

Analysis of the Impact of Surface and Subsurface Irrigation Methods on Crop Yield and Water Use Efficiency in Potato Cultivation under Different Irrigation Levels

Samireh Raeasi Sarhaddi¹, Ommolbanin Bazrafshan^{2*}, Hadi Ramezani Etidali³, Esmacil Moghbeli Dameneh⁴, Marzieh Rezaei⁵

¹PhD Student, Department of Natural Resources Engineering and Statistics, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

²Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

³Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

⁴Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Research Organization, Jiroft, Iran.

⁵Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

*Corresponding Author: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Received: 15 May 2025

Accepted: 19 Oct. 2025



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Revised: 10 Sep. 2025

Published: 24 Mar. 2024

Abstract: Agriculture is one of the most important environmental factors influencing the growth and development of plants, especially in the arid and semi-arid regions of Iran. However, due to the rising cost of water consumption and the decreasing availability of water in these areas, considerable attention has been paid to water scarcity stress and its effects on plants. This highlights the necessity of managing water resources with a comprehensive and precise approach. Therefore, this study aimed to investigate the effects of surface and subsurface irrigation methods at different irrigation levels (100%, 90%, and 80%) on potato yield, land productivity, and water use efficiency at the research station of the South Kerman Agricultural Research Center in Jiroft.

Keywords: ELP, Water Productivity, Water needs, Under-irrigation

Introduction: Agriculture is an activity that consumes a very large amount of water. Considering the ongoing climate changes, the water needs of crops may increase (Bocchiola et al., 2013) and food security may decrease (Palazzol et al., 2015). In addition, agricultural activity has significant impacts on both the quantity and quality of water. Consequently, various indicators have been examined and used to assess the environmental effects of water consumption in agricultural production systems (Herath et al., 2014). Considering the shortage of water resources in the country, the high water requirement of potato plants, and the climatic conditions of Jiroft — located in one of the arid regions of Iran — planning for the optimal use of water resources in this area is both necessary and inevitable. The production and consumption of potatoes, which today is recognized as an important human food product and ranks fourth among agricultural products after wheat, corn, and rice, does not have a long history compared to other plant-based food sources. However, it has quickly found its place among other products, and in Iran, the last century has been a period of rapid growth for the role of this product in household food baskets (Vojdani, 2022). Furthermore, due to the limited number of studies on subsurface drip irrigation in potato

cultivation in Iran, the implementation of appropriate irrigation systems, along with targeted planning, can contribute significantly to sustainable agriculture. Therefore, this study was conducted to evaluate potato cultivation under different irrigation methods and levels in the climatic conditions of Jiroft. The results of this research can serve as a useful reference for future irrigation planning and design.

Methodology: Considering the shortage of water resources in the country, the high water requirement of potato plants, and the climatic conditions of Jiroft — located in one of the arid regions of Iran — planning for the optimal use of water resources in this area is both necessary and inevitable. Furthermore, due to the limited number of studies on subsurface drip irrigation in potato cultivation in Iran, the implementation of appropriate irrigation systems, along with targeted planning, can contribute significantly to sustainable agriculture. This research was conducted with the aim of studying the effect of irrigation methods and different irrigation levels on yield, land value, and water use efficiency in potato crops at the South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center station located in Jiroft. The experiment was arranged in split plots within a randomized complete block design with two factors: irrigation levels at three levels of full irrigation (100 percent of water requirement IL1), 90 percent irrigation (IL2), and 80 percent irrigation (IL3), and irrigation methods at two levels of surface drip (IM1) and subsurface drip (IM2) (Fig. 1). The calculated variables included tuber yield, water use efficiency, and land value. The results of this research can serve as a useful reference for future irrigation planning and design.

Results and Discussion: Based on the results Investigating the Effects of Different Irrigation Levels and Surface and Subsurface Irrigation Methods on Three Indicators—Yield, Land Value, and Water Use Efficiency in Potato (Table 6), the subsurface irrigation method at 90% water requirement (IL2IM2) was identified as the optimal treatment, achieving the highest values for tuber yield (30.46 t/ha), water use efficiency (6.55 kg/m³), and land economic value (4.3 thousand USD/ha), which aligns with findings by Mattar et al. (2021) and Niu et al. (2025) on the benefits of moderate deficit irrigation. This treatment resulted in water savings of 354 m³/ha compared to full irrigation (100%), without a significant reduction in yield, consistent with water conservation strategies highlighted by Lamm (2005). The simple effects of both irrigation levels and methods were significant on yield and land value, while their interaction was significant for water use efficiency and land value. The 90% irrigation level consistently performed optimally, indicating that a 10% reduction in water application does not significantly reduce yield but enhances water productivity, supporting the concept of regulated deficit irrigation as discussed by Onder et al. (2005). Based on existing studies, it is recommended that under similar conditions, farmers use 90 percent irrigation levels along with efficient irrigation systems such as subsurface drip irrigation to achieve optimal yield and water use efficiency. This comparison can help better understand the interactive effects of irrigation methods and irrigation levels on water use efficiency and land economic value, and can lead to improvements in agricultural management practices. It is concluded that adopting subsurface drip irrigation at 90% of crop water requirement is recommended for sustainable potato production in the water-scarce region of Jiroft. Given the increasing challenges of water scarcity in many regions of the world, including the Jiroft area, optimizing water management in agriculture is considered a strategic necessity. The findings of this research clearly demonstrate how integrating modern irrigation methods (such as subsurface drip irrigation) with managed irrigation levels can simultaneously achieve economic and environmental objectives.

Conclusion: Considering the serious limitations of water resources, achieving a sustainable cropping pattern requires the simultaneous optimization of water use and economic performance. Overall, the results indicated that both the individual and interactive effects of irrigation level and irrigation method were significant for crop yield, water use efficiency, and the land value index. The highest yield and land value index were observed at the 90% irrigation level with subsurface irrigation, while the lowest values for these parameters occurred under 80% irrigation with subsurface irrigation. Therefore, it is recommended that farmers adopt a 90% irrigation level in combination with efficient subsurface irrigation systems to achieve optimal water use efficiency and crop performance.

© 2024 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

تحلیل تاثیر روش‌های آبیاری سطحی و زیر سطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت سیب زمینی در سطوح مختلف آبیاری

سمیره رئیسی سرحدی^۱، ام‌البین بذرافشان^{۲*}، هادی رضانی اعتدالی^۳، اسماعیل مقبلی دامنه^۴، مرضیه رضایی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۳ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران
^۴ استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، جیرفت، ایران.
^۵ استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نویسنده مسئول: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۱/۰۵

چکیده: مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی اثر روش و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، ارزش زمین و کارایی مصرف آب در محصول سیب زمینی، در ایستگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان واقع در جیرفت انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور طراحی شد: سطوح آبیاری در سه سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی IL1)، آبیاری ۹۰ درصد (IL2) و آبیاری ۸۰ درصد (IL3) و روش آبیاری در دو سطح قطره‌ای سطحی (IM1) و زیرسطحی (IM2) و متغیرهای محاسبه شده شامل عملکرد غده، کارایی مصرف آب و ارزش زمین بودند. بررسی اثر اصلی سطوح آبیاری نشان داد که بین تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۹۰ درصد، اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد، اما هر دو با تیمار ۸۰ درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. بنابراین، سطح بهینه آبیاری برای دستیابی به کارایی مصرف آب بیشتر، سطح ۹۰ درصد تعیین شد و سطح ۸۰ درصد کمترین میزان را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج، تیمار ترکیبی آبیاری زیرسطحی در سطح ۹۰ درصد نیاز آبی (IL2IM2) به عنوان مناسب‌ترین تیمار شناسایی شد که بالاترین مقادیر عملکرد (۳۰/۴۶ تن در هکتار)، کارایی مصرف آب (۶/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و ارزش زمین (۴/۳ هزار دلار در هکتار) را ارائه کرد. این تیمار در مقایسه با آبیاری کامل موجب صرفه‌جویی ۳۵۴ مترمکعب آب در هکتار شد. بنابراین، کاربرد روش آبیاری زیرسطحی در سطح ۹۰ درصد نیاز آبی (IL2IM2) برای کشت سیب زمینی در منطقه جیرفت توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: ارزش زمین، بهره‌وری آب، کم آبیاری، نیاز آبی

۱- مقدمه

به کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش در عملکرد محصول می‌شود (Fadul et al., 2020).

در بین گیاهان دو لپه، سیب‌زمینی مهم‌ترین محصول زراعی است که با مجموع تولید حدود ۳۳۰ میلیون تن پس از گندم، برنج و ذرت در مرتبه چهارم جهانی قرار دارد (FAO, 2021). سطح زیرکشت این محصول در ایران در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ حدود ۱۳۵ هزار هکتار و میزان تولید آن حدود ۵/۵ میلیون تن گزارش شده است (Agricultural Jihad Statistics, 2016). سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که به دلیل کالری، پروتئین و نشاسته قابل توجه برای انسان از اهمیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. بررسی سطح مصرف آب در سیب‌زمینی در ایران نسبت به دیگر محصولات کشاورزی و باغی، حاکی از مصرف بالای آن است. به گونه‌ای که مقدار نیاز آبی سیب‌زمینی ۲/۷ درصد بیشتر از گندم گزارش شده است (Vojdani, 2022).

کمبود آب در بخش کشاورزی باعث می‌شود که نیاز به مدیریت بهتر آب و بهینه‌سازی مصرف آن در سطح مزارع و باغات، بیش از پیش احساس شود. یکی از موثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی، توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقاء آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب می‌باشد. در این زمینه مطالعات متعددی صورت پذیرفته است. مائر و همکاران، تاثیر روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۰، ۵۰ را بر ویژگی‌های رشد، عملکرد غده و راندمان مصرف آب آبیاری محصول سیب‌زمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، آبیاری کامل همراه با تیمار تبخیر تعرق ۱۰۰ با سیستم آبیاری زیرسطحی، عملکرد سیب‌زمینی را به حداکثر می‌رساند، اما راندمان مصرف آب را کاهش می‌دهد، در حالی که ادغام سیستم زیرسطحی با کم آبیاری در بهبود بهره‌وری آب با توجه به شرایط کمبود آب به دلیل مصرف آب کمتر موثرتر است (Mattar et al., 2021).

نیو و همکاران، با استفاده از روش فراتحلیل (Meta-Analysis) تاثیر کم آبیاری را بر کارایی مصرف آب (WUE)

آب مهم‌ترین عامل محدودکننده کشاورزی در کشور و یکی از مهم‌ترین منابع مورد نیاز جامعه بشری است. چگونگی حراست و حفظ این منبع حیاتی و بهره‌برداری بهینه از آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است. از لحاظ قرارگیری جغرافیایی، کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک و روی کمربند خشکی کره زمین قرار دارد. در شرایط کنونی محدودیت منابع آب و تا حدودی فراوانی نسبی اراضی قابل کشت وجود دارد، که این شرایط شامل اکثر مناطق ایران است. بنابراین، ضروری است که به افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی و بهینه‌سازی استفاده از این منابع توجه ویژه‌ای داشت (Sattari, 2017).

آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های نوین آبیاری است و به انواع سطحی و زیرسطحی تقسیم‌بندی می‌شود. در شرایط بحرانی کنونی، توسعه اصولی سیستم‌های آبیاری تحت فشار قدم موثری در بالابردن راندمان آب به شمار می‌رود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از موثرترین سیستم‌های آبیاری موجود است. اگرچه هزینه ابتدایی آن بالاست اما مقدار قابل توجهی از آب با کاهش میزان تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی ذخیره می‌گردد (Almeida Silva et al., 2013).

با توجه به تلفات بیشتر آب و کمبود راندمان در اکثر سیستم‌های آبیاری سطحی، سیستم آبیاری موضعی زیرسطحی با توجه به مزایایی که دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی باشد و برای انواع از گیاهان و محصولات زراعی به کار رود. از مزایای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌توان به کاهش در میزان آب مصرفی، افزایش عملکرد و کیفیت محصول، افزایش بهره‌وری مصرف آب، کاهش خطرات شوری برای گیاهان، تعدیل کاربرد کود و مواد شیمیایی، کنترل رشد علف‌های هرز، کاهش مصرف انرژی، تسهیل عملیات کشاورزی، حفظ ساختمان خاک و حفاظت بیشتر از محیط‌زیست اشاره کرد. سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی میزان رطوبت خاک در منطقه ریشه را به‌طور یکسان تامین می‌کند، درحالی‌که در خاکی با سطح خشک، کمبود آب به دلیل محدودیت در نفوذ عمقی، منجر

و عملکرد سیب‌زمینی در شمال چین بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که اعمال کم‌آبیاری متوسط (مانند ۹۰ درصد نیاز آبی) می‌تواند بدون کاهش معنادار عملکرد، کارایی مصرف آب را به طور قابل توجهی افزایش دهد (Niu et al., 2025).

گوان و همکاران، در مطالعه‌ای چهارساله در منطقه نیمه‌خشک مغولستان، تاثیر روش آبیاری قطره‌ای کم‌عمق را با آبیاری قطره‌ای سطحی بر کشت سیب‌زمینی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای سطحی کم‌عمق با کاهش ۸ تا ۲۶ درصدی تبخیر از سطح خاک در مراحل اولیه رشد و همچنین افزایش ۱۹ درصدی توسعه ریشه، منجر به بهبود شاخص‌های رشد (مانند شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک) می‌گردد. در نهایت، این روش باعث افزایش ۸ درصدی عملکرد محصول و ۷/۸ درصدی بهره‌وری آب در مقایسه با روش متداول آبیاری سطحی گردید. لذا محققین گزارش دادند، که آبیاری قطره‌ای سطحی کم‌عمق یک راهکار موثر برای بهبود پایداری تولید سیب‌زمینی در مناطق کم‌آب است (Guan et al., 2025).

بدر و همکاران، در تحقیقی تاثیر روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را روی عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تحت شرایط مشابه، میزان رطوبت در منطقه توسعه ریشه در روش آبیاری زیرسطحی بیشتر است و همین عامل سبب افزایش رشد و عملکرد سیب‌زمینی شده است. دور آبیاری یکی از عوامل مهم در مدیریت و برنامه ریزی آبیاری قطره‌ای می‌باشد. عبارتی با حجم مشخص و ثابت آب مورد نیاز در طول فصل رشد، در صورتی که بتوان دور آبیاری را کوتاه نمود، شاید بتوان به عملکرد بالاتر و کیفیت بالاتری از محصول دست یافت، چرا که در دور آبیاری کوتاه‌تر، رطوبت بیشتری در منطقه توسعه ریشه وجود دارد و گیاه برای جذب آب نیروی کمتری را صرف می‌کند. (Badr et al., 2010).

با توجه به مطالعات پیشین، تاثیر مثبت آبیاری زیرسطحی و کم‌آبیاری بر بهبود کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی در مناطق مختلف به اثبات رسیده است. با این

حال، اغلب تحقیقات انجام شده در شرایط اقلیمی متفاوت و با سطوح آبیاری متغیر اجرا شده‌اند. نوآوری اصلی این تحقیق در بررسی همزمان دو عامل روش آبیاری (سطحی و زیرسطحی) و سطوح مختلف آبیاری تحت شرایط آب و هوایی خاص منطقه جیرفت است که دارای اقلیم خشک و منابع آبی محدود می‌باشد. همچنین، ارزیابی همزمان شاخص‌های عملکرد، کارایی مصرف آب و ارزش اقتصادی زمین به عنوان معیاری جامع در انتخاب بهترین تیمار، از دیگر جنبه‌های نوآورانه این مطالعه محسوب می‌شود. لذا مهم‌ترین اهداف پژوهش حاضر، بررسی تاثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی؛ تعیین اثر سطوح مختلف آبیاری (کامل، ۹۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) بر عملکرد و بهره‌وری آب و ارزیابی اقتصادی تیمارهای مختلف آبیاری از طریق محاسبه ارزش زمین می‌باشد.

با در نظر گرفتن کمبود منابع آبی در کشور و نیاز آبی بالای گیاه سیب‌زمینی، و از طرفی قرارگیری شهرستان جیرفت در اقلیم خشک، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع آب این منطقه ضروری است. همچنین با توجه به محدودیت مطالعات انجام‌شده در زمینه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سیب‌زمینی در ایران، به‌ویژه در مناطق جنوبی کرمان، این پژوهش با رویکرد تلفیقی (فنی-اقتصادی) و با هدف تعیین بهترین ترکیب روش و سطح آبیاری برای دستیابی به پایداری تولید و بهره‌وری بالاتر آب طراحی شد. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه کشت، طراحی سیستم‌های آبیاری و تدوین راهبردهای مدیریت آب برای کشاورزی پایدار در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش‌شناسی

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان- جیرفت با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۶۲۷ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلیمتر، بیشینه دما ۴۸ درجه سانتیگراد، کمینه دما ۱ درجه

جدول ۱ ویژگی‌های نمونه آب و خاک مزرعه مرکز تحقیقات جیرفت

Table 1 Physicochemical Properties of Soil and Water Samples from Jiroft Research Center Farm

Characteristics	Water sample test	Soil sample test
		Depth 0-30
pH	7.40	7.60
EC (dS/m)	0.9	1.20
(%)Total N	-	0.031
Mg ²⁺ +Ca ²⁺ (meq / L)	5.2	4.00
SAR ¹	1.88	2.90
Na ⁺ (meq/lit)	3.04	-
HCO ₃ ⁻ (mg/L)+CO ₃ ²⁻	274/5	-
P (mg/kg)	-	9.40
K (mg/kg)	-	320
PWP ² (V%)	-	11.6
BD ³ (g/cm ³)	-	1.30

(Keinath et al., 2019).

تاریخ شروع کاشت در نیمه اول بهمن ماه سال ۱۴۰۲ تعیین گردید. تامین آب از لوله اصلی به وسیله یک لوله به قطر ۷۵ میلی‌متر صورت گرفت و سپس به سه لوله ۶۳ میلی‌متری تقسیم گردید. هر یک از این لوله‌های ۶۳ میلی‌متری مسئول تامین آب مورد نیاز برای یکی از سطوح آبیاری بودند. به منظور برآورد نیاز آبیاری روزانه، از اطلاعات هواشناسی مربوط به محل آزمایش بهره گرفته شد.

میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث محاسبه گردید و سپس با استفاده از روابطی که در ادامه ارائه شده، ابتدا نیاز آبی خالص، سپس نیاز آبی ناخالص و در نهایت نیاز آبیاری روزانه تعیین شد.

۴-۲- تعیین نیاز آبی

تعیین نیاز آبی در طول فصل رشد گیاه از رابطه (۱) تعیین

سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد و تبخیر ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد که کرت‌های اصلی در سه سطح آبیاری و کرت‌های فرعی در دو سطح روش آبیاری صورت پذیرفت.

۱-۲- کیفیت آب آبیاری

آب مورد نیاز آبیاری از یک چاه مجهز به ایستگاه کنترل مرکزی تامین شد که خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است، اگر چه براساس این جدول نمایه اشباع لانژیلر که مقدار مثبتی به دست آمد، این آب قابلیت رسوب املاح و در نتیجه گرفتگی قطره‌چکان‌ها را دارد، اما خطر گرفتگی زیاد نیست و می‌توان با از آب موجود در سامانه آبیاری قطره‌ای استفاده کرد.

۲-۲- آزمایش خاک

در ابتدای آزمایش، با نمونه‌برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از خاک، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم آن‌ها اندازه‌گیری شد. خاک مزرعه محل اجرای پروژه لوم شنی و جزء خاک‌های با بافت متوسط می‌باشد که برای رشد محصول سیب‌زمینی مناسب است. از لحاظ ظرفیت آب در خاک نیز این خاک قادر است حجم خوبی از آب را در خود ذخیره کند.

۳-۲- بسترکشت و سامانه آبیاری

پس از فراهم شدن شرایط لازم، بذر سیب‌زمینی از رقم سانته که بیشترین درخواست را از سوی کشاورزان منطقه جیرفت دارد، به کار گرفته شد. بذر پس از آماده‌سازی به صورت ردیفی و با فاصله ۱۵ سانتی‌متری و در عمق ۱۵ سانتی‌متر کاشته شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و مساحت مزرعه حدود ۱۰۰۰ متر مربع (مساحت هر کرت هر کرت ۲/۷ مترمربع) برآورد گردید. به منظور تامین نیازهای غذایی گیاه، پس از بررسی خاک، کودهای پایه از نوع کامل و دامی به آن اضافه گردید و سایر عناصر ضروری در طول فصل رشد از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای به گیاه داده شد.

³ Bulk density

¹ Sodium Adsorption Ratio

² Permanent Wilting Point

$$LR = \frac{EC_{iw}}{2EC_e} \quad (4) \quad \text{شد:}$$

که در آن: LR نیاز آبتی، EC_{iw} هدایت الکتریکی آب آبیاری (میلی‌موس بر سانتی‌متر یا دسی‌زیمنس بر متر)، EC_e حداکثر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (میلی‌موس بر سانتی‌متر یا دسی‌زیمنس بر متر) است.

$$F_x = \frac{I_x}{T_d} \quad (5)$$

که در آن: F_x حداکثر دور آبیاری (روز)، I_x حداکثر عمق آبیاری (میلی‌متر) و T_d تعرق روزانه (میلی‌متر در روز) می‌باشد.

محاسبه نیاز خالص آبیاری

مقدار نیاز خالص برای هر دور آبیاری از [رابطه زیر](#) به‌دست آمد:

$$I_n = F \times T_d - P_e + L_n \quad (6)$$

که در آن: I_n نیاز خالص آبیاری برای هر دور آبیاری (میلی‌متر)، F دور آبیاری طراحی (روز)، T_d تعرق روزانه (میلی‌متر در روز)، P_e بارندگی موثر (میلی‌متر) و L_n عمق خالص آبتی (میلی‌متر) می‌باشد.

عمق خالص آبتی

عمق خالص آبتی از [رابطه زیر](#) محاسبه گردید:

$$L_n = \frac{LR(T_d \times F)}{1-LR} \quad (7)$$

که در آن: L_n عمق خالص آبتی (میلی‌متر) و سایر عوامل پیشتر تعریف شده‌اند.

عمق ناخالص آبیاری

عمق ناخالص آبیاری از [رابطه زیر](#) به‌دست آمد:

$$I_g = \frac{I_n}{E_a} \quad (8)$$

$$T_d = ET_{crop}[0.1(P_s)^{0.5}] \quad (1)$$

که در آن: T_d مقدار نیاز آبی یا تعرق روزانه در آبیاری قطره‌ای که فقط بخشی از زمین آبیاری شود در دوره‌ای که نیاز آبی به حداکثر می‌رسد (میلی‌متر در روز)، ET_{crop} مقدار تبخیر و تعرقی که به روش‌های مرسوم با فرض پوشش گیاهی کامل با سایر روش‌های آبیاری در دوره‌ای که نیاز آبی به حداکثر خود می‌رسد (میلی‌متر در روز) و P_s درصد سطح سایه‌انداز می‌باشد (FAO, 1977). برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_{crop}) در ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با روش پنمن مانیتیت محاسبه و سپس از رابطه (Allen et al. 1998) به‌شرح ذیل میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه تعیین گردید:

$$ET_{crop} = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

که در آن: ET_0 مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) می‌باشد. (FAO, 1988)

تعیین حداکثر عمق آب آبیاری

برای تعیین حداکثر عمق آب آبیاری از [رابطه زیر](#) استفاده گردید:

$$I_x = AW \times D_{rz} \times MAD \times P_w \quad (3)$$

که در آن: I_x حداکثر عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، AW میزان آب قابل دسترس (میلی‌متر در هر متر خاک)، D_{rz} عمق ریشه گیاه (متر)، MAD حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی و P_w درصد مساحت خیس شده خاک می‌باشد.

برآورد مقدار نیاز آبتی

جهت تعیین مقدار نیاز آبتی مطابق با رابطه مورد استفاده در روش آبیاری قطره‌ای از [رابطه زیر](#) استفاده شد:

آب مورد نیاز آبیاری از چاهی واقع در محل مزارع تامین شد. چاه مذکور مجهز به ایستگاه کنترل مرکزی شامل موتورپمپ، هیدروسیکلون، فیلتر توری، تانک کود و فشارسنج بود. انتقال آب از منبع به مزرعه توسط لوله انتقال اصلی ۲۰۰ میلی‌متر و لوله‌های نیمه اصلی ۱۶۰، ۱۲۵ و ۷۵ میلی‌متر و در نهایت با لوله ۶۳ میلی‌متر و با اتصال به لوله ۱۶ میلی‌متری انجام شد. مقدار آب آبیاری در هر نوبت، معادل رطوبت مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک از حد بحرانی به ظرفیت مزرعه^۱ (FC) تعیین گردید. دور آبیاری در مراحل مختلف رشد متغیر بود. با اعمال راندمان ۹۰ درصد برای آبیاری سطحی و ۱۰۰ درصد برای آبیاری زیرسطحی، حجم آب مورد نیاز از حاصل ضرب نیاز آبیاری در سطح سایه‌انداز محاسبه شد. سپس این حجم بر دبی گسیلنده‌های تیمار شاهد (۱۰۰ درصد) تقسیم و زمان آبیاری به دست آمد. در تیمارهای کم‌آبیاری، حجم آب و در نتیجه زمان آبیاری، با ضرب در ضریب تنش آبی، کاهش داده شد. در پژوهش حاضر، تیمارهای آزمایشی شامل دو روش آبیاری؛ آبیاری قطره‌ای سطحی (IM1) و آبیاری زیرسطحی (IM2) و سه سطح آبیاری شامل آبیاری براساس ۱۰۰ درصد (IL1) نیاز آبی، آبیاری براساس ۹۰ درصد (IL2) نیاز آبی و آبیاری براساس ۸۰ درصد (IL3) درصد نیاز آبی تعیین گردید.

۲-۵- کارایی مصرف آب (WUE^۲)

عبارتست از حجم آب مصرفی به ازای یک کیلوگرم تولید محصول که از [رابطه زیر](#) بدست می‌آید:

$$WUE = 100 \left(\frac{Y}{V_w} \right) \quad (12)$$

در [رابطه فوق](#): Y مقدار محصول که به مصرف می‌رسد بر حسب کیلوگرم در هکتار (kg/ha)؛ V_w آب مصرف شده توسط گیاه بر حسب مترمکعب در هکتار (m³/ha) می‌باشد.

۲-۶- ارزش زمین^۳ (ELP)

از حاصل ضرب عملکرد محصول در سود خالص محصول

که در آن: I_g عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، I_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر) و E_a راندمان کاربرد آبیاری می‌باشد.

حجم ناخالص آبیاری روزانه

مقدار حجم ناخالص آب مورد نیاز هر بوته گیاه در هر روز از پارامترهای مهم بوده و از [رابطه زیر](#) به دست آمد:

$$G = \frac{I_g}{F} \times S_p \times S_r \quad (9)$$

که در آن: G حجم ناخالص آب مورد نیاز برای هر بوته گیاه (لیتر در روز بازای هر درخت)، I_g نیاز ناخالص آبیاری برای هر دور آبیاری (میلی‌متر)، F دور آبیاری طراحی (روز)، S_p فاصله بوته گیاه روی ردیف (متر) و S_r فاصله ردیف‌های گیاه یا لوله‌های فرعی (متر) می‌باشد.

برای به دست آوردن حجم ناخالص آب مورد نیاز در هر دور آبیاری از [رابطه زیر](#) استفاده گردید:

$$G_i = G \times F \quad (10)$$

که در آن: G_i حجم ناخالص آب مورد نیاز در هر دور آبیاری (لیتر)، F دور طراحی آبیاری (روز) و G حجم ناخالص آب مورد نیاز (لیتر در روز) می‌باشد.

مدت زمان آبیاری

با داشتن حجم ناخالص روزانه، تعداد قطره‌چکان و دبی قطره‌چکان، زمان آبیاری از [رابطه زیر](#) به دست آمد:

$$t_a = \frac{G_i}{N_p \times q_a} \quad (11)$$

که در آن: t_a زمان آبیاری (ساعت)، G_i حجم ناخالص آبیاری روزانه (لیتر به ازای هر گیاه)، N_p تعداد قطره‌چکان و q_a دبی قطره‌چکان (لیتر در ساعت) می‌باشد (Allen et al., 1998). زمان آبیاری براساس نمونه‌برداری از خاک صورت پذیرفت.

³ Economic Land Productivity

¹ Farm Capacity

² Water Use Efficiency

مورد نظر، ارزش زمین بر حسب ریال در هر هکتار بدست می‌آید.

$$ELP = Y \times NB \quad (13)$$

در [رابطه فوق](#): Y عملکرد محصول سیب‌زمینی بر حسب کیلوگرم در هکتار (kg/ha)، NB سود خالص بر حسب دلار بر کیلوگرم (\$/kg) و ELP شاخص ارزش زمین بر حسب دلار در هکتار (\$/ha) می‌باشد.

پس از برداشت و جداسازی غده‌ها، عملکرد محصول در واحد سطح، حجم آب مصرفی، کارایی مصرف آب، در هر تیمار تعیین شد و داده‌ها ابتدا تست نرمال شدند و پس از اثبات نرمالیتی و یکنواختی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) تجزیه مرکب صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

[جدول ۲](#) نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات ساده و متقابل تیمارهای آبیاری بر متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، اثر ساده روش آبیاری و سطوح آبیاری بر عملکرد محصول در سطح احتمال ۹۵

درصد معنی‌دار بوده، در حالی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نیست. بر خلاف عملکرد، اثر ساده تیمارها بر کارایی مصرف آب معنی‌دار نیست، اما اثر متقابل روش و سطح آبیاری بر این شاخص در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. علاوه بر این، هر دو اثر ساده و متقابل بر ارزش زمین در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بودند.

۳-۱- اثر سطوح آبیاری و روش آبیاری بر عملکرد

[جدول ۳](#) مقایسه میانگین اثر ساده سطوح آبیاری و روش آبیاری را بر عملکرد در محصول سیب‌زمینی نشان می‌دهد. در بین سطوح مختلف آبیاری، بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی بین این دو سطح با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به این معنی که کاهش سطح آبیاری تا ۱۰ درصد نسبت به مقدار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری روی عملکرد نخواهد داشت، اما کاهش ۲۰ درصد سبب کاهش چشمگیر عملکرد می‌شود. بیشترین میزان عملکرد در سطح نیاز آبی ۹۰ درصد برابر با (۲۶/۷۶) تن در هکتار) و کمترین میزان عملکرد در سطح ۸۰ درصد برابر با (۲۱/۹۸) تن در هکتار) مشاهده گردید.

[جدول ۲](#) میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارهای سطوح آبیاری و روش آبیاری بر کارایی مصرف آب در محصول سیب‌زمینی

Table 2 Mean squares obtained from analysis of variance of simple and interplay effects of irrigation levels and irrigation method on water use efficiency in potato

Average Squares			Degree of freedom	Sources of change
ELP((1000USD.ha)	WUE(Kg/m3)	Yield (ton /ha)		
159.975*	2.658	114.43*	2	IL
134.63*	3.16	261.06*	2	IM
52.47*	6.126*	111.75	4	IL*IM
25.48	0.909	17.93	36	Error

[جدول ۳](#) مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری بر عملکرد در محصول سیب‌زمینی

Table 3 Comparison of the mean effect of simple irrigation levels and irrigation method on yield in potato

Yield (ton/ha)	Treatment	Yield (ton/ha)	Treatment
22.03a	IM1	25.74a	IL ₁₀₀
27.63a	IM2	26.76a	IL ₉₀
.	.	21.98a	IL ₈₀

همچنین، اثر ساده روش آبیاری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد محصول سیب‌زمینی باهم اختلاف معنی‌داری دارند و بهترین عملکرد محصول مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است.

۳-۲- اثر سطوح آبیاری و روش آبیاری بر کارایی مصرف آب (WUE)

جدول ۴ میانگین اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری بر کارایی مصرف آب را نشان می‌دهد. در بررسی اثر سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۹۰ درصد وجود ندارد ولی بین دو سطح مذکور با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین کارایی مصرف آب برابر با (۵/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در سطح ۹۰ درصد و کمترین کارایی مصرف آب برابر با (۵/۲۱ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. لذا سطح بهینه برای کارایی مصرف آب، آبیاری ۹۰ درصد است، در این سطح به میزان ۳۵۴/۲ مترمکعب در هکتار آب صرفه‌جویی

می‌شود. بررسی اثر نوع آبیاری بر کارایی مصرف آب نشان می‌دهد، اختلاف معنی‌داری بین دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی وجود ندارد. اما بیشترین کارایی مربوط به روش آبیاری زیرسطحی با مقدار ۵/۸ کیلوگرم در هر مترمکعب است.

۳-۳- اثر سطوح آبیاری و روش آبیاری بر ارزش زمین (ELP)

نتایج اثر روش و سطوح آبیاری بر ارزش زمین در سطح معنی‌داری پنج درصد ($P \leq 0.05$) در **جدول ۵** ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد، بین تیمار آبیاری کامل و ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، ولی بین این دو سطح با ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین شاخص ارزش زمین برابر با ۹/۶ هزار دلار در هکتار) در سطح نیاز آبی ۹۰ درصد و کمترین شاخص ارزش زمین برابر با (۷/۸ هزار دلار در هکتار) در سطح ۸۰ درصد مشاهده شد.

جدول ۴ مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری بر کارایی مصرف آب در محصول سیب‌زمینی

Table 4 Comparison of the average effect of simple irrigation levels and irrigation method on water use efficiency in potato crop

WUE (Kg/m ³)	Treatment	WUE (Kg/m ³)	Treatment
5.23a	IM1	5.21a	IL ₁₀₀
5.80a	IM2	5.97a	IL ₉₀
.	.	5.50a	IL ₈₀

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد است.

جدول ۵ مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری بر ارزش زمین در محصول سیب‌زمینی

Table 5 Comparison of the average effect of simple irrigation levels and irrigation method on land value in potato Crop

ELP(1000USD / ha)	Treatment	ELP (1000USD/ ha)	Treatment
0.35a	IM1	9.22a	IL ₁₀₀
0.42a	IM2	9.6a	IL ₉₀
.	.	7.8b	IL ₈₀

(IL3IM1) با کارایی ۶/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب در همان گروه آماری a قرار داشت و با تیمار IL2IM2 اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد. این که کارایی مصرف آب در شرایط کم‌آبایی (۸۰ درصد) و با روش سطحی نیز می‌تواند در بالاترین حد خود باشد. کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمارهای آبیاری سطحی و زیرسطحی در سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و تیمار زیرسطحی در سطح ۸۰ درصد بود.

از نظر شاخص اقتصادی ارزش زمین، بیشترین مقدار با ۴/۳ هزاردلار در هکتار متعلق به تیمار آبیاری زیرسطحی در سطح ۹۰ درصد (IL2IM2) بود که به طور معنی‌داری برتر از سایر تیمارها قرار گرفت. پس از آن، تیمار آبیاری سطحی در سطح ۹۰ درصد (IL2IM1) با مقدار ۲/۹ هزار دلار در هکتار در رده بعدی قرار داشت. کمترین میزان شاخص ارزش زمین نیز مربوط به تیمار آبیاری زیرسطحی در سطح ۸۰ درصد (IL3IM2) با مقدار ۲/۷ هزار دلار در هکتار بود.

در مجموع، بر پایه این نتایج، تیمار ترکیبی ۹۰ درصد نیاز آبی با روش آبیاری زیرسطحی (IL2IM2) به‌عنوان تیمار برتر معرفی می‌شود که همزمانی بالاترین عملکرد، کارایی مصرف آب و بازده اقتصادی را به همراه داشته است.

۳-۵- بحث

بررسی اثر سطوح آبیاری بر عملکرد نشان داد، کاهش سطح آبیاری تا ۱۰ درصد نسبت به مقدار بهینه، تفاوت معنی‌داری روی عملکرد نخواهد داشت، اما کاهش ۲۰ درصد سبب کاهش چشمگیر عملکرد می‌شود، که با نتایج (Mousavi, Fazl and Akhyani, 2020) (Ebrahimi Pak and Pezra,

کاهش سطح آبیاری، سبب کاهش عملکرد و در نتیجه سبب کاهش ارزش زمین شده است. بررسی اثر ساده روش آبیاری بر ارزش زمین نشان داد، بین دو روش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به این معنی که این روش‌ها به تنهایی تفاوتی روی ارزش زمین ندارند.

۳-۴- مقایسه اثرات متقابل روش آبیاری و سطوح آبیاری روی سه صفت مورد بررسی

جدول ۶ و شکل ۱، اثرات متقابل روش و سطوح آبیاری بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص ارزش زمین را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، اثر متقابل این دو فاکتور بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل نشان می‌دهد، بیشترین عملکرد غده با میزان ۳۰/۴۶ تن در هکتار مربوط به تیمار آبیاری زیرسطحی در سطح ۹۰ درصد نیاز آبی (IL2IM2) است که از نظر آماری در گروه a قرار گرفت و با کلیه تیمارها به جز تیمار آبیاری سطحی در سطح ۸۰ درصد (IL3IM1) اختلاف معنی‌دار دارد. کمترین میزان عملکرد نیز با ۱۸/۰۱ تن در هکتار متعلق به تیمار آبیاری زیرسطحی در سطح ۸۰ درصد (IL3IM2) است.

بیشترین کارایی مصرف آب با مقدار ۶/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار آبیاری زیرسطحی در سطح ۹۰ درصد (IL2IM2) حاصل شد که از نظر آماری در گروه a قرار گرفت. پس از آن، تیمار آبیاری سطحی در سطح ۸۰ درصد

جدول ۶ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری بر کارایی مصرف آب و شاخص ارزش زمین سیب‌زمینی

Table 6 Mean comparison of the interaction effect between different irrigation levels and irrigation methods on water use efficiency and land value index of potato.

ELP(1000 USD/ ha)	WUE (Kg/m3)	Yield (ton/ha)	Treatment
4.1c	4.80c	25.07b	IL1IM1
4.2c	5.63b	26.42b	IL1IM2
2.6b	5.407b	24.07c	IL2IM1
4.3a	6.55a	30.46a	IL2IM2
2.9b	6.22a	25.95b	IL3IM1
2.7d	4.79c	18.01d	IL3IM2

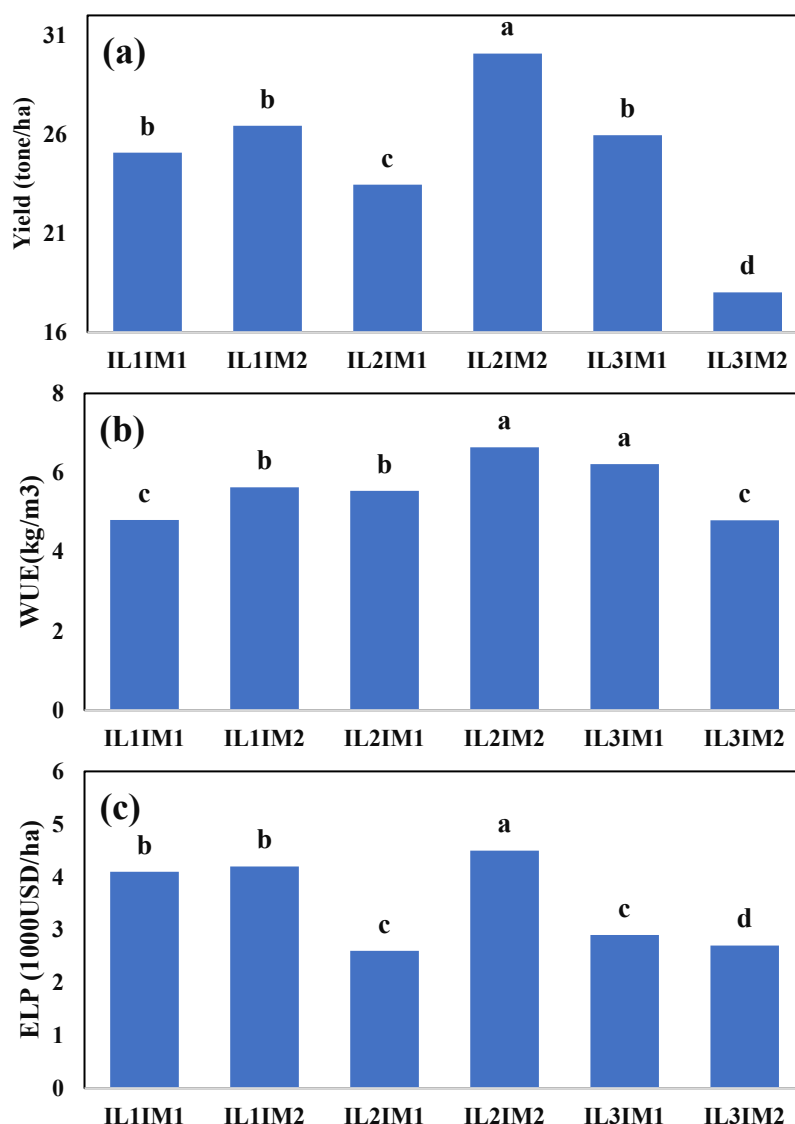


Fig. 1 Interaction of Irrigation Levels and Methods on Yield, Water Use Efficiency and Land Value

شکل ۱ اثر متقابل سطوح و روش‌های آبیاری بر عملکرد، کارایی مصرف آب و ارزش زمین

تجزیه واریانس در بررسی اثر سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب (جدول ۵)، اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۹۰ درصد وجود ندارد ولی بین دو سطح مذکور با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. لذا سطح بهینه برای کارایی مصرف آب، آبیاری ۹۰ درصد است، در این سطح به میزان ۳۵۴/۲ مترمکعب در هکتار آب صرفه‌جویی می‌شود.

نتایج افشار و همکاران (۱۳۹۰)، در بررسی سطوح مختلف آبیاری روی سیب‌زمینی نشان داد، سطح آبیاری ۱۰۰ درصد

(Hassan et al., 2002) (Niu et al., 2024) مبنی بر اثر کم‌آبیاری و تاثیر منفی آن بر عملکرد نیز تاییدکننده این نتایج است. لذا کم‌آبیاری موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود، اما این مقدار کاهش محصول بستگی به زمان اعمال کم‌آبیاری دارد.

