نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۱/ ۱۴۰۲
10.22092/jwra.2023.361145.973

# اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج

راضیه بیانی، مجتبی خوش‌روش[1]، عبدالمجید لیاقت و مسعود پورغلام آمیجی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
**Missbayani1377@gmail.com**
دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
**Khoshravesh_m24@yahoo.com**
استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
**Aliaghat@ut.ac.ir**
دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
**Mpourgholam6@ut.ac.ir**

دریافت: دی ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

## چکیده

**با توجه به خشک‌سالی، امنیت آبی و غذایی کشور با چالش‌هایی سخت روبه رو است و احیای آن نیازمند برنامه‌ریزی دقیق اجرایی و استفاده از دانش علمی و فناوری‌های روز مانند سامانه‌های نوین آبیاری به‌عنوان ابزاری کارا برای مصرف بهینه آب می‌باشد. بر همین اساس، این پژوهش با هدف بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج رقم هوندا در دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مزرعه شالیزاری واقع در کیاسر در استان مازندران در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار در ۱۸ کرت به ابعاد دو در سه متر انجام شد. تیمارها شامل آبیاری قطره‌ای نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک و با همان فواصل نوار. نتایج نشان داد که طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به‌ترتیب ۱/۲ سانتی‌متر (۶/۸٪)، ۸/۱۹ (۴۹/۸٪)، ۶/۹ سانتی‌متر (۸/۲٪) و ۱ سانتی‌متر (۶/۹٪) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت. عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به‌ترتیب ۱۶۶۴ کیلوگرم در هکتار (۴۰/۸٪)، ۴/۷٪ (۱۴/۱٪)، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۸/۵٪) و۲۴۲۳۶۳ ریال بر مترمکعب (۳۸/۴٪) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت. حداکثر عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر۵۸۳۴ کیلوگرم در هکتار و۴۰٪ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. حداکثر بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۲۲٪ افزایش یافت. سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری فیزیکی کاهش یافت. حداکثر بهره‌وری اقتصادی نیز برابر۸۳۶۹۵۱ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار سطحی ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد.**

**واژه‌های کلیدی:** ارتقای بهره‌وری آب، روش‌های نوین آبیاری، برنج رقم هوندا

[1]- آدرس نویسنده مسئول: khoshravesh_m24@yahoo.com

**مقدمه**

با افزایش جمعیت و توسعه شهری و نیز افزایش تولیدات کشاورزی، گسترش آبیاری و تخریب منابع آب موجود، نیاز به منابع آب بیشتر و مدیریت بهینه آن افزایش‌یافته است. تأمین انواع نیازهای زیست‌محیطی و اکوسیستم، شهری، کشاورزی، برقابی و تفریحی با توجه به کیفیت آب در کنار محدودیت منابع آب بر پیچیدگی‌های مسئله افزوده است (لادی و همکاران، ۲۰۲۱؛ رادیکا و همکاران، ۲۰۲۲). حال این چالش‌ها بدون توجه به یافته‌های تحقیقاتی جدید و استفاده از فناوری‌های نوظهور امکان‌پذیر نبوده و نمی‌توان بدون استفاده و دخیل‌کردن فناوری‌های جدید در صنعت آب، بر مشکلات و بحران آب در تمام بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت چیره شد و منابع آب محدود را برای دست‌یابی به امنیت غذایی پایدار به‌درستی مدیریت کرد. در این راستا کشت آبی به توجه بیشتری نیاز دارد، زیرا میزان تولید بیشتر در واحد سطح با کشت آبی به دست می‌آید اما منابع آب جدید برای چنین توسعه‌ای محدود است. به دلیل محدودیت منابع آب، تأکید بسیار زیادی بر استفاده مؤثرتر از فناوری‌های جدید آب در بخش‌های مختلف است تا با کمترین فشار وارده، هرکدام از این بخش‌ها به بالاترین بهره‌وری دست یابند (پورغلام آمیجی و همکاران، ۲۰۲۱: فرومندی و همکاران، ۲۰۲۳). نظر به اهمیت موضوع، استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با توجه به مزایای بسیاری که دارد، در چند سال اخیر پیشرفت‌های خوبی نداشته است. لازم است امکان استفاده از این روش‌ها برای محصولات مهم کشاورزی بررسی تا نقشه راه و افق آینده مشخص شود.

برنج یکی از مهم‌ترین غلات بعد از گندم و غذای عمده بیش از نصف مردم دنیا است و همچنین بر مبنای جدیدترین آمار، در سال زراعی ۲۰۲۰ حدود ۱۶۴/۱۹ میلیون هکتار سطح زیر کشت برنج در سراسر جهان وجود داشت. تخمین زده می‌شود که هند بزرگ‌ترین تولیدکننده برنج در جهان و اراضی تحت کشت برنج آن حدود ۴۴ میلیون هکتار باشد (آمار فائو، ۲۰۲۲). به‌طور قابل‌توجهی، ۹۰ درصد از تولید برنج جهان در آسیا کشت می‌شود. در سال ۲۰۱۸، حدود ۶۷ درصد از کل تولید برنج جهان از چین، هند، اندونزی و بنگلادش بود (آمار فائو، ۲۰۲۰). ازاین‌رو لازم است که خط‌مشی‌ها با توجه به تولید و مصرف برنج به‌وسیله جایگزینی و تکمیل روش‌های کشاورزی سنتی با روش‌های نوین کاشت تغییر یابند (موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج[1]، ۲۰۰۵). نزدیک به ۷۵ درصد برنج آبیاری غرقاب دائم تولید می‌شود و ۳۴ تا ۴۳ درصد از آب آبیاری جهان را مصرف می‌کند (ماراسنی و همکاران، ۲۰۱۸). میانگین کل مصرف آب در آبیاری دائم غرقابی بسته به نوع خاک، روش کشت و شیوه‌های مدیریت آب می‌تواند بسیار متفاوت باشد و از ۶۷۵۰ تا ۴۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار متغیر است (مکلین و همکاران، ۲۰۱۳). به همین دلیل، استفاده از روش‌های آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب مهم است. در بین سامانه‌های آبیاری، روش آبیاری میکرو می‌تواند آب را با دقت تأمین کند و به‌طور بالقوه کارآمدترین سامانه برای رشد محصولات زراعی است (هی و همکاران، ۲۰۱۳). در کشور ایران سطح زیر کشت برنج مطابق آمارنامه محصولات کشاورزی (۱۴۰۰)، بالغبر ۸۵۴۷۸۴ هکتار بود که مازندران به تنهایی ۳۱/۵ درصد از آن را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین مقدار تولید شلتوک برنج در کشور برابر با ۴۵۶۰۶۹۳ تن و سهم مازندران بیش از ۳۳/۷ درصد است.

شمسعلی و همکاران (۱۳۹۷) امکان‌سنجی کشت برنج را به روش تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک به کمک سامانه آبیاری زیرسطحی سفالی بررسی و حجم آب مصرفی و عملکرد گیاه را نسبت به روش غرقابی مقایسه کردند. عملکرد برنج در آبیاری غرقابی ۴۶۳۴ کیلوگرم بر هکتار و در آبیاری زیرسطحی سفالی ۴۱۲۳ کیلوگرم بر هکتار است. رمضانی و دهقانی (۱۴۰۰) به کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج

1- IRRI: International Rice Research Institute

پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب آبیاری در تیمار غرقاب کمترین بوده و عملکرد در تیمار با رژیم ۱۲۰ درصد تبخیر ۱۸ درصد کاهش نسبت به غرقاب داشته است. دهقانیان (۱۳۹۴) بیان کرد که مصرف آب آبیاری برنج در آبیاری قطره‌ای ۶۴ درصد نسبت به آبیاری غرقابی کاهش داشته و همچنین موجب افزایش دو برابری شاخص کارایی مصرف آب آبیاری نسبت به آبیاری غرقابی شد. قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در اراضی شالیزاری شهرستان ساری پرداختند. این آزمایش شامل چهار سطح آبیاری غرقابی، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متری و آبیاری موضعی با فاصله نوار ۱۰۰ سانتی‌متر بر روی دو رقم برنج امیر و فجر بود. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD[1]) و سودمندی اقتصادی آب (NBPD[2]) در دو رقم ذکرشده را داشته است. با اعمال این تیمار آبیاری، افزایش ۳۶ و ۶۳ درصدی NBPD به ترتیب در ارقام امیر و فجر حاصل شد.

بومن و همکاران (۲۰۰۶) از آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) برای کاشت برنج استفاده کردند و عملکرد ۵۷۸۵ کیلوگرم در هکتار را با استفاده از مصرف ۱۱۲۱۵ مترمکعب در هکتار آب به دست آورد که نشان‌دهنده بهره‌وری آب ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری است. این عملکردها کمتر از مقداری است که با آبیاری غرقابی دائم (CFI[3]) در همان منطقه (حدود ۸۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد اما بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای سطحی دو برابر بهره‌وری آب در آبیاری غرقابی دائم بود. آربات و همکاران (۲۰۱۸) کاشت برنج را با آبیاری قطره‌ای سطحی با استفاده از خطوط نوار در عمق ۰/۱۵ متری و با فاصله ۰/۶۶ متری و در شرایط خاک خشک با بذرکاری ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله خطوط بذر ۰/۱۹ متر و در بافت‌های مختلف خاک در اسپانیا انجام دادند. در شرایط آبیاری غرقابی مداوم و شرایط بذر خشک در مزارع مجاور، عملکرد ۶۴۸۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی ۵۵۶۵ کیلوگرم در هکتار را گزارش کردند. ساموی-پاسکوال و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای برنج با عمق نصب ۶۰ سانتی‌متر میزان بهره‌وری آب را تا ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داده و همچنین به میزان ۴۲ درصد ذخیره آب نسبت به روش‌های آبیاری غرقابی صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان درآمد خالص در حالتی که عمق نصب برابر ۶۰ سانتی‌متر بود، ۷۵-۴۱ درصد افزایش پیدا کرد. بوشکت کولاک (۲۰۲۱) نیز روش‌های آبیاری سنتی (غرقابی) و آبیاری قطره‌ای در آبیاری برنج را با هم مقایسه کرد. نتایج نشان داد که میزان بهره‌وری آب تا ۵۰ درصد نسبت به روش‌های سنتی افزایش پیدا کرد.

در پژوهشی دیگر، سومان (۲۰۲۱) آبیاری قطره‌ای را بر روی گیاه برنج در هندوستان بررسی کرد. نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری آب برای کاشت برنج در حالت آبیاری غرقابی به مقدار ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است؛ اما پس از استفاده از روش آبیاری قطره‌ای، مقدار بهره‌وری آب از ۰/۱۵ به ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب بهبود پیدا کرد و مقدار عملکرد برنج نیز بین ۲۸-۱۳ درصد بین گونه‌های مختلف برنج افزایش داشت. باجپای و کشئوال (۲۰۲۱) مطالعاتی بر روی تأثیر آبیاری قطره‌ای بر روی برنج و گندم انجام دادند. نتایج نشان داد که مقدار محصول گندم در روش قطره‌ای نسبت به کشاورزی سنتی ۴/۹ درصد افزایش پیدا کرد و همچنین مقدار مصرف آب نیز در این روش تا ۳۶/۲۴ درصد کاهش یافت. برای گیاه برنج نیز مقدار عملکرد تا ۵/۳۹ درصد افزایش پیدا کرده و مصرف آب نیز ۴۴/۵ درصد کاهش یافت.

1- Crop Pre Drop
2- Net Benefit Pre Drop
3- Continues Flood Irrigation

با توجه به کمبود منابع آب در نقاط مختلف جهان و ایران، روش قطره‌ای سطحی[1] و زیرسطحی[2] برای کمک به استقرار و رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه زیادی قرار گرفته است. آبیاری‌های نوین قطره‌ای سطحی و زیرسطحی یک مدیریت آگاهانه برای افزایش بهره‌وری آب است که در این مدیریت مقدار آب مصرفی کمتر از آب مورد استفاده در آبیاری غرقابی است. به دلیل مصرف زیاد آب از گلخرابی تا مرحله نشاء و برداشت محصول در شالیزار، گیاه راهبردی برنج برای آزمایش در این پژوهش استفاده شد. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه میزان عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری برنج با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در فواصل مختلف خطوط آبیاری بود.

## مواد و روش‌ها

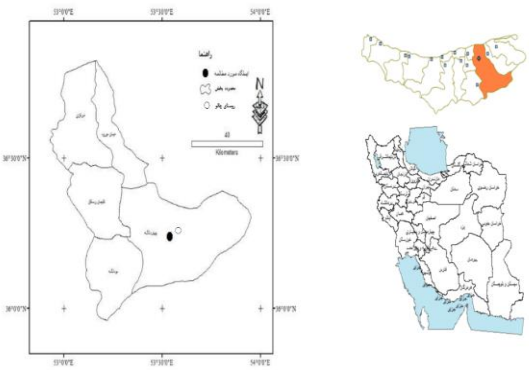
### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بهار و تابستان ۱۴۰۱ در ۱۸ کیلومتری ایستگاه هواشناسی کیاسر در اراضی شالیزاری شخصی انجام شد. ایستگاه هواشناسی کیاسر در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۲۹۴/۳ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است. میانگین بارندگی در این ایستگاه ۴۸۰/۳ میلی‌متر و متوسط سالانه دمای هوا ۱۳/۱ درجه سلسیوس با انحراف معیار ۱/۸۴ درجه سلسیوس است. شایان ذکر است که با توجه به ارتفاع از سطح دریا و کوهستانی بودن موقعیت منطقه مطالعه‌شده، تاریخ کاشت برنج به علت سردی هوا نسبت به شالیزارهای جلگه و دشت با تأخیر انجام شد و در کل منطقه این چنین است. موقعیت منطقه مطالعه شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

### ویژگی‌های آب‌وخاک

آب استفاده شده از رودخانه هم‌جوار زمین کشاورزی تأمین و ضمن نمونه‌برداری، ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد. نتیجه اندازه‌گیری نمونه آب منطقه در جدول (۱) نشان داده شده است.

برای تعیین ویژگی‌های خاک، یک نمونه در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و یک نمونه در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد که نتایج هر دو نمونه در جدول (۲) ارائه شده است.



**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی کیاسر**

**جدول ۱- ویژگی‌های آب استفاده‌شده**

| پارامتر | مقدار | واحد |
|---|---|---|
| سولفات | 21.18 | ppm |
| منیزیم | 2.01 | ppm |
| پتاسیم | 1.52 | ppm |
| سدیم | 9.42 | ppm |
| کلسیم | 2.47 | ppm |
| بی‌کربنات | 2.8 | meq/l |
| کربنات | 0 | meq/L |
| کلراید | 4.9 | meq/L |
| pH | 7.15 | - |
| هدایت الکتریکی | 0.575 | dS/m |

1- Drip Irrigation (DI)
2- Subsurface Drip Irrigation (SDI)

جدول ۲- ویژگی‌های خاک محل آزمایش

| پارامتر | مقدار | | واحد |
|---|---|---|---|
| | ۰-۲۰ سانتی‌متر | ۲۰-۳۰ سانتی‌متر | |
| رس | 28 | 24 | % |
| سیلت | 52 | 58 | % |
| شن | 20 | 18 | % |
| بافت خاک | Silty Clay Loam | Silt Loam | - |
| کربن آلی | 16.8 | 17.1 | % |
| نیتروژن کل | 0.18 | 0.19 | % |
| فسفر قابل‌جذب | 25 | 21 | mg/kg |
| پتاسیم قابل‌جذب | 492.18 | 479.376 | mg/kg |
| نسبت جذب سدیم | 2.89 | 3.62 | - |
| آهک | 5.6 | 4.3 | ٪ |
| رطوبت اشباع | 68 | 60 | ٪ |
| هدایت الکتریکی | 0.5 | 0.7 | dS/m |
| pH | 7.1 | 7.01 | - |

**نیاز آبی**

روش آبیاری مورد استفاده، قطره‌ای بوده و میزان آب مصرفی و دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه انجام شد. دبی خروجی‌ها مشخص بوده و با توجه به نوع سامانه آبیاری قطره‌ای و کیفیت آب محل مورد نظر (شاخص اشباع لانژلیر)، به آبشویی نیازی نبوده است. ابتدای دوره کشت، آبیاری غرقابی برای تثبیت گیاه در خاک صورت گرفت. با توجه به درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD[1]) برابر ۰/۷، دور آبیاری و در نظر گرفتن راندمان ۹۰ درصد، نیاز آبیاری مشخص و تعداد و حجم آبیاری اعمال‌شده یادداشت و در بخش بعدی گزارش شد. مقادیر آبیاری در هر تیمار توسط کنتور حجمی اعمال شد که محاسبات آن به‌صورت زیر است (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$Td = ETc \times [0.15 + 0.85\ Pd] \quad (۱)$$

$$d_n = Td \times F \quad (۲)$$

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (۳)$$

$$V = dg \times A \quad (۴)$$

که در آن: $ET_C$ تبخیر- تعرق گیاه برنج و بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی مجاور و تبخیر از طشت (میلی‌متر در روز)، Td حداکثر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)، Pd سطح سایه‌انداز (برحسب درصد)، F دور آبیاری (روز)، dn عمق خالص آبی در هر دور آبیاری (میلی‌متر)، dg عمق ناخالص آبی در هر دور آبیاری (با توجه به راندمان ۹۰ درصد آبیاری قطره‌ای برحسب میلی‌متر)، V حجم آب داده‌شده به تیمار (مترمکعب) و A مساحت کرت (برحسب مترمربع) هستند. با توجه به ثابت‌بودن عمق کارگذاری نوارهای آبیاری زیرسطحی، تنها تفاوت در فاصله بین لوله‌هاست که این توزیع رطوبت، خود را در نتایج (عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب) نشان داد. در این پژوهش از نوار تیپ چهار لیتر در ساعت با فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متری برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی استفاده شد. مصرف آب در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ($S_{L25}$) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ($D_{L25}$)، برابر با ۷۶۷۹/۲ مترمکعب در هکتار، در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۵۰ سانتی‌متر ($S_{L50}$) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر ($D_{L50}$) برابر با ۵۵۱۹/۳ مترمکعب در هکتار و نهایتاً در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۷۵ سانتی‌متر ($S_{L75}$) و

1- Maximum Allowable Depletion

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر ($D_{L75}$) برابر با ۴۶۰۷/۴ مترمکعب در هکتار بود.

**اعمال تیمارها**

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده نواری (استریپ پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار در قطعه زمینی به مساحت حدودی ۱۵۰ مترمربع در ۱۸ کرت به ابعاد دو در سه متر انجام شد. سه تیمار مربوط به آبیاری قطره‌ای سطحی است و سه تیمار بعدی مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است که نوارهای آبیاری در فواصل مختلف به کار گرفته شدند. در ابتدا عملیات آماده‌سازی بستر، مانند شخم، تسطیح خاک، افزودن کودهای پایه (با توجه به نتایج آنالیز خاک و مقدار N: P: K[1] با نسبت ۱۵:۱۰:۱۰ گرم در هر مترمربع) و مرزکشی کرت‌ها انجام شد. برنج از رقم هوندا بوده که در منطقه عملکرد زیادی دارد. فاصله کشت همانند روش سنتی ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و به‌صورت ردیفی روی خط بود.

در اراضی شالیزاری لایه‌ای از خاک در عمق کم‌وبیش ۳۰ سانتی‌متر وجود دارد که به دلیل شخم برای عملیات کشاورزی و گلخرابی در کشت برنج ایجاد می‌شود که به آن سخت لایه[2] شخمی می‌گویند و صعود آب به لایه‌های بالاتر و همچنین نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر را کم و محدود می‌کند (استافورد و هندریک، ۱۹۸۸؛ رپر و همکاران، ۱۹۹۰). در این پژوهش نیز ابتدا آزمایش مورد نظر انجام و وجود این سخت‌لایه اثبات شد. برای آسانی عملیات شخم و آماده‌سازی زمین عمق کارگزاری لوله‌ها در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حداکثر ۳۰ سانتی‌متر و بالای سخت‌لایه شخمی در نظر گرفته شد. کشت برنج به‌صورت مستقیم در زمین انجام‌شده و بعد از آبیاری سنگین اولیه و پایداری شرایط اولیه، اعمال تیمار یک ماه بعد از تاریخ بذرپاشی شروع شد. در این یک ماه که کرت‌ها غرقاب بودند، مقدار آبیاری و در کل حجم آب آنتارتاب داده‌شده به هر کرت به‌صورت روزانه با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. مدیریت کود و مبارزه با علف‌هرز و آفات و بیماری-ها مطابق با عرف زارع انجام شد. مراحل انجام پژوهش در طول دوره کاشت تا برداشت در جدول (۳) ارائه شد.

با توجه به نتیجه مثبت و قابل‌توجه آزمایش قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹)، فاصله بین نوارهای سطحی از کار ایشان الگوبرداری و به همان صورت برای آبیاری زیرسطحی اعمال شد. به‌طور خلاصه تیمارها عبارت‌اند از: آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ($S_{L25}$)، آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۵۰ سانتی‌متر ($S_{L50}$)، آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۷۵ سانتی‌متر ($S_{L75}$)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ($D_{L25}$)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر ($D_{L50}$)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر ($D_{L75}$).

**اندازه‌گیری پارامترها و استفاده از شاخص‌ها**

در طول انجام پژوهش، مصرف آب هرکدام از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین بعد از اتمام طول دوره رشد برنج، در هرکدام از تیمارها اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای طول ریشه (روش مونولیت)، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه، درصد پرشدگی دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و محاسبه بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی شد. به این صورت که در زمان رسیدن فیزیولوژیکی در هر کرت پنج نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و پارامترهای ارتفاع بوته و طول خوشه با استفاده از متر اندازه‌گیری گردید و سپس تعداد پنجه شمرده شد. بعد از آن تعداد دانه‌های پر و پوک هر خوشه شمرده و با استفاده از آن درصد پرشدگی دانه به دست آمد. بعد از رسیدن کامل، هر کرت به‌صورت جداگانه برداشت شد و بعد از خشک شدن در مقابل

1- Nitrogen :Phosphorus :Potassium
2- Hard Pan

آفتاب، جداسازی دانه‌ها از ساقه به‌صورت دستی انجام شد.

**جدول ۳- زمان‌بندی مراحل انجام پژوهش (حدفاصل بهار تا تابستان ۱۴۰۱)**

| آماده‌سازی زمین | کارگذاری لوله | بذرپاشی | سم حشره | کود دهی | سم (آفت کرم) | وجین | شروع اعمال تیمار | تاریخ برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۰ تا ۲۵ خرداد | ۲۶ خرداد | ۲۸ خرداد | ۲۹ خرداد | ۹ تیر | ۱۰ تیر | ۱۶ تیر | ۳۱ تیر | ۲۷ شهریور |

بر اساس عملکردها و میزان مصرف آب در تیمارهای مختلف، مقدار بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شد. بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب یا تولید ثابت با مصرف کم‌تر آب است. بدین منظور از رابطه زیر استفاده شد (کیجنه و همکاران، ۲۰۰۳):

$$CWP = \frac{Y}{I} \quad (۵)$$

که در آن: CWP، بهره‌وری فیزیکی آب ($kg/m^3$)، Y عملکرد (kg) و I حجم آب آبیاری ($m^3$) است. همچنین بهره‌وری اقتصادی که در این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود ناخالص (درآمد) بیشتر به ازای واحد حجم آب است، طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$EWP = \frac{P_V}{I} \quad (۶)$$

که در آن: EWP، بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)، $P_V$ ارزش اقتصادی محصول تولیدی (Rials) و I حجم آب آبیاری ($m^3$) است. شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد:

$$H_i = \frac{Y}{Y_b} \times 100 \quad (۷)$$

که در آن: $H_i$ شاخص برداشت برحسب درصد و $Y$، $Y_b$ به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک است.

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها نیز توسط Microsoft Excel انجام شد. همچنین ابتدا تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه‌گیری‌شده صورت گرفت و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه‌ای میانگین دانکن در سطح پنج و یک درصد مقایسه شد.

## نتایج و بحث

### خصوصیات دانه برنج

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به جدول (۴)، اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

**جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج**

| منابع تغییر | درجه آزادی | تعداد کل دانه | تعداد دانه پر | درصد پر شدگی دانه |
|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | ۱ | ۲۹۴/۴** | ۸۶۹/۵** | ۲۲۰/۹** |
| فاصله نوار | ۲ | ۳۹۳/۷** | ۱۱۵۱/۲** | ۳۱۲/۱** |
| بلوک | ۲ | ۰/۸۸ns | ۰/۵۰ns | ۰/۰۷ns |
| نوع آبیاری × فاصله نوار | ۲ | ۵/۳۹** | ۳۹/۶** | ۱۰/۵۲** |
| خطا | ۱۰ | ۰/۵۹ | ۰/۵۲ | ۰/۰۳ |

** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج در جدول (۵) ارائه شده است. تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به‌ترتیب ۸/۰۹ (۷/۹۵

درصد)، ۱۳/۹ (۱۸/۳۸ درصد) و ۷/۰۱ (۹/۴۷ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش داشت.

تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه بین تمامی فاصله‌های نوار (۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. بیشترین تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه به‌ترتیب برابر ۱۱۳/۶۸، ۹۶/۶ و ۸۳/۹۱ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به‌ترتیب ۶/۵۳، ۱۳/۰۱ و ۵/۹۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به‌ترتیب ۱۴/۲۳، ۲۹/۵۹ و ۱۶/۹۴ درصد کاهش یافت (جدول ۵). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که کاهش مقدار عمق آب آبیاری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه شده است. در پژوهش حاضر نیز با افزایش فاصله نوار و به دنبال آن کاهش مقدار آب آبیاری کاربردی، تعداد دانه در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی کاهش داشت. در پژوهش‌های پیشین که در بالا بیان شد، چنین نتیجه‌ای گزارش کردند.

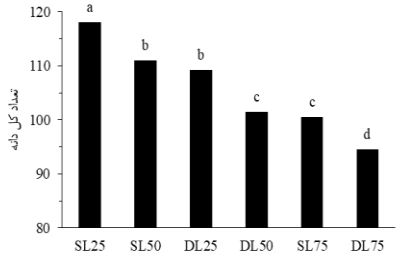
**جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج**

| تیمار | | تعداد کل دانه | تعداد دانه پر | درصد پر شدگی دانه |
|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | نواری سطحی | ۱۰۹/۸ a | ۸۹/۵ a | ۸۱ a |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۱۰۱/۸ b | ۷۵/۶ b | ۷۴ b |
| فاصله نوار | ۲۵ سانتی‌متر | ۱۱۳/۷ a | ۹۶/۶ a | ۸۳/۹ a |
| | ۵۰ سانتی‌متر | ۱۰۶/۳ b | ۸۴ b | ۷۸/۹ b |
| | ۷۵ سانتی‌متر | ۹۷/۵ c | ۶۸ c | ۶۹/۷ c |

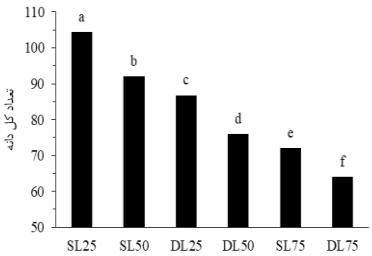
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

حداکثر مقدار تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه به‌ترتیب برابر ۱۱۸/۱، ۱۰۴/۴ و ۸۸/۴ درصد در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۲ تا ۴). در تیمار آبیاری نواری سطحی با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه (شکل ۲)، دانه پر (شکل ۳) و درصد پر شدگی دانه برنج (شکل ۴) به‌ترتیب ۶/۰۱، ۱۱/۸۱ و ۶/۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به‌ترتیب ۱۴/۹۲، ۳۱ و ۱۸/۹ درصد کاهش یافت.

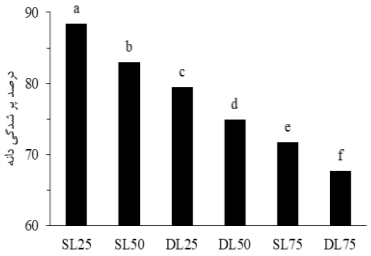
در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بیشترین تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به‌ترتیب ۷/۱۱، ۱۲/۴۴ و ۵/۷۲ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به‌ترتیب ۱۳/۴۹، ۲۶/۲۶ و ۱۴/۷۶ درصد کاهش یافت.




**شکل ۲- میانگین تعداد کل دانه برنج در تیمارهای مختلف**




**شکل ۳- میانگین تعداد دانه پر برنج در تیمارهای مختلف**




**شکل ۴- میانگین درصد پر شدگی دانه برنج در تیمارهای مختلف**

**خصوصیات بوته برنج**

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات بوته برنج در جدول (۶) ارائه شده است. اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار بر طول خوشه در سطح احتمال پنج درصد و بر تعداد پنجه و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی بر طول ریشه اثر معنی‌دار نداشت.

**جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات گیاه برنج**

| منابع تغییر | درجه آزادی | طول خوشه | تعداد پنجه | ارتفاع بوته | طول ریشه |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | ۲ | ۶/۵$^{**}$ | ۳۰۱/۶$^{**}$ | ۲۱۷/۵$^{**}$ | ۵$^{**}$ |
| فاصله نوار | ۱ | ۹/۳۴$^{**}$ | ۷۱/۶$^{**}$ | ۱۵۳/۲$^{**}$ | ۱/۷$^{**}$ |
| بلوک | ۲ | ۰/۱۷$^{ns}$ | ۰/۱۱$^{ns}$ | ۰/۳۱$^{ns}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ |
| نوع آبیاری × فاصله نوار | ۲ | ۰/۳۲$^{*}$ | ۲۳/۵$^{**}$ | ۶$^{**}$ | ۰/۰۰۰۴$^{ns}$ |
| خطا | ۱۰ | ۰/۰۵ | ۰/۲۵ | ۰/۴۴ | ۰/۰۲ |

$^{**}$، $^{*}$ و $^{ns}$ به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

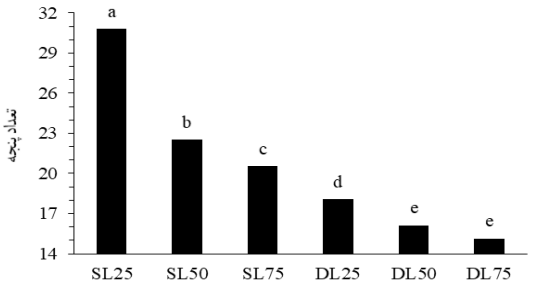
مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات برنج در جدول (۷) ارائه شده است. مقادیر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمار آبیاری نواری سطحی به شکل معنی‌دار بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بودند. طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به‌ترتیب ۱/۲ سانتی‌متر (۶/۸۸ درصد)، ۸/۱۹ (۴۹/۸۱ درصد)، ۶/۹۶ سانتی‌متر (۸/۲۲ درصد) و ۱/۰۵ سانتی‌متر (۶/۹۸ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۷).

**جدول ۷- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات گیاه برنج**

| تیمار | | طول خوشه (سانتی‌متر) | تعداد پنجه | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | طول ریشه (سانتی‌متر) |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | نواری سطحی | ۱۸/۶a | ۲۴/۶a | ۹۱/۶a | ۱۶/۱a |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۱۷/۴b | ۱۶/۴b | ۸۴/۶b | ۱۵b |
| فاصله نوار | ۲۵ سانتی‌متر | ۱۹/۳a | ۲۴/۴a | ۸۳/۴c | ۱۵c |
| | ۵۰ سانتی‌متر | ۱۷/۹b | ۱۹/۳b | ۹۳/۵a | ۱۵/۶۳ |
| | ۷۵ سانتی‌متر | ۱۶/۸c | ۱۷/۹c | ۸۷/۴b | ۱۶/۱a |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

مقادیر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه بین تمامی فاصله‌های نوار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر دارای اختلاف معنی‌دار بودند. حداکثر طول خوشه و تعداد پنجه برابر ۱۹/۳۳ سانتی‌متر و ۲۴/۴۳ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. در هر دو حالت آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۷/۵ و ۲۰/۸۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۱۲/۸۳ و ۲۶/۹۳ درصد کاهش یافت (جدول ۷). حداکثر ارتفاع بوته برابر ۹۳/۴۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی-متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته افزایش یافت. سپس با فاصله بیشتر نوار، مقدار ارتفاع بوته کاهش یافت (جدول ۷). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که کاهش مقدار عمق آب آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته شده است. رحیمی پول و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران به چنین نتایجی دست یافتند.

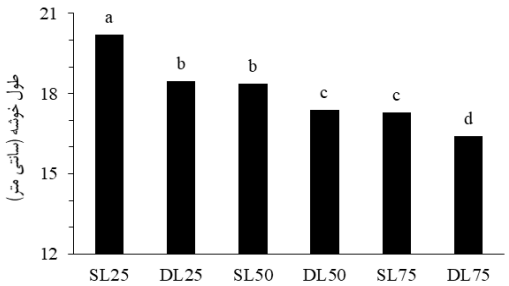



**شکل ۶- میانگین تعداد پنجه بوته برنج در تیمارهای مختلف**

در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین ارتفاع بوته برابر ۹۶/۴ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۹/۴۸ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۲/۴۴ درصد افزایش یافت (شکل ۷).

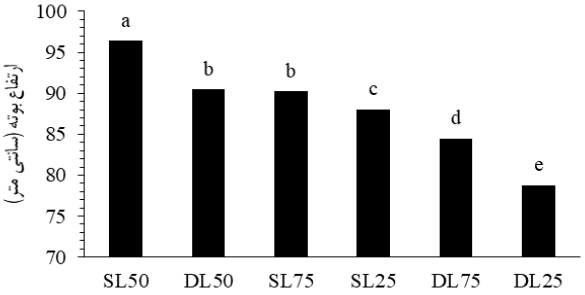
در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین ارتفاع بوته برابر ۹۰/۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی-

بیشترین طول ریشه برابر ۱۶/۰۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار در هر دو سامانه آبیاری، طول ریشه به‌تدریج افزایش یافت؛ به‌طوری‌که با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۲ درصد افزایش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، طول ریشه هفت درصد افزایش یافت (جدول ۷). حداکثر مقدار طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب برابر ۲۰/۲ سانتی‌متر و ۳۰/۸ در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۵ و ۶). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۹/۰۶ و ۲۶/۸۵ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۱۴/۳۵ و ۳۳/۲۱ درصد کاهش یافت. در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشترین طول خوشه و تعداد پنجه برابر ۱۸/۴۷ سانتی‌متر و ۱۸/۰۷ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی-متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۵/۸۴ و ۱۱/۲ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به‌ترتیب ۱۰/۷۳ و ۱۶/۲۷ درصد کاهش یافت.

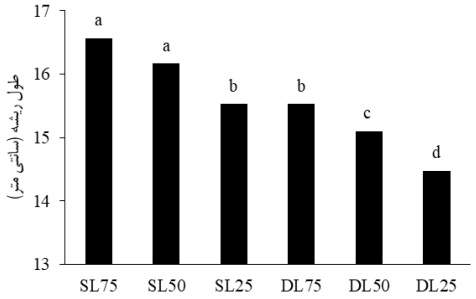



**شکل ۵- میانگین طول خوشه برنج در تیمارهای مختلف**

متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۱۴/۸۶ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۷/۲۴ درصد افزایش یافت (شکل ۷). در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین طول ریشه برابر ۱۶/۵۷ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۱۲ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۶/۶۹ درصد افزایش یافت (شکل ۸). در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین طول ریشه برابر ۱۵/۵۳ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی-متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۳۵ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، طول ریشه ۷/۳۲ درصد افزایش یافت (شکل ۸).




**شکل ۷- میانگین ارتفاع بوته برنج در تیمارهای مختلف**




**شکل ۸- میانگین طول ریشه بوته برنج در تیمارهای مختلف**

## عملکرد و بهره‌وری آب برنج

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج در جدول (۸) ارائه شده است. اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره-وری اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

**جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج**

| منابع تغییر | درجه آزادی | عملکرد دانه | شاخص برداشت | بهره‌وری فیزیکی | بهره‌وری اقتصادی |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | ۲ | ۱۲۴۵/۹$^{**}$ | ۱۰۱/۷$^{**}$ | ۰/۳۲۶$^{**}$ | ۲/۶۴ ×۱۰$^{۱۱}$$^{**}$ |
| فاصله نوار | ۱ | ۶۶۵/۴$^{**}$ | ۱۱۳/۳$^{**}$ | ۰/۰۴۵$^{**}$ | ۳/۶۴ ×۱۰$^{۱۰}$$^{**}$ |
| بلوک | ۲ | ۰/۳۷$^{ns}$ | ۰/۰۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۹۲۲۲$^{ns}$ |
| نوع آبیاری × فاصله نوار | ۲ | ۱/۰۰$^{*}$ | ۶/۳۴$^{**}$ | ۰/۰۰۷$^{**}$ | ۵/۷۶ ×۱۰$^{۹}$$^{**}$ |
| خطا | ۱۰ | ۰/۴۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۵۷۵۵۲۹ |

$^{**}$، $^{*}$ و $^{ns}$ به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج در جدول (۹) ارائه شده است. مقادیر عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در آبیاری نواری سطحی بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شد و این افزایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به‌ترتیب ۱۶۶۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار (۴۰/۸ درصد)، ۴/۷۶ درصد (۱۴/۱۳ درصد)، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۸/۵۷ درصد) و ۲۴۲۳۶۳/۶۷ ریال بر مترمکعب (۳۸/۴۲ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۹).

مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت بین تمامی فاصله‌های نوار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. حداکثر عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر ۵۸۳۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار و ۴۰/۱۳ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب ۱۲/۰۲ و ۸/۹۴ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب ۳۵/۴۹ و ۲۱/۵۵ درصد کاهش یافت (جدول ۹).

**جدول ۹- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج**

| | تیمار | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | شاخص برداشت (درصد) | بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری اقتصادی (ریال بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع آبیاری | نواری سطحی | ۵۷۴۲/۲ a | ۳۸/۴ a | ۰/۹۷ a | ۸۷۳۱۶۲/۹ a |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۴۰۷۸/۳ b | ۳۳/۷ b | ۰/۷۰ b | ۶۳۰۷۹۹/۲ b |
| فاصله نوار | ۲۵ سانتی‌متر | ۵۸۳۴/۴ a | ۴۰/۱ a | ۰/۷۶ c | ۶۸۳۷۸۹/۳ c |
| | ۵۰ سانتی‌متر | ۵۱۳۲/۶ b | ۳۶/۵ b | ۰/۹۳ a | ۸۳۶۹۵۱/۱ a |
| | ۷۵ سانتی‌متر | ۳۷۶۳/۸ c | ۳۱/۵ c | ۰/۸۱ b | ۷۳۵۲۰۲/۷ b |

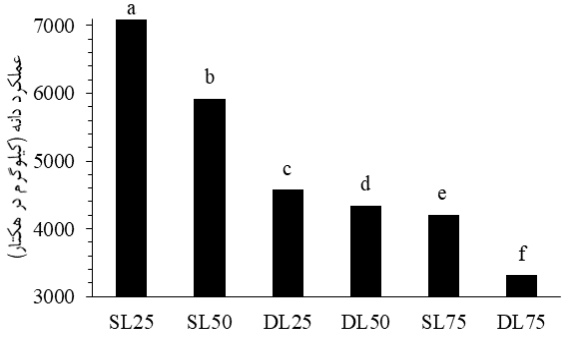
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

حداکثر بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۲۲/۳۶ درصد افزایش یافت سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری فیزیکی کاهش یافت (جدول ۹). حداکثر بهره‌وری اقتصادی برابر ۸۳۶۹۵۱/۱۴ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. لازم به ذکر است که بهره‌وری اقتصادی بدون در نظر گرفتن هزینه قیمت لوله‌ها و کارگزاری لوله‌ها بوده است. با افزایش فاصله نوار، بهره‌وری اقتصادی به تدریج افزایش یافت به‌طوری که با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۲۲/۳۹ درصد افزایش یافت سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری اقتصادی کاهش یافت (جدول ۹). قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برنج (رقم‌های امیر و فجر) در تیمارهای آبیاری غرقابی، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متری و آبیاری موضعی با فاصله نوار ۱۰۰ سانتی‌متر نشان دادند که تیمار آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب و سودمندی اقتصادی آب را داشت.

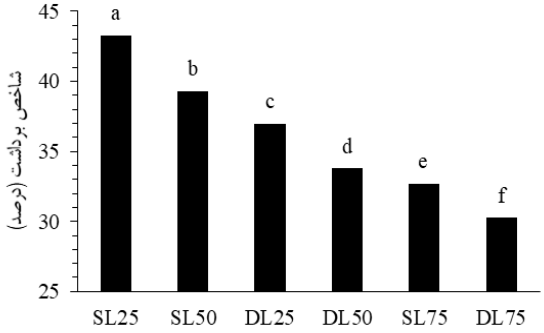
حداکثر مقدار عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب برابر ۷۰۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار و ۴۳/۲۸ درصد در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه (شکل ۹) و شاخص برداشت (شکل ۱۰) به‌ترتیب ۱۶/۵۶ و ۹/۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب ۴۰/۶۷ و ۲۴/۴۶ درصد کاهش یافت. در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشترین مقدار عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر ۴۵۷۲/۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۶/۹۸ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب ۵ و ۸/۶۸ درصد کاهش یافت و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب ۲۷/۴۵ و ۱۸/۱۴ درصد کاهش یافت.

نتایج عملکرد دانه با حرکت از فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر دارای روند کاهشی بود اما این برای ارتفاع بوته تکرار نشد؛ زیرا با کاهش آب کاربردی و وقوع تنش آبی، رشد رویشی اتفاق افتاده اما رشد زایشی حاصل نشد. در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و

زیرسطحی این روند مشابه بوده است. فیروزپور بندپی و همکاران (۱۴۰۱) نیز در بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام) به چنین نتایجی دست یافتند.



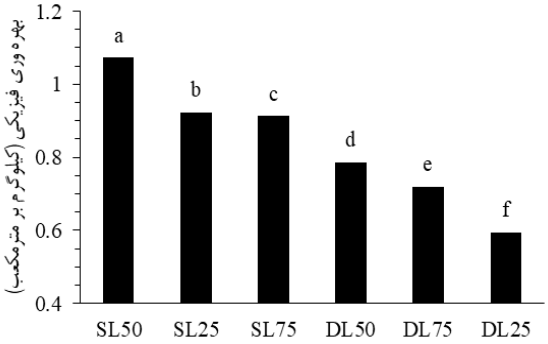

**شکل ۹- میانگین عملکرد دانه برنج در تیمارهای مختلف**



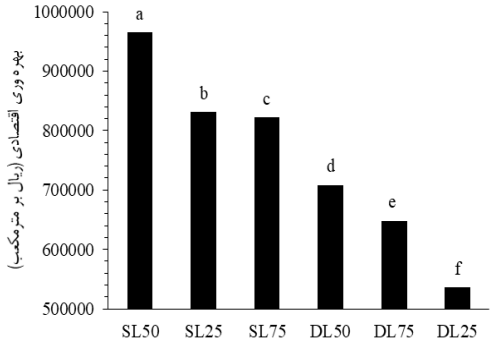

**شکل ۱۰- میانگین شاخص برداشت در تیمارهای مختلف**

در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین بهره‌وری فیزیکی برابر ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۱۶/۳ درصد و از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۱۴/۹۵ درصد کاهش یافت (شکل ۱۱).

بر اساس شکل (۱۱) در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۳۱/۶۶ درصد و ۷۵ سانتی‌متر نسبت به فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ۲۰ درصد افزایش یافت.




**شکل ۱۱- میانگین بهره‌وری فیزیکی در تیمارهای مختلف**




**شکل ۱۲- میانگین بهره‌وری اقتصادی در تیمارهای مختلف**

در تیمار آبیاری نواری سطحی، با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۱۶/۱۳ درصد ولی از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۱۴/۸۲ درصد کاهش یافت (شکل ۱۲). در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بیشترین بهره‌وری اقتصادی برابر ۷۰۸۴۲۲/۳۵ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۳۲/۱۸ درصد افزایش ولی از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۸/۵۲ درصد کاهش یافت (شکل ۱۲). ایلاهی و همکاران (۲۰۲۰) به مقایسه عملکرد خربزه تحت دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی پرداختند. برای آبیاری قطره‌ای سطحی، آب روی سطح آبیاری شد، درحالی‌که برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، قطره‌چکان‌ها در عمق ۵ سانتی‌متری از خاک دفن شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر تیمارها بر قطر برگ تفاوت معنی‌داری داشت اما برای طول برگ و قطر میوه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بر اساس

نتایج مشاهده شد که آبیاری قطره‌ای سطحی، نتیجه بهتری نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی داشت.

همچنین سینگ و همکاران (۲۰۲۲) اثر روش آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به آبیاری غرقابی بر روی عملکرد پنبه را در کشور هندوستان مورد مقایسه قرار دادند. با توجه با هدررفت کمتر آب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، میزان مصرف آب در این روش کمتر بوده و همچنین مقدار محصول پنبه در این روش تا ۲۶/۶ درصد افزایش پیدا کرد و به مقدار ۳۴۵۵ کیلوگرم در هر هکتار رسید. آیدن‌ساکی و همکاران (۲۰۲۱) روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را بر روی گیاه سویا مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج، حداکثر مقدار محصول تولیدی برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۵/۶۱ و ۶/۳۳ تن در هر هکتار به دست آمد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، مقدار آب مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به میزان ۹۰ میلی‌متر کمتر بود، درحالی‌که هیچ‌گونه کاهشی در تولید محصول در این روش مشاهده نشد. همچنین بوشکت کولاک و همکاران (۲۰۲۱) چندین روش آبیاری بر روی گیاه کینوا را در منطقه مدیترانه شرقی ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، میزان عملکرد و بهره‌وری آب در طی دو سال اندازه‌گیری شد. روش‌های آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بودند. نتایج نشان داد که به دلیل تبخیر سطحی کمتر آب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، گیاه کینوا در این روش مقدار آب کمتری نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده کرده و در نهایت میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری زیرسطحی بیشتر شد، اما تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عملکرد بذر کینوا مشاهده نشد.

## نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج در کیاسر انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقادیر کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در تیمار آبیاری نواری سطحی بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شد و این افزایش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار می‌توان فقط در مناطق شالیزاری استفاده کرد که ضمن کاهش آب مصرفی باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی می‌شود. همچنین آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با روشی که انجام شد، در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی موفق نبوده و با این شرایط قابل توصیه نیست. با توجه به این‌که در این مطالعه هزینه ثابت و متغیر سامانه آبیاری تحت‌فشار در بهره‌وری اقتصادی در نظر گرفته نشده بود، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، هزینه ثابت و متغیر توسعه سامانه آبیاری تحت‌فشار در اراضی شالیزاری در نظر گرفته شود. همچنین مقایسه بین آبیاری تحت‌فشار سطحی و زیرسطحی با آبیاری غرقاب تناوبی رایج پیشنهاد می‌شود.

## تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. بدین‌وسیله از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های آب، خاک و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

**فهرست منابع**


۱. آمارنامه کشاورزی. (۱۴۰۰). آمارنامه کشاورزی (سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸) جلد اول: محصولات زراعی. چاپ اول، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۹۷ ص.

۲. دهقانیان، ا. (۱۳۹۴). آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج. نشریه فنی. شورای انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ۳، ۸-۱.

۳. رحیمی پول، م.، اکبری نودهی، د.، اسدی، ر.، باقری، ع. و شیردل شهمیری، ف. (۱۴۰۰). تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۴)، ۴۰۴-۳۹۱.

۴. رمضانی، ا. و دهقانی، م. (۱۴۰۰). کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان). پژوهش آب ایران، ۱۵(۲)، ۱۱۹-۱۲۷.

۵. شمسعلی، ل.، بیابانی، ع.، قربانی واقعی، ح. و طلیعی، ف. (۱۳۹۷). بررسی اثر تاریخ کاشت و سامانه آبیاری بر برخی ویژگی‌های زراعی برنج در گنبدکاووس. مدیریت آب و آبیاری ۱(۸)، ۲۷-۳۸.

۶. علیزاده، ا. (۱۳۸۹). آبیاری قطره‌ای (اصول و عملیات). انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ دوم، ۴۹۴ صفحه.

۷. فیروزپور بندپی، ر.، شاهنظری، ع.، اکبرزاده، ع. و یوسفیان، م. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام). مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۳)، ۴۸۱-۴۶۷.

۸. قلی‌نژاد بهنمیری، ق.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و موسوی، س. ی. (۱۳۹۹). اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در اراضی شالی‌زاری شهرستان ساری. تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۵۱(۱۲)، ۳۱۳۴-۳۱۲۷.

۹. یوسفیان، م.، عربزاده، ب.، سودایی مشایی، ص.، محمدی نشلی، ی. (۱۳۹۳). بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، خواص کمی و کیفی دانه دو رقم برنج (طارم و شیرودی). پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۲۷(۱۰۴)، ۷۵-۶۹.

10. Arbat, G., Parals, S., Duran-Ros, M., Pujol, J., Puig-Bargués, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2018). Dinámica del agua en el suelo, productividad del agua y economía en riego por inundación y goteo en arroz. In *XXXVI Congreso Nacional de Riegos, AERYD: Valladolid, Spain* (Vol. 19, pp. 1-10).
11. Aydinsakir, K., Dinc, N., Buyuktas, D., Kocaturk, M., Ozkan, C. F., & Karaca, C. (2021). Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. I*rrigation Science*, *39*(6), 773-787.
12. Bajpai, A., & Kaushal, A. (2021). Drip Irrigation in Rice and Wheat Cropping System under Conservation Agriculture: Water Scarcity Solution. *Biological Forum – An International Journal*, *13*(3b), 89-93.
13. Bouman, B. A. M., Yang, X., Wang, H., Wang, Z., Zhao, J., & Chen, B. (2006). Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. *Field Crops Research*, *97*(1), 53-65.
14. Bozkurt Çolak, Y. (2021). Comparison of aerobic rice cultivation using drip systems with conventional flooding. *The Journal of Agricultural Science*, *159*(7-8), 544-556.
15. Bozkurt Çolak, Y. (2021). Comparison of aerobic rice cultivation using drip systems with conventional flooding. *The Journal of Agricultural Science*, *159*(7-8), 544-556.
16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *FAOSTAT–Food and Agriculture Data. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data (accessed on 5 May 2020).*

17. Foroumandi, E., Nourani, V., Huang, J. J., & Moradkhani, H. (2023). Drought monitoring by downscaling GRACE-derived terrestrial water storage anomalies: A deep learning approach. *Journal of Hydrology*, *616*, 128838.
18. He, H., Ma, F., Yang, R., Chen, L., Jia, B., Cui, J., & Li, L. (2013). Rice performance and water use efficiency under plastic mulching with drip irrigation. *PLoS One*, *8*(12), e83103.
19. Ilahi, W. F. F., Ya, N. N. C., Razali, M. F. A., & Hassan, N. H. A. (2020). Impacts of fertigation via surface and subsurface drip irrigation on growth rate of rockmelon. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, *1*(2), 1-8.
20. IRRI (International Rice Research Institute). (2005). *Changes in rice farming in selected areas of Asia.* Los Banos, Philippines.
21. Kijne, J. W., Tuong, T. P., Bennett, J., Bouman, B., & Oweis, T. (2003). Ensuring food security via improvement in crop water productivity. *Challenge Program on water and Food Background Paper*, 1, 20-26.
22. Ladi, T., Mahmoudpour, A. & Sharifi, A. (2021). Assessing impacts of the water poverty index components on the human development index in Iran. *Habitat International*, 113, 102375.
23. Maclean, J., Hardy, B., & Hettel, G. (2013). *Rice Almanac: Source book for one of the most important economic activities on earth*. IRRI.
24. Maraseni, T. N., Deo, R. C., Qu, J., Gentle, P., & Neupane, P. R. (2018). An international comparison of rice consumption behaviours and greenhouse gas emissions from rice production. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 2288-2300.
25. Parthasarathi, T., Vanitha, K., Mohandass, S. & Vered, E. (2018). Evaluation of Drip Irrigation System for Water Productivity and Yield of Rice. *Agronomy Journal*, 110(6), 2378-2389.
26. Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A. N. & Khoshravesh, M. (2021). The evaluation of DRAINMOD-S and AquaCrop models for simulating the salt concentration in soil profiles in areas with a saline and shallow water table. *Journal of Hydrology*, 598, 126259.
27. Radhika, V., Srinivasan, K., Ramya, R. & Sharmila, B. B. (2022). IoT-Based Water Quality and Quantity Monitoring System for Domestic Usage. In *Immersive Technology in Smart Cities* (pp. 205-227). Springer, Cham.
28. Raper, R. L., Asmussen, L. E., & Powell, J. B. (1990). Sensing hard pan depth with ground-penetrating radar. *Transactions of the ASAE*, *33*(1), 41-0046.
29. Samoy-Pascual, K., Lampayan, R. M., Remocal, A. T., Orge, R. F., Tokida, T., & Mizoguchi, M. (2022). Optimizing the lateral dripline spacing of drip-irrigated aerobic rice to increase water productivity and profitability under the water-limited condition. *Field Crops Research*, 287, 108669.
30. Singh, K., Singh, P., Singh, M., Mishra, S. K., Iqbal, R. R., Al-Ashkar, I., ... & El Sabagh, A. (2022). Sub-surface drip fertigation improves seed cotton yield and monetary returns. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1-18.
31. Soman, P. (2021). Drip Irrigation and Fertigation Technology for Rice Production Leading to Higher Water Productivity. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, *10*(2), 70-77, 2021.
32. Stafford, J. V., & Hendrick, J. G. (1988). Dynamic sensing of soil pans. *Transactions of the ASAE*, *31*(1), 9-0013.
33. Unkovich, M., Baldock, J., & Forbes, M. (2010). Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. *Advances in agronomy*, *105*, 173-219.

# Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Rice

**R. Bayani, M. Khoshravesh[1], A. Liaghat, and M. Pourgholam-Amiji**

MSc. student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
**Missbayani1377@gmail.com**

Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. **Khoshravesh_m24@yahoo.com**

Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. **Aliaghat@ut.ac.ir**

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. **Mpourgholam6@ut.ac.ir**

Received: January 2023 and Accepted: June 2023

## Abstract

Due to the drought, water and food security in the country is facing serious challenges, and a precise and science-based implementation plan is needed. The use of new technologies, such as modern irrigation systems, is essential as an effective tool for optimal water use. Therefore, this study was conducted to investigate the yield, yield components, and water efficiency of rice variety "Honda" in two surface and subsurface drip irrigation systems in a paddy field located in Kiasar, Mazandaran Province, Iran, during the spring and summer of 2022. The experimental design was strip plots using a randomized complete block design with 6 treatments and 3 replications in 18 plots measuring 2 by 3 m. The treatments included surface drip irrigation with strip distances of 25, 50, and 75 cm, and subsurface drip irrigation at a depth of 30 cm with the same strip distances. The results showed that cluster length, number of grains, plant height, and root length were significantly increased in surface drip irrigation treatments compared to subsurface treatments, with an increase of 1.2 cm (6.8%), 8.19 (49.8%), 6.9 cm (8.2%), and 1 centimeters (6.9%), respectively. The grain yield, harvest index, physical efficiency, and economic efficiency in the surface drip irrigation treatments showed significant increases of 1664 kg/ha (40.8%), 4.7% (14.1%), 0.27 kg/m$^3$ (38.5%), and 242,363 Rials/m$^3$ (38.4%), respectively, compared to subsurface drip irrigation treatments. The maximum grain yield and harvest index were observed at distances of 25 cm, equal to 5834 kg/ha and 40%, respectively. The maximum physical efficiency was observed at a distance of 50 cm, equal to 0.93 kg/m$^3$. With an increase in distance between the strips from 25 to 50 cm, the physical efficiency increased by 22%. However, further increase in the distance led to a decrease in physical efficiency. The maximum economic efficiency was observed for surface drip irrigation at a distance of 50 cm, equal to 836,951 Rials/m$^3$.

**Keywords**: Improving water productivity, Modern irrigation methods, Rice variety Honda

[1] - Corresponding author: khoshravesh_m24@yahoo.com