








Determination of best fit probability distribution for prediction of the rainfall of the rice-growing season in the main rice growing areas of the country

Zohreh Javanshiri¹ , Hadis Sadeghi² , Ebrahim Asadi Oskouei³  , Maziar Gholami⁴ 

1- Applied Climatology Department, Climate Research Institute, Atmospheric Science and Meteorological Research Center

Email: javanshirizohreh@gmail.com

2- Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: hadis.sadeghi@ut.ac.ir

3- Natural Disaster and Climate Change Department, Climate Research Institute, Atmospheric Science and Meteorological Research Center. Email: e-oskouei@asmerc.ac.ir

4- Department of Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Email: maziargholami12@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

1 April 2023

Received in revised form:

27 May 2023

Accepted:

28 June 2023

Available online:

2 August 2023

Keywords:

Rainfall distribution,
Bernoulli-Gamma
distribution,
Rice growing season,
Southern shores of the
Caspian Sea.

ABSTRACT

Despite the water supply, rainfall has multiple and conflicting roles during the rice cultivation period and choosing the appropriate distribution of the probability of its occurrence is an important step in planning water resources management and adjusting the planting calendar and reducing damage in rice farming. In this research, to determine the most appropriate distribution of rainfall probability during the rice-growing season, from the data of eight synoptic stations of the southern coast of the Caspian Sea, including the stations of Astara, Bandar Anzali, Rasht, Ramsar, Babolsar, Qarakhil, Nowshahr and Gorgan with a statistical period of 30 the year (1991-2020) was used. After quality control and homogenizations, Bernoulli-log-normal, Bernoulli- Weibull and Bernoulli-gamma distributions were fitted to the rainfall data in the daily time range (in windows of three days without overlap) as well as the length of the rice-growing season. Kolmogorov-Smirnov goodness of fit test (K-S) and Akaike's index (AIC) were used to identify the most suitable one. The obtained results showed that the Bernoulli-Gamma distribution is the most suitable probability distribution for estimating the rainfall of the rice-growing season in the southern shores of the Caspian Sea. After the Bernoulli-Gamma distribution, the Bernoulli-Weibull distribution showed a better fit, especially for Nowshahr station located in the central part of Mazandaran province. The findings of this research can be used to quantify the amount of expectation and risk caused by rain during the rice-growing season.

Cite this article: Javanshiri, Z., Sadeghi, H., Asadi Oskouei, E., & Gholami, M. (2023). Determination of best fit probability distribution for prediction of the rainfall of the rice-growing season in the main rice growing areas of the country. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (2), 51-69
<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.355068.1007748>



© The Author(s).

DOI: [10.22059/JPHGR.2023.355068.1007748](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.355068.1007748)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Precipitation is one of the key components of the hydrological cycle and one of the determining features of the climate change of the planet of earth. The southern coast of the Caspian Sea is one of the wettest regions of Iran, where precipitation, in it as most important climatic element and atmospheric phenomenon, has a complex temporal and spatial distribution. Knowledge of the probability distribution of rainfall and determining the model of rainfall distribution during the year and its temporal changes provide a suitable basis for planning water resources in different sectors. Statistical probability distributions can be very successful in generating data at points without stations. According to the amount of rainfall received in the study area during the rice-growing season, only 30 to 50% of the water requirement of rice is provided through rainfall and the rest must be compensated through irrigation. However, in some years, only a small part of rain plays a very important role in determining the fate of the product in those years. Therefore, since in the relatively short period of the growing season of rice planting to harvesting, the role of precipitation is constantly changing, choosing an appropriate statistical distribution that can well describe the temporal distribution of precipitation data during the rice growing season in the southern shores of the Caspian Sea will be crucial for water resources planning and cropping calendar adjustment in the growing season. Therefore, the main goal of this study will be to find the appropriate statistical distribution of precipitation events during the rice cultivation period on the shores of the Caspian Sea.

Methodology

The area studied in this research is the southern shores of the Caspian Sea (Caspian), which in terms of country divisions includes the three provinces of Gilan, Mazandaran and Golestan. Past studies have shown that the variable distribution of precipitation skewed to the right. Therefore, among statistical distributions, distributions like gamma,

Weibull and log-normal can be suitable. Most of these distributions have values greater than zero and since the number of days with zero rainfall is high in the region and period under investigation, therefore, in this research, Bernoulli-Gamma, Bernoulli-Weibull and Bernoulli-Log normal distributions were studied to fit the rainfall of the rice-growing season. In each of the mentioned distributions, first the probability of precipitation occurrence was modeled using Bernoulli distribution with parameter p (probability of having non-zero precipitation) and then the intensity of non-zero precipitation was modeled with Weibull, gamma or log normal distribution. Fitting was performed for data in non-overlapping 3-day time windows.

Results and Discussion

The results showed that the highest amount of rainfall received in the western parts of the southern shores of the Caspian Sea occurs in the autumn season and especially in September, which gradually changes to the eastern coast of the rainfall regime and in the winter season (March to October) the maximum amount of precipitation is received. Examining the time distribution pattern of rainfall in the studied stations shows that in September, the highest amount of rainfall occurs in the third quartile. In all studied stations, the minimum coefficient of variation was in March and September. This shows that the distribution of precipitation during these months is appropriate and indicates the dominance of precipitation systems in these months. The coefficient of variation has gradually increased towards the warmer months of the year. This indicates that the distribution of daily rainfall during the warm months of the year such as June, July and August (reproductive stages to harvest) is much more irregular than other months of the growing season. The probability distribution of precipitation for different months varies according to the geographic location, the distribution of unevenness in the study area. The month-to-month variability of precipitation distribution in the Caspian region is high, and rainfall-producing systems are concentrated on the coastline in limited months in autumn and

winter. This has caused the precipitation in the coastal parts of the Caspian Sea to be more concentrated and have a more irregular time distribution. At the same time, towards the southern parts of the Caspian Sea, corresponding to the heights of Alborz, the time distribution of rainfall is more uniform and the difference of rainfall distribution from month to month is less. Therefore, the rainfall distribution in the study area during the rainiest months follows the Gamma and Weibull distribution. While in the months of June and July, parts of the eastern coast of the Caspian Sea are dominated by normal log distribution. The results of fitting different probability distributions on the daily rainfall of the studied stations on the southern shores of the Caspian Sea showed that the gamma distribution was superior to other probability distributions and the estimates of this method were closer to reality. Among the studied stations, Rasht and Bandar Anzali stations had the best fit with gamma distribution. In these stations, gamma distribution showed a better fit in more than 50% of the days of the rice-growing season. In the stations of Astara, Babolsar, Gharakhil, the gamma distribution also showed a better relative fit with most of the rainy days of the rice-growing season. Meanwhile, in Nowshahr station, the distribution of Weibull had a better fit in 44.2% of the rainy days of the rice-growing season. For Ramsar station, located in the western part of Mazandaran province, two Weibull and Gamma distribution functions had a better fit with the rainy days during the rice-growing season, in which Gamma distribution was the best fit in 43% of the days and Weibull distribution in the other 43%.

Conclusion

In this research, an attempt was made to investigate the appropriate statistical distribution of rainfall during the rice-growing season in the southern shores of

the Caspian Sea. The results of various types of probability distributions showed that the dominant distribution of non-zero precipitation in the study area is of gamma type and the Weibull distribution is in the next stage. The occurrence of precipitation in July and June has the highest coefficient of monthly precipitation changes in the northern regions, and practically, such occurrence of precipitation cannot be relied upon in seasonal planning. At this point in time, the occurrence of long rains due to the continuation of cloudy hours and days with high relative humidity may also cause an outbreak of rice pests and diseases. However, the most decisive role of rainfall can be considered the rains at the end of the growing season (from reproductive period to harvest), which, in addition to disrupting the harvesting process, can have consequences such as cracking of the grain, staining and even complete destruction of the product. Also, during the months of June and July, which coincide with the flowering and clustering stages of rice in the study area, the frequency of distributions is relatively equal which indicates the irregularity of rainfall in this stage of growth in the studied area. The findings of this research can be used to quantify the amount of expectation and risk caused by rain during the rice-growing season.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

تعیین بهترین تابع توزیع احتمال برای برآورد بارش فصل رشد برنج در مناطق عمده برنج کاری کشور

زهره جوانشیری^۱، حدیث صادقی^۲، ابراهیم اسعدی اسکویی^۳، مازیار غلامی^۴

۱- گروه اقلیم‌شناسی کاربردی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، رایانامه: javanshirizohreh@gmail.com

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: hadis.sadeghi@ut.ac.ir

۳- نویسنده مسئول، گروه بلایای طبیعی و تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، رایانامه: e-oskouei@asmerc.ac.ir

۴- گروه محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: maziargholami12@gmail.com

چکیده

بارش علیرغم تأمین آب دارای نقش‌های متعدد و متضادی در طول دوره زراعت برنج است و انتخاب مناسب توزیع احتمال رخداد آن گام مهمی در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و تنظیم تقویم کشت و کاهش خسارت در شالی‌کاری است. در پژوهش حاضر، برای تعیین مناسب‌ترین توزیع‌های احتمال بارش در طول فصل رشد برنج، از داده‌های ۸ ایستگاه سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر شامل ایستگاه‌های آستارا، بندر انزلی، رشت، رامسر، بابلسر، قراخیل، نوشهر و گرگان با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۱) استفاده شد. پس از کنترل کیفیت و همگن‌سازی داده‌ها، توزیع‌های برنولی-لوگ نرمال، برنولی-ویبول و برنولی-گاما بر داده‌های بارش در مقیاس‌های زمان روزانه (در پنجره‌هایی به طول سه روز بدون همپوشانی) و همچنین طول فصل رشد برنج برازش داده شدند. برای شناخت مناسب‌ترین توزیع از آزمون نیکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف (K-S) و شاخص آکائیک (AIC) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد توزیع برنولی-گاما مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی برای برآورد بارش فصل رشد برنج در سواحل جنوبی دریای خزر است. پس از توزیع برنولی-گاما، توزیع برنولی-ویبول به‌ویژه برای ایستگاه نوشهر واقع در بخش مرکزی استان مازندران برازش بهتری را نشان داد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند در کمی‌سازی میزان انتظار و ریسک ناشی از بارش در مقاطع زمانی مختلف فصل رشد برنج بکار گرفته شود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۱/۱۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۴/۰۷

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۰۵/۱۱

واژگان کلیدی:

توزیع بارش،

توزیع برنولی-گاما،

فصل رشد برنج،

سواحل جنوبی دریای خزر

استناد: جوانشیری، زهره؛ صادقی، حدیث؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم و غلامی، مازیار. (۱۴۰۲). تعیین بهترین تابع توزیع احتمال برای برآورد بارش فصل رشد برنج در مناطق عمده برنج کاری کشور. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵ (۲)، ۶۹-۵۱.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.355068.1007748>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/JPHGR.2023.355068.1007748

© نویسندگان



مقدمه

بخش عمده‌ای از فعالیت‌های انسانی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر اقلیم و متغیرهای اقلیمی قرار دارد (خورشیددوست و فخاری، ۱۳۹۵: ۸۸). بارش یکی از اجزای کلیدی چرخه هیدرولوژیکی و یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده تغییر اقلیم کره زمین است. از بین متغیرهای هواشناسی، بارش مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که نقش اساسی در پراکنش موجودات زنده شامل گیاهان، جانوران و تمدن بشری دارد. توزیع زمانی و مکانی بارش اغلب تأثیرات قابل‌توجهی بر جامعه انسانی و محیط طبیعی ایجاد می‌کند (رضیئی، ۱۳۹۵: ۱۳۰؛ Limsakul & Singhruck., 2016: 303). سواحل جنوبی دریای خزر از مرطوب‌ترین مناطق ایران است که بارش در آن به‌عنوان مهم‌ترین عنصر اقلیمی و پدیده جوی از توزیع زمانی و مکانی پیچیده‌ای برخوردار است. موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد این منطقه به‌ویژه قرارگیری آن بر جانب جنوبی دریای خزر، استقرار رشته‌کوه‌های مرتفع البرز و توپوگرافی پیچیده همراه با جابجایی مداوم پشته‌ها و ناوهای امواج غربی بر روی منطقه، بروز چنین پیچیدگی را در ساختار بارش آن داشته است (عساکره و ورناصری قندعلی، ۱۴۰۰: ۴۴۷). در طی چند دهه اخیر تغییرات اقلیمی منجر به تشدید چرخه هیدرولوژیکی جهانی شده و در نتیجه موجب تغییر در شدت و مدت وقوع رویدادهای حدی اقلیمی شده است (Goyal et al., 2018: 54؛ He et al., 2019: 91). پدیده تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری بر متغیرهای دما، بارش و تبخیر تعرق موجب افزایش رویدادهای حدی اقلیمی مانند سیلاب و خشک‌سالی و بروز تأثیرات قابل‌توجه بر بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیطی مانند منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست و غیره شده است (Luo et al, 2018: 1356). مدیریت کارآمد و استفاده درست از منابع آب را می‌توان از طریق تجزیه و تحلیل بارش با استفاده از توزیع احتمال بارندگی‌ها و تعیین مدل توزیع بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف افزایش داد (Amin et al, 2016: 444). در واقع، یک گام اساسی و کلیدی در برنامه‌ریزی منابع آب، تعیین توزیع احتمال مناسب برای تحلیل آماری سری‌های زمانی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف (به‌عنوان مثال سالانه یا ماهانه) در مناطق مختلف است. توابع توزیع احتمالی که برای داده‌های بارش و تحلیل فراوانی سیلاب در مقیاس‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود، شامل نرمال^۱، لوگ نرمال دو پارامتری^۲، لوگ نرمال سه پارامتری^۳، پیرسون نوع سوم^۴ و لوگ پیرسون نوع سوم^۵، مقادیر حدی تعمیم‌یافته^۶ (GEV)، ویبول^۷ و توزیع‌های پارتو تعمیم‌یافته^۸ است (Mamoon & Rahman, 2017: 283., Amin et al, 2016: 444). مدل‌های احتمالی که معمولاً برای تخمین فراوانی بارش استفاده می‌شود، شامل نرمال، لوگ نرمال، لوگ پیرسون نوع سوم و گامبل هستند (Amin et al, 2016: 444).

نظر به موارد ذکر شده می‌توان گفت که انتخاب یک توزیع احتمال مناسب که تخمین دقیقی از بارش را ارائه دهد، امکان برنامه‌ریزی و مدیریت درست منابع آب، کشاورزی، مخاطرات سیلاب‌ها و دیگر موارد را فراهم می‌کند. تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه برازش توزیع‌های احتمال آماری برای متغیر بارش انجام شده است. لنگات و همکاران (۲۰۱۹) نظر به اینکه مهم‌ترین گام اساسی در تجزیه و تحلیل سیلاب، انتخاب بهترین توزیع احتمال است، مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال را برای حداقل، حداکثر و متوسط جریان‌ات رودخانه تانا در کنیا تعیین کردند. نتایج

1. Normal
2. Two parameter Log-Normal
3. Three parameter Log-Normal
4. Pearson type 3 (P3)
5. log-Pearson type 3 (LP3)
6. Generalized extreme value
7. Weibull
8. Generalized Pareto distributions

این پژوهش نشان داد برای حداکثر جریان توابع گاما (پیرسون نوع ۳) و لوگ نرمال؛ حداقل جریان توزیع‌های گامبل و ویبول؛ و برای توزیع متوسط جریان سالانه توابع توزیع لوگ نرمال و مقادیر حدی تعمیم‌یافته (GEV) بهترین توابع توزیع می‌باشند. فاتین محد رزعلی و همکاران (۲۰۲۰) بهترین تابع توزیع احتمال را برای جریانات کم آب سواحل غربی مالزی در دوره بازگشت مختلف توزیع لوگ نرمال بیان کردند. علیپور و همکاران (۲۰۲۱) تابع‌های لوگ نرمال و پیرسون نوع ۳ را به‌عنوان بهترین توابع توزیع احتمال بارش‌های شدید تحت سناریوهای مختلف برای دوره آینده نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۰) و دور (۲۰۴۱-۲۰۶۵) در استان تهران تعیین کردند. حمیدی ماچک پشتی و صادقی (۲۰۱۸) توزیع پیرسون نوع ۳ را بهترین تابع برازش یافته بر بارش‌های شدید و جریانات سیل‌آسای حوضه رودخانه کرخه بیان کرده‌اند. در مطالعه میشل و آوانزی (۲۰۱۸) که در مقیاس جهانی و ۲۰۵۶۱ ایستگاه انجام شده بود، توزیع آماری مقادیر حدی تعمیم‌یافته در برآورد حداکثر بارش روزانه ارائه شده است. محمدی جوزدانی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که توزیع ویکبای^۱ مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در کل ایران است. جهانگیر و ابوالقاسمی (۱۳۹۸) نشان دادند مناسب‌ترین توزیع برای تعیین مقدار شاخص SPEI در منطقه تهران شامل توزیع‌های کوماراسوامی^۲ و ویبول هستند. در مطالعه نصرآبادی (۱۳۹۶) مشخص شده است توزیع بارش روزانه ۴ دهه ایران از توابع گامای دو پارامتری و نمایی پیروی می‌کند. روشنی و همکاران (۱۳۹۹) بهترین توزیع دوره مرطوب سالانه از غرب به شرق سواحل دریای خزر را توزیع دو پارامتری دانستند.

محصول برنج به‌عنوان یک گیاه نیمه آبی جایگاه ویژه‌ای در تغذیه و امنیت غذایی دارد. استان‌های شمالی ایران با آب‌وهوای مرطوب و معتدل که بارندگی بالایی هم دارند با ۴۹۵۸۴۰ هکتار زیر کشت عمده‌ترین تولیدکنندگان برنج در ایران هستند (Majidian et al., 2021: 3). به‌طور کلی کشت برنج در سطح منطقه مورد مطالعه به‌صورت آبی و تحت سیستم آبیاری غرقابی کشت می‌گردد. با توجه به میزان بارش دریافتی منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد برنج، تنها ۳۰ تا ۵۰ درصد نیاز آبی برنج از طریق بارش تأمین شده و مابقی باید از طریق آبیاری جبران گردد. با این حال در بعضی از سال‌ها همین جز اندک نقش بسیار مهمی در تعیین سرنوشت محصول در آن سال‌ها دارد. بارندگی به‌هنگام نه‌تنها در تأمین آب مورد نیاز نقش کاهنده قابل‌توجهی در کاهش تبخیر در شالیزار دارد، از طرفی بارش باران در پیش از نشاء می‌تواند در صرفه‌جویی آب مورد نیاز خاکورزی سودمند باشد (السعدی اسکویی، ۱۳۹۶: ۴۹؛ موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۲۳). در کنار این نقش‌های مثبت بارش، باران‌های سنگین و طولانی پس از نشاء و همچنین بارش‌های پایان فصل از مهم‌ترین عوامل خسارت‌زای در برنج‌کاری محسوب می‌شوند (السعدی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۰). بنابراین از آنجاکه در دوره نسبتاً کوتاه فصل رشد کاشت تا برداشت برنج بارش نقش مرتباً در حال تغییر است، انتخاب توزیع آماری مناسبی که بتواند به‌خوبی توزیع زمانی داده‌های بارش را در طول فصل رشد برنج در سواحل جنوبی دریای خزر توصیف کند، برای برنامه‌ریزی منابع آب و تنظیم تقویم کشت در فصل زراعی بسیار حیاتی خواهد بود. بنابراین هدف اصلی این مطالعه یافتن توزیع آماری مناسب رخداد بارش در طول دوره کشت برنج در سواحل دریای خزر خواهد بود.

روش پژوهش

از آنجاکه افزایش حجم نمونه، موجب افزایش دقت آزمون و نزدیک شدن به شرایط واقعی می‌شود، از بین ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در محدوده کشت برنج، ایستگاه‌هایی با طول دوره آماری مناسب و قابل‌قبول ۳۰ ساله

1. Wakeby
2. Kumaraswamy

(۲۰۲۰-۱۹۹۱) شامل ایستگاه‌های سینوپتیک آستارا، بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر، قراخیل، نوشهر و گرگان استفاده شد که در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی آن‌ها ارائه شده است. در گام اول کنترل کیفیت و همگن‌سازی روی داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک مذکور در طول دوره رشد برنج (مارس تا سپتامبر) انجام شد. مطالعات گذشته نشان داده است که توزیع متغیر بارش چوله به راست است (Nathan et al., 2016: 708; Karim et al., 2018: 62؛ عساکره و یوسفی‌زاده، ۱۳۹۴: ۵۴). توزیع‌هایی مانند مقادیر حدی تعمیم‌یافته (GEV)، پیرسون نوع سوم و گمبل بیشتر برای تحلیل مقادیر حدی به کار می‌رود. برای متغیر بارش نیز این توزیع‌ها برای برازش به داده‌های حدی بارش کاربرد دارند (Lana et al., 2006: 2002; Millington et al., 2011; Nguyen, 2006: 626). توزیع‌های که می‌توان به داده‌هایی که چوله هستند برازش داد، بسیار زیاد است. بیشتر این توزیع‌ها مقادیر بزرگ‌تر از صفر را اختیار می‌کنند و از آنجاکه در منطقه و دوره مورد بررسی فراوانی تعداد روزهایی با بارش صفر زیاد است، بنابراین در این پژوهش، توزیع‌های برنولی-گاما، برنولی-ویبول و برنولی-لوگ نرمال برای برازش به بارش فصل رشد برنج مورد مطالعه قرار گرفته شد. در هر یک از توزیع‌های مذکور، ابتدا احتمال رخداد بارش با استفاده از توزیع برنولی با پارامتر p (احتمال اینکه بارش غیر صفر داشته باشیم) مدل شده و سپس شدت بارش‌های غیر صفر با توزیع ویبول، گاما یا لوگ نرمال مدل‌سازی شدند. برازش برای داده‌ها در پنجره‌های زمانی ۳ روزه که همپوشانی نداشتند، انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا سری‌های زمانی بارش روزانه در پنجره‌هایی به طول ۳ روز بدون همپوشانی برای ۸ ایستگاه موردنظر و طی ۷ ماه فصل رشد برنج تشکیل شدند. در مجموع ۵۶۰ سری زمانی بارش به دست آمد. سپس برای هر سری زمانی بارش، احتمال رخداد بارش صفر با استفاده از توزیع برنولی برآورد شد و به مقادیر بارش غیر صفر چهار توزیع گاما، لوگ گاما، ویبول و لوگ نرمال برازش داده شد. بدین ترتیب که، ابتدا p به روش درست‌نمایی ماکزیمم برآورد شده و سپس توزیع‌های ویبول، گاما و نرمال به داده‌های غیر صفر برازش داده شد. اگر فرض کنیم که $g(x)$ تابع چگالی احتمال توزیع دلخواهی باشد، آنگاه تابع چگالی احتمال برنولی- g به صورت زیر خواهد بود:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - p, & x < \text{threshold} \\ p \times g(x), & x \geq \text{threshold} \end{cases} \quad (1)$$

بنابراین اگر در فرمول (۱) به جای $g(x)$ تابع چگالی احتمال گاما را قرار دهیم، تابع چگالی احتمال برنولی-گاما حاصل می‌شود (Xiong et al., 2016: 7). به طور مشابه توزیع‌های برنولی-ویبول و برنولی-لوگ نرمال نیز به دست می‌آیند. پس از آنکه به مقادیر بارش غیر صفر چهار توزیع گاما، لوگ گاما، ویبول و لوگ نرمال برازش داده شد، آزمون نیکویی برازش اسمیرنوف-کلموگروف در سطح معنی‌داری ۰,۰۵ انجام شد (۲۲۴۰ مرتبه آزمون انجام شده است). برای هر سری زمانی، در بین توزیع‌هایی که معنی‌دار بودند، توزیعی که شاخص آکائیک مربوط به آن کمترین مقدار را دارد به عنوان توزیع منتخب برای سری موردنظر انتخاب شد. سپس آن توزیع که فراوانی بالاتری در بین توزیع‌های منتخب داشته است، به عنوان بهترین توزیع شناخته شد.

توزیع گاما

توزیع گاما، توزیعی تک متغیره و پیوسته است و انعطاف‌پذیری نسبتاً خوبی دارد. منحنی فراوانی این توزیع چولگی به راست دارد. برای متغیرهای اقلیمی مانند بارش و سرعت باد که مقادیر بزرگ‌تر از صفر اختیار کرده و چولگی به راست دارند توزیع‌های گاما بهترین توزیع هستند. این تابع دارای کمیتی به نام تابع گاما است. شدت بارش غیر صفر از طریق یک توزیع گامای دو پارامتری با پارامتر شکل K و پارامتر مقیاس Θ مدل‌سازی می‌شود. تابع چگالی احتمال (PDF) توزیع گاما به صورت زیر است:

$$f(x) = \begin{cases} x^{k-1} \frac{1}{\theta^k \Gamma(k)} e^{-\frac{x}{\theta}} & x > 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

توزیع لوگ نرمال

توزیع لوگ نرمال در سال ۱۹۱۴ توسط هازن ابداع شد. هرگاه لگاریتم متغیر تصادفی از توزیع نرمال پیروی نماید، توزیع داده‌های غیر لگاریتمی را لوگ نرمال می‌گویند. این توزیع با توجه به اینکه دارای حد پایین صفر و حد بالای نامحدود است به بسیاری از پدیده‌های هیدرولوژیکی، برازش مناسب دارد. برای توزیع نرمال، پارامتر مکان و مقیاس به ترتیب بر میانگین و انحراف معیار منطبق هستند؛ اگرچه چنین چیزی لزوماً برای بیشتر توزیع‌ها صادق نیست. گاهی برخی متغیرهای تصادفی از چولگی به راست کمی برخوردارند که برای مقارن شدن این متغیرها می‌توان آن‌ها را به مقیاس لگاریتمی تبدیل کرد. به عبارت دیگر، در این توزیع به جای داده‌ها از مقادیر لگاریتمی معادل آن‌ها استفاده می‌شود. روش برازش منحنی لگاریتمی مانند منحنی نرمال است؛ با این تفاوت که به جای استفاده از مقادیر متغیر از لگاریتم آن‌ها استفاده می‌شود. تابع چگالی احتمال لوگ نرمال از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2} \right], x > 0 \quad (3)$$

در این رابطه μ_1 میانگین و σ_1 انحراف معیار، \ln لگاریتم طبیعی است (نصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷؛ Ye et al., 2018: 6523).

توزیع ویبول

توزیع ویبول توزیعی پیوسته با انعطاف‌پذیری بالا است که منحنی آن اغلب چوله به راست است. تابع چگالی احتمال ویبول با پارامتر شکل c و پارامتر مقیاس λ به صورت معادله ۴ به دست خواهد آمد (Ye et al., 2018: 6522).

$$f(x, \lambda, c) = \frac{c}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{c-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^c \right] \quad (4)$$

آزمون نیکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف

هرچند توزیع احتمال واقعی مشاهدات در عمل مجهول است؛ اما می‌توان با مطالعه تعدادی توزیع نظری و بر اساس نمونه‌های موجود بهترین توزیع نظری مناسب را از طریق آزمون‌های آماری انتخاب کرد. به این توزیع‌های نظری گاهی مدل‌های احتمال هم گفته می‌شود. برازش دادن یک مدل در واقع برازیدن مدلی به مشاهدات است و نیکویی برازش بیان‌کننده این است که چه اندازه این مدل با مجموعه مشاهدات متناسب است و می‌تواند رفتار مشاهدات را بیان کند. روش‌های نیکویی برازش را می‌توان به دو گروه ترسیمی (شهودی، غیررسمی، عینی و یا کیفی) و روش‌های برآورد پارامترها (کمی، رسمی) مبتنی بر آزمون فرضیه، طبقه‌بندی کرد. در روش‌های کمی تشخیص نیکویی برازش، مجموعه‌ای از آزمون فرض‌ها برای ارزیابی فرضیه صفر (داده‌ها از توزیع مفروض استخراج شده‌اند) استفاده می‌شوند (نصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷). در این پژوهش از آزمون نیکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف^۱ (K.S) و همچنین معیار اطلاع آکائیک^۲ (AIC) استفاده شده است. در ابتدا فرضیه صفر مبنی بر این‌که "داده‌ها از توزیع موردنظر پیروی می‌کنند"، با استفاده از آماره کلموگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. سپس از بین توزیع‌هایی که بر اساس نتیجه آزمون مورد تأیید واقع شده بودند، توزیعی انتخاب شد که شاخص آکائیک آن مقدار

1. Kolmogorov-Smirnov.
2. Akaike Information Criterion.

کوچک‌تری بود. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بر پایه تابع توزیع تجمعی تجربی است. اگر فرض شود که یک نمونه تصادفی از x_1, \dots, x_n داشته باشیم، تابع توزیع تجمعی تجربی آن در نقطه x به صورت زیر است:

$$\hat{F}_n(x) = \frac{1}{n} [\text{Number of observation} \leq x] \quad (5)$$

که آماره کلموگروف-اسمیرنوف (D_n) بر پایه بیشترین فاصله عمودی بین تابع توزیع تجمعی تجربی و نظری به صورت معادله ۶ بیان خواهد شد:

$$D_n = \sup_x |\hat{F}_n(x) - F(x)| \quad (6)$$

که در آن فرضیه صفر (H_0) به صورت ۱ داده‌ها از توزیع مطلوب پیروی می‌کنند؛ و فرضیه مقابل (H_1) به صورت "داده‌ها از توزیع مطلوب پیروی نمی‌کنند. تعریف می‌شوند. بر اساس سطح معنی‌داری آزمون (α) و توزیع آماره D_n ، ناحیه بحرانی آزمون تعیین می‌شود. اگر مقدار آماره آزمون در ناحیه بحرانی قرار بگیرد، فرضیه صفر رد می‌شود و به این معنی است که داده‌ها از توزیع موردنظر پیروی نمی‌کنند. معمولاً سطح معنی‌داری آزمون برابر ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ در نظر گرفته می‌شوند که همان خطای نوع اول آزمون (خطای رد کردن فرضیه صفر وقتی فرضیه صحیح است) می‌باشد.

معیار اطلاع آکائیک (AIC)

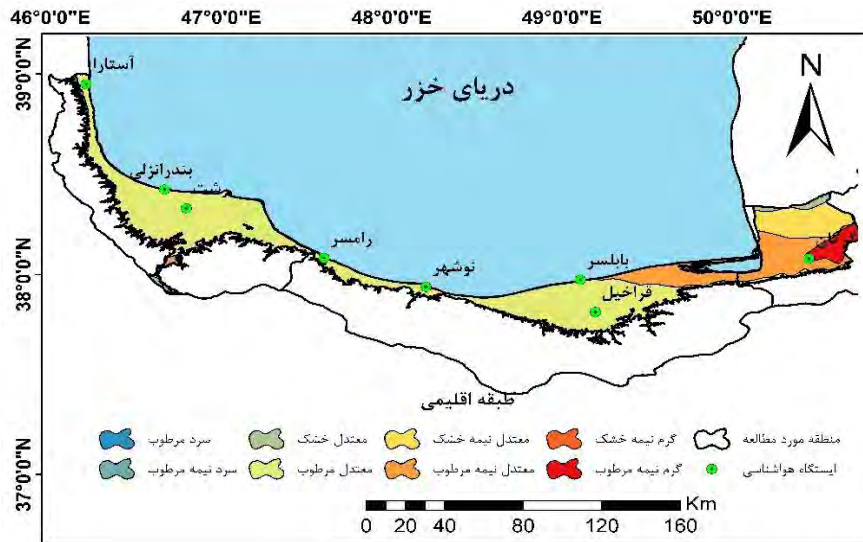
بر پایه شاخص اطلاعات آکائیک (AIC) بهترین مدل، مدلی است که کمترین میزان AIC را داشته باشد. آکائیک با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$AIC = 2K - 2 \ln(\hat{L}) \quad (7)$$

که در آن \hat{L} تابع درست‌نمایی مدل؛ n تعداد نمونه و k تعداد پارامترهای مدل موردنظر می‌باشد (Tozzi et al., 2020: 2).

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر سواحل جنوبی دریای خزر است. وسعت این منطقه ۶۵۹۱۲ کیلومتر مربع بوده و در طول جغرافیایی $48^{\circ}53'$ تا $56^{\circ}10'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}47'$ تا $38^{\circ}27'$ شمالی قرار گرفته است که از نظر تقسیمات کشور دربرگیرنده سه استان گیلان، مازندران و گلستان می‌باشد که مناطق اصلی برنج‌کاری در ایران محسوب می‌شوند. دوره رشد برنج در سطح منطقه مورد مطالعه از اوایل اسفند تا اواخر شهریور می‌باشد (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۶۰). با توجه به شکل ۱ در بخش‌های غربی و مرکزی ناحیه مورد مطالعه اقلیم معتدل و مرطوب و در بخش‌های شرقی آن اقلیم‌های معتدل نیمه مرطوب و گرم نیمه مرطوب حاکم است (Asadi Oskouei et al., 2022: 16). گرادیان بارش منطقه مورد مطالعه از بخش غربی به شرقی کاهش می‌یابد.



شکل ۱. موقعیت مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

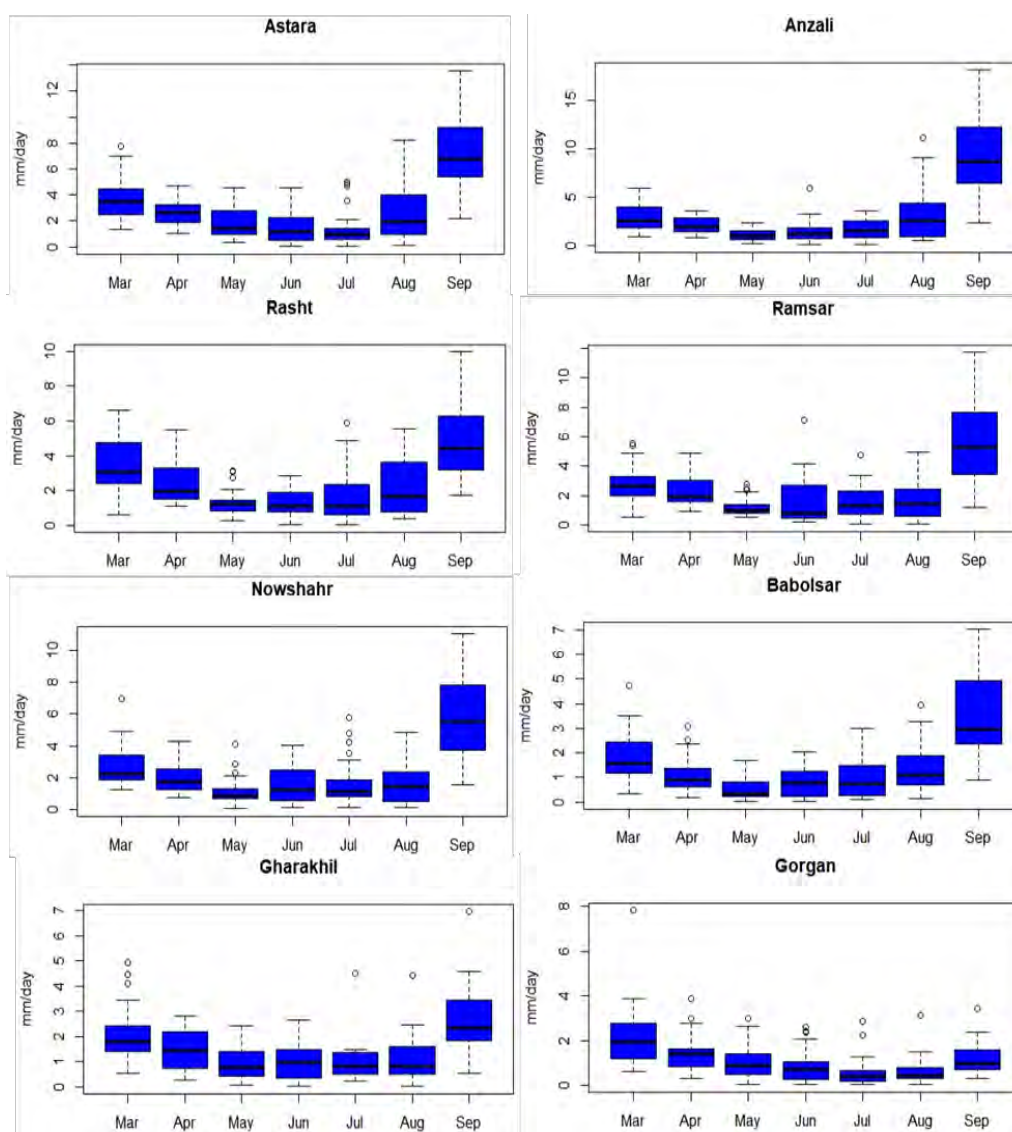
یافته‌ها

تغییرات زمانی بارش در طول فصل رشد برنج

تغییرات بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه گرگان، بیشترین میزان بارش دریافتی در ماه سپتامبر رخ داده است که ناشی از تأثیر پرفشارهای شمالی بر ریزش‌های جوی فصل پاییز است. در این ماه، به دلیل اختلاف زیاد بین دمای آب سطح دریا و هوای سرد عبوری از روی آن، در حین عبور از روی دریا از بخار آب آن تغذیه نموده و سبب بارش‌های شدید همرفتی در خط ساحلی می‌شود. بررسی الگوی توزیع زمانی بارش در این ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که در ماه سپتامبر بیشترین میزان بارندگی در چارک سوم رخ می‌دهد. این نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی، بابلسر، رامسر، رشت، نوشهر و قراخیل ۲۵ درصد داده‌ها به ترتیب بیش از مقدار ۹، ۱۱/۴، ۴/۸، ۷/۵، ۶/۲، ۷/۷، ۳/۲ میلی‌متر در روز است. برای ایستگاه گرگان بیشترین میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج در ماه مارس با متوسط بارش ۶۶/۳ میلی‌متر مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که کم بارش‌ترین ماه در دوره رشد برنج، در ایستگاه‌های بندرانزلی، بابلسر، رامسر، رشت، نوشهر و قراخیل به ترتیب به میزان ۳۱/۵، ۱۶، ۳۶/۴، ۳۸/۵، ۳۴/۵ و ۲۷/۵ میلی‌متر مربوط به ماه می (دوره رویشی در مناطق زود کاشت دوره آماده‌سازی زمین و نشاکاری در مناطق دیر کاشت) و در ایستگاه‌های آستارا و گرگان به ترتیب به میزان ۴۴ و ۱۷/۴ میلی‌متر مربوط به ماه جولای (ظهور مراحل زایشی) است. عمدتاً به علت قرارگیری کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال، رژیم بارش در سواحل جنوبی دریای خزر متفاوت از دیگر نقاط ایران است. بیشترین میزان بارش دریافتی در بخش‌های غربی سواحل جنوبی دریای خزر در فصل پاییز و به‌ویژه ماه سپتامبر رخ می‌دهد که به تدریج به سمت سواحل شرقی رژیم بارش تغییر کرده و در فصل زمستان (ماه‌های مارس تا اکتبر) بیشترین میزان بارش دریافت می‌شود. پرفشارهای مهاجر عامل اصلی وقوع بارش‌های پاییزه و تقویت بادهای غربی، سیکلون‌های مدیترانه و همچنین تقویت پرفشارهای مهاجر در قسمت‌های شمالی و غربی خزر عامل اصلی وقوع بارش‌های فصل زمستان هستند (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۵۳، حکیم‌دوست و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۹۳؛ معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۷).

بنابراین نظر به موارد ذکر شده رژیم بارش در سواحل غربی دریای خزر به ترتیب بر اساس میزان بارش دریافتی شامل

پاییز، زمستان، تابستان و بهار است، اما به تدریج با حرکت به سمت بخش‌های شرقی سواحل جنوبی دریای خزر شامل زمستان، پاییز، بهار و تابستان است که به وضوح در شکل ۲ قابل مشاهده است. همچنین نتایج نشان داد که در طول دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) بیشترین میزان بارش دریافتی مربوط به ایستگاه بندرانزلی با بارش ۶۶۹ میلی‌متر و کمترین میزان بارش دریافتی مربوط به ایستگاه گرگان واقع در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه با بارش ۲۴۳ میلی‌متر بود. همچنین در جدول ۱ ضریب تغییرات ماهانه بارش نشان داده شده است. شاخص ضریب تغییرات می‌تواند الگوی نسی از تغییرپذیری بارش را در دوره رشد برنج ارائه کند. در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه حداقل ضریب تغییرات در ماه‌های مارس و سپتامبر بود. این نشان می‌دهد که توزیع بارش در طول این ماه‌ها مناسب بوده و همچنین حاکی از غلبه سامانه‌های بارشی در این ماه‌ها است. با توجه به جدول ۱، مقدار ضریب تغییرات به تدریج به سمت ماه‌های گرم سال افزایش یافته است. این حاکی از آن است که توزیع بارش روزانه در طول ماه‌های گرم سال مانند ژوئن، ژوئیه و اوت (مراحل زایشی تا برداشت) بسیار نامنظم‌تر از دیگر ماه‌های دوره رشد است.



شکل ۲. تغییرات بارش در طول ماه‌های دوره رشد برنج در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

جدول ۱. ضریب تغییرات بارش در طول ماه‌های دوره رشد برنج در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

ماه	آستارا	بندرانزلی	رشت	رامسر	نوشهر	بابلسر	قراخیل	گرگان
مارس	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۵۴
آوریل	۰/۷۰	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۶۳	۰/۸۸	۰/۶۸	۰/۶۲
می	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۷۸
ژوئن	۰/۷۸	۰/۹۵	۱/۰۱	۱/۰۹	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۰۵	۰/۸۵
ژوئیه	۱/۰۵	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۵	۱/۱۹	۱/۱۰	۱/۰۱	۱/۳۷
اوت	۰/۹۰	۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۳	۱/۲۶
سپتامبر	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۷۵

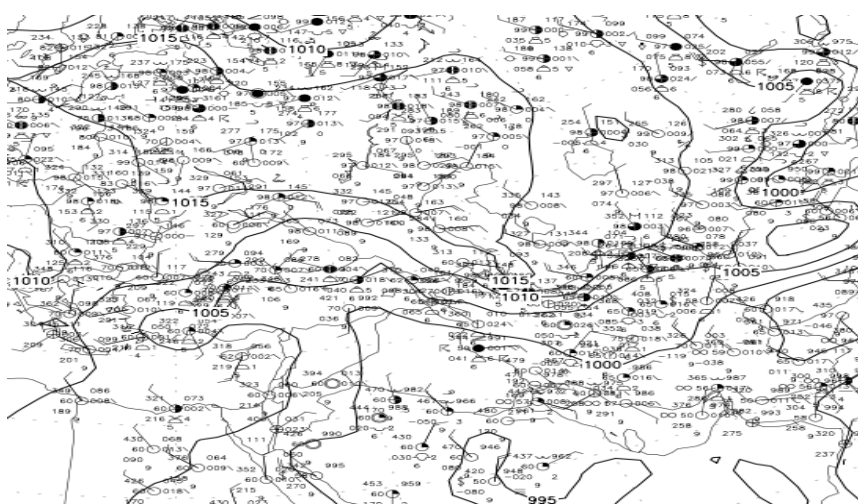
تحلیل سینوپتیک بارش فصول گرم سال در سواحل جنوبی دریای خزر

الگوی گردش کلی جو نقش اصلی را در وقوع پدیده‌های هواشناسی نظیر بارش دارد. همچنین نقش عوامل محلی مانند قرارگیری در مجاورت منابع حرارتی و رطوبتی (نظیر دریا) و یا واداشت کوهستان می‌توانند به‌طور معناداری بر نوع فعالیت توده‌ها تأثیرگذار باشند. استان‌های گیلان، مازندران و گلستان از یک‌طرف به دریای خزر و از سمت دیگر به دیواره بلند البرز متصل هستند و در مجاورت هر دو عامل تأثیرگذار قرار دارند. از نظر کلی عمده بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر از نظر زمانی در فصول سرد سال اتفاق می‌افتد؛ اما بارش در فصول بهار و تابستان از منظر کشاورزی و به‌ویژه کاشت، داشت و برداشت برنج اهمیت ویژه‌ای دارد. رژیم بارش سواحل جنوبی دریای خزر تا حد زیادی بستگی به نوع فعالیت توده‌های هوا و اندرکنش آن با ناهمواری‌های موجود در این ناحیه (دیواره بلند البرز) و ویژگی‌های فیزیکی دریای خزر (دمای سطح آب، شار حرارتی و رطوبتی آن و غیره) دارد. وقوع بارش‌های به هنگام در فصل بهار و ابتدای تابستان، می‌تواند شرایط مناسبی برای کاشت و داشت محصول برنج مهیا نماید اما برعکس بارش‌های بعد از نیمه مرداد و شهریور می‌تواند تأثیر منفی در زمان برداشت محصول بر عملکرد محصول برنج داشته باشد.

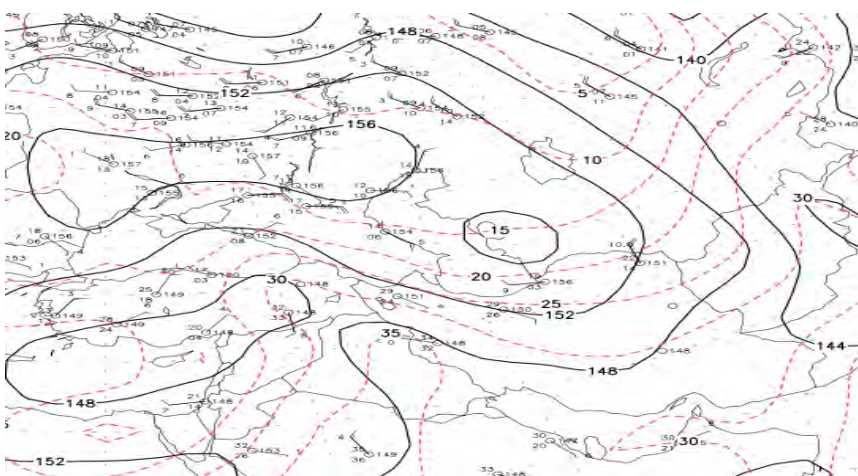
در فصول گرم سال (بهار و تابستان) اثر همرفت گرمایی در سواحل جنوبی دریای خزر اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و می‌تواند سبب بارش‌های رگباری و گاهی شدید (به‌خصوص در جنوب شرق دریای خزر و استان گلستان) گردد. وقوع سیل‌های مخرب در سال‌های مختلف در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان در فصول گرم سال، ناشی از اثر همرفت در بارش‌های این ناحیه است. با شروع فصل بهار و روند تدریجی افزایش دما، دمای سطح آب دریای خزر نیز روند افزایشی خواهد داشت و تبخیر سطحی از سطح این دریا افزایش پیدا می‌کند. افزایش تبخیر سطحی (از سطح دریای خزر و نیز سطح مزارع برنج که در این زمان غرق آب می‌باشند) سبب تأمین رطوبت کافی برای تشکیل ابر و اختصاصاً ابرهای همرفتی (ناشی از فرایند همرفت در فصول گرم سال) می‌شود. در بهار و تابستان، گرمایش ناشی از تابش خورشید سبب تغییر شکل هوای قاره‌ای به هوای فشارورود و خشک شدن هوا شده و بر این اساس، سبب شکل‌گیری توزیع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر در فصول گرم سال می‌شود. عمده بارش در این فصول در دو ماه اول فصل بهار و نیمه دوم تابستان اتفاق می‌افتد. همچنین از نظر نوع بارش نیز با توجه به ناپایداری‌های ناشی از تغییر شدید چگالی جو (ناشی از تغییرات دما و رطوبت) بارش‌های این فصل به‌ویژه طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد غالباً از نوع همرفتی (رگباری و شدید) است.

بررسی الگوهای مختلف جوی و تحلیل سینوپتیک سامانه‌های جوی موثر بر منطقه در فصول بهار و تابستان بیانگر آن است که عمده بارش‌های قابل‌ملاحظه در این فصول ناشی از نفوذ توده‌های پرفشار در سطح زمین و عبور ناوه ارتفاعی از ترازهای میانی جو و همرفت در لایه‌های نزدیک سطح زمین (ناشی از ناپایداری در تراز میانی جو) می‌باشد. نحوه قرارگیری توده‌های پرفشار و نوع نفوذ آن (یا به عبارتی جهت جریان‌ات ورودی) به سواحل جنوبی دریای خزر تعیین‌کننده

میزان ناپایداری است. همچنین میزان اختلاف دمای سطح آب و توده‌ها نیز در میزان و شدت ناپایداری موثر است. شکل ۳ نمونه‌ای توده‌های پرفشار و نحوه نفوذ آن به منطقه را نشان می‌دهد. وجود پر ارتفاع در تراز میانی جو در شرق اروپا (با توجه به حرکت‌های واچرخندی و تاوایی منفی در تراز ۵۰۰ میلی بار) سبب تقویت پرفشار سطح زمین می‌شود. توده‌های پرفشار در سطح زمین نیز به دلیل ماهیت حرکت ساعت‌گرد آن موجب نفوذ و ریزش هوای خنک‌تر عرض‌های بالاتر به منطقه می‌شود. حرکت شرق سو این توده‌های پرفشار و عبور آن‌ها از روی دریای خزر (با دمای سطح بالاتر) و فرا رفت هوای خنک از روی آب‌های گرم‌تر دریا سبب تقویت حرارتی و رطوبتی توده‌های پرفشار و ناپایداری تدریجی آن و مساعد شدن شرایط برای حرکت‌های صعودی می‌شود. هرچقدر میزان شار حرارتی و رطوبتی دریا و نیز اختلاف دمای سطح آب و توده‌ها بیشتر باشد، میزان ناپایداری نیز افزایش خواهد یافت. وجود ناوه ارتفاعی در ترازهای نزدیک سطح زمین نظیر ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی بار نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ناپایداری در این فصول دارند. شکل ۴ نمونه‌ای از ناوه ارتفاعی در تراز ۸۵۰ میلی بار مربوط به تاریخ ۲۰ مرداد ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد که منجر به بارش شدید در سواحل جنوب غربی دریای خزر و استان گیلان شد. همچنین جریانات شمالی و شمال شرقی بیشترین تأثیر را بر میزان ناپایداری و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، به‌ویژه سواحل جنوب غربی دارند که سبب انتقال مقدار زیاد رطوبت به این ناحیه می‌شوند.



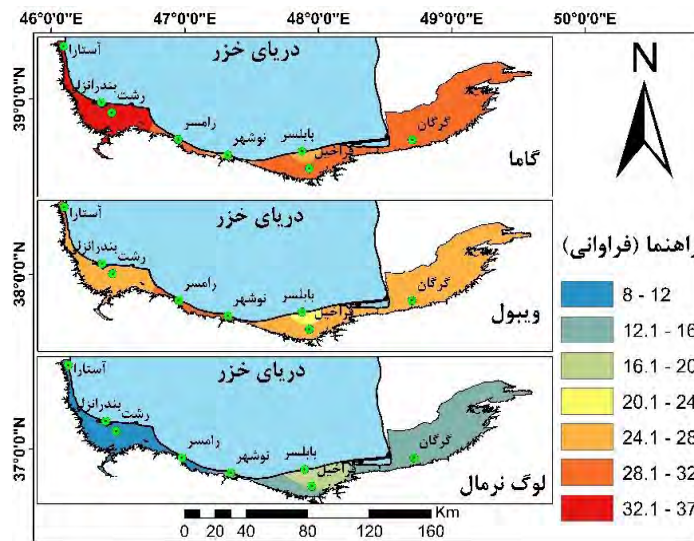
شکل ۳. نقشه سطح زمین ساعت ۰۰ گرینویچ ۲۰ مرداد ۱۳۹۶



شکل ۴. نقشه تراز ۸۵۰ میلی بار ساعت ۰۰ گرینویچ ۲۰ مرداد ۱۳۹۶

توزیع احتمال بارش منطقه خزر در طول فصل رشد برنج

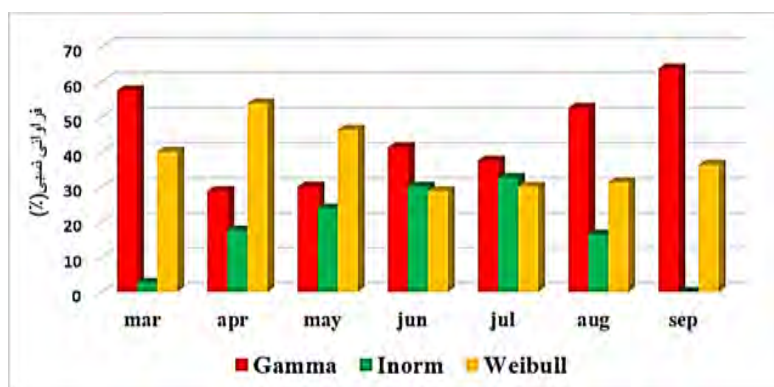
نتایج حاصل از برازش توزیع‌های احتمال مختلف بر بارش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد که توزیع گاما نسبت به دیگر توزیع‌های احتمال برتری داشته و برآوردهای این روش به واقعیت نزدیک‌تر است. در شکل ۵ پراکنش مکانی فراوانی توزیع‌های احتمال ویبول، گاما و لوگ نرمال برای بارش غیر صفر سواحل جنوبی دریای خزر برای دوره‌های سه‌روزه (غیر همپوشان) در طول فصل رشد برنج نشان داده شده است. نتایج توزیع احتمالاتی نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه واقع در بخش‌های مرطوب شمالی استان گیلان تا جلگه‌های غربی استان مازندران و همچنین بخش‌های نیمه مرطوب شرقی سواحل جنوبی دریای خزر، توزیع غالب گاما بیشترین فراوانی را دارد. بیشترین تمرکز توزیع گاما مربوط به ایستگاه‌های بندرانزلی و رشت با فراوانی نسبی بیش از ۵۰ درصد بود. جهت خط ساحلی نسبت به سامانه‌های بارش زا در بخش‌های غربی و مرکزی ناحیه خزر موجب رخداد بارش‌های قابل توجه و شدید در این بخش‌ها به‌ویژه ایستگاه بندرانزلی می‌شود، اما تعداد کم این بارش‌ها موجب کم شدن احتمال وقوع رخداد این نوع بارش‌ها شده است. در این مناطق فراوانی وقوع بارش‌های زیر میانگین بیشتر از وقوع بارش‌های بالاتر از میانگین است. توزیع گاما در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز ایستگاه نوشهر فراوانی بالایی داشت. تابع توزیع ویبول برآزش بهتری را برای ایستگاه نوشهر در بخش مرکزی استان مازندران نشان داد. با توجه به شکل ۵ برای ایستگاه رامسر واقع در جلگه غربی استان مازندران، دو توزیع گاما و ویبول با فراوانی بیش از ۴۰ درصد بیشترین فراوانی را دارد.



شکل ۵. پراکنش مکانی فراوانی توزیع احتمال بارش سه‌روزه در طول فصل رشد برنج

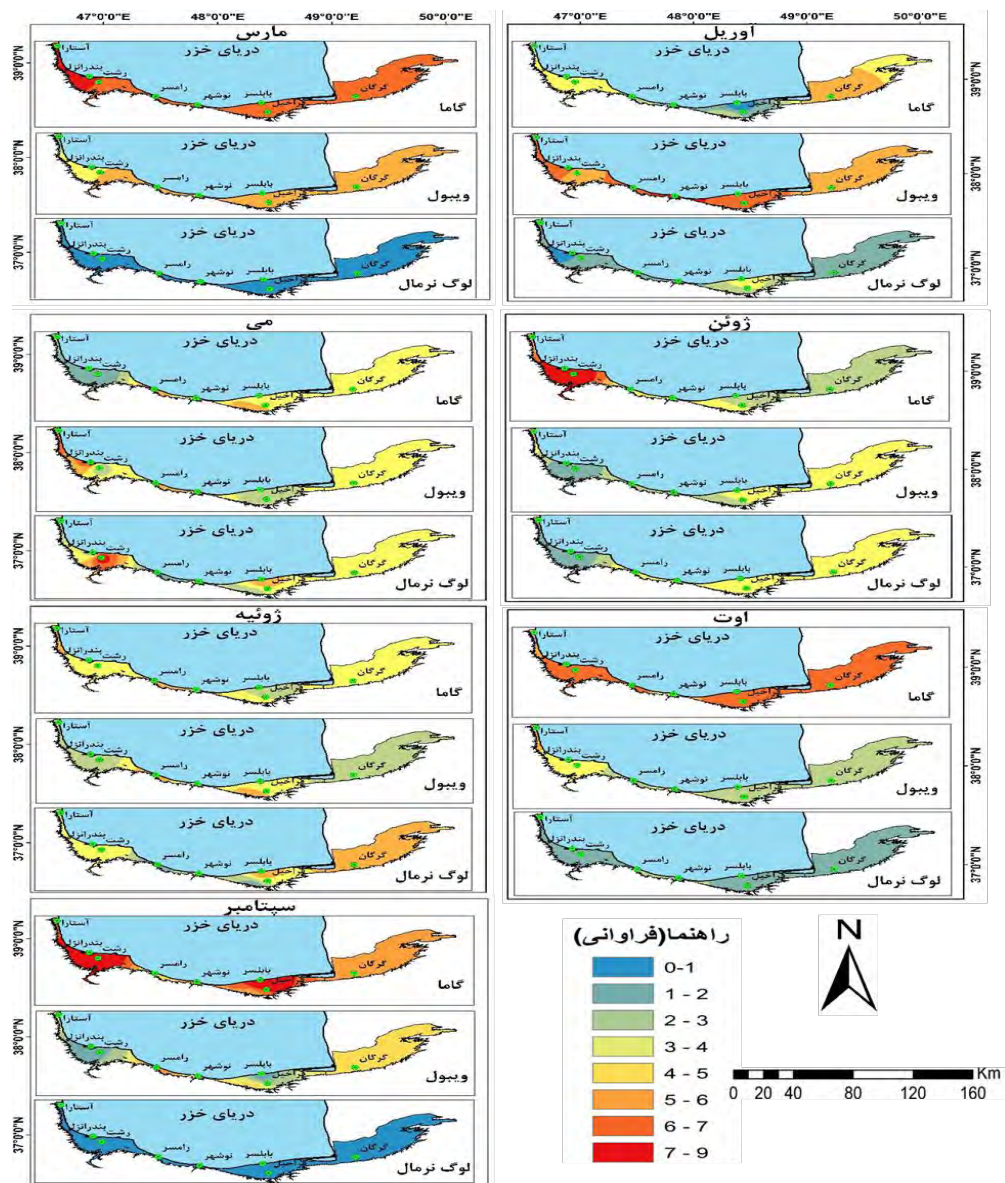
توزیع احتمال بارش مناطق ساحلی خزر در طول ماه‌های فصل رشد برنج

فراوانی نسبی توزیع‌های احتمال در طول ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور توزیع بارش روزانه برای ماه‌های مختلف، یکسان نیست. در طول ماه‌های مارس، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر توزیع گاما و در ماه‌های آوریل و می توزیع ویبول برآزش بهتری را نشان می‌دهند. در طول ماه‌های ژوئن و ژوئیه که هم‌زمان با مراحل گلدهی و خوشه‌دهی برنج در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد، فراوانی توزیع‌ها نسبتاً برابر است.



شکل ۶. فراوانی نسبی توزیع‌های احتمال بارش در طول ماه‌های فصل رشد برنج

همچنین در شکل ۷ پراکنش مکانی فراوانی نسبی توزیع‌های احتمال در طول ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر نشان داده شده است. توزیع احتمال بارش برای ماه‌های مختلف به تناسب موقعیت جغرافیایی، توزیع ناهموازی‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه متغیر است. در ماه مارس توزیع غالب گاما که حداکثر میزان مربوط به بخش‌های شمالی استان گیلان و حداکثر میزان توزیع ویبول مربوط به جلگه‌های غربی استان مازندران است. توزیع مکانی فراوانی نسبی توزیع‌های احتمال در ماه آوریل الگوی متفاوت‌تری را نشان می‌دهد. در این ماه در اکثر مناطق توزیع ویبول و در بخش سواحل شرقی توزیع گاما بیشترین فراوانی نسبی را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان توزیع ویبول مربوط به ایستگاه نوشهر واقع در جلگه غربی استان مازندران با فراوانی نسبی ۷۰ درصد بوده و ایستگاه‌های آستارا و بندر انزلی در رتبه بعد قرار گرفته‌اند. بیشترین فراوانی نسبی توزیع احتمال بارش در ماه ژوئن، در بخش‌های شمالی استان گیلان و ایستگاه رامسر واقع در جلگه غربی استان مازندران به ترتیب مربوط به توزیع گاما و ویبول بود. توزیع مکانی فراوانی نسبی بارش ماه ژوئیه دارای الگوی تقریباً مشابهی با ماه ژوئن است به طوری که بیشترین فراوانی نسبی پهنه‌های شرقی سواحل جنوبی دریای خزر و همچنین ایستگاه‌های بندرانزلی و رشت واقع در بخش شرقی استان گیلان متعلق به توزیع لوگ نرمال هستند. این در حالی است که در دیگر بخش‌های منطقه مورد مطالعه شامل مناطق شمالی استان گیلان توزیع گاما و ایستگاه‌های رامسر و قراخیل واقع در استان مازندران توزیع ویبول بیشترین میزان فراوانی نسبی را داشتند. در ماه‌های اوت و سپتامبر دو توزیع ویبول و به‌ویژه گاما برآزش بهتری با بارش سواحل جنوبی دریای خزر دارد. در مجموع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرپذیری ماه‌به‌ماه توزیع بارش در ناحیه خزر زیاد است و سامانه‌های بارش‌زا در خط ساحلی در ماه‌های محدودی در فصل پاییز و زمستان متمرکز هستند. این حالت موجب شده است که بارش در بخش‌های ساحلی دریای خزر متمرکزتر شده و توزیع زمانی نامنظم‌تری داشته باشد. این در حالی است که به سمت بخش‌های جنوبی دریای خزر منطبق بر ارتفاعات البرز توزیع زمانی بارش یکنواخت‌تر شده و تفاوت ماه‌به‌ماه توزیع بارش کمتر می‌شود. بنابراین توزیع بارش در سطح منطقه مورد مطالعه در طول ماه‌های پربارش‌تر از توزیع گاما و ویبول تبعیت می‌کند؛ درحالی‌که در ماه‌های ژوئن و ژوئیه بخش‌هایی از سواحل شرقی دریای خزر توزیع لوگ نرمال حاکم است.

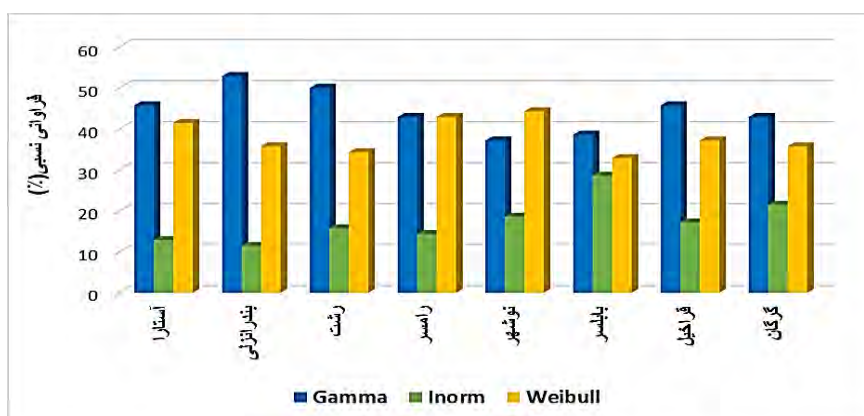


شکل ۷. پراکنش مکانی فراوانی توزیع احتمال بارش در طول ماه‌های فصل رشد برنج

توزیع احتمال بارش فصل رشد برنج در مقیاس زمانی روزانه

در شکل ۸ نتایج حاصل از برازش توزیع‌های احتمال مختلف با استفاده از آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف و آکائیک بر داده‌های روزانه بارش در طول دوره رشد برنج، در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ بهترین توزیع برازش داده شده به بارش روزانه (سه‌روزه) در طول دوره رشد برنج تغییر می‌کند، به طوری که در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر، قراخیل و گرگان به ترتیب تنها در ۱۲/۸، ۱۱/۴، ۱۵/۷، ۱۴/۲، ۲۸/۵، ۱۷/۱ و ۲۸/۵ درصد از روزهای فصل رشد برنج، تابع توزیع لوگ نرمال برازش بهتری را نشان داد. در دیگر روزهای فصل رشد دو توزیع گاما و ویبول مناسب‌تری را داشتند. با توجه به این نتایج، توزیع غالب در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه توزیع گاما خواهد بود. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های رشت و بندرانزلی بیشترین برازش را با توزیع گاما داشتند. در این ایستگاه‌ها در بیش از ۵۰ درصد از روزهای فصل رشد برنج، توزیع گاما برازش بهتری را نشان داد. در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، قراخیل توزیع گاما نیز برازش نسبی مناسب‌تری را با اکثر روزهای بارشی فصل رشد برنج نشان دادند. این در حالی است که در ایستگاه نوشهر، توزیع ویبول در ۴۴/۲ درصد از روزهای بارشی فصل رشد برنج

برازش بهتری را داشت. برای ایستگاه رامسر واقع در جلگه غربی استان مازندران دو تابع توزیع ویبول و گاما برازش بهتری را با روزهای بارش طول فصل رشد برنج داشتند که در ۴۳ درصد از روزها توزیع گاما و در ۴۳ درصد دیگر توزیع ویبول بهترین برازش را داشتند.