براساس نتایج محققین، مرحله تشکیل استولون در سیب‌زمینی حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی است و کم‌آبیاری در این مرحله سبب کاهش عملکرد می‌شود (Mousavi Fazl and Akhyani, 2020) براساس مشاهدات

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری و روش آبیاری سطحی و زیرسطحی، روی سه شاخص عملکرد، ارزش زمین و کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی نشان داد، اثر ساده سطوح و روش آبیاری بر میزان عملکرد محصول، کارایی مصرف آب و شاخص ارزش زمین معنی‌دار است، بیشترین میزان عملکرد محصول و شاخص ارزش زمین در سطح آبیاری ۹۰ درصد و روش آبیاری زیرسطحی رخ داده است، سطح آبیاری ۸۰ درصد و آبیاری زیرسطحی کمترین میزان را داشته است. بنابراین سطح آبیاری ۹۰ درصد در ترکیب با روش آبیاری زیرسطحی، به‌عنوان تیمار بهینه از نظر عملکرد محصول، شاخص ارزش زمین و کارایی مصرف آب بدست آمد.

براساس نتایج، اثر متقابل روش و سطوح آبیاری بر روی سه شاخص اندازه‌گیری، در همه سطوح (۸۰-۹۰-۱۰۰) روش آبیاری (سطحی- زیرسطحی) اختلاف معنی‌دار وجود دارد و ایده‌آل‌ترین سطح آبیاری ۹۰ درصد با روش آبیاری زیرسطحی پیشنهاد می‌شود. که در این منطقه می‌تواند به‌عنوان سطح بهینه مدیریت مزرعه پیشنهاد گردد.

به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نیز با دیگر تحقیقات موجود همخوانی دارد که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت آبیاری در افزایش کارایی مصرف آب و به حداکثر رساندن ارزش زمین است. براساس بررسی‌های موجود، پیشنهاد می‌شود که در شرایط مشابه، کشاورزان از سطوح آبیاری ۹۰ درصد همراه با سیستم‌های آبیاری کارآمد مانند آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده کنند تا به بهترین بازدهی و کارایی مصرف آب دست یابند. این مقایسه می‌تواند به درک بهتر اثرات متقابل روش‌های آبیاری و سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب و ارزش اقتصادی زمین کمک کند و موجب ارتقای روش‌های مدیریتی در کشاورزی شود.

سبب کاهش کارایی و سطح ۷۵ درصد سبب بالا بردن کارایی مصرف آب گردید. نتایج بدست آمده را می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که، کاهش آب آبیاری تا حدود ۹۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی، سبب افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. این سطح از آبیاری علاوه بر سطح بهینه کارایی مصرف آب، عملکرد بالایی را نیز نشان داده است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر (Wang et al., (Lamm et al., 2005) (2018 نشان داد که روش‌های آبیاری زیرسطحی می‌توانند بهبود قابل توجهی در کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری سطحی ایجاد کنند. در این تحقیق، بیشترین شاخص ارزش زمین در سطح نیاز آبی ۹۰ درصد مشاهده شده است (۳/۸۴ میلیارد ریال در هکتار)، که با کاهش سطح آبیاری، ارزش زمین کاهش می‌یابد. این موضوع نیز در بسیاری از مطالعات مورد تایید قرار گرفته است. تحقیقی در (Enahoro and Ofagbe, 2024)، نشان داد که کاهش در عملکرد محصول ناشی از سطوح آبیاری ناکافی، مستقیماً به کاهش ارزش اقتصادی زمین منجر می‌شود. علاوه بر این، در تحقیق دیگری (Hussain et al., 2010) بر اهمیت انتخاب روش مناسب آبیاری در بهبود شاخص ارزش زمین تاکید شده است و نشان داده شده که استفاده از آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نسبت به آبیاری سطحی، منجر به افزایش ارزش زمین می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در کارایی مصرف آب و ارزش زمین بین دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی است، در حالی که بیشترین کارایی به سیستم زیرسطحی اختصاص پیدا کرده است. این یافته‌ها مشابه نتایج مطالعه‌ای توسط (Yang et al., 2000) است که تایید می‌کند آبیاری زیرسطحی به دلیل کاهش تبخیر و بهبود دسترسی رطوبت به ریشه، عملکرد بهتری را به همراه دارد. با این حال، محققانی مانند (Mattar et al., 2022) نشان دادند که تفاوت‌های معنی‌دار بین روش‌های آبیاری می‌تواند بسته به شرایط اقلیمی و نوع خاک متفاوت باشد.

5- List of Symbols

T_d	Amount of water needed(ml/d)
ET_0	Reference plant evapotranspiration

	rate(ml/d)
ET_{crop}	Actual plant evapotranspiration(ml/d)
K_C	Vegetative coefficient
I_x	Maximum irrigation water depth(ml)
AW	Available Water (mm/m)
D_{rz}	Root depth of plant (m)

MAD	Management Allowable Depletion
LR	Leaching Requirement
EC _{iw}	Electrical Conductivity of Irrigation Water (dS/m)
EC _e	Electrical Conductivity of soil Saturation Extract(dS/m)
F _x	Maximum irrigation interval (d)
I _n	Net irrigation requirement per irrigation cycle (mm)
F	Design irrigation interval (d)
T _d	Daily transpiration (mm/d)
P _e	Effective rainfall (mm)
L _n	Net leaching depth (mm)
I _g	Gross irrigation depth (mm)
Ea	Irrigation application efficiency
G	Gross water requirement per plant (L·day ⁻¹ ·tree ⁻¹)
S _p	Plant spacing within the row (m)
S _r	Row spacing or lateral pipe spacing (m)
G _i	Gross water volume required per irrigation cycle (L)
t _a	Irrigation time (h)
N _p	Number of emitters
q _a	Emitter flow rate (L/h)
Y	yield (kg/ha)
V _w	Water consumed by the crop (m ³ /ha)
WUE	Water Use Efficiency(Kg/m ³)
ELP	Land value index(\$/ha)
NB	Net benefit(\$/kg)

Acknowledgments

The authors of the article sincerely thank the Jiroft County Meteorological Department and the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of southern Kerman Province for their cooperation in conducting this research.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, (O. B. and S.R.); Methodology (S. R., O. B. and E. M.); Software (S. R., O. B. and H. R.); data analysis (S. R., O. B. and H. R.); Writing-Original Draft Preparation, (S. R., O. B. and M. R.) Writing-Review and Editing, (S. R., O. B. and E. M.) Supervision, (O. B.)

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research was not financially supported by any organization.

Data Availability Statement

Meteorological data was obtained from the Jiroft Meteorological Office.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Agricultural Statistics of 2016. Agricultural Education Research Organization, 225 p. [in Persian]
- Almeida Silva, M. D, Rhein, A. F. D. L, & Barbosa, A. D. M. 2017. Physiology and Productivity of Sugarcane as Affected by Nitrogen Applied Via Subsurface Drip Irrigation. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 11, 15-28.
- Badr, M.A, Abou Hussein, S.D, El-Tohamy, W.A. et al. Efficiency of Subsurface Drip Irrigation for Potato Production Under Different Dry Stress Conditions. *Gesunde Pflanzen* 62, 63–70. 2010.
- Bocchiola D, Nana E, Soncini A. Impact of climate change scenarios on crop yield a water footprint of maize in the Po valley o Italy. *Agric. Water Manag.* 2013; 116(1): 50–61.
- Doorenbos, J, & Pruitt, W. O. 1988. Crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
- Ebrahimi Pak, N. A, & Pezra, A. 2008. The Effect of Deficit Irrigation in Growth Stages on the Quantity and Quality of Potatoes and Water Use Efficiency *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.4/2009/P: 17-30.* [in Persian]
- El-Shater, T, Yigezu, Y. A, Shideed, K, & Aw-Hassan, A. 2017. Impacts of improved supplemental irrigation on farm income, productive efficiency and risk management in dry areas. *Journal of Water Resource and Protection*, 9(13), 1709-1720.
- Enahoro-Ofagbe, F. E, Ewansiha, S. U, & Iwuozor, K. O. 2024. Integrating irrigation management and soil remediation practices for sustainable agricultural production: advances, challenges, and future directions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1-27.
- FAO. 2021. Potato. FAOSTAT database for agriculture. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements (FAO Irrigation and drainage paper No. 24). Rome.
- Palazzoli I, Maskey S, Uhlenbrook S, Nana E, Bocchiola D. Impact of prospective climate change on water resources and crop yields in the Indrawati basin, Nepal. *Agric. Syst.* 2015; 133(8): 143–157.
- Guan, T, Liu, P, Jia, L, Wu, L, Qin, Y, Shi, X, & Fan, M. 2025. Shallow burial of drip irrigation tape

- improves the water use efficiency of potatoes in semi-arid areas. *Scientific Reports*, 15(1), 5684.
- Hassan, A. A, Sarkar, A. A, Ali, M. H, & Karim, N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stages on the yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 5(2), 128-134.
- Herath I, Green S, Horne D, Singh R, Clothier B. Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production Part I: Measuring the net use of blue and green water. *J. Clean.Prod.* 2014; 81(15): 111-119.
- Hussain, Z, Khan, M. A, & Irfan, M. 2010. Water energy and economic analysis of wheat production under raised bed and conventional irrigation systems: A case study from a semi-arid area of Pakistan. *Soil and Tillage research*, 109(2), 61-67.
- Lamm F.R. 2005. SDI for conserving water in corn production. Northwest research ad extension center. Kansas state university. May 15-19. Alaska. United states.
- Lellis, B.C, Carvalho, D.F, Martínez-Romero, A, Tarjuelo, J.M. and Domínguez, A., 2017. Effective management of irrigation water for carrot under constant and optimized regulated deficit
- Mattar, M.A, Zin El-Abedin, T.K, Al-Ghobari, H.M. et al. Effects of different surface and subsurface drip irrigation levels on growth traits, tuber yield, and irrigation water use efficiency of potato crop. *Irrig Sci* 39, 517-533. 2021
- Bocchiola D, Nana E, Soncini A. Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agric. Water Manag.* 2013; 116(1): 50-61.
- Doorenbos, J, & Pruitt, W. O. 1988. Crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
- Ebrahimi Pak, N. A, & Pezra, A. 2008. The Effect of Deficit Irrigation in Growth Stages on the Quantity and Quality of Potatoes and Water Use Efficiency *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.4/2009/P: 17-30.* [in Persian]
- El-Shater, T, Yigezu, Y. A, Shideed, K, & Aw-Hassan, A. 2017. Impacts of improved supplemental irrigation on farm income, productive efficiency and risk management in dry areas. *Journal of Water Resource and Protection*, 9(13), 1709-1720.
- Enahoro-Ofagbe, F. E, Ewansiha, S. U, & Iwuozor, K. O. 2024. Integrating irrigation management and soil remediation practices for sustainable agricultural production: advances, challenges, and future directions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1-27.
- FAO. 2021. Potato. FAOSTAT database for agriculture. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements (FAO Irrigation and drainage paper No. 24). Rome.
- Guan, T, Liu, P, Jia, L, Wu, L, Qin, Y, Shi, X, & Fan, M. 2025. Shallow burial of drip irrigation tape improves the water use efficiency of potatoes in semi-arid areas. *Scientific Reports*, 15(1), 5684.
- Hassan, A. A, Sarkar, A. A, Ali, M. H, & Karim, N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stages on the yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 5(2), 128-134.
- Hussain, Z, Khan, M. A, & Irfan, M. 2010. Water energy and economic analysis of wheat production under raised bed and conventional irrigation systems: A case study from a semi-arid area of Pakistan. *Soil and Tillage research*, 109(2), 61-67.
- Lamm F.R. 2005. SDI for conserving water in corn production. Northwest research ad extension center. Kansas state university. May 15-19. Alaska. United states.
- Lellis, B.C, Carvalho, D.F, Martínez-Romero, A, Tarjuelo, J.M. and Domínguez, A., 2017. Effective management of irrigation water for carrot under constant and optimized regulated deficit
- Mattar, M.A, Zin El-Abedin, T.K, Al-Ghobari, H.M. et al. Effects of different surface and subsurface drip irrigation levels on growth traits, tuber yield, and irrigation water use efficiency of potato crop. *Irrig Sci* 39, 517-533. 2021
- Mousavi Fazl, S.N, & Akhyani, A. 2020. Effect of Irrigation Water and Nitrogen Fertilizer on the Yield, Quality and Water Productivity of Potato Crop in Drip Irrigation (Tape) Method. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, No.4, Vol.14, Oct.-Nov.p. 1227-1239. [in Persian]
- Niu, Y., Zhang, K., Khan, K. S, Fudjoe, S. K, Li, L, Wang, L., & Luo, Z. 2025. Deficit Irrigation as an Effective Way to Increase Potato Water Use Efficiency in Northern China: A Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(7), 1533.
- Onder, S, Caliskan, M. E, Onder, D, & Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. In *Agricultural Water Management* (Vol. 73, Issue 1, pp. 73-86). Elsevier BV.
- Sattari M. 2017. Water crisis in Iran, the first meeting of thinking with experts of water science and environment of the Ministry of Energy.
- Shamsi Mahmoudabadi, H, Barkhordari, V, Moghbeli Damaneh, E. Study Effect of Irrigation Method and Level on Yield, Water Use

- Efficiency and Quality of Alfalfa. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 1023-1037. [in Persian]
- Vojdani, H. 2022. An Analysis of Potato Production in Iran and the World and its Role in Food Security. *Potato Applied Science Extension Journal* (Vol. 5 - No. 1), 35-44. [in Persian]
- Wang, S, Jiao, X, Guo, W, Lu, J, Bai, Y, & Wang, L. 2018. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. *PLoS ONE*, 13(4), 1-5.
- Yang, M. D, Leghari, S. J, Guan, X. K, Ma, S. C, Ding, C. M, Mei, F. J, & Wang, T. C. 2020. Deficit subsurface drip irrigation improves water use efficiency and stabilizes yield by enhancing subsoil water extraction in winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11, 508.