نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۲۰، مهر - آبان ۱۴۰۵، ص. ۵۳۱-۵۱۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 20, Oct.-Nov. 2026, p. 519-531

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های آب و انرژی تولید یونجه تحت سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

مهدی اکبری[1*] و رحیم علیمحمدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵

چکیده

باتوجه به اینکه بخش کشاورزی بخش عمده‌ای از مصارف آب و انرژی کشور را به خود اختصاص داده است، هر گونه کاهش مصرف آب و انرژی در این بخش می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری درکشور ایفاد نماید. در این پژوهش میزان حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب یونجه در شرایط مدیریت کشاورزان در ۲۰ مزرعه منتخب در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی، منابع مختلف آب، خاک، شوری‌های آب آبیاری و ارقام یونجه در استان چهارمحال و بختیاری در سال زراعی۱۳۹۸-۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. در این تحقیق شاخص‌های مختلف آب و انرژی شامل حجم آب آبیاری، عملکرد، بهره‌وری آب، انرژی آبیاری، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی در کشت یونجه در دو روش آبیاری بارانی و سطحی، در شرایط مدیریت کشاورزان اندازه‌گیری و مقایسه گردید. براساس نتایج، مقادیر میانگین حجم آب آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به‌ترتیب ۸۵۵۲ و ۱۰۴۴۲ مترمکعب در هکتار و بهره‌وری آب ۱/۷۰ و ۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود که تفاوت آنها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی، حجم آب آبیاری حدود ۱۸ درصد کاهش و بهره‌وری آب آبیاری مزارع یونجه ۳۵ درصد افزایش یافته است. نتایج شاخص‌های انرژی نشان داد، اگر چه میزان انرژی آبیاری، در روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به‌ترتیب ۷۶۳۳۲ و ۵۳۷۳۹ مگاژول بر هکتار و اختلاف معنی‌داری داشت، ولی شاخص‌های افزوده خالص انرژی، نسبت انرژی و بهره وری انرژی در دو سامانه مذکور اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. مقدار بهره‌وری انرژی یونجه در دو روش آبیاری مذکور ۰/۱۴ کیلوگرم بر مگاژول و نسبت انرژی در دو سامانه بارانی و سطحی به‌ترتیب ۲/۴۴ و ۲/۴۵ بدست آمد و نشان داد که تولید یونجه از نظر انرژی از کارایی بالایی برخوردار است. با توجه به نتایج این پژوهش و کمبود آب در کشور، برای کاهش حجم آب آبیاری و افزایش بهره وری آب در تولید یونجه استفاده از روش آبیاری بارانی با در نظر گرفتن پایداری املاح در خاک و رعایت شرایط فنی سامانه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب و انرژی، حجم آب آبیاری، عملکرد، یونجه

مقدمه

بخش کشاورزی به عنوان مهمترین بخش تولید کنندهٔ مواد غذایی کشور نه تنها مصرف کنندهٔ انرژی است بلکه مهمترین عرضه کنندهٔ انرژی نیز محسوب می‌شود. با توجه به مصرف بالای آب و انرژی در بخش کشاورزی و همچنین اهمیت این دو منبع در تأمین امنیت غذایی کشور، استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری آن‌ها، یکی از راهکارهای اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی است. با توجه به محدودیت منابع طبیعی و تأثیر مصرف انرژی بر سلامت انسان و محیطزیست، بایستی همواره نحوهٔ استفاده از انرژی در کشاورزی و اثرات زیست محیطی منتج از آن، مد نظر قرار گیرد، در این راستا برآورد دقیق و تعیین شاخص‌های مدیریتی، از قبیل میزان انرژی و آب آبیاری و بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور، از مهم‌ترین ابزارها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی آب و انرژی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است.

یونجه یکی از گیاهان مهم علوفه‌ای است که به طور گسترده در بسیاری از کشورهای جهان از جمله چین، ایالات متحده، اروپا و

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج- ایران
۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: mehdiakbari4364@gmail.com)

استرالیا کاشته می‌شود(Diatta et al., 2021; Rahman et al., 2025; Zhang et al., 2018). نتایج آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی نشان داد که تولید یونجه در ایران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸حدود ۶/۱ میلیون تن با سطح زیرکشت ۵۶۶ هزار هکتار و متوسط عملکرد ۱۰/۸ تن در هکتار بوده است. از قطب های اصلی تولید یونجه در کشور می‌توان به استان‌های چهارمحال و بختیاری، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کرمان، همدان، اصفهان، فارس، خوزستان، زنجان، قزوین، مرکزی و خراسان‌رضوی اشاره کرد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). نیاز آب آبیاری در یونجه تابعی از طول دوره رشد، روش آبیاری، بافت خاک و اقلیم منطقه است.

یونجه علاوه بر تأمین علوفه دام، با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به صورت گیاهان پوششی نقش مهمی را در جایگزینی کودهای مصنوعی دارد (Elgharably et al., 2021). یونجه را می‌توان در اقلیم‌ها و بافت‌های مختلف خاک، حتی اراضی شنی و زمین های شور-قلیایی با حاصلخیزی ضعیف کشت نمود، ولی تحت شرایط شوری آب و خاک نیاز آبی گیاه افزایش یافته و آبیاری باید بسته به شرایط آب و هوایی، برای تولید محصول اقتصادی انجام شود (Qiu et al., 2021; Zhang et al., 2018). بنابراین، آگاهی از میزان آب و انرژی آبیاری، و بهره‌وری آب و انرژی یونجه می‌تواند کمک موثری به تصمیم‌گیری توسعه کشت، متناسب با نیاز آبی و عملکرد دشت‌های مختلف کشور بنماید.

نتایج تحقیقات انجام شده در کالیفرنیا نیز نشان داد که یونجه از گیاهانی است که بیشترین نیاز آبی را دارد و تقریبا بزرگترین مصرف کننده آب در بین گیاهان زراعی کالیفرنیا بوده است (Attram et al., 2016). تنش‌های نامطلوب رایج در محیط رشد گیاه از جمله تنش خشکی و شوری، فتوسنتز و رشد گیاه را تحت تاثیر قرار داده و منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داد که کم آبیاری، عملکرد یونجه را کاهش داده است، ولی موجب شده است که از آب ذخیره شده در پروفیل خاک به طور مؤثرتری استفاده شود و بهره‌وری آب افزایش یابد (Djaman et al., 2020; Montazar et al., 2020; Gao et al., 2020). نتایج بررسی‌ها، حاکی از آن است که میزان افزایش بهره‌وری آب آبیاری با استفاده از ارقام و رژیم آبیاری مناسب و تامین نیاز آبی گیاه، مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. مطالعات نشان می‌دهد که بهره‌وری آب برای تولید یونجه ۰/۸۹ تا ۱/۵۲ و حداکثر ۲ کیلوگرم بر مترمکعب است (Yan et al., 2020; Balik et al., 2001).

در خصوص تاثیر روش‌های آبیاری بر حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب و تولید یونجه در ایران و جهان تحقیقات زیادی انجام شده است که از آن‌جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در مطالعه‌ای در ایالات متحده امریکا، عملکرد و بهره‌وری آب یونجه در اراضی دیم دشت بزرگ مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در این دشت عملکرد محصول یونجه خشک از ۰/۹ تا ۱۹ تن در هکتار متنفاوت بوده است و میانگین بهره‌وری آب۳/۴ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است(Fink et al., 2022). در مطالعه دیگری ارزیابی بهره‌وری آب یونجه خشک تحت آبیاری سامانه آبیاری سنترپیوت در سه پروژه مختلف در سودان مورد بررسی قرار گرفت نتایج این تحقیق نشان داد که بهره‌وری آب در سه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب، ۰/۴۵، ۰/۳۸ و ۰/۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بوده است (Abdeldaim et al., 2018).

نتایج اندازه‌گیری میزان آب کاربردی یونجه در ۳۰۰ مزارع تحت مدیریت کشاورزان در قطب‌های تولید این محصول در کشور نشان داد که دامنه تغییرات حجم آب کاربردی در مزارع منتخب کشور زیاد و بین ۴۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ با میانگین وزنی ۱۳۲۸۴مترمکعب در هکتار بوده است. اختلاف عملکرد خشک یونجه در مزارع منتخب کشور نیز بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ و میانگین وزنی ۱۴۲۹۴کیلوگرم بر هکتار گزارش شده است. در این تحقیق، تغییرات بهره‌وری آب آبیاری با توجه به حجم آب کاربردی در مزارع منتخب کشور و عملکرد متناظر بین ۰/۲ تا ۴/۵ و میانگین بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب و بارش موثر به ترتیب ۱/۳۲ و ۱/۲۵ کیلوگرم برمترمکعب تعیین شده است. میانگین آب کاربردی یونجه کشور در دو روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب برابر ۱۵۰۷۶ و ۱۰۶۵۳ مترمکعب در هکتار بود که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین عملکرد یونجه خشک در روش آبیاری بارانی ۱۱۵۵ کیلوگرم بر هکتار(۸ درصد) بیشتر از روش آبیاری سطحی بوده است. این نتایج نشان می دهد که استفاده از روش آبیاری بارانی توانسته است علاوه بر کاهش ۳۰ درصدی آب آبیاری، عملکرد محصول را افزایش دهد و نقش موثری در افزایش تولید یونجه در کشور داشته باشد. میانگین بهره‌وری آب آبیاری و بارش موثر در محصول یونجه در روش‌های آبیاری سطحی، و بارانی به ترتیب معادل ۱/۰۵ و ۱/۴۸کیلوگرم بر مترمکعب بود و نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری و بارش موثر در روش آبیاری بارانی حدود ۴۰ درصد افزایش داشته است(اکبری و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به کمبود منابع آب در کشور و جهان، یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه آب، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری گزارش شده است(Elnshar and Elyamany, 2023; Ahmed et al,. 2023) لیک این سامانه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای انرژی مصرفی توزیع آب در مزرعه را افزایش می‌دهند(Belaud et al., 2019; Zhao et al., 2020; Lemes et al., 2023). بنابراین برای دستیابی به پایداری منابع، مدیریت هماهنگ منابع آب و انرژی امری ضروری است(Li, 2023; Peng et al., 2024).

آبیاری به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی، در تولیدات محصولات کشاورزی محسوب می‌شود، این موضوع در

سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار بیشتر نمایان است، بنابراین بررسی و شناخت میزان مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است(طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). نتایج برخی از تحقیقات جهانی حاکی از آن است که کاربرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار در شرایطی که انرژی مورد نیاز توزیع آب در مزرعه از طریق انرژی ثقلی تامین نشود، انرژی مصرفی آبیاری در مزرعه می‌تواند تا ۷۰ درصد افزایش یابد(Belaud et al., 2019). افضلی‌نیا (۱۳۹۹) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافت که بیش از ۷۲ درصد مصرف انرژی در تولید گندم مربوط به آب آبیاری و الکتریسته برای استحصال آب بود. در مطالعه‌ای، میزان مصرف انرژی درحوزه زراعی کشور ایران تعیین و نشان داده شد که عملیات آبیاری با ۸۸۱۱۱ مگاژول بر هکتار، ۹۱ درصد از کل انرژی مصرفی در این بخش را به خود اختصاص داده است (BeheshtiTabar et al., 2010). متأسفانه در کشور ما هدف اصلی تولیدکنندهٔ بخش کشاورزی، حداکثر کردن سود تولید از طریق افزایش حداکثری عملکرد محصول با صرف بیشتر نهاده‌های قابل‌دسترس است، بنابراین افزایش بهره‌وری آب و انرژی علاوه بر حفظ تعادل مصرف نهاده‌ها و عملکرد تولید، موجب کاهش هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و مخاطرات زیست‌محیطی در تولید محصولات کشاورزی می‌شود.

اصغرپور و همکاران(۲۰۱۶) میزان انرژی مصرفی و انرژی تولیدی یونجه در استان سیستان و بلوچستان را به ترتیب ۳۱۳۵۰۰، ۹۶۲۹۰۰ مگاژول بر هکتار و شاخص‌های راندمان انرژی و بهره‌وری انرژی محصول یونجه خشک را به ترتیب ۳/۱ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مگاژول گزارش کردند. نتایج این این تحقق نشان داد که ۷۲/۵ درصد از انرژی مصرفی در تولید یونجه مربوط به انرژی مصرفی آب آبیاری بوده است.

حیدری سلطان‌آبادی (۱۴۰۰) میزان انرژی مصرفی و تولیدی یونجه را در ۲۴ شهرستان استان اصفهان اندازه‌گیری نمود. براساس این نتایج، انرژی مصرفی در تولید یونجه در استان اصفهان به‌ترتیب ۱۲۸۶۲۰ و انرژی تولیدی این محصول ۱۶۷۲۱۷ مگاژول بر هکتار برآورد گردید. این نتایج نشان داد که مقدار انرژی مصرفی مربوط به آب و آبیاری در تولید یونجه ۹۴۵۶۷ مگاژول بر هکتار بوده است و ۷۶ درصد، از کل انرژی‌های مصرفی را به خود اختصاص داده است. در این بررسی میزان بهره‌وری انرژی یونجه ۰/۰۸۲ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شده است.

طهماسبی و زارع ابیانه(۱۴۰۴)، شاخص‌های بیلان انرژی تولید یونجه در پایاب سد مخزنی سورال استان کردستان را بررسی و میزان انرژی مصرفی تولید یونجه را در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی را ۳۹۱۴۸ و ۵۲۰۵۵ مگاژول بر هکتار بدست آوردند. لازم به ذکر است که در این شبکه، فشاز مورد نیاز سامانه‌های آبیاری از طریق اختلاف ارتفاع سطح آب بالادست سد مخزنی و سطح اراضی با ایجاد یک شبکه تحت فشار در پایین دست سد مخزنی تامین شده است و علت تفاوت مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری، میزان مصرف زیاد آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری سطحی گزارش شده است. عدم مدیریت صحیح آب و کود در سامانه‌های آبیاری سطحی موجب کاهش عملکرد و انرژی تولیدی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی در سامانه‌های سطحی و بارانی به ترتیب، ۳/۶۴، ۵/۸۵ و ۰/۲۹، ۰/۳۷ کیلوگرم بر مگاژول بوده است.

نقش اساسی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی بر کسی پوشیده نیست. از طرفی شرایط خاص استان چهارمحال و بختیاری در تأمین آب مورد نیاز محصولات مختلف، ضرورت بررسی بهره‌وری آب و انرژی را در تولید محصولات مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این‌که میزان سطح زیرکشت گیاه یونجه در استان چهارمحال و بختیاری قابل‌ملاحظه بوده و این استان از قطب‌های اصلی تولید یونجه در کشور است، اطلاع از میزان آب، انرژی و بهره‌وری آب و انرژی یونجه، می‌تواند به متولیان کشاورزی استان جهت مدیریت مناسب مصرف آب و انرژی در تولید این محصول کمک کند. هدف از این تحقیق، برآورد میزان آب و شاخص‌های انرژی شامل انرژی خالص، کارآیی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی در تولید محصول یونجه در دو روش آبیاری سطحی و بارانی تحت مدیریت زارعین بود.

مواد و روش‌ها

این پروژه یک پژوهش میدانی است که به منظور تعیین حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب و انرژی مصرفی آبیاری محصول یونجه تحت مدیریت کشاورزان و بدون دخالت کارشناس در ۲۰ مزرعهٔ استان چهارمحال و بختیاری که از قطب‌های اصلی تولید یونجه در کشور است، در طول فصل زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷) اجرا شد. مزارع مورد نظر با مشورت کارشناسان معاونت بهبود تولیدات گیاهی و مدیریت آب و خاک و امور فنی و مهندسی جهاد کشاورزی استان، انتخاب شدند. در ابتدای کار ضمن مراجعه به مزارع انتخابی و گفتگو با بهره‌برداران اطلاعاتی از قبیل روش کاشت، سطح زیرکشت و نحوهٔ مدیریت آبیاری محصول یونجه کسب شد. در ادامه مشخصات و موقعیت مزارع توسط یک دستگاه GPS و شوری آب توسط شوری‌سنج پرتابل تعیین گردید. سپس برای اندازه‌گیری مقدار دبی منبع آبی هر مزرعه براساس شرایط موجود از فلوم WSC / کنتور حجمی/ادوات الکترونیکی و یا دبی‌سنج اولتراسونیک استفاده شد. برای تعیین بافت و شوری خاک مزارع یک نمونه مخلوط از خاک هر مزرعه به آزمایشگاه منتقل شد. پس از انجام مقدمات ذکر شده مراحل اجرای پروژه به شرح زیر انجام گرفت:

- محاسبهٔ میزان حجم آب آبیاری یونجه در هر نوبت آبیاری:

برای تعیین میزان حجم آب آبیاری یونجه در هر نوبت، ابتدا دبی ورودی به کرت انتخابی در روش آبیاری سطحی به وسیلهٔ فلوم و در روش آبیاری بارانی با کنتور حجمی یا دبی‌سنج اولتراسونیک تعیین و با در نظر گرفتن زمان آبیاری و سطح کرت از رابطهٔ ۱ محاسبه شد:

$$V_{iw} = Q \times t \times \frac{10000}{A} \quad (۱)$$

در رابطهٔ فوق، V_{iw} حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار، Q دبی ورودی به کرت برحسب مترمکعب بر ساعت، t زمان آبیاری برحسب ساعت و A مساحت کرت برحسب مترمربع است. در طول فصل زراعی مذکور بارش موثر از روش SCS برآورد گردید و به میزان حجم آب آبیاری اضافه گردید تا میزان آب ورودی به مزرعه (Va) به دست آید.

- محاسبهٔ بهره‌وری آب:

پس از تعیین میزان عملکرد محصول یونجه، بهره‌وری آب (مجموع آب آبیاری و بارش موثر) با استفاده از رابطهٔ ۲ تعیین گردید:

$$\text{بهره وری آب} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب ورودی مزرعه}} \quad (۲)$$

در رابطهٔ فوق، بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد برحسب کیلوگرم و آب ورودی به مزرعه برحسب مترمکعب است.

کارایی انرژی یک نظام تولید کشاورزی را می‌توان از طریق هم ارزی انرژی علمکرد تولید و هم ارزی انرژی تمامی نهاده‌ها و عملیات زراعی مورد استفاده تعیین کرد. از مهمترین نوع مصرف انرژی در کشاورزی می‌توان به آبیاری، کودهای شیمیایی و بکارگیری ماشین‌های کشاورزی اشاره کرد. در این بررسی انرژی معادل ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبه و یا برآورد شدند و سپس کارایی مصرف انرژی (نسبت انرژی)، بهره‌وری انرژی و افزوده انرژی خالص برای محصول یونجه تعیین گردید. نهاده‌ها شامل آب آبیاری، الکتریسته، حمل و نقل، سموم، کود، بذر، نیروی انسانی، سوخت، ماشین‌های کشاورزی، و انرژی خروجی شامل انرژی یونجه خشک تولیدی بودند. در این پژوهش انرژی هم ارز هر کیلوگرم یونجه خشک ۱۷/۷۷ مگاژول در نظر گرفته شد (حیدری سلطان آبادی، ۱۴۰۰). در این تحقیق انرژی مصرفی مستقیم و غیر مستقیم آب و آبیاری به شرح ذیل محاسبه شد و برای برآورد انرژی‌های مصرفی سایر نهاده‌ها از میانگین نتایج اندازه‌گیری شده مزارع یونجه در دو شهرستان فریدن و سمیرم استان اصفهان استفاده شد (حیدری سلطان آبادی، ۱۴۰۰).

- محاسبهٔ انرژی آبیاری:

انرژی آبیاری: انرژی مستقیم مصرفی برای استحصال آب و رساندن آب به گیاه را می توان از طریق محاسبه انرژی معادل برق یا سوخت مصرفی در پمپ‌های مورد استفاده محاسبه نمود (الماسی و همکاران، ۱۳۷۸). علاوه بر این، از طریق رابطهٔ ۳ نیز می‌توان آن را محاسبه کرد(Kitani, 1999):

$$E_{ir} = \left(\frac{\delta.g.H.Q}{n_1.n_0}\right)/1000000 \quad (۳)$$

در رابطهٔ فوق، E_{ir} انرژی پمپاژ آب از چاه بر حسب مگاژول بر هکتار، δ چگالی آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، g شتاب جاذبه برحسب متر بر مجذور ثانیه، H هد یا سطح دینامیکی چاه بر حسب متر، Q کل آب آبیاری گیاه یونجه طی دوره رشد بر حسب مترمکعب در هکتار، n_1 بازده پمپ و n_0 بازده کلی تبدیل توان در الکتروموتور یا موتور دیزلی است (الماسی و همکاران، ۱۳۷۸). در این تحقیق باتوجه به اینکه آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود، برای سامانه‌های آبیاری سطحی، سطح دینامیکی چاه در نظر گرفته شد و میزان انرژی مصرفی برای استخراج آب آبیاری تعیین شد. با توجه به اینکه در سامانه‌های آبیاری بارانی علاوه بر انرژی استخراج آب از چاه باید انرژی مورد نیاز سامانه برای توزیع آب در مزرعه توسطه آبپاش‌ها تامین گردد، بنابراین در سامانهٔ‌های آبیاری بارانی علاوه بر سطح دینامیکی چاه، هد دینامیکی سامانه آبیاری (۵۰ متر) نیز در نظر گرفته شد. و محاسبات انجام گرفت. همچنین پس از محاسبهٔ انرژی مستقیم آبیاری، برای در نظرگرفتن انرژی غیر مستقیم لازم برای تولید تجهیزات آبیاری(پمپ، لوله، اتصالات و تجهیزات آبیاری) ۲۰ درصد به انرژی آبیاری اضافه گردید(الماسی و همکاران، ۱۳۷۸).

محاسبه شاخص‌های انرژی:

نسبت انرژی[1]: نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کل انرژی خروجی (ستانده) و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید است. این شاخص فاقد واحد بوده و به عبارتی، مقدار انرژی به‌دست آمده به ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید محصول است.

افزوده خالص انرژی[2]: بیانگر اختلاف بین کل انرژی تولیدی و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید و واحد آن مگاژول است. به عبارتی بیلان انرژی در تولید محصول را نشان می‌دهد.

بهره‌وری انرژی[3]: نسبت محصول تولیدی به کل انرژی صرف شده در عوامل تولید است. واحد این شاخص کیلوگرم بر مگاژول و به عبارتی، مقدار محصول تولیدی به ازای یک واحد انرژی مصرفی است.

1- Energy ratio
2- Net energy
3- Energy productivity

جدول ۱- برخی از مشخصات آب و خاک مزارع منتخب یونجه

کد مزرعه	شهرستان	اقلیم	روش آبیاری	سطح ایستابی m	سطح کل ha	سطح یونجه ha	بافت خاک	دبی (L/s)	شوری آب(dS/m)	شوری خاک (dS/m)
A1	شهرکرد	مدیترانه ای سرد	بارانی فشار	۸۰	۲۵	۳	لومی رسی شنی	۳۸	۰/۴	۰/۵
A2	شهرکرد	نیمه خشک سرد	بارانی	۶۰	۳۸	۴	لومی رسی	۲۸	۰/۴	۰/۴
A3	شهرکرد	مدیترانه ای سرد	بارانی	۵۰	۱۰	۵	لومی رسی	۴۰	۰/۳	۱/۱
A4	شهرکرد	مدیترانه ای سرد	بارانی	۵۰	۷۵	۱	لومی رسی شنی	۶۵	۰/۷	۰/۵
A5	شهرکرد	نیمه خشک سرد	بارانی	۶۰	۷۲	۴	لومی رسی شنی	۳۵	۰/۶	۰/۶
A6	شهرکرد	نیمه خشک سرد	سطحی	۷۰	۲۴	۳	لومی رسی شنی	۷	۰/۶	۰/۷
A8	شهرکرد	مرطوب فراسرد	بارانی فشار	۵۸	۱۶	۹	لومی رسی شنی	۱۰	۰/۵	۰/۶
A10	شهرکرد	مرطوب فراسرد	سطحی	۵۵	۲۲	۳	لومی رسی شنی	۱۴	۰/۵	۱/۲
A11	شهرکرد	نیمه خشک فراسرد	سطحی	۸۰	۴۵	۶	لومی رسی شنی	۳۸/۵	۰/۴	۰/۵
A12	شهرکرد	نیمه خشک سرد	بارانی فشار	۶۰	۲۵	۲	لومی رسی شنی	۳۰/۶	۰/۴	۰/۴
A13	شهرکرد	مدیترانه ای سرد	سطحی	۶۰	۳۵	۲	لومی رسی	۴۵	۰/۶	۰/۷
A16	بروجن	نیمه خشک فراسرد	سطحی	۶۵	۳۵	۵	لومی رسی	۳۲	۰/۹	۱
A17	بروجن	نیمه خشک فراسرد	بارانی فشار	۷۳	۳۷	۱۰	لومی رسی	۲۴	۰/۹	۱/۵
A18	بروجن	نیمه خشک سرد	بارانی فشار	۷۰	۲۲	۷	لومی رسی شنی	۲۵	۱/۸	۲/۳
A19	بروجن	نیمه خشک فراسرد	بارانی فشار	۷۰	۲۶	۳	لومی رسی شنی	۱۸	۰/۴	۰/۵
A22	بروجن	نیمه خشک فراسرد	بارانی فشار	۶۰	۲۰	۳	لومی رسی شنی	۸	۰/۷	۰/۷
A23	بروجن	مدیترانه ای فراسرد	بارانی فشار	۶۵	۳۵	۱۰	لومی رسی شنی	۳۵	۰/۸	۰/۸
A24	بروجن	مرطوب فراسرد	سطحی	۷۰	۱۷	۷	لومی رسی	۱۵	۰/۴	۱
A26	بروجن	مرطوب فراسرد	سطحی	۷۰	۳۷	۲	لومی رسی	۱۹	۰/۳	۰/۸
A27	بروجن	مرطوب فراسرد	بارانی فشار	۶۵	۲۲	۶	لومی رسی	۱۴	۰/۶	۱

انرژی ویژه[1]: انرژی ویژه بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی کارکرد مصرف انرژی در سیستم‌های مختلف تولید محصول مد نظر قرار گیرد. این شاخص عکس بهره‌وری انرژی است. به عبارت دیگر، انرژی ویژه نشاندهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول بوده و واحد آن مگاژول بر کیلوگرم است.

برای بررسی تغییرات عملکرد، حجم آب کاربردی و شاخص بهره‌وری آب و انرژی در تولید یونجه در استان چهارمحال و بختیاری از تحلیل واریانس استفاده شد. نظر به ماهیت اندازه‌گیری‌ها، هر مزرعه یونجه به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

جدول ۱، اطلاعات کلی ۲۰ مزرعه انتخابی را نشان می‌دهد که منبع آبی همهٔ مزارع چاه بوده است.

براساس داده‌های جدول مذکور، مقادیر دبی چاه‌ها از ۷تا ۶۵ لیتر در ثانیه، شوری آب چاه‌ها از ۰/۳ تا ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک ۰/۴ تا ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر، سطح زیرکشت یونجه از ۱ تا ۱۰ هکتار و بافت خاک از متوسط تا نسبتاً سنگین متغیر بود. روش آبیاری در ۷ مزرعه سطحی و در ۱۳ مزرعه بارانی بود.

جدول ۲، مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده شامل آب کاربردی، عملکرد محصول، انرژی آبیاری، انرژی تولیدی، افزوده انرژی خالص، نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی، بهره‌وری آب و انرژی در هر کدام از مزارع را به‌همراه میانگین کلی پارامترهای مذکور بدون تفکیک روش آبیاری نشان می‌دهد. براساس مقادیر ارائه شده در جدول مذکور، تغییرات انرژی مصرفی آب آبیاری از ۳۰۱۵۷ تا ۱۱۲۲۸۲ مگاژول در هکتار با انحراف معیار ۲۰۴۸۸ و میانگین ۶۸۴۲۵ مگاژول در هکتار است. نتایج نشان می‌دهد که انرژی مصرفی در آبیاری دارای تغییرات زیادی است که عمدتاً به میزان آب مصرفی، نوع سامانه آبیاری و عمق پمپاژ آب بستگی داشته و بیشترین سهم را در انرژی مصرفی دارد که با نتایج تحقیقات انجام شده از جمله حیدری سلطان آبادی(۱۴۰۰)، خلیلی و علیزاده (۱۳۸۸) مطابقت دارد. میزان عملکرد یونجه در مزارع مختلف بسته به مدیریت مزرعه متفاوت و در نتیجه انرژی تولیدی یونجه آن نیز متفاوت است. نتایج جدول ۲ نشان داد که تغییرات انرژی تولیدی از ۱۲۴۹۲۳ تا ۳۴۹۴۲۹ مگاژول بر هکتار با انحراف معیار ۵۸۵۶۳ و میانگین، ۲۲۸۹۶۸ مگاژول بر هکتار است. این شاخص به کلیه عوامل موثر در عملکرد محصول وابسته است. به عبارت دیگر کلیه عوامل به‌زراعی و به نژادی در این شاخص موثر است.

تغییرات شاخص افزوده انرژی خالص مزارع مورد مطالعه از ۶۲۵۱ تا ۲۳۳۴۱۵ مگاژول بر هکتار با میانگین ۱۳۲۲۴۴ مگاژول بر هکتار بود و نشان داد که تولید یونجه از منظر بیلان انرژی در استان چهارمحال و بختیاری مثبت و انرژی تولیدی یونجه در تمام مزارع بیشتر از انرژی مصرفی است. همچنین شاخص نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی برای تولید یونجه در این استان از ۱/۰۵ تا ۳/۵۷ و انحراف معیار ۰/۶۷ و میانگین ۲/۴۵ بدست آمد که حاکی از کارآیی بالای انرژی تولیدی به ازائ یک واحد انرژی مصرفی در تولید محصول یونجه است. این شاخص برای محصول یونجه در استان اصفهان۱/۳ (حیدری سلطان آبادی، ۱۴۰۰) و برای استان سیستان و بلوچستان۳/۱ (اصغرپور و همکاران،۲۰۱۶) گزارش شده است. میانگین شاخص بهره‌وری آب و انرژی برای تولید یونجه در مزارع انتخابی به‌ترتیب ۱/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۱۴ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد که با سایر تحقیقات انجام شده در کشور از جمله اکبری و همکاران(۱۴۰۲)، غلامی و همکاران(۱۳۹۵) مطابقت دارد. نتایج مطالعات جهانی نیز نشان داد که بهره‌وری آب برای تولید یونجه ۰/۸۹ تا ۱/۵۲ و حداکثر ۲ کیلوگرم بر مترمکعب است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Yan et al., 2020; Balik et al., 2001).

تاثیر روش‌های آبیاری بر میزان آب و انرژی

نتایج تجزیه واریانس حجم آب ورودی، عملکرد، انرژی آبیاری، انرژی تولیدی و شاخص بهره‌وری آب در تولید یونجه در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی در استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که تاثیر روش‌های آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است اما اختلاف سایر شاخص‌های افزوده انرژی خالص، نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی و بهره‌وری انرژی در روش‌های آبیاری مذکور معنی دار نشد (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد، اگر چه در روش آبیاری بارانی مقدار انرژی تولیدی بیشتر از انرژی تولیدی در روش آبیاری سطحی بوده است، ولی در این روش آبیاری، به علت نیاز به تامین انرژی لازم برای توزیع آب در سطح مزرعه توسط آبپاش‌ها، انرژی مصرفی نیز افزایش یافته است به عبارت دیگر، انرژی خالص تولیدی در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی اختلاف معنیداری نداشته است.