شکل ۸. بهترین توزیع برازش داده‌شده به بارش روزانه (سه‌روزه) در طول دوره رشد برنج

بحث

رخداد بارش در تیر و خرداد دارای بیشترین ضریب تغییرات بارش ماهانه در مناطق شمالی است و عملاً در برنامه‌ریزی‌های فصلی رخداد چنین بارشی قابل اتکا نیست. در همین مقطع زمانی رخداد بارش‌های طولانی به دلیل تداوم ساعات ابرناکی و روزهای با رطوبت نسبی بالا ممکن است زمینه‌ساز طغیان آفات و بیماری‌های برنج نیز شود. باین‌حال تعیین‌کننده‌ترین نقش بارش را می‌توان بارش‌های پایان فصل کشت (از دوره زایشی تا برداشت) دانست که می‌تواند علاوه بر اختلال در فرایند برداشت پیامدهایی از جمله ترک برداشتن دانه، لکه‌دار شدن و حتی تخریب کامل محصول را در برداشته باشد. همچنین در طول ماه‌های ژوئن و ژوئیه که هم‌زمان با مراحل گلدهی و خوشه‌دهی برنج در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد، فراوانی توزیع‌ها نسبتاً برابر است که بیانگر بی‌نظمی بارش در این مرحله رشد در سطح منطقه مورد مطالعه است. بنابراین باینکه در نواحی برنج‌کاری شمال کشور سهم بارندگی بهنگام در تأمین آب آبیاری اندک است (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰). رخداد بارندگی علاوه بر تأمین مستقیم و غیرمستقیم آب آبیاری دارای اهمیت بسیار زیادی است و در طول دوره کوتاه کشت برنج می‌تواند اثرات بسیار متفاوتی بر کیفیت و کمیت گیاه برنج بگذارد. خصوصاً خسارت فیزیکی بارش‌های به نشای جوان یا اثر بسیار مخرب بارندگی‌های دوره گلدهی و همچنین زمان برداشت نشان‌دهنده اهمیت شناخت رفتار بارش در فصل رشد برنج است و در تدوین تقویم کشت نقش بسیار مهمی دارد و یافته‌های این تحقیق می‌تواند در کمی‌سازی میزان انتظار و ریسک ناشی از بارش در مقاطع زمانی فصل رشد برنج بکار گرفته شود.

نتایج انواع توزیع‌های احتمالی نشان داد که توزیع غالب بارش غیر صفر در سطح منطقه مورد مطالعه از نوع گاما بوده و در مرحله بعد توزیع ویبول قرار دارد که با یافته‌های نصرآبادی و همکاران (۱۳۹۳) و نصرآبادی (۱۳۹۶) مطابقت دارد که در پژوهش‌های خود نشان دادند بهترین توزیع‌های قابل برازش بر بارش روزانه ایران به‌ویژه در سواحل خزر، عمان و خلیج فارس از نوع نمایی و گامای دو فراسنجی است. توزیع بارش در سطح منطقه مورد مطالعه در طول ماه‌های پربارش‌تر از توزیع گاما و ویبول تبعیت می‌کند. در ماه‌های ژوئن و ژوئیه بخش‌هایی از سواحل شرقی دریای خزر توزیع لوگ نرمال حاکم است که با نتایج عساکره و مازینی (۱۳۸۹)، علیجانی و افشارمنش (۱۳۹۴)، مدرس (۱۳۸۶)، استای و همکاران

(۲۰۱۱) و روشنی و همکاران (۱۳۹۹) تطابق دارد. نتایج نشان داد که توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی برای برآورد بارش طول فصل رشد برنج در سواحل جنوبی دریای خزر است که با نتایج به‌دست‌آمده یی و همکاران (۲۰۱۸) در ایالات متحده و کریم و همکاران (۲۰۱۸) در اربیل همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

بارش از جمله مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر برنج‌کاری است. بنابراین شناخت ویژگی‌های بارش هر منطقه شامل مقدار، شدت و غیره برای اجرای برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت منابع آب و کاهش اثرات نامطلوب آن در بعضی از مراحل کاشت داشت و برداشت در شالیزار حائز اهمیت است. به دلیل محدودیت‌هایی مانند عدم دسترسی به ایستگاه‌های هواشناسی و دیگر موارد، همواره امکان دسترسی به یک سری طولانی از داده‌های بارش برای نقاط متعدد وجود ندارد. بنابراین، استفاده از تکنیک توزیع احتمال که تناسب خوبی با داده‌های بارش روزانه را فراهم کند، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. شناخت شکل توزیع بارش نقش قابل توجهی در واکاوی رفتار بارش دارد. واکاوی شکل توزیع بارش در یک منطقه می‌تواند به برنامه‌ریزان منابع آب در بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش کشاورزی کمک قابل توجهی کند. از این رو در این پژوهش سعی شد توزیع آماری مناسب بارش فصل رشد برنج در سواحل جنوبی دریای خزر بررسی شود. به این منظور از داده‌های بارش روزانه ۸ ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده کشت برنج با طول دوره آماری مناسب و طولانی استفاده شد. نتایج حاصل از برازش توزیع‌های احتمال مختلف بر بارش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد که توزیع گاما نسبت به دیگر توزیع‌های احتمال برتری داشته و برآوردهای این روش به واقعیت نزدیک‌تر است. یافته‌های این تحقیق امکان تخمین دقیقی از بارش در فصل رشد برنج را فراهم می‌کند.

تشکر و قدردانی

بر اساس اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ شکوهی، مجتبی؛ محمد پور پنجاه، محمدرضا و اکبرزاده کاشانی، ابراهیم. (۱۳۹۹). معرفی سامانه توصیه‌های هواشناسی کشاورزی شالی‌کاری در مناطق شمالی کشور. *شالیزار*، ۴، ۱۸-۲۷.
- اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ کوزه‌گران، سعیده؛ یزدانی، محمدرضا و رحمانی، اصغر. (۱۴۰۰). تأثیر سطوح احتمالات متفاوت در برآورد نیاز آبی خالص برنج در استان‌های شمالی ایران. *مجله آب‌وخاک*، ۵، ۶۷۱-۶۵۹. doi:// 10.22067/JSW.2021.71370.1064
- اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ موسوی بایگی، محمد؛ یزدانی، محمدرضا؛ علیزاده، امین و زهد قدسی، محمدجواد. (۱۳۹۶). اثر عمق غرقابی بر دمای آب‌وخاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت). *هواشناسی کشاورزی*، ۱، ۴۸-۵۶. doi: 10.22125/AGMJ.2017.54983
- جهانگیر، محمدحسین و ابوالقاسمی، مهناز. (۱۳۹۸). تعیین تابع توزیع احتمالاتی مناسب بر اساس مقایسه دو شاخص خشک‌سالی SPI و SPEI در استان تهران. *اکوسیستم بیابان*، ۲۳، ۱-۱۶. doi: 10.22052/DEEJ.2018.7.23.1
- حکیم دوست، یاسر؛ پورزیدی، علی‌محمد و گرامی، محمد صالح. (۱۳۹۶). تحلیل مکانی بارش رگباری استان مازندران در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). *اطلاعات جغرافیایی*، ۱۰۲، ۱۹۱-۲۰۳.
- خورشیددوست، علی‌محمد و فخاری، مجتبی. (۱۳۹۵). بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در جنوب غرب ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۵، ۸۷-۱۰۴.

- ۷) خوش‌اخلاق، فرامرزی؛ فرید مجتهدی، نیما؛ نگاه، سمانه؛ مؤمن پور، فروغ؛ صبوری هادی نژاد، شبنم و اسعدی اسکویی، ابراهیم. (۱۳۹۵). پدیده برف دریاچه‌ای و نقش آن در رخداد برف‌های سنگین کرانه جنوب غربی دریای خزر. *فضای جغرافیایی*، ۵۳، ۲۲۹-۲۵۱.
- ۸) رضیعی، طیب. (۱۳۹۵). شناسایی مناطق همگن بارشی ایران با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۳، ۱۲۸-۱۴۴.
- ۹) روشنی، محمود؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول و حجازی زاده، زهرا. (۱۳۹۹). تعیین مناسب‌ترین مدل احتمالی و مرکب خطی تعمیم‌یافته برای بررسی دوره‌های تر و خشک سالانه در سواحل جنوبی دریای خزر. *فضای جغرافیایی*، ۶۹، ۱۷-۳۷.
- ۱۰) عساکره، حسین و مازینی، فرشته. (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. *جغرافیا و توسعه*، ۱۷، ۲۹-۴۴.
- ۱۱) عساکره، حسین و ورناصری قندعلی، نسرين. (۱۴۰۰). شناسایی رژیم بارش ناحیه خزری. *نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳، ۴۴۵-۴۵۹.
- ۱۲) عساکره، حسین و یوسفی‌زاده، رحیم. (۱۳۹۴). بررسی روند و رفتار بارشی شهر شاهرود با استفاده از مدل‌های آماری و تحلیل طیفی. *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۳، ۵۱-۶۶. doi:10.22111/GDIJ.2010.1132
- ۱۳) علیجانی، بهلول و افشارمنش، حمیده. (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل آماری مقادیر طولانی‌مدت بارش جهت برازش توزیع آماری مناسب (مطالعه موردی ایران). *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس*، ۲۵، ۷۳-۹۴.
- ۱۴) محمدی جوزدانی، سمیه؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ دولتی، علی. (۱۳۹۸). تأثیر مناطق همگن هیدرو-اقلیمی بر تعیین بهترین توزیع احتمالاتی برای بارش‌های حداکثر روزانه. *مهندسی منابع آب*، ۱۲، ۱۰۵-۱۱۴. doi: 20.1001.1.20086377.1398.12.40.9.5
- ۱۵) مدرس، رضا. (۱۳۸۶). توابع توزیع منطقه‌ای بارش ایران. *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۷۵، ۱-۶.
- ۱۶) معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ خوش‌اخلاق، فرامرزی؛ میری، مرتضی و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۱). واکاوی همید دوره‌های ماهانه خشک فراگیر در سواحل جنوبی دریای خزر. *جغرافیای طبیعی*، ۱۸، ۳۵-۴۸.
- ۱۷) موسوی بایگی، محمد؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ یزدانی، محمدرضا و علیزاده، امین. (۱۳۹۶). اثر عمق غرق آبی بر تلفات تبخیر از سطوح شالیزار. *پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*، ۱، ۲۲۱-۲۳۵. doi:10.22069/JWFST.2017.12237.2674
- ۱۸) نصرآبادی، اسماعیل. (۱۳۹۶). واکاوی تغییرات توزیع فراوانی چهار دهه بارش روزانه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۶۷، ۱۵۸-۱۴۷. doi: 10.22108/GEP.2017.98166.0
- ۱۹) نصرآبادی، اسماعیل؛ عساکره، حسین و مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۳). شناسایی و پهنه‌بندی توزیع فراوانی بارش روزانه ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۳، ۱-۱۶.

References

- 1) Alijani, B., & Afshar Manesh, H. (2014). Statistical analysis of long-term precipitation values to fit the appropriate statistical distribution (case study of Iran). *Geography and urban planning*, 25, 73-94. [In Persian].
- 2) Alipour, H., Salajegheh, A., Moghaddam Nia, A., Khalighi Sigaroodi, SH & Nassaji Zavareh, N. (2021). Determination of best fit probability distribution and frequency analysis of threshold rainfall under different climate change scenarios. *Water Harvesting Research*, 1, 93-105. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2021.4316.1042>.
- 3) Amin, M., Rizwan, T., & Alazba, A. A. (2016). A best-fit probability distribution for the estimation of rainfall in northern regions of Pakistan. *Open Life Sciences*, 11(1), 432-440. <https://doi.org/10.1515/biol-2016-0057>.
- 4) Asadi Oskouei, E., Kouzegaran, S., Yazdani, M & Rahmani, A. (2021). The Effect of Different Probability Levels in Estimating the Net Water Requirement of Rice in the

- Northern Provinces of Iran. *Water and Soil*, 35(5), 659-671. doi:// 10.22067/JSW.2021.71370.1064 [In Persian].
- 5) Asadi Oskouei, E., Mousavi Baygi, M., Yazdany, M., Alizadeh, A & Zohd Ghodsi, M. (2017). The effect of submergence depth on water and soil temperature in paddy field (Case study: Rasht). *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1), 48-56. doi: 10.22125/AGMJ.2017.54983. [In Persian].
 - 6) Asadi Oskouei, E., Shokohi, M., Mohammadpour Panja, M.R., Akbarzadeh Kasani, E. 2020. Introducing the system of meteorological recommendations for rice farming in the northern regions of the country. *Shalizar*, 4, 18-27. [In Persian].
 - 7) Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Lopez-Baeza, E., Kouzegaran, S., Navidi, M.N., Haghghat, M., Davatgar, N & Lopez-Baeza, E. (2022). Mapping climate zones of Iran using hybrid interpolation methods. *Remote Sens*, 14, 1-21. <https://doi.org/10.3390/rs14112632>.
 - 8) Asakareh, H., & Yousefizadeh, R. (2015). Evaluating the trend and behavior rain the Shahrood city using the model statistically and spectral analysis. *Geography (Regional Planning)*, 5(3), 51-66. doi:10.22111/GDIJ.2010.1132 [In Persian].
 - 9) Asakereh, H & Mazinei, F. (2010). Investigation of Dry Days Occurrence Probability in Golestan Province Using Markove Chain Model. *Geography and Development*, 8(17), 29-44. [In Persian].
 - 10) Asakereh.H & Varnaseri.N. (2021). Identifying the Precipitation Regime of the Iranian Coast of Caspian Sea. *Water and Soil*, 3, 445-459. doi: 10.22067/JSW.2021.67063.0. [In Persian].
 - 11) Fatin Mohd Razali, S., Hazman Hasan, H., Shazwani Muhammad, N., Samba Mohamed, Z., Mohamad Hamzah, F. (2022). Assessment of probability distributions and minimum storage drafrate analysis in the equatorial region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21, 1-19. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1-2021>.
 - 12) Goyal, M., Goswami, U., & Hazra,B. (2018). Copula-based probabilistic characterization of precipitation extremes over North Sikkim Himalaya. *Atmospheric Research*, 212, 273-284. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.019>.
 - 13) HakimDost, Y., Poorzeidy, A, M & Gerami, M. (2017). Spatial analysis of torrential rain in Mazandaran province in the geographic information system (GIS) environment. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data*, 102, 191-203. doi:10.22131/sepehr.2017.27477. [In Persian].
 - 14) Hamidi Machekposhti, K & Sedghi, H. (2018). Evaluation of Best-Fit Probability Distribution for Prediction of Extreme Hydrologic Phenomena. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 10, 973-981. <https://doi.org/10.1177/11786221176910>.
 - 15) He, Y., Shao, Y., Mu, X., Sun, W., Zhao, G & Gao, P. (2019). Spatiotemporal variations of extreme precipitation events at multi-time scales in the Qinling- Daba mountains region, China. *Quaternary International*, 252, 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.029>.
 - 16) Jahangir M. H., & Abolghasemi M. (2019). Determining the most appropriate probability distribution function for calculate and compare the SPEI and SPI drought index in Tehran. *DEEJ*, 8 (23), 1-16. doi: 10.22052/DEEJ.2018.7.23.1. [In Persian].
 - 17) Karim, T., Keya, D & Amin, Z. (2018). Temporal and spatial variations in annual rainfall distribution in Erbil province. *Outlook on Agriculture*, 1, 59-67. <https://doi.org/10.1177/003072701876296>.
 - 18) KhorshidDost, A.M & Fkhari, M. 2016. Investigating the probability of the frequency and continuity of rainy days in southwest Iran using the Markov chain model. *Geography and Planning*, 55, 87-104. [In Persian].
 - 19) KhoshAkhlagh, F., FaridMojtahedi, N., Negah, S., Momenpour, F., Sabouri Hadinejad, H & Asadi Oskouei, E. (2016). The phenomenon of lake snow and its role in the occurrence of heavy snow on the southwestern coast of the Caspian Sea. *Geographic Space*, 53, 229-251. [In Persian].

- 20) Lana, X., Mart'inez, MD., Burgueno, A., Serra, C., Mart'in-Vide, J & Gomez, L. (2006). Distributions of long dry spells in the Iberian Peninsula, years 1951–1990. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(14), 1999–2021. <https://doi.org/10.1002/joc.1354>.
- 21) Langat, P., Kumar, L & Koech, R. (2019). Identification of the most suitable probability distribution models for maximum, minimum, and mean streamflow. *Water*, 9, 1-24. <https://doi.org/10.3390/w11040734>.
- 22) Limsakul, A & Singhruck, P. (2016). Long-term trends and variability of total and extreme precipitation in Thailand. *Atmosphere Research*, 169, 301-317. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.10.015>
- 23) Luo, P., Zhou, M., Deng, H., Lyu, J., Cao, W., Takara, K., Nover, D., & Schladow, G. (2018). Impact of forest maintenance on water shortages: Hydrologic modeling and effects of climate change. *Science of the Total Environment*, 615, 1355-1363. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.044>
- 24) Majidian, M., Rabiee, M., Alizadeh, M.H., & Kavooosi, M. (2021). Evaluation of energy use efficiency and greenhouse gas emission in rapeseed (*Brassica napus* L.) production in paddy fields of Guilan province of Iran. *Energy*, 217, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119411>
- 25) Mamoon, A & Rahman, A. (2017). Selection of the best fit probability distribution in rainfall frequency analysis for Qatar. *Natural Hazards*, 86(1), 281-296. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2687-0>
- 26) Masoumpour Samakosh, J., KhoshAkhlagh, F., Miri, M & Rahimi, M. (2011). Analyzing the comprehensive dry monthly periods in the southern shores of the Caspian Sea. *Physical Geography*, 18, 35-48. [In Persian].
- 27) Michele, C., & Avanzi, F. (2018). Superstatistical distribution of daily precipitation extremes: A worldwide assessment. *Sci Rep*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31838-z>.
- 28) Millington, N., Samiran, D & Slobodan, S. (2011). The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models; *Water Resources Research Report*.
- 29) Modares, R. (2006). Regional distribution functions of Iranian precipitation. *Pajouhesh Va Sazandgi*, 75, 1-6. [In Persian].
- 30) Mohammadi Jouzdani, S., Malekinezhad, H & Dolati, A. (2019). Investigating the effect of hydro-climatic homogeneous regions on priority of the best-fit probability distributions for daily rainfall analysis in Iran. *Water Resources Engineering*, 12(40), 105-114. doi: 20.1001.1.20086377.1398.12.40.9.5 [In Persian].
- 31) Mosavi Baigi, M., AsadiOskouei, E., Yazdani, M & Alizadeh, A. (2017). The effect of submergence depth on evaporation losses in paddy fields. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1), 221-235. doi:10.22069/JWFST.2017.12237.2674 [In Persian].
- 32) Nasrabadi, E. (2017). Analyzing the changes in frequency distribution of four decades of daily rainfall in Iran. *Geography and Environmental Planning*, 67,147-158. doi: 10.22108/GEP.2017.98166.0 [In Persian].
- 33) Nasrabadi, E & Asakereh H, Masoodian S A. (2014). Recognition and regionalization of daily precipitation frequency distribution in Iran. *GeoRes*, 29 (3), 1-16. [In Persian].
- 34) Nathan, R., Jordan, PH., Scorach, M., Lang, S., Kuczera, G., Schaefer, M & Weinmann, E. (2016). Estimating the exceedance probability of extreme rainfalls up to the probable maximum precipitation. *Journal of Hydrology*, 543, 706-722. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.044>
- 35) Nguyen, T. H. (2016). Statistical Modeling of Extreme Rainfall Processes (SMExRain): A Decision Support Tool for Extreme Rainfall Frequency Analyses. *Procedia Engineering*, 154, 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.561>
- 36) Osati, KH., Mahdavi, M., Sadeghi,A., Karimi, B., & Mobaraki, J. (2011). Determining

- Suitable Probability Distribution Models for Annual Precipitation Data (A Case Study of Mazandaran and Golestan Provinces). *Journal of Sustainable Development*, 1, 159-168. <https://doi.org/10.5539/jsd.v3n1p159>
- 37) Raziei, T. (2016). Identification of homogeneous precipitation sub-regions for Iran using principal component analysis. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(3), 128-144. [doi:20.1001.1.20080336.1395.10.3.10.9](https://doi.org/10.1001.1.20080336.1395.10.3.10.9) [In Persian].
- 38) Roshani, M., Saligheh, M., Alijani, B & Begum Hejazi Zade, Z. (2020). Best Probability Model and Generalized Linear Mixed Model of wet and Dry Spells of the Southern Coast of the Caspian Sea. *Geographical Researches*, 20, 17-37. [In Persian].
- 39) Tozzi, R., Masci, F., & Pezzopane, M. (2020). A stress test to evaluate the usefulness of Akaike information criterion in short-term earthquake prediction. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77834-0>
- 40) Xiong, L., Qiumei, J., Xia, J., Xiong, B., Yang, H & Xu, CH. (2019). A censored shifted mixture distribution mapping method to correct the bias of daily IMERG satellite precipitation estimates. *Remote Sens*, 11, 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs11111345>
- 41) Ye, L., Hanson, L., Dong, P., Wang, D & Voget, R. (2018). The probability distribution of daily precipitation at the point and catchment scales in the United States. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 6519-6531. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6519-2018>