلیمتر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلیمتر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه آنها نیز کاهش پیدا کرده است. اما در بخش شرقی حوضه آبریز مورد مطالعه، روند حداکثر طول دوره های خشک کاهش یافته است. هم راستا با این روند، تعداد روزهای با بارش های سنگین (بیشتر از ۱۰ میلیمتر)، بسیار سنگین (بیشتر از ۲۰ میلیمتر)، فوق سنگین (بیشتر از ۳۰ میلیمتر)، حداکثر بارش های یک روزه، سه روزه و پنج روزه نیز روند افزایشی داشته اند.

منابع

اصلاحی، مهدی؛ پور اصغر، فرزاد؛ اکبرزاده، یونس؛ امیدفر، محمد؛ شاهماری، ناصر؛ درخشان، منصور. (۱۴۰۱). تعیین نقاط حادثه خیز سیل و تحلیل آماری-همدیدی بارش های سیل آسا در استان آذربایجان شرقی. نیوار، ۴۶(۱۱۸)، ۷۹-۸۸.

- دارند، محمد. (۱۳۹۴). تحلیل هم‌دید بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۵(۳۷)، ۷۰-۴۷.
- Asgharpour, S. E., Ajdari, B. (2011). A Case Study on Seasonal Floods in Iran, Watershed of Ghotour Chai Basin. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 19, pp. 556-566.
- Ebadi, A. G., Toughani, M., Najafi, A., Babaei, M. (2020). A brief overview of current environmental issues in Iran. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, 1(1), pp. 1-11.
- Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Karl, T., Hegerl, G. and Razuvaev, V. (2005). Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *Journal of Climate*, 18(9) pp. 1326-1350.
- Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N., Chambers, L. E., Collins, D. A., Daw, G., Finet, A., Gunawan, D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T. S., Lefale, P., Leyu, C. H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C. M., Palahal, J., Plummer, N., Salinger, M. J., Suppiah, R., Tran, V. L., Trewin, B., Tibig, I. Yee, D. (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998. *International Journal of Climatology*, 21(3): pp. 269-284.
- Melville, C. (1984). Meteorological Hazards and Disasters in Iran: A Preliminary Survey to 1950. *Iran*, 22, pp. 113–150.
- Pryor, S., Howe, J., Kunkel, K. (2009). How spatially coherent and statistically robust are temporal changes in extreme precipitation in the contiguous USA? *International Journal of Climatology*, 29 (1), pp. 31-45.
- Wu, H., Lau, W. (2016). Detecting climate signals in precipitation extremes from TRMM (1998-2013) - increasing contrast between wet and dry extremes during the “global warming hiatus”. *Geophysical Research Letters*, 43(3), pp. 1e9.