نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۷، مرداد – شهریور ۱۴۰۲، ص. ۵۶۰-۵۴۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 17, Aug.-sEP. 2023, p. 545-560

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی رد پای انرژی در سامانه های آبیاری مختلف (مطالعه موردی: استان البرز)

طیبه درجانی ثانی[۱]، محمد بی جن خان[۲]*، هادی رمضانی اعتدالی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۱

چکیده

در این تحقیق سه روش آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی برای بررسی ردپای انرژی در سامانه های آبیاری مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نیاز آبیاری ۱۵ محصول، اعم از محصولات زراعی، صیفی‌جات و باغی استان البرز نیز مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات چاه‌های استان البرز داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای واقع در دشت البرز در دوره آماری ۱۳۹۸ از آب منطقه‌ای استان البرز جمع‌آوری شد. سطح ایستابی و سطح دینامیک ۱۱ حلقه چاه بررسی و محاسبه شد. با توجه به نیاز آبیاری محصولات، توان مصرفی و ساعات کارکرد پمپ برای آبیاری، میزان انرژی مورد نیاز پمپ برای رسیدن آب به مزرعه برای آبیاری قطره‌ای و بارانی محاسبه و هزینه برق مصرفی، برای هریک از محصولات باغی، زراعی و صیفی‌جات برای سطح دینامیک و سطح استاتیک محاسبه شد. همچنین با درنظر گرفتن سه سناریوی مختلف برای میزان تلفات مفید (آب بازگشتی) و تلفات غیرمفید آبیاری، میزان آب بازگشتی به آبخوان و ردپای انرژی با در نظر گرفتن سطوح استاتیک و دینامیک محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین تلفات انرژی مربوط به آبیاری سطحی و کمترین مقدار مربوط به آبیاری قطره‌ای است. تلفات مفید آبیاری در همه محصولات برای سطح دینامیک بیشتر از سطح استاتیک می‌باشد. به عنوان مثال مقدار تلفات مفید آبیاری سطح دینامیک محصول یونجه (۴۰ درصد تلفات مفید آبیاری قطره-ای) حدود (m^3/ha) ۱۵ می‌باشد، مقدار تلفات مفید آبیاری سطح استاتیک محصول یونجه (۴۰ درصد تلفات مفید آبیاری قطره‌ای) حدود (m^3/ha) ۱۱ می‌باشد. همچنین محصولات باغی بیشترین میزان تلفات مفید آبیاری و صیفی‌جات کمترین میزان تلفات مفید آبیاری را دارا می‌باشند. بیشترین میزان تلفات در محصولات باغی، زراعی و صیفی‌جات به ترتیب مربوط به گردو، یونجه و پیاز و کمترین تلفات در محصولات باغی، زراعی و صیفی‌جات به ترتیب مربوط به محصول انگور، جو و خیار بهاره می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تلفات مفید، ردپای انرژی، سطح استاتیک آب زیرزمینی، سطح دینامیک آب زیرزمینی

مقدمه

از جمله مباحث مهمی که مطالعه کمتری بر روی آن صورت گرفته است، میزان آب‌برگشتی در بخش کشاورزی است. با توجه به اثر نوع سیستم آبیاری، نوع بافت خاک و سایر مؤلفه‌های مدیریت سیستم آبیاری بر روی میزان آب‌برگشتی، ضروری است تا در این زمینه مطالعه صورت گیرد.

تلفات کل از نظر مفید و غیرمفید بودن به سه دسته عمده تقسیم می‌گردد. دسته اول تلفات تبخیر از سطح خاک است که جزء تلفات غیرمفید هستند. دسته دوم تلفات رواناب است که معمولا در سامانه‌های آبیاری سطحی وجود دارند. به منظور تعیین درصد مفید بودن آن‌ها، رواناب حاصل در سیستم آبیاری روندیابی می‌گردد تا سرنوشت آب خارج شده تعیین شود. دسته سوم تلفات نفوذ عمقی است که در مفهوم جدید راندمان، همه این تلفات غیرمفید نمی-باشد. زیرا مقداری از این آب مخصوصاً در سامانه‌های سطحی صرف کنترل شوری و آبشویی در ناحیه توسعه ریشه شده و بخشی نیز ممکن است زهکشی شده و دوباره به چرخه آبی بازگردد. در اینجا مفهوم تلفات مفید، آب بازگشتی می‌باشد(لیاقت وهمