

مقاله علمی- پژوهشی

تعیین تاریخ کاشت بهینه براساس توزیع بارش در دوره رشد برنج در استان گیلان

سید محمد تقی سدیدی شال^۱، حدیث صادقی^۲، ابراهیم اسعدی اسکویی^{۳*}، ابراهیم امیری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸

چکیده

بارندگی نامنظم اغلب موجب کمبود آب و در نتیجه کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه می‌شود. این مطالعه با هدف تعیین زمان مناسب نشاءکاری جهت بهره‌گیری بهینه از بارندگی در دوره رشد برنج انجام شد. برای تعیین مناسب‌ترین توزیع‌های احتمال برای برآورد بارش در دوره رشد برنج در استان گیلان، از داده‌های ۷ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) استفاده شد. داده‌ها به صورت بارش تجمعی ۱۰ روزه از اول فروردین تا پایان شهریور در ۱۸ دهه دسته‌بندی و با تحلیل‌های آماری، نمودار جعبه‌ای (Box Plot) برای بررسی تغییرات احتمالاتی بارش ترسیم گردید. نتایج نشان داد، توزیع جانسون SB با آماره‌های کولموگوروف-اسمیرنوف (K-S = 0.11119) و اندرسون-دارلینگ (A-D = 0.49044) بهترین برازش را برای بارش دوره رشد برنج در استان گیلان دارد. بیشترین میانگین بارش با احتمال ۵۰ درصد در دهه دوم و سوم شهریور به ترتیب ۵۶/۴ و ۶۱/۳ میلی‌متر بود و با احتمال ۷۵ درصد، کمتر از ۱۰۰ و ۹۹ میلی‌متر خواهد بود. همچنین، در دهه سوم فروردین که هم‌زمان با نشاءکاری مزارع خیلی زودکاشت است، بارندگی با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۴۸ میلی‌متر رخ خواهد داد که مقدار قابل توجهی است. با توجه به تأثیر منفی بارش‌های اواخر مرداد و شهریور بر برداشت محصول، کشت دیرهنگام توصیه نمی‌شود. در مجموع، وقوع بارش‌های مناسب در بهار و اوایل تابستان شرایط مطلوبی برای کاشت و داشت برنج فراهم می‌کند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود کشت برنج در گیلان در دهه اول اردیبهشت (با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۴۳ میلی‌متر برای مزارع زودکاشت) و دهه دوم اردیبهشت (با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۲۴ میلی‌متر برای مزارع با کاشت به موقع) انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، توزیع احتمال، عملکرد برنج، کشاورزی پایدار

مقدمه

تأثیر قرار دهد (Hussain et al., 2023, He et al., 2022). با توجه به سهم بالای نیاز آبی گیاه در چرخه هیدرولوژیکی، تغییرات آب و هوایی می‌تواند تهدیدی جدی برای تشدید بحران جهانی آب و دستیابی به امنیت غذایی ایجاد کند (جهانتیغ و همکاران، Mall et al., 2017; ۱۳۹۵).

برنج گیاهی نیمه‌آبی است که به میزان بارندگی و دمای منطقه کشت بستگی دارد و از این رو، به شدت تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرد. خشکسالی و دمای حدی بالا، به دلیل کمبود آب و برنامه‌ریزی نامناسب آبیاری، رشد و عملکرد برنج را کاهش می‌دهد (Chen et al., 2023). آبیاری ناکارآمد شالیزارها منجر به هدر رفتن منابع آب و تشدید کمبود آن می‌شود و پایداری منابع آب را به طور فزاینده‌ای تهدید می‌کند (Wei et al., 2023; Gao et al., 2023).

در برخی از مناطق، میزان بارندگی بسیار کمتر از نیاز محصولات زراعی است و توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، تقاضای آب کشاورزی، به‌ویژه نیاز به آبیاری برای کشت برنج، را افزایش خواهد داد (Aryal, 2012; Belal Hossain et al., 2021). بنابراین از آنجا

بارش، به‌عنوان مهم‌ترین متغیر اقلیمی، نقش اساسی در پراکنش موجودات زنده شامل گیاهان، جانوران و تمدن بشری دارد. توزیع زمانی و مکانی بارش می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر جامعه انسانی و محیط طبیعی داشته باشد (Limsakul and Singhruck, 2016). با توجه به نیاز روزافزون به آب در سراسر جهان، این منبع ارزشمند در زمینه‌های مختلف از جمله آبیاری کشاورزی، برق آبی و تأمین آب اهمیت زیادی یافته است. در بسیاری از نقاط جهان، افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضای آب شده است، در حالی که منابع آب شیرین کاهش یافته و کمبود آب می‌تواند عملکرد محصول را به شدت تحت

۱- رییس گروه توسعه هواشناسی کاربری، گیلان، ایران

۲- کارشناس پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهشکده تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران

۴- استاد دانشکده مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

* نویسنده مسئول: e.asadi.o@gmail.com

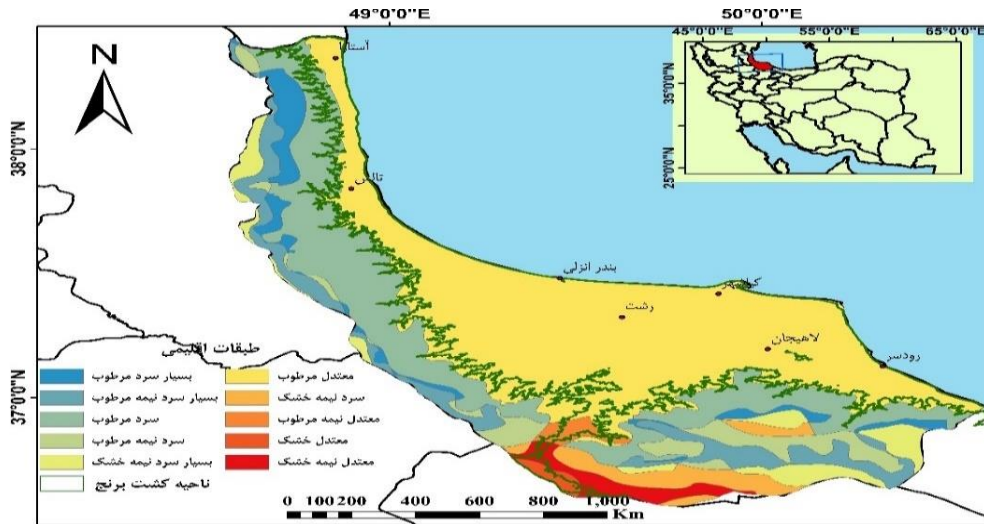
ریزی زراعی کشت برنج را براساس توزیع بارندگی در TAMIL-NADU واقع در هند ارائه کردند و پیشنهاد کردند که تاریخ کاشت به هفته‌های اولیه سپتامبر-فوریه تغییر داده شود تا از قرار گرفتن در معرض تنش آبی جلوگیری شود (Barati et al., 2022). احمد و چوی برنامه‌های آبیاری بهینه برای سیستم کشت برنج-گندم در پنجاب، پاکستان با در نظر گرفتن تأثیرات تغییرات اقلیمی آینده ارائه نمودند و نشان دادند که در آینده تبخیر و نیاز خالص آبیاری هر دو محصول به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت، به طوری که برای جبران نیاز آبی گندم و برنج به ترتیب به ۱-۲ و ۲-۵ آبیاری اضافی در طول فصل رشد نیاز دارند. همچنین، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که می‌توان از طریق جمع‌آوری آب باران و ذخیره آن برای استفاده در دوره‌های اوج مصرف بهره برد (Ahmad & Choi, 2021). بلال حسینی و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که نشا زودهنگام برنج در بنگلادش بارش بیشتری در مرحله زایشی دریافت می‌کند، که منجر به کاهش نیاز آبیاری و افزایش عملکرد دانه می‌شود، در حالی که تأخیر در نشا نیاز آبیاری را افزایش داده و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Belal Hossain et al., 2021). با توجه به توزیع نامنظم بارندگی و عدم تطابق آن با دوره رشد برنج، تأمین نیاز آبی برنج تنها از طریق باران امکان‌پذیر نبوده و آبیاری برای کشت آن ضروری است. از این‌رو، در این پژوهش به منظور دستیابی به برنامه‌ریزی پایدار برای کشت برنج و کاهش خطر کمبود آب در مراحل مختلف رشد، توزیع و تغییرپذیری بارش در دوره رشد برنج در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این مطالعه می‌تواند با تأکید بر استفاده مؤثر از بارندگی به‌عنوان منبع تکمیلی آبیاری، به بهبود مدیریت منابع آب و پایداری تولید برنج کمک کند.

مواد و روش‌ها

استان گیلان در شمال ایران و در دامنه‌های شرقی تالش و دامنه‌های شمالی البرز غربی و همچنین جنوب غربی دریای خزر واقع شده است. این استان بین ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا حداکثر ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی با وسعتی معادل ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع تقریباً ۰/۹ درصد مساحت کشور را در بر گرفته است (زینالی و همکاران، ۱۴۰۱). با توجه به شکل ۱ در استان گیلان اقلیم سرد مرطوب تا معتدل نیمه خشک حاکم است. در این استان در ناحیه کشت برنج اقلیم معتدل مرطوب حاکم است (Asadi Oskouei et al., 2022).

که بارش فراوان در مناطق مرطوب امکان کشت موفق برنج را با حداقل آبیاری فراهم می‌کند، بهره‌برداری مؤثر و بهینه از بارش دریافتی می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش تقاضای آب آبیاری داشته باشد (Gao et al., 2023). کشت برنج در استان‌های شمالی ایران به‌ویژه گیلان و مازندران با آب و هوای مرطوب و معتدل و بارش سالانه مناسب رایج است، اگرچه توزیع زمانی بارش با فصل رشد برنج مطابقت ندارد (Majidian et al., 2021). در مناطق شمالی ایران، بیشینه نیاز آبی برنج در مرحله میانی رشد (ژوئن و ژوئیه) و کمینه آن در مرحله پایانی رشد (اگوست) مشاهده می‌شود. در این مناطق، نیاز آبی برنج در مرحله میانی رشد حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد از کل تبخیر و تعرق محصول را شامل می‌شود (مدیری و همکاران، ۱۳۹۷). استان گیلان علی‌رغم اینکه مرطوب‌ترین استان کشور است، به دلیل توزیع نامناسب زمانی بارش، بارش کافی در طول فصل رشد برنج را دریافت نمی‌کند (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). سهم نسبتاً اندک بارش در طول فصل رشد در برخی سال‌ها نقش مهمی در تعیین عملکرد محصول دارد و بارندگی به‌هنگام نه تنها در تأمین آب مورد نیاز نقش مؤثری در کاهش تبخیر شالیزار دارد، بلکه بارش پیش از نشا می‌تواند در صرفه جویی آب مورد نیاز خاکورزی نیز سودمند باشد (اسعدی اسکویی، ۱۳۹۶؛ موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۶). براساس نتایج پژوهش مدیری و همکاران (۱۳۹۷)، کمترین میزان بارندگی در دوره رشد برنج در بین ایستگاه‌های شمالی، مربوط به ایستگاه منجیل به میزان ۲۹ میلی‌متر است، در حالی که در این منطقه، نیاز آبی گیاه برنج حدود ۱۲۳۰ میلی‌متر برآورد شده است. بنابراین، برای تأمین نیاز آبی برنج در این منطقه و اجرای کشت بهینه، لازم است حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر از ذخایر آبی سطحی و زیرزمینی استفاده شود.

با وجود اینکه گیلان مرطوب‌ترین استان کشور است، عملکرد برنج در این استان مطلوب نیست. علت اصلی این مسئله، توزیع زمانی نامناسب بارش‌ها و هم‌زمان نبودن آن‌ها با فصل کشت برنج است. اراضی برنج در این استان عمدتاً از طریق شبکه آبیاری و زه‌کشی سفیدرود آبیاری می‌شوند، در سال‌های اخیر آورد رودخانه در محل سد سفیدرود به نصف کاهش یافته است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). برای حل این مسئله، ارزیابی دقیق توزیع بارندگی در دوره رشد برنج و همچنین مدیریت منابع آب در سطح منطقه، همراه با برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، اهمیت ویژه‌ای دارد. در همین زمینه کاظم‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به اثر مثبت بارش ماه آذر بر عملکرد برنج استان گیلان تأکید نمودند. براتی و همکاران برنامه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

بیان خواهد شد:

$$D_n = \sup_x |\hat{F}_n(x) - F(x)| \quad (2)$$

که در آن فرضیه صفر (H_0) به صورت " 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. در صورتی که مقدار آماره آزمون در ناحیه بحرانی قرار بگیرد، فرضیه صفر رد می‌شود و به این معنی است که داده‌ها از توزیع مورد نظر پیروی نمی‌کنند. معمولاً سطح معنی‌داری آزمون برابر 0.05 و 0.01 در نظر گرفته می‌شوند که همان خطای نوع اول آزمون (خطای رد کردن فرضیه صفر وقتی فرضیه صحیح است) محسوب می‌شود (Tozzi et al., 2020).

آزمون اندرسون-دارلینگ: آزمون اندرسون-دارلینگ برای بررسی اینکه آیا یک نمونه از داده‌ها ناشی از یک جمعیت با توزیع خاصی است یا خیر، استفاده می‌شود. این آزمون نسخه تصحیح شده آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف است و حساسیت بیشتری به تغییرات داده‌ها دارد. تنها محدودیت این روش این است که مقادیر بحرانی باید برای هر توزیع محاسبه شود. آماره آزمون اندرسون-دارلینگ به صورت زیر تعریف می‌شود (ناصری تهرودی و رضانی، ۱۳۹۷).

$$A^2 = -N - S \quad (3)$$

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{2i-1}{N} [1nF(Y_i) + 1n(1-F(Y_{N+1-i}))]$$

که در آن N ، تعداد مشاهدات، i اندیس داده‌های مرتب شده از کوچک به بزرگ، y_i مقدار هر مشاهده، F تابع توزیع تجمعی از توزیع مشخص شده‌ای است. مقادیر بحرانی برای آزمون اندرسون-دارلینگ به توزیع مشخصی که آزمون می‌شود، بستگی دارد.

از آنجا که 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 قابل قبول ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) شامل ایستگاه-های سینوپتیک آستارا، بندرانزلی، تالش، رشت، رودسر، کیشهر و لاهیجان استفاده شد که موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل (۱) ارائه شده است. ابتدا کنترل کیفیت و همگن‌سازی داده‌های روزانه بارش این ایستگاه‌ها در طول دوره رشد برنج (فروردین تا شهریور) انجام شد. تقویم زراعی برنج براساس مراحل رشد فائو شامل تاریخ‌های خیلی زودکاشت، زودکاشت، به موقع، خیلی دیرکاشت و دیر کاشت تعیین شد. سپس داده‌های به صورت بارش تجمعی ۱۰ روزه از تاریخ ۱ فروردین تا تاریخ ۳۱ شهریور در ۱۸ دهه (فروردین تا شهریور) دسته‌بندی شدند. پس از کنترل کیفیت داده‌ها، با استفاده از نرم افزار EasyFit ۶۰ تابع توزیعی مختلف بر داده‌های روزانه بارش برآزش و مقایسه شدند. برای شناخت مناسب‌ترین توزیع از آزمون نیکویی برازش کلموگوروف-اسمیرنوف (K-S) و اندرسون-دارلینگ (A-D) استفاده شد.

آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف: آزمون کلموگوروف-

اسمیرنوف بر پایه تابع توزیع تجمعی تجربی (ECDF) قرار دارد. اگر فرض شود که یک نمونه‌ی تصادفی از x_1, \dots, x_n داشته باشیم، تابع توزیع تجمعی تجربی آن در نقطه x به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

که آماره کلموگوروف-اسمیرنوف (D_n) بر پایه بیشترین فاصله عمودی بین تابع توزیع تجمعی تجربی و نظری به صورت معادله ۶

- 1 - Kolmogorov-Smirnov.
- 2 - Anderson-Darling.

نتایج

مناسب‌ترین توزیع احتمال برای برآورد بارش در دوره رشد برنج

نتایج رتبه‌بندی توزیع‌های احتمال مختلف براساس آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و Anderson-Darling در ایستگاه رشت در جدول ۱ و همچنین شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. بررسی برآزش ۶۰ توزیع مختلف با داده‌های بارش نشان داد که توزیع جانسون اس بی (Johnson SB) بهترین برآزش را با داده‌های بارش دارد و در هر دو آزمون Anderson-Smirnov و Kolmogorov-Darling رتبه اول را دارا بود (K-S=0.11119, A-D = 0.49044). سایر توزیع‌ها مانند Generalized Pareto و Wakeby نیز برآزش نسبتاً مناسبی داشتند، اما اختلاف آن‌ها با Johnson SB قابل توجه بود. توزیع‌های کلاسیک مانند Weibull و Lognormal و Exponential در مقایسه با Johnson SB برآزش کمتری با

داده‌های بارش در دوره رشد برنج داشتند و در رتبه‌های بالاتر قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که توزیع Johnson SB مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی برای برآورد بارش طول فصل رشد برنج است و دقت بالایی در شبیه‌سازی بارش تجمعی ارائه می‌کند. توزیع جانسون اس بی، یک توزیع کران دار پیوسته است که توزیع‌های متناهی را پوشش می‌دهد و می‌تواند از بالا، پایین و یا هر دو طرف محدود باشد و خانواده‌ای از توزیع‌ها مانند گاما، بتا و دیگر توزیع‌های محدود را شامل می‌شود.

$$F(X) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi Z(1-Z)}} \exp\left[-\frac{1}{2(\gamma+1n(\frac{Z}{1-Z}))^2}\right] \quad (۴)$$

که در آن δ ، λ پارامتر شکل، λ پارامتر مقیاس و γ پارامتر موقعیت می‌باشد و دامنه تعریف آن به شرح زیر است (ناصری تهرودی و رضانی، ۱۳۹۷).

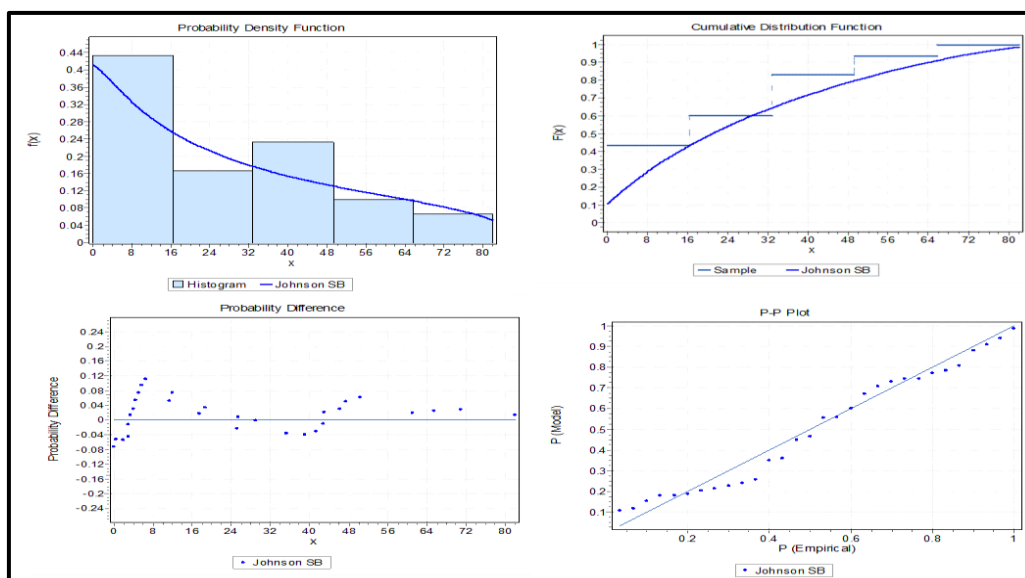
$$Z = \frac{x-\zeta}{\lambda} \quad (۵)$$

جدول ۱- رتبه‌بندی توزیع‌های احتمالی براساس آزمون‌های Anderson-Darling و Kolmogorov-Smirnov در ایستگاه رشت

Rank	Distribution	K-S Statistic	A-D Statistic	A-D Rank	Rank	Distribution	K-S Statistic	A-D Statistic	A-D Rank
1	Johnson SB	0.11119	0.49044	1	31	Gumbel Max	0.17579	0.97874	6
2	Gen. Pareto	0.12039	0.56407	2	32	Pert	0.17771	2.0843	15
3	Wakeby	0.12039	0.56407	3	33	Uniform	0.1783	8.012	50
4	Weibull	0.13025	2.7566	32	34	Pearson 5	0.1876	3.6417	45
5	Fatigue Life	0.14324	2.93	36	35	Pearson 5	0.1876	3.6417	46
6	Fatigue Life	0.14324	2.93	37	36	Logistic	0.18864	1.3042	9
7	Pareto 2	0.14567	2.6832	26	37	Gamma	0.1965	3.4028	41
8	Error	0.14726	0.9568	5	38	Frechet	0.19748	3.6431	47
9	Log-Logistic	0.14752	2.9893	38	39	Hypersecant	0.20291	1.538	10
10	Phased Bi-Exponential	0.14968	2.7549	31	40	Erlang	0.20512	3.4725	42
11	Lognormal	0.15003	2.9288	34	41	Kumaraswamy	0.20657	1.9063	12
12	Lognormal	0.15004	2.9288	35	42	Levy	0.20751	3.5127	44
13	Exponential (2P)	0.1508	1.8994	11	43	Levy	0.20751	3.5127	43
14	Exponential	0.1508	2.6646	25	44	Gumbel Min	0.20898	2.3285	20
15	Dagum	0.15202	2.2577	17	45	Laplace	0.22477	1.9566	14
16	Dagum	0.15202	2.2577	18	46	Triangular	0.22666	2.9216	33
17	Pearson 6	0.15229	2.5993	21	47	Beta	0.22682	2.2991	19
18	Gamma	0.15229	2.5993	22	48	Cauchy	0.23642	1.923	13
19	Pearson 6	0.15251	2.6048	23	49	Inv. Gaussian	0.23997	4.2191	49
20	Gen. Gamma	0.15349	2.2463	16	50	Nakagami	0.23997	4.1408	48
21	Gen. Gamma	0.15373	2.7083	27	51	Inv. Gaussian	0.29332	13.425	55
22	Erlang	0.15718	2.652	24	52	Rayleigh	0.32129	11.417	52
23	Gen. Extreme Value	0.16221	0.88038	4	53	Rayleigh	0.33504	12.353	53
24	Burr	0.16258	2.7093	28	54	Rice	0.33504	12.353	54
25	Weibull	0.16281	2.7115	30	55	Power Function	0.35015	9.939	51
26	Burr	0.16281	2.7115	29	56	Phased Bi-Weibull	0.37646	14.499	56
27	Normal	0.16717	1.0594	7	57	Chi-Squared	0.42506	71.742	59
28	Frechet	0.17241	3.2244	40	58	Chi-Squared	0.43362	56.445	58
29	Log-Logistic	0.17379	3.1287	39	59	Error Function	0.5	16.97	57
30	Gen. Logistic	0.17491	1.0787	8	60	Student's t	0.85227	108.87	60

Johnson SB [#31]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	30				
Statistic	0.11119				
P-Value	0.81287				
Rank	1				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.19032	0.21756	0.2417	0.27023	0.28987
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	30				
Statistic	0.49044				
Rank	1				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No

شکل ۲- نتایج آماره‌های توزیع جانسون اس بی در ایستگاه رشت



شکل ۳- نتایج توزیع احتمال جانسون اس بی در ایستگاه رشت

دهه دوره رشد برنج دارای ضریب تغییرات بالایی می‌باشد که این نوسان می‌تواند ناشی از عدم فعالیت سامانه‌های بارشی کلاسیک در این ماه‌ها در استان گیلان باشد. با این حال، در اوایل فروردین ماه و دهه‌های پایانی شهریور ماه، ضریب تغییرات بارش به مراتب پایین‌تر بوده که نشان‌دهنده تأثیر سامانه‌های فعال بارشی در این بازه‌های زمانی است. بارش‌های دریافتی در این دهه‌ها عمدتاً تحت تأثیر سامانه‌های پرفشار شمالی در سطح زمین و ناهه‌های نسبتاً عمیق سطوح فوقانی قرار دارند که در واقع الگوی کلاسیک ریزش‌های جوی گیلان در اوایل بهار و اواخر تابستان می‌باشد. بارش دهه دوازدهم، که در گیلان به بارش پنجک معروف است، از نظر کشاورزی برنج و همچنین فعالیت‌های صیادی اهمیت بالایی دارد.

توزیع بارش در دوره رشد برنج در مقیاس زمانی ده روزه

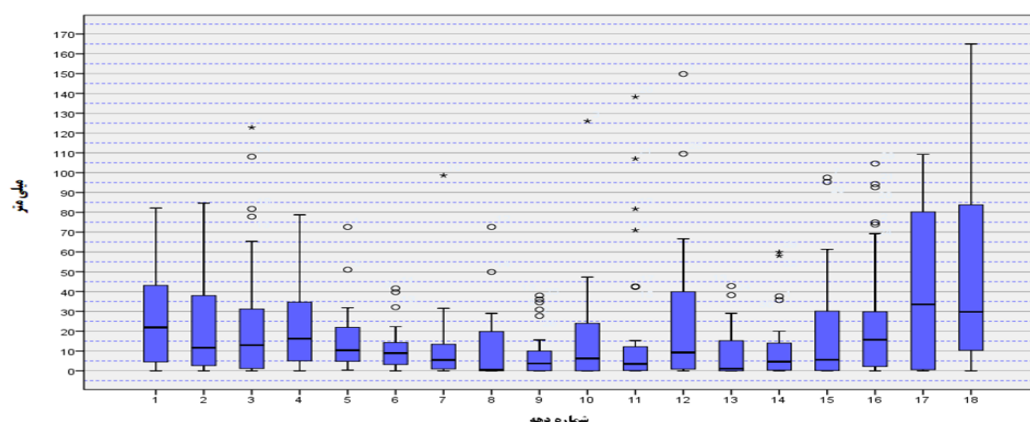
میزان بارش دریافتی در دهه‌های مختلف دوره رشد برنج در استان گیلان در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، در بین وضعیت‌های مختلف کاشت، بیشترین میزان بارش دریافتی به ترتیب مربوط به نشا در مزارع خیلی دیرکاشت، نشا در مزارع دیرکاشت، نشا در مزارع به موقع کاشت و نشا در مزارع خیلی زودکاشت است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان بارش دریافتی به ترتیب در دهه‌های ۱۸، ۱۷ و ۱۶ همزمان با برداشت محصول در شهریور ماه (برداشت مزارع خیلی دیرکاشت، دیر کاشت و به موقع) و همچنین ۱ و ۳ همزمان با نشاکاری در فروردین ماه (نشا مزارع خیلی زود کاشت) رخ داده است. با توجه به جدول ۲، بارش در طول ۱۸

نهم همزمان با دوره رشد رویشی به ترتیب به میزان ۸/۴ و ۸/۵ میلی‌متر بود. این بازه‌های زمانی همزمان با اواخر خرداد و اوایل مرداد ماه هستند که در این زمان به دلیل حاکمیت پر فشار جنب حاره‌ای بر مرکز ایران، کاهش بارندگی در اکثر مناطق کشور و از جمله استان گیلان مشاهده می‌شود.

این بارش‌ها ممکن است در بعضی از سال‌ها رخ ندهند و یا از نظر زمانی کمی زودتر یا دیرتر آغاز شود، عمدتاً از الگوی سینوپتیکی متفاوتی پیروی می‌کند؛ به گونه‌ای که بر اثر غلبه کم ارتفاع تراز فوقانی بر پر ارتفاع جنب حاره مستقر در فلات مرکزی ایران در فصل تابستان ایجاد می‌شود. کمترین میزان بارش دریافتی مربوط به دهه سیزدهم مصادف با برداشت مزارع خیلی زود کاشت و همچنین دهه

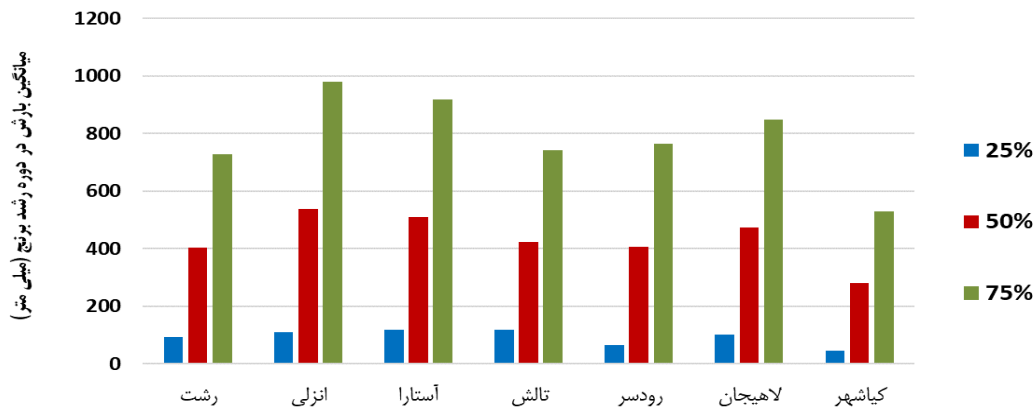
جدول ۲- ویژگی‌های آماری توزیع بارش روزانه (ده روزه) در طول دوره رشد برنج در استان گیلان

دهه	تاریخ	نوع مزارع بر اساس تاریخ کاشت	میانگین بارش (میلی متر)	انحراف از معیار	خطای استاندارد	ضریب تغییرات
۱	۱-۱۰ فروردین	-----	26.7	23.9862	4.3793	0.90
۲	۱۱-۲۰ فروردین	-----	22.0	24.1295	4.4054	1.09
۳	۲۱-۳۱ فروردین	نشا مزارع خیلی زود کاشت	25.6	34.1519	6.2353	1.33
۴	۱-۱۰ اردیبهشت	نشا مزارع زود کاشت	24.0	24.3016	4.4369	1.01
۵	۱۱-۲۰ اردیبهشت	نشا مزارع به موقع کاشت	15.4	15.8847	2.9001	1.03
۶	۲۱-۳۱ اردیبهشت	نشا مزارع به موقع کاشت	11.0	11.0638	2.0200	1.01
۷	۱-۱۰ خرداد	نشا مزارع دیر کاشت	11.7	18.9413	3.4582	1.61
۸	۱۱-۲۰ خرداد	نشا مزارع خیلی دیر کاشت	11.0	17.3736	3.1720	1.58
۹	۲۱-۳۱ خرداد	-----	8.5	12.0732	2.2043	1.41
۱۰	۱-۱۰ تیر	-----	15.1	24.8917	4.5446	1.65
۱۱	۱۱-۲۰ تیر	-----	19.1	35.1136	6.4108	1.83
۱۲	۲۱-۳۱ تیر	-----	24.2	34.9678	6.3842	1.44
۱۳	۱-۱۰ مرداد	برداشت مزارع خیلی زود کاشت	8.4	12.4797	2.2785	1.48
۱۴	۱۱-۲۰ مرداد	برداشت مزارع زود کاشت	11.3	16.3041	2.9767	1.45
۱۵	۲۱-۳۱ مرداد	برداشت مزارع به موقع کاشت	19.0	27.0483	4.9383	1.42
۱۶	۱-۱۰ شهریور	برداشت مزارع به موقع کاشت	26.8	32.1581	5.8712	1.20
۱۷	۱۱-۲۰ شهریور	برداشت مزارع دیر کاشت	42.6	40.0996	7.3212	0.94
۱۸	۲۱-۳۱ شهریور	برداشت مزارع خیلی دیر کاشت	52.0	50.0907	9.1453	0.96



شکل ۴- توزیع بارش روزانه (ده روزه) در طول دوره رشد برنج در استان گیلان

تأثیر جریان‌های مرطوب ناشی از دریای خزر قرار دارند. علاوه بر این، رشته کوه البرز نیز به عنوان یک مانع طبیعی، موجب افزایش بارش در نواحی غربی نسبت به دیگر بخش‌های استان می‌شود. این در حالی است که ایستگاه‌های واقع در بخش شرقی و جنوبی میزان بارش کمتری دریافت می‌کنند. با توجه به شکل ۵ ایستگاه گیاشهر واقع در بخش شرقی استان، کمترین میزان بارش دریافتی را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد (۲۸۲ میلی‌متر در سطح احتمال ۵۰٪). این نوسانات مکانی بارش در سطح احتمال ۷۵٪ نیز مشاهده شد، به طوری که در این سطح احتمال میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج در ایستگاه‌های انزلی و آستارا به ترتیب کمتر از ۹۸۱/۴ و ۹۲۰ میلی‌متر و ایستگاه گیاشهر کمتر از ۵۲۹ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۵- میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج در ایستگاه‌های مختلف استان گیلان در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد

با دوره رشد رویشی و زایشی برنج است. در این بازه زمانی، بارش‌ها غالباً از نوع همرفتی بوده و موجب رخداد بارش‌های رگباری و شدید می‌شود. در همین راستا نتایج نیز نشان داد که در ماه‌های تیر و خرداد دارای ضریب تغییرات بارش ماهانه در استان گیلان بالا است که ناشی از عدم فعال بودن سامانه‌های بارشی کلاسیک در این ماه‌ها می‌باشد (جدول ۱). در نتیجه به دلیل بی‌نظمی و میزان اندک بارش در این بازه، سهم بارندگی بهنگام در تأمین آب آبیاری اندک است. با این حال، دهه‌های دوم و سوم تیر، معروف به بارش پنجک گیلان، نقش مهمی در تأمین آب آبیاری دارند؛ به طوری که در دهه سوم تیر با احتمال ۵۰ درصد میانگین بارش ۲۲ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۴۲ میلی‌متر است. دهه‌های مرداد تا شهریور، همزمان با برداشت محصول، احتمال رخداد بارش به تدریج افزایش می‌یابد. برداشت مزارع خیلی زودکاشت و زودکاشت در دهه‌های اول و دوم مرداد انجام می‌شود که در این بازه‌ها بارش با احتمال ۷۵ درصد به ترتیب کمتر از ۲۸ و ۴۵ میلی‌متر است. برداشت محصول برنج در

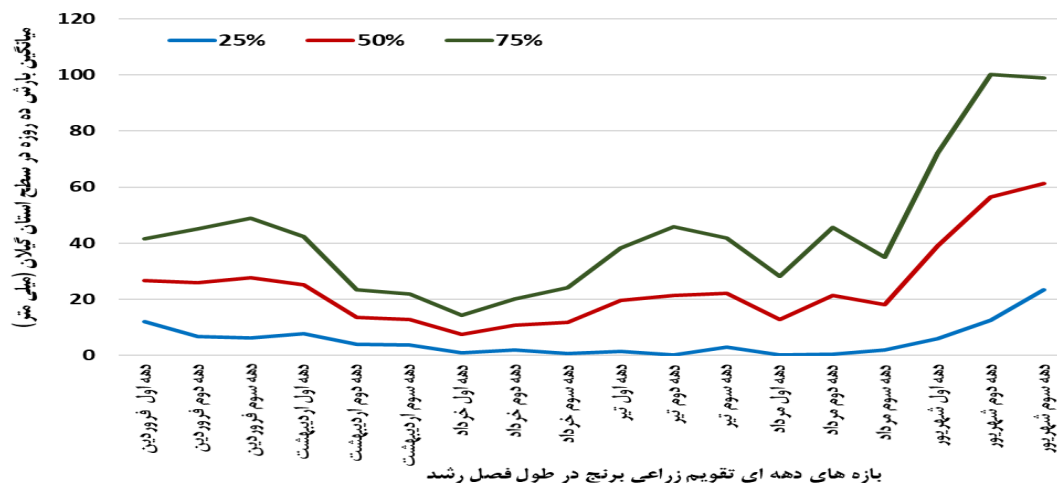
توزیع احتمال بارش استان گیلان در طول فصل رشد برنج

میزان بارش دریافتی ایستگاه‌های مختلف استان گیلان در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اختلاف چشمگیری میان میزان بارش در دوره رشد برنج ایستگاه‌های مختلف استان گیلان وجود دارد. به این ترتیب که ایستگاه‌های واقع در بخش غربی و شمال غربی استان، مانند انزلی و آستارا بیشترین میزان بارش را در تمام سطوح احتمال در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها دریافت می‌کنند. با توجه به شکل ۵، میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج با احتمال ۵۰ درصد در ایستگاه‌های انزلی و آستارا به ترتیب ۵۳۸ و ۵۱۰ میلی‌متر است. این مناطق شامل بخش‌های جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی استان هستند و تحت