نتایج ارزیابی میزان آب آبیاری در ۲۰ مزرعه یونجه منتخب در استان نشان داد که تغییرات حجم آب مزارع در روش سطحی از حدود ۸۱۰۵ تا ۱۳۰۷۰ مترمکعب بر هکتار با میانگین ۱۰۴۴۲ و انحراف از معیار ۲۰۷۴ مترمکعب در هکتار و در روش بارانی از ۶۳۴۵ تا ۱۱۸۴۰ با میانگین ۸۵۵۲ و انحراف از معیار ۱۷۷۵ مترمکعب در هکتار متغیر بوده است.

1- Specific energy

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آب و انرژی اندازه‌گیری و محاسبه شده مزارع

کد مزرعه	آب کاربردی(مترمکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	انرژی آبیاری (مگاژول بر هکتار)	انرژی تولیدی (مگاژول)	افزوده انرژی خالص(مگاژول)	نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی	بهره‌وری آب (کیلو گرم بر مترمکعب)	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)
A1	۶۳۵۳	۱۴۸۵۵	۶۲۹۴۷	۲۶۳۹۷۳	۱۷۲۷۲۶	۲/۸۹	۲/۳۴	۰/۱۶
A2	۱۰۴۳۳	۷۰۳۰	۹۰۳۷۲	۱۲۴۹۲۳	۶۲۵۱	۱/۰۵	۰/۶۳	۰/۰۶
A3	۶۳۴۵	۱۴۰۸۸	۴۹۷۹۶	۲۵۰۳۴۴	۱۷۲۲۴۸	۳/۲۱	۲/۲۲	۰/۱۸
A4	۷۱۱۸	۱۶۹۴۷	۵۶۰۹۴	۳۰۱۱۴۸	۲۱۶۷۵۴	۳/۵۷	۲/۳۸	۰/۲۰
A5	۹۳۳۶	۱۲۰۴۸	۸۰۶۸۳	۲۱۴۰۹۳	۱۰۵۱۴۰	۱/۹۷	۱/۲۹	۰/۱۱
A6	۱۰۳۱۳	۸۳۸۸	۶۰۵۷۲	۱۴۹۰۵۵	۶۰۱۸۳	۱/۶۸	۰/۸۱	۰/۰۹
A8	۷۱۱۸	۱۲۹۷۹	۶۰۰۲۰	۲۳۰۶۳۷	۱۴۲۳۱۷	۲/۶۱	۱/۸۲	۰/۱۵
A10	۱۲۳۴۳	۱۴۹۳۹	۵۹۸۲۳	۲۶۵۴۶۶	۱۷۷۳۴۳	۳/۰۱	۱/۲۱	۰/۱۷
A11	۵۷۰۵	۱۰۲۷۰	۳۶۷۸۲	۱۸۲۴۹۸	۱۱۷۴۱۶	۲/۸۰	۱/۸۰	۰/۱۶
A12	۶۶۵۹	۱۱۵۰۰	۵۶۹۳۴	۲۰۴۳۵۵	۱۱۹۱۲۱	۲/۴۰	۱/۷۳	۰/۱۳
A13	۱۲۱۱۳	۱۱۹۲۳	۶۲۹۲۱	۲۱۱۸۷۲	۱۲۰۶۵۱	۲/۳۲	۰/۹۸	۰/۱۳
A16	۵۴۴۵	۱۰۴۴۳	۳۰۱۵۷	۱۸۵۵۷۲	۱۲۷۱۱۵	۳/۱۷	۱/۹۲	۰/۱۸
A17	۸۲۱۰	۱۸۸۸۰	۷۹۲۷۱	۳۳۵۵۷۲	۲۲۴۰۱۷	۳/۰۸	۲/۲۷	۰/۱۷
A18	۱۱۸۴۰	۱۵۲۹۲	۱۱۲۲۸۸	۲۷۱۷۳۹	۱۳۱۱۵۱	۱/۹۳	۱/۲۹	۰/۱۱
A19	۹۸۷۵	۱۲۷۶۵	۹۳۴۷۸	۲۲۶۸۳۴	۱۰۵۰۵۶	۱/۸۶	۱/۲۹	۰/۱۰
A22	۱۰۰۱۰	۱۹۶۶۴	۸۷۷۱۴	۳۴۹۴۲۹	۲۳۳۴۱۵	۳/۰۱	۱/۹۶	۰/۱۷
A23	۹۷۰۵	۱۳۴۳۱	۸۸۴۳۱	۲۳۸۶۶۹	۱۲۱۹۳۸	۲/۰۴	۱/۳۸	۰/۱۲
A24	۱۳۰۷۰	۸۰۹۴	۷۷۸۷۸	۱۴۳۸۳۰	۳۷۶۵۳	۱/۳۵	۰/۶۲	۰/۰۸
A26	۸۱۰۵	۱۱۹۳۴	۴۸۰۴۳	۲۱۲۰۶۷	۱۳۵۷۲۴	۲/۷۸	۱/۴۷	۰/۱۶
A27	۸۱۷۴	۱۲۴۵۲	۷۴۳۲۱	۲۲۱۲۷۲	۱۱۸۶۵۱	۲/۱۶	۱/۵۲	۰/۱۲
حداقل	۵۴۴۵	۶۵۳۰	۳۰۱۵۷	۱۲۴۹۲۳	۶۲۵۱	۱/۰۵	۰/۶۲	۰/۰۶
حداکثر	۱۸۰۵۳	۱۹۶۶۴	۱۱۲۲۸۸	۳۴۹۴۲۹	۲۳۲۴۱۵	۳/۵۷	۲/۸	۰/۲۰
انحراف معیار	۲۹۲۴	۳۵۱۳	۲۰۴۸۹	۵۸۹۳۶	۵۷۸۲۰	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۰۴
میانگین	۹۳۴۶	۱۲۸۸۶	۶۸۴۲۵	۲۲۸۹۶۸	۱۳۲۲۴۴	۲/۴۵	۱/۵۵	۰/۱۴

جدول ۳- تحلیل واریانس شاخص‌های آب و انرژی در تولید یونجه در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی در استان چهارمحال و بختیاری

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات					
		آب آبیاری+بارش (m^3 /ha)	عملکرد (kg /ha)	انرژی آبیاری (MJ/ha)	انرژی تولیدی (MJ/ha)	بهره‌وری آب (Kg/m^3)	بهره‌وری انرژی (Kg/MJ)
بین روش‌ها	۱	$۱/۶۳\times۱۰^{۷}$ *	$۴/۴۳\times۱۰^{۷}$ *	$۲/۳۲\times۱۰^{۹}$ *	$۱/۴۰\times۱۰^{۱۰}$ *	۱/۱۸ *	$۲/۲۰\times۱۰^{-۸}$
درون روش‌ها	۱۸	$۶/۳۶\times۱۰^{۸}$	$۱/۶۲\times۱۰^{۸}$	$۵/۶۵\times۱۰^{۹}$	$۵/۱۲\times۱۰^{۱۰}$	۴/۸۰	$۲/۷۶\times۱۰^{-۳}$
کل	۱۹	$۷/۹۹\times۱۰^{۸}$	$۲/۰۶\times۱۰^{۸}$	$۷/۹۸\times۱۰^{۹}$	$۶/۵۲\times۱۰^{۱۰}$	۵/۹۸	$۲/۷۶\times۱۰^{-۳}$

ns غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

اگرچه میانگین حجم آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی حدود ۱۸ درصد کاهش یافته است ولی نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داده است که برخی از مزارع که به روش بارانی نیز آبیاری می‌شوند از مدیریت مناسب آبیاری برخوردار

نبوده و حجم آب آبیاری بیش از مقدار مورد نیاز است. براساس نتایج آزمون آماری انجام شده، اختلاف آب آبیاری در روش‌های سطحی و بارانی از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برخی از تحقیقات انجام شده در ایران از جمله اکبری و همکاران (۱۴۰۲)، اوجاقلو و همکاران (۱۴۰۲)، ابراهیمیان و غلامی(۲۰۱۹) و نتایج جهانی(Abdeldaim, 2018; Cavero et al., 2016 and 2017; Yan et al., 2020; Djaman et al., 2020) نیز حاکی از آن است که آب آبیاری محصول یونجه در روش‌های نوین آبیاری نسبت به روش سطحی حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داد که عملکرد یونجه خشک در مزارع مختلف در روش آبیاری بارانی از ۷۰۳۰ تا ۱۹۶۶۴ کیلوگرم بر هکتار متغیر و دارای میانگین ۱۳۹۷۸ و انحراف معیار ۳۲۷۶ کیلوگرم بر هکتار است. این شاخص در روش آبیاری سطحی از ۸۰۹۴ تا ۱۴۹۳۹ و با میانگین ۱۰۸۵۶ و انحراف معیار ۲۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار متغییر بود. بین مقادیر عملکرد محصول در روش آبیاری سطحی و بارانی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد (جدول ۳) و میانگین عملکرد یونجه خشک در روش آبیاری بارانی حدود ۲۹ درصد بیشتر از روش آبیاری سطحی بود که با نتایج حبیبی و همکاران (۱۴۰۲)، طهماسبی و زارع ابیانه(۱۴۰۴) در استان کردستان، اکبری و همکاران (۱۴۰۲) در سطح کشور و اوجاقلو و همکاران (۱۴۰۲) در استان زنجان مطابقت دارد.

بر اساس نتایج، میانگین بهره‌وری آب آبیاری در روش های آبیاری سطحی و بارانی در استان چهار محال و بختیاری به ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد و نشان داد که این شاخص در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ۳۵ درصد افزایش یافته و این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). نتایج بهره‌وری آب محاسبه شده در این تحقیق با برخی نتایج ارائه شده در تحقیقات مختلف از جمله خرمیان و همکاران (۱۳۹۱)، وفابخش و حقایقی (۱۳۹۶) ، غلامی و همکاران(۱۳۹۵)، لشنی زند و همکاران(۱۳۹۳) و ابراهیمیان و غلامی(۲۰۱۹) مطابقت دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات انرژی مصرفی در آبیاری در روش آبیاری سطحی از۳۰۱۵۷ تا ۷۷۸۷۸ مگاژول بر هکتار و در روش آبیاری بارانی ۴۹۷۹۶ تا ۱۱۲۲۸۸ مگاژول بر هکتار متغییر بوده است. میانگین این پارامتر در روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب ۷۶۳۳۲ و ۵۳۷۳۹ مگاژول بر هکتار بدست آمد و نشان داد که انرژی مصرفی آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ۴۲ درصد افزایش داشته است و این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. نتایج برخی از تحقیقات جهانی حاکی از آن است که انرژی مورد نیاز سامانه‌های آبیاری تحت فشار بسته به نوع سامانه آبیاری، مشخصات مزرعه و منبع آب (سطحی یا زیرزمینی)، نوع گیاه، شرایط اقلیمی و مدیریت آبیاری متفاوت است و می‌تواند تا ۷۰ درصد انرژی مصرفی آبیاری در مزرعه را افزایش دهد(Belaud et al., 2019; Salman et al., 2025). میانگین انرژی تولیدی یونجه در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب از ۱۴۳۸۳۰ تا ۲۶۵۴۶۶ و ۱۲۴۹۲۳ تا ۳۴۹۴۲۹ مگاژول بر هکتار متغییر بود. میانگین این شاخص در روش‌های مذکور به ترتیب ۱۹۲۹۰۹ و ۲۴۸۳۸۵ مگاژول بر هکتار بدست آمد. این نتایج نشان داد که انرژی تولید در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ۲۹ درصد افزایش داشته و این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است. اگر چه نتایج تحقیقاتی زیادی با نتایج این تحقیق مطابقت دارد و نشان داده است که استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری عملکرد و در نتیجه انرژی تولید را افزایش می‌یابد (Belaud et al., 2019: Zhao et al., 2020: Lemes et al., 2023). لیکن نتایج همین تحقیقات حاکی از آن است که این سامانه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای انرژی مصرفی در مزرعه را نیز افزایش می‌دهند. لذا برای قضاوت دو سامانهٔ آبیاری و انتخاب روش مناسب آبیاری، به بررسی شاخص‌های نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی، افزوده انرژی خالص، و بهره‌وری انرژی در روش‌های آبیاری پرداخته شده است.

نسبت انرژی

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان داد که تغییرات این شاخص در روش آبیاری سطحی از ۱/۳۵ تا ۳/۱۷ با میانگین ۲/۴۵ متغییر بوده است. تغییرات این شاخص در روش آبیاری بارانی از ۱/۰۵ تا ۳/۵۷ و میانگین ۲/۴۴ متغیر بوده است. به عبارت دیگر بطور میانگین در روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب به ازای هر واحد مصرف انرژی در تولید یونجه، ۲/۴۵ و ۲/۴۴ واحد انرژی تولید شده است و از منظر این شاخص بین دو روش آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهد نشد. این نتایج نیز مبین آن است که همزمان با افزایش انرژی تولیدی در روش‌های نوین آبیاری، انرژی مصرفی در مزرعه نیز افزایش می‌یابد که با نتایج سایر تحقیقات انجام شده مطابقت دارد(Belaud et al., 2019: Zhao et al., 2020: Lemes et al., 2023)

افزوده خالص انرژی

نتایج این شاخص بیلان انرژی در تولید محصول را نشان می‌دهد. نتایج این شاخص نشان داد که در تمام مزارع منتخب در هر دو روش آبیاری، بیلان انرژی مثبت بوده است. تغییرات آن در روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۳۷۵۶۳ تا ۱۷۷۳۴۳ و ۶۲۵۱ تا ۲۳۳۴۱۵ مگاژول در هکتار بوده است. میانگین این شاخص در روش‌های مذکور به ترتیب ۱۱۰۸۶۹ و ۱۴۳۷۵۳ مگاژول بر هکتار

بدست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این شاخص در روش آبیاری سطحی نسبت به روش آبیاری بارانی کمتر است. به همین دلیل، اگر چه میانگین افزوده خالص انرژی در روش آبیاری بارانی به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از روش آبیاری سطحی است ولی اختلاف دو روش آبیاری از منظر این شاخص در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشده است. نتایج تحقیقات داخلی و خارجی مبین آن است که افزوده انرژی خالص نیز تحت تاثیر عوامل موثر در تولید محصول و انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری است که از آن جمله می‌توان به هد مورد نیاز سامانه آبیاری، منبع تامین آب (سطحی یا زیرزمینی) و انرژی (ثقلی یا پمپاژ)، شرایط اقلیمی و مدیریت آب در مزرعه اشاره کرد. لذا تعیین این شاخص با استفاده از تجزیه و تحلیل چرخه پیچیده انرژی تولیدی و مصرفی امکان پذیر است و به منظور پایداری تولید انرژی در کشاورزی، مثبت بودن مقادیر این شاخص ضروری است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد(Hamidov et al., 2020: Kiss, 2024: Li, 2023: Malamataris et al., 2023; Salman et al., 2025)

بهره‌وری انرژی

نتایج این پژوهش نشان داد بهره‌وری انرژی در روش آبیاری سطحی بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۸ کیلوگرم بر مگاژول و در روش آبیاری بارانی بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۰ کیلوگرم بر مگاژول متغیر بوده است. میانگین این شاخص در هر دو روش آبیاری برابر ۰/۱۴ کیلوگرم بر مگاژول بود و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت. به عبارت دیگر به طور میانگین، در هر دو روش آبیاری به ازای یک مگاژول انرژی مصرفی، مقدار ۰/۱۴ کیلوگرم یونجه خشک تولید شده است. این موضوع نشان می‌دهد که میزان انرژی مصرفی بیشتر در آبیاری بارانی (به واسطه تامین فشار آب آبپاش‌ها در شبکه بارانی) نسبت به آبیاری سطحی، تقریباً با میزان افزایش انرژی تولید محصول یونجه و کاهش آب آبیاری در روش آبیاری بارانی برابر بوده است و به همین علت بهره‌وری انرژی در هر دو سامانه برابر شده است. این نتایج با برخی تحقیقات انجام شده در کشور از جمله حبیبی و همکاران(۱۴۰۲)، قاسمی‌مبتکر(۱۳۹۸)،که انرژی مورد نیاز سامانه آبیاری از طریق پمپاژ آب تامین شده است مطابقت دارد، ولی بانتایج تحقیقات طهماسبی و زارع ابیانه (۱۴۰۲) که انرژی سامانه آبیاری از اختلاف سطح آب پشت سد مخزنی و سطح اراضی تامین شده است مطابقت ندارد.

انرژی ویژه

همانطوری که قبلاً نیز اشاره گردید، این شاخص عکس شاخص بهره‌وری انرژی است. نتایج این شاخص نشان داد که تغییرات این شاخص در روش آبیاری سطحی بین۵/۶۰ تا ۱۳/۱۲ مگاژول بر کیلوگرم و در روش بارانی بین ۴/۹۸ تا ۱۶/۸۸ مگاژول بر کیلوگرم متغیر بوده است. میانگین این شاخص در روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۷/۹۴ و ۸/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم بدست آمد و اختلافی بین دو روش آبیاری در سطح ۵ درصد معنی‌داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر در استان چهارمحال و بختیاری در هر دو روش آبیاری برای تولید یک کیلوگرم یونجه خشک به حدود ۸ مگاژول انرژی نیاز است. قاسمی‌مبتکر (۱۳۹۸) نیز مقادیر این شاخص را در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی محصول یونجه در استان همدان را به ترتیب ۸/۵ و۷/۷مگاژول بر کیلوگرم بدست آوردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که حجم آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی به‌طور معنی‌داری (حدود ۱۸ درصد) کاهش یافته است، اما عملکرد یونجه در این روش آبیاری افزایش معنیداری داشته است. در روش‌های آبیاری بارانی و سطحی، مقدار میانگین عملکرد یونجه خشک به‌ترتیب ۱۳۹۷۸ و ۱۰۸۵۶ کیلوگرم در هکتار و مقدار میانگین بهره‌وری آب به‌ترتیب۱/۷۰ و ۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد که مبین برتری سامانه آبیاری بارانی از منظر این شاخص‌ها است.

نتایج شاخص مصرف انرژی محصول یونجه در روش آبیاری در روش بارانی و سطحی نشان داد، اگر چه میزان مصرف انرژی در روش آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی افزایش یافته است و از ۵۳۷۳۹ مگاژول بر هکتار در روش سطحی به ۷۶۳۳۲ مگاژول بر هکتار در روش بارانی افزایش یافته است، اما میزان انرژی تولید یونجه نیز از ۱۹۲۹۰۹ به ۲۴۸۳۸۵ مگاژول بر هکتار افزایش یافته است و شاخص بهره‌وری انرژی یونجه در هر دو روش آبیاری برابر ۰/۱۴ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمده است. این نتایج حاکی از آن است که در شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه از منظر شاخص‌های انرژی تفاوتی بین روش‌های آبیاری مشاهده نشده است.

باتوجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، برای انتخاب روش مناسب آبیاری به ارزیابی شاخص‌های بیشتری از جمله بهره‌وری اقتصادی نیاز است ولی با توجه به نتایج این پژوهش، خشکسالی و کمبود آب حاکم بر کشور، برای کاهش حجم آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب در تولید یونجه برنامه‌ریزی مناسب آبیاری و استفاده از روش آبیاری بارانی با در نظر گرفتن پایداری املاح در خاک و رعایت شرایط فنی سامانه پیشنهاد می‌شود.

منابع

احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، افروزی، م.، اسفندیاری‌پور، ا.

و طاقانی، ر. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۹۹-۱۳۹۸. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

افضلی‌نیا، ص. ۱۳۹۹. اثر خاک‌ورزی بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تناوب گندم-پنبه. مجله تحقیقات کشاورزی ایران، ۳۹ (۱): ۲۴- ۱۳.

اکبری، م.، عباسی، ف.، ناصری، ا.، یوسف‌گمرکچی، ا.، گودرزی، م.، اسلامی، ا.، فرزام‌نیا، م.، علیمحمدی‌نافچی، ر.، کوهی‌چله‌کران، ن.، بهراملو، ر.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، حقایقی‌مقدم، س.ا.، ذوالفقاران، ا.، احمدآلی، ج.، عباسی، م. و ریاحی‌مدوار، ح. ۱۴۰۲. تعیین بهره‌وری آب یونجه در مناطق مختلف کشور. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۷ (۲)، ۱۳۷ - ۱۱۹.

اکبری، م.، کوهی‌چله‌کران، ن.، گودرزی، م.، ریاحی‌مدوار، ح.، علیمحمدی‌نافچی، ر.، ذوالفقاران، ا.، فرزام‌نیا، م.، یوسف‌گمرکچی، ا.، بهراملو، ر.، حقایقی‌مقدم، س.ا.، اسلامی، ا.، احمدآلی، ج. و ناصری، ا.، عباسی، م. ۱۳۹۹. تعیین آب کاربردی یونجه در کشور. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۵۸۹۰۵، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

اوجاقلو، ح.، اوجاقلو، ف.، جعفری، م.م.، میثاقی، ف.، نظری، بی. و کرمی‌دهکردی، ا. ۱۴۰۲. اثر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های بهره وری مصرف آب محصول یونجه. مجله آب و خاک، ۳۷ (۲)، ۱۸۵ - ۱۶۵.

حبیبی، س.، خوش‌روش، م. و نوری‌خواجه‌بلاغ، ر. ۱۴۰۲. تحلیل شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی محصولات یونجه و جو در دو اقلیم متفاوت. مجله آب و خاک ، ۳۸ (۱) ۳۶ – ۲۳.

حیدری‌سلطان‌آبادی، م. ۱۴۰۰. تعیین شاخص‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در الگوهای مختلف تولید محصولات عمده زراعی و باغی استان اصفهان. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۶۰۹۱۳، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

خرمیان، م.، شوشی‌دزفولی، ا. و عصاره، ع. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر آبیاری بارانی قرقره‌ای بر عملکرد علوفه و کارآیی مصرف آب یونجه در خوزستان . فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۴(۱۵)، ۹۷-۸۷.

طهماسبی، پ. و زارع ابیانه، ح.۱۴۰۴. مقایسه بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی درکشت گندم و یونجه(مطالعه موردی: پایاب سد مخزنی سورال استان کردستان). فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۵ (۲)، ۹۳-۷۲.

غلامی، ز.، ابراهیمیان، ح. و نوری، ح. ۱۳۹۵. بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سامانه های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۳): ۱۴۶-۱۳۵.

قاسمی‌مبتکر، ح. ۱۳۹۸. بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقابی و تحت فشار. مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۰ (۴): ۸۰۹-۸۰۱.

لشنی‌زند، م. پیامنی، ک. و ویسکرمی، ا. ۱۳۹۳. بررسی الگوی مصرف آبهای سطحی کشاورزی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز هنام. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۶ (۴): ۴۰۶- ۴۰۰.

الماسی، م.، کیانی، ش. و لویمی، ن. ۱۳۷۸. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. چاپ چهارم. انتشارات جنگل. تهران. ۲۹۳ صفحه.

وفابخش، ج. و حقایقی،س.ا. ۱۳۹۶. تدقیق مصارف و بهره‌وری آب در منابع آبی زیرزمینی بمنظور استفاده از نتایج آن در تدوین الگوی کشت (مطالعه موردی دشت مشهد- چناران و فریمان- تربت جام). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی خاص، معاونت تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی.

Abdel-Daim, M.M. 2018. Pharmacodynamic interaction of Spirulina platensis with erythromycin in Egyptian Baladi bucks (Capra hircus). Small Ruminant Research. 120 (2-3): 234-241.

Ahmed, Z., Gui, D., Murtaza, G., Yunfei, L. and Ali, S. 2023. An overview of smart irrigation management for improving water productivity under climate change in drylands. Agronomy. 13: 2113.

Asgharipour, M.R., Mousavinik, S.M. and Enayat, F.F. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. Energy Reports. 2: 135-140.

Attram J., Acharya, S.N., Woods, S.A., Smith, E. and Thomas, J.E. 2016. Yield and net return from alfalfa cultivars under irrigation in southern Alberta. Canadian Journal of Plant Science. 96(2): 165-175.

Balik, M., Grismer, M.E. and Todl. 2001. Reduced run off irrigation of alfalfa in Imperial Valley, California. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 127: 123–130.

BeheshtiTabar, I., Keyhani, A. and Rafiee, S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006).

Kiss, L. B. 2024. Development of Energy Consumption in Agriculture in the European Union between 2010 and 2021: Forecast Until 2025. Polgári Szemle: Gazdasági és Társadalmi Folyóirat. 20(4-6): 128-138.

Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M. and Ramdani, A. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume 5: Energy and Biomass Engineering. ASAE Publication.

Lemes, D.L., Jacques, M.M., Sousa, N.B., Bernardon, D.P., Sperandio, M., Silva, J.A., Chiara, L.M. and Wolter, M. 2023. Estimation of electrical energy consumption in irrigated rice crops in Southern Brazil. Energies. 16: 6742.

Li, Y. and Zhang, R. 2023. A Review of Water-Energy-Food Nexus development in a Just energy transition. Energies. 16: 6253.

Malamataris, D., Chatzi, A., Babakos, K., Pisinaras, V., Hatzigiannakis, E., Willaarts, B.A., Bea, M., Pagano, A. and Panagopoulos, A. 2023. A participatory approach to exploring nexus challenges: a case study on the Pinios River Basin, Greece. Water. 15: 3949.

Montazar, A. 2020. Deficit Irrigation Program Study. In Proceedings of the Law of Colorado River Conference, Scottsdale, AZ, USA, 12–13 March 2020.

Peng, L., Chen, L. and Dai, H. 2024. The impact of energy structure on agricultural green productivity in China. Scientific Reports. 14: 27938.

Qiu, Y., Fan, Y., Chen, Y., Hao, X., Li, S. and Kang, S. 2021. Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. Agricultural Water Management. 254: 106934.

Rahman, M.A., Lee, S.H., Park, H.S., Min, C.W., Woo, J.H., Choi, B.R., Rahman, M.M. and Lee, K.W. 2025. Light Quality Plays a Crucial Role in Regulating Germination, Photosynthetic Efficiency, Plant Development, Reactive Oxygen Species Production, Antioxidant Enzyme Activity, and Nutrient Acquisition in Alfalfa. International Journal of Molecular Sciences. 26: 360.

Salman, A.K., Alhadeethi, I.K., Mohammed, A.M. and Lohmann, M.S. 2025. Assessing irrigation system efficiency within the Water-Energy-Food Nexus: Introducing energy performance metrics. Agricultural Water Management. 317: 109665.

Yan, N., Wu, B. and Zhu, W. 2020. Assessment of agricultural water productivity in arid China. Water. 12: 4.

Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 849–855.

Belaud, G., Mateos, L., Aliod, R., Buisson, M.C., Gendre, S., Ghinassi, G., LEJARS, C. and Zapata, N. 2019. Irrigation and energy: Issues and challenges. Irrigation and Drainage. 68(2): 155-167.

Cavero, J., Faci, J.M. and Martínez-Cob, A. 2016. Relevance of sprinkler irrigation time of the day on alfalfa forage production. Agricultural Water Management. 178: 304–313.

Cavero, J., Faci, M., Medina, E.T. and Martínez-Cob, A. 2017. Alfalfa forage production under solid-set sprinkler irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 191: 184–192.

Diatta, A.A., Min, D. and Jagadish, S.V.K. 2021. Chapter Two - Drought stress responses in non-transgenic and transgenic alfalfa current status and future research directions. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 35–100.

Djaman, K., Smeal, D., Koudahe, K. and Allen, S. 2020. Hay yield and water use efficiency of alfalfa under different irrigation and fungicide regimes in a semiarid climate. Water. 12: 1721.

Ebrahimian, H. and Gholami, Z. 2019. Water Productivity of Maize and Alfalfa in Sprinkler Irrigation Systems. International Conference on Food, Nutrition and Agriculture (ICFNA19) September 27-28, Istanbul (Turkey).

Elgharably, A. and Benes, S. 2021. Alfalfa biomass yield and nitrogen fixation in response to applied mineral nitrogen under saline soil conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 21: 744–755.

Elnashar, W. and Elyamany, A. 2023. Managing risks of climate change on irrigation water in arid regions. Water Resources Management. 37: 2429–2446.

Fink, K. P., Grassini, P., Rocateli, A., Bastos, L.M., Kastens, J., Ryan, L.P., Lin, X., Patrignani, A. and Lollato, R.P. 2022. Alfalfa water productivity and yield gaps in the U.S. central Great Plains. Field Crops Research. 289: 108728.

Gao, L., Su, J., Tian, Q. and Shen, Y. 2020. Contrasting strategies of nitrogen absorption and utilization in alfalfa plants under different water stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 20: 1515–1523.

Hamidov, A. and Helming, K. 2020. Sustainability considerations in Water–Energy–Food Nexus research in irrigated agriculture. Sustainability. 12: 6274.

Zhang, C., Shi, S., Wang, B. and Zhao, J. 2018. Physiological and biochemical changes in different drought-tolerant alfalfa (Medicago sativa L.) varieties under PEG-induced drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 40: 25.

Zhao, Y., Wang, Q., Jiang, S., Zhai, J., Wang, J., He, G., Haihong, L., Zhang, Y., Wang, L. and Zhu, Y. 2020. Irrigation water and energy saving in well irrigation district from a water-energy nexus perspective. Journal of Cleaner Production. 267: 122058.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 20, Oct.-Nov. 2026, p. 519-531

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۲۰، مهر - آبان ۱۴۰۵، ص. ۵۳۱-۵۱۹

Assesment of Water and Energy Indicators in Alfalfa Production under Surface and Sprinkler Irrigation Systems:

(A Case Study in Chaharmahal and Bakhtiari Province)

M. Akbari*[1], and R. Alimohammadi [2]

Recived: Jan.04, 2026 Accepted: Jan.05, 2026

Abstract

The agricultural sector accounts for a large portion of the water and energy consumption و in Iran, So any reduction in water and energy consumption in this sector can play an important role in increasing productivity in the country. In this study, the volume of irrigation water, yield, productivity of water as well as energy consumption for alfalfa irrigated in surface and sprinkler irrigation methods under farmer's management were recorded and analyzed. The measurements were made over 2019-2020 on 20 fields across Chaharmahal and Bakhtiari province. Based on the results, the average volume of irrigation water for surface and sprinkler irrigation methods were 10442 and 8552 m^3/ha, respectively, and water productivity was 1.26 and 1.70 kg/ m^3. Their difference was significant at the five percent probability level. By shifting the irrigation method from surface to sprinkler, the volume of irrigation water decreased by about 18% and the irrigation water productivity of alfalfa fields increased by 35%. The results of energy indicators showed that the amount of irrigation energy in sprinkler and surface irrigation methods was 76332 and 53739 $MJha^{-1}$, there was a significant difference. However, the net energy, energy ratio and energy productivity indices in the two mentioned systems did not show any significant difference. The energy productivity in surface and sprinkler irrigation methods was 0.14 kg/MJ and the energy ratio was 2.45 and 2.44, respectively and indicating that alfalfa production is highly energy efficient. According to the results of this study and water scarcity in Iran, sprinkler irrigation method for alfalfa fields is recommended to increase alfalfa water productivity, with taking into account the stability of salts in the soil and observing the technical conditions of the system.

Key words: Alfalfa, Volume of irrigation water, Water and energy productivity, Yield

1- Associated Professor., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
2- Assistant Professor., Agricultural Engineering Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: mehdiakbari4364@gmail.com)