توزیع احتمال بارش در دوره رشد برنج در مقیاس زمانی ده روزه

در استان گیلان، دهه‌های اول و دوم فروردین عمدتاً زمان شخم و آماده‌سازی زمین است و دهه سوم فروردین و دهه اول اردیبهشت به ترتیب همزمان با نشاکاری در مزارع خیلی زودکاشت و زودکاشت است. در این بازه‌ها، بارش‌ها با احتمال ۲۵ درصد کمتر از ۶ تا ۸ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۴۲ تا ۴۸ میلی‌متر است. نشاکاری در مزارع به موقع کاشت معمولاً در دهه دوم و سوم اردیبهشت انجام می‌شود که بارش‌ها در این بازه کمتر از فروردین است؛ به گونه‌ای که با احتمال ۲۵ درصد کمتر از ۴ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۲۳ میلی‌متر رخ می‌دهد. کمترین بارش نیز در دهه‌های اول و دوم خرداد مشاهده شد که نشاکاری دیرکاشت در این دوره انجام می‌شود؛ در این بازه‌های زمانی، با احتمال ۲۵ درصد بارش‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد بارش‌ها کمتر از ۲۰ میلی‌متر خواهد بود. دهه‌های سوم خرداد تا سوم تیرماه، همزمان

کمتر از ۷۰ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین احتمال رخداد بارش مربوط به دهه‌های دوم و سوم شهریور است، که همزمان با برداشت محصول برنج در مزارع دیرکاشت می‌باشد. در دو دهه، با احتمال ۵۰ درصد به ترتیب به طور متوسط $۵۶/۴$ و $۶۱/۲$ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ به ترتیب کمتر از ۱۰۰ و ۹۹ میلی‌متر بارش رخ خواهد داد.



شکل ۶- میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج استان گیلان در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در مقیاس زمانی ده روزه

ترتیب به طور متوسط $۶۸/۲$ ، $۹۴/۷$ و ۱۰۲ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد به ترتیب بین کمتر از $۱۷۲/۹$ و $۱۵۸/۷$ میلی‌متر بارش رخ دهد.

بحث

استفاده مؤثر از بارش می‌تواند شرایط لازم برای کشت موفق برنج با حداقل آبیاری تکمیلی را فراهم کند. آستانه مطلوب بارش برای کشت برنج حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر برآورد شده است و در مناطقی که با بارش کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر، کشت دیم با اختلال جدی مواجه می‌شود (شمسی پور و همکاران، ۱۴۰۱؛ Verma, 2019). در استان گیلان که بخش عمده اراضی زراعی آن به کشت برنج اختصاص یافته است، نیاز آبی این محصول از طریق آبیاری و بارندگی تأمین می‌شود. در همین راستا، نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین بارش دریافتی استان گیلان در دوره رشد برنج (دهه سوم فروردین تا دهه سوم شهریور) در سطح احتمال ۲۵ درصد کمتر از ۹۳ میلی‌متر، در سطح احتمال ۵۰ درصد ۴۳۴ میلی‌متر و در سطح احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۷۸۸ میلی‌متر بود. بنابراین می‌توان گفت که میزان بارش دریافتی استان گیلان برای تأمین نیاز آبی برنج کافی نمی‌باشد و تنها ۳۰ تا ۵۰ درصد از این نیاز از طریق بارش تأمین می‌شود؛ مابقی باید از طریق سیستم‌های آبیاری جبران گردد (شمسی پور و همکاران، ۱۴۰۱).

مزارع به موقع کاشت، غالباً در دهه سوم مرداد و اول شهریور انجام می‌شود. در دهه سوم مرداد، با احتمال ۷۵ درصد، میزان بارش کمتر از ۳۵ میلی‌متر خواهد بود. با توجه به شکل ۶، احتمال رخداد بارش از دهه اول شهریور افزایش می‌یابد؛ به طوری که در دهه اول شهریور با احتمال ۲۵ درصد بارش‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد

بررسی توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های مختلف استان گیلان نشان داد که الگوی بارش در دوره رشد برنج در تمام ایستگاه‌ها مشابه است (شکل ۷). به گونه‌ای که از دهه اول فروردین تا دهه اول اردیبهشت، احتمال وقوع بارش بالا بوده و به تدریج به سمت دوره گرم سال، به ویژه در دهه‌های سوم اردیبهشت تا سوم خرداد، از احتمال وقوع بارش کاسته می‌شود (شکل ۷). با این حال در فاصله دهه اول تا دهه سوم تیر ماه، احتمال رخداد بارش افزایش می‌یابد. در این میان، ایستگاه رودسر در دهه دوم و سوم تیر ماه، بالاترین میزان بارش را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارا بود؛ به طوری که انتظار می‌رود که در این ایستگاه، در دو دهه مذکور با احتمال ۵۰ درصد به ترتیب میانگین بارش به طور متوسط $۲۹/۲$ و $۳۲/۷$ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد به ترتیب کمتر از $۶۳/۴$ و $۶۱/۳$ میلی‌متر باشد. با توجه به شکل ۷، در دهه اول مرداد که مقارن با برداشت محصول در مزارع خیلی زودکاشت، احتمال رخداد بارش در تمام ایستگاه‌ها پایین است. در دهه دوم مرداد ماه، مقارن با برداشت محصول در مزارع زود کاشت، این احتمال افزایش یافته و مجدداً در دهه سوم مرداد، همزمان با برداشت محصول در مزارع به موقع کاشت کاهش می‌یابد. همچنین در تمام ایستگاه‌ها، بیشینه بارش در دهه‌های اول تا سوم شهریور ماه مشاهده شد که به ترتیب همزمان با برداشت در مزارع به موقع کاشت، دیرکاشت و خیلی دیرکاشت هستند. در این میان، بیشترین میزان رخداد بارش‌ها این دهه‌ها مربوط به ایستگاه بندرانزلی بود؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رود در این ایستگاه، با احتمال ۵۰ درصد به



شکل ۷- میزان بارش دریافتی ایستگاه‌های مختلف استان گیلان در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در مقیاس زمانی ده روزه

دیرکاشت با بارش‌های شدید شهریور (دهه‌های ۱۶ تا ۱۸) اثر منفی بر برداشت و عملکرد دارد؛ همچنین در تاریخ خیلی زودکاشت (دهه سوم فروردین) اگرچه بارش کافی است، اما به دلیل عدم امکان بهره‌برداری از بارش پنجم تیرماه، گیاه در مرحله رشد رویشی با تنش آبی مواجه خواهد شد.

به طور کلی رفتار بارش در دوره رشد برنج در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی یکسان بود. بررسی تغییرات زمانی نشان داد که از دهه اول فروردین تا دهه اول اردیبهشت احتمال وقوع بارش بالا است، سپس تا دهه سوم خرداد کاهش می‌یابد و در طول دهه اول تا دهه سوم تیر ماه مجدداً افزایش پیدا می‌کند. در مردادماه بارش با نوساناتی همراه است؛ به طوری که در دهه اول (مزارع خیلی زودکاشت) احتمال بارش پایین است، در دهه دوم (مقارن با برداشت محصول در مزارع

اریال نیز در پژوهشی که در کاتماندو^۱ واقع در هند انجام داد، به این نتیجه دست یافت که نیاز آبی برنج در این منطقه ۷۱۱/۴۵ میلی-متر می‌باشد و بدین ترتیب میزان بارش دریافتی برای تأمین نیاز آب برای برنج در این منطقه کافی نمی‌باشد (Aryal 2012). بررسی وضعیت‌های مختلف کاشت در استان گیلان نشان داد که بیشترین میزان بارش دریافتی دوره رشد برنج، به ترتیب مربوط به نشا در مزارع خیلی دیرکاشت، نشا در مزارع دیرکاشت، نشا در مزارع به موقع کاشت و نشا در مزارع خیلی زودکاشت است؛ به طوری که با احتمال ۷۵ درصد، میزان بارش دریافتی آن به ترتیب کمتر از ۴۶۵/۷، ۵۵۰/۲، ۳۴۹/۴ و ۳۸۷/۳ میلی‌متر است. با این حال، مقارن بودن تاریخ‌های

1 - Kathmandu.

زود کاشت) افزایش می‌یابد و در دهه سوم (همزمان با برداشت محصول در مزارع به موقع کاشت) دوباره کاهش می‌یابد.

در ماه شهریور بارش‌ها به بیشترین میزان خود می‌رسند. افزایش بارش در طول ماه شهریور که همزمان با برداشت محصول است، می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد برنج داشته باشد. در همین راستا، پژوهش‌های محمود و همکاران (Mahmood et al., 2012) و شاگو (Shako, 2020) نیز اثر منفی افزایش بارش در ماه سپتامبر بر عملکرد برنج را تأیید کرده‌اند. بنابراین اگرچه در تاریخ‌های دیرکاشت و خیلی دیرکاشت میزان بارش دریافتی در دوره رشد برنج زیاد است، اما به دلیل مقارن شدن با بارش فراوان ماه شهریور (دهه‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸) این تاریخ‌ها برای کشت برنج توصیه نمی‌شود. افزون بر این، به دلیل توزیع نامنظم بارش و کمبود آن در هفته‌های ابتدایی رشد رویشی، نیاز به آبیاری در این تاریخ‌ها افزایش می‌یابد. همچنین در مورد نشا در تاریخ خیلی زودکاشت (دهه سوم فروردین ماه)، اگرچه میزان بارش دریافتی مناسبی در دوره رشد برنج دارد، اما به دلیل اینکه عدم امکان بهره‌برداری از بارش دهه سوم تیر (معروف به بارش پنجک گیلان) این تاریخ نیز مناسب نمی‌باشد و بهتر است از کشت برنج در این بازه زمانی اجتناب شود. بارش دهه سوم تیر ماه به بارش پنجک نیز در گیلان معروف می‌باشد، محصول برنج در این مدت در مرحله رشد رویشی و زایشی قرار دارد و استفاده بهنگام از این بارش‌ها نقش مؤثری در رشد و عملکرد آن دارد. در این دهه با احتمال ۲۵ درصد، میزان بارش کمتر از ۲ میلی‌متر با احتمال ۵۰ درصد به طور متوسط ۱۱ میلی‌متر و با احتمال ۷۵ درصد کمتر از ۴۰ میلی‌متر بارش رخ خواهد داد. بنابراین از آنجا که وقوع بارش‌های به‌هنگام در فصل بهار و ابتدای تابستان می‌تواند شرایط مناسبی برای کاشت و داشت محصول برنج فراهم سازد، برای دستیابی به عملکرد مناسب و مطلوب بهتر است که در دهه اول اردیبهشت (نشا در مزارع زودکاشت) و همچنین دوم اردیبهشت (نشا در مزارع به موقع کاشت) نسبت به کشت برنج در استان گیلان اقدام شود. در شرایط خیلی زودکاشت به دلیل محدودیت دسترسی به آب باران در طول مرحله حیاتی رشد رویشی برنج، گیاه با تنش آبی مواجه می‌شود. همچنین در شرایط دیر و خیلی دیرکاشت، وقوع بارندگی بیش از حد در زمان برداشت منجر به بروز مشکلاتی در عملکرد ماشین‌آلات کشاورزی شده و ممکن است بخش زیادی از محصول برداشت نشود. نتایج این پژوهش در زمینه تاریخ کاشت بهینه با یافته‌های اعلایی بازکیایی و همکاران (۱۳۹۸) و اصفهانی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نوسانات آب و هوایی نقش مهمی در رشد و عملکرد محصول برنج دارند. به‌ویژه ناهنجاری‌های بارش و توزیع نامناسب زمانی آن،

دسترسی محصول برنج به آب را کاهش داده و در نهایت موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود. از سوی دیگر، مدیریت ناکارآمد آبیاری در شالیزارها منجر به هدر رفتن منابع آبی و تشدید بحران کمبود آبی خواهد شد. بنابراین، نشا در زمان مناسب امکان بهره‌برداری مؤثر از بارش و صرفه‌جویی در آب آبیاری فراهم می‌کند. استان گیلان با وجود آنکه یکی از پربارش‌ترین مناطق کشور است، اما در دوره رشد برنج با توزیع زمانی نامنظم بارش مواجه می‌باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب، بهتر است کشت برنج در این استان در دهه اول اردیبهشت (نشا در مزارع زودکاشت) و همچنین دوم اردیبهشت (نشا در مزارع به موقع کاشت) انجام شود؛ زیرا در این بازه‌های زمانی، امکان بهره‌گیری مناسب و مطلوب از بارش پنجک (دهه سوم تیرماه) فراهم است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در بهبود برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب نقش مؤثری داشته باشد و با تأکید بر استفاده بهینه از بارندگی، بخشی از نیاز آبی برنج را در طول دوره رشد تأمین کند. همچنین می‌توان از نتایج به دست آمده برای کمی‌سازی میزان انتظار و ارزیابی ریسک ناشی از تغییرات بارش در مقاطع زمانی مختلف فصل رشد برنج بهره‌گرفت.

منابع

اسعدی اسکویی، ا.، موسوی بایگی، م.، یزدانی، م.، علیزاده، ا. و زهد قدسی، م. ج. ۱۳۹۶. اثر عمق غرقابی بر دمای آب و خاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت). هواشناسی کشاورزی. ۱(۵): ۴۸-۵۶.

اصفهانی، م.، ندیمی دفرازی، م. ح. و اعلمی، ع. ۱۳۹۳. اثر زمان کاشت بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آب و هوایی روبار. تحقیقات غلات، ۳ (۴): ۴۷۱-۴۸۳.

اعلایی بازکیایی، پ.، کامکار، ب.، امیری، ا.، کاظمی، ح. و رضایی، م. ۱۳۹۸. تأثیر تاریخ کاشت و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در شهرستان رشت. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۲): ۲۸۳-۲۹۷.

جهانتیغ، م.، کاراندیش، ف. و دلبری، م. ۱۳۹۵. تحلیل اثرات تقویم کشت بر نیاز آبی گندم در استان سیستان و بلوچستان در شرایط تغییر اقلیم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰(۴): ۴۸۹-۴۹۸.

زینالی، ب.، مینایی، س. و فروتن، م. ۱۴۰۱. بررسی آماری و همبندی بارش‌های فوق سنگین استان گیلان. مطالعات علوم محیط زیست. ۷ (۴): ۵۶۹۵-۵۶۸۲.

شمسی پور، ع. ا.، صادقی، ح. محمدی، ح. و کریمی، م. ۱۴۰۱. رابطه

- Chen, H., Wu, Y.C., Cheng, C.C. and Teng, C.Y. 2023. Effect of climate change-induced water deficit Stress on long-term rice yield. PLoS ONE. 18(4): e0284290.
- Gao, S., Gu, Q., Gong, X., Li, Y., Yan, S. and Li, Y. 2023. Optimizing water-saving irrigation schemes for rice (*Oryza sativa* L.) using DSSAT-CERES-Rice model. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2: 142-151.
- He, J., Ma, B. and Tian, J. 2022. Water production function and optimal irrigation schedule for rice (*Oryza sativa* L.) cultivation with drip irrigation under plastic film-mulched. Scientific Reports. 12:17243.
- Hussain, S., Mubeen, M., Nasim, W., Fahad, S., Ali, M., Ehsan, M.A. and Raza, A. 2023. Investigation of Irrigation Water Requirement and Evapotranspiration for Water Resource Management in Southern Punjab, Pakistan. Sustainability. 15 (3): 1768.
- Limsakul, A. and Singhruck, P. 2016. Long-term trends and variability of total and extreme precipitation in Thailand. Atmosphere Research. 169: 301-317.
- Mahmood, N., Ahmad, B., Hassan, S. and Bakhsh, K. 2012. Impact of temperature and precipitation on rice productivity in rice-wheat cropping system of PUNJAB province. The Journal of Animal & Plant Sciences. 22(4): 993-997.
- Majidian, M., Rabiee, M., Alizadeh, M. and Kavosi, 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(9): 119-411.
- Mall, R k., Gupta, A. and Sonkar G. 2017. Effect of Climate Change on Agricultural Crops. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. 10: 23-46.
- Shako, O. 2020. The impact of rainfall variability on rice production in Region Six- Guyana. Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development. 8(4): 033-042.
- Tozzi, R., Masci, F. and 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.
- Verma, S. 2019. Impact of weather on rice production in India. International Journal of Advanced Research (IJAR). 7(7): 777-787.
- Wei, G., Chen, H., Lin, E., Hu, X., Xie, H., Cui, Y. and Luo, Y. 2023. Identification of Water Layer Presence in Paddy Fields Using UAV-Based Visible and Thermal Infrared Imagery. Agronomy. 13 (7), 1932.
- فضایی متغیرهای اقلیمی با عملکرد برنج و گندم (مطالعه موردی: سواحل جنوبی خزر). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۹ (۴) ۱۷۹-۱۹۴.
- صادقی، ح.، محمدی، ح.، شمسی پور، ع.ا.، بازگیر، س. کریمی، م. و صوفی زاده، س. ۱۴۰۱. تحلیل آماری-فضایی تغییرات عملکرد برنج، گندم و جو در سواحل جنوبی خزر. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۵۳ (۳): ۶۲۷-۶۴۵.
- کاظم‌نژاد، ز.، فرج‌زاده اصل، م. و برنا، ر. ۱۳۹۶. تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول برنج با رویکرد تغییرات اقلیمی (مورد مطالعه: استان گیلان). فصل‌نامه جغرافیای طبیعی. ۱۰ (۳۸): ۶۴-۴۸.
- ناصری تهرودی، م. و رضائی، ی. ۱۳۹۷. تحلیل فراوانی خشکی رودخانه با استفاده از توزیع‌های آماری رایج و پیشرفته، مطالعه موردی: رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۰ (۳): ۳۱۷-۳۰۴.
- مدیری، ا.، براری تاری، د.، امیری، ا.، نیک‌نژاد، ی.، فلاح، ه. و خزایی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی و برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در استان‌های شمالی کشور. جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). ۹ (۱): ۵۷۲-۵۶۱.
- موسوی بایگی، م.، اسعدی اسکویی، ا.، یزدانی، م. ر. و علیزاده، ا. ۱۳۹۶. اثر عمق غرق آبی بر تلفات تبخیر از سطوح شالیزار. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۱): ۲۲۱-۲۳۵.
- Ahmad, M.J. and Choi, K.-S. 2021. Climate-Induced Perspective Variations in Irrigation Schedules and Design Water Requirements for the Rice-Wheat System. Agronomy. 11(10): 2006. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102006>
- Aryal, S. 2012. Rainfall and water requirement of rice during growing period. The Journal of Agriculture and Environment. 13: 1-5.
- Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Lopez-Baeza, E., Kouzegaran, S., Navidi, M.N., Haghghat, M., Davatgar, N. and Lopez-Baeza, E. 2022. Mapping climate zones of Iran using hybrid interpolation methods. Remote Sensing. 14 (11):1-21.
- Barati, M.K., Manivasagam, V.S., Nikoo, M.R., Saravanane, P., Narayanan, A. and Manalil, S. 2022. Rainfall Variability and Rice Sustainability: An Evaluation Study of Two Distinct Rice-Growing Ecosystems. Land. 11 (8): 1242.
- Belal Hossain, M., Roy, D., Hasan Mahmud, M., Chandra Paul, P., Shetara Yesmin, M. and Kumar Kundu, P. 2021. Early transplanting of rainfed rice minimizes irrigation demand by utilizing rainfall. Environmental Systems Research. 10 (34): 1-11.

Determination of Optimal Planting Date Based on Rainfall Distribution during the Rice Growing Season in Guilan Province

S. M. Taghi Sadidi Shal¹, H. Sadeghi², E. Asadi Oskouei^{*3}, E. Amiri⁴

Received: Jul. 09, 2025

Accepted: Oct. 20, 2025

Abstract

Irregular rainfall often causes water shortages, resulting in reduced plant growth and grain yield. This study aimed to identify the optimal transplanting time to maximize rainfall utilization during the rice growing season. To identify the most suitable probability distributions for estimating precipitation during the rice growing season in Guilan Province, data from seven synoptic stations over a 30-year period (1991–2020) were analyzed. Daily precipitation was aggregated into 10-day cumulative intervals from Farvardin 1 to Shahrivar 30 (March 21–September 22), forming 18 decades. Box plots were generated based on statistical analysis to assess probabilistic variations in precipitation. The results showed that the Johnson SB distribution, with Kolmogorov–Smirnov ($K-S = 0.11119$) and Anderson–Darling ($A-D = 0.49044$), had the best fit for rainfall during the rice growing season in Guilan Province. The highest average rainfall with a 50% probability occurred in the second and third decades of September, measuring 56.4 mm and 61.2 mm, respectively. At the 75% probability level, rainfall during these periods is expected to be less than 100 mm and 99 mm, respectively. In the third decade of April, coincides with transplanting in very early-planted fields, rainfall with a 75% probability is expected to be less than 48 mm. Given the negative impact of rainfall in late August and September on the harvesting process, late planting is not recommended. Overall, the occurrence of adequate rainfall in spring and early summer creates favorable conditions for rice cultivation and management. Therefore, it is recommended that rice transplanting in Guilan province be conducted in early May for early-planted fields (with a 75% probability of receiving less than 43 mm of rainfall for early-planted fields) and in mid-May for fields with timely planting schedules (with a 75% probability of receiving less than 24 mm of rainfall for timely-planted fields).

Keywords: Climate, Probability Distribution, Rice Yield, Sustainable Agriculture

1 - Head of the Applied Meteorology Development Group, Gilan, Iran. Email: msadidi@gmail.com

2- Research Expert, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran

3- Assistant Professor of Climate Research Institute, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Mashhad, Iran

4 - Professor, Department of water engineering, La.C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran

(*-Corresponding author Email: e.asadi.o@gmail.com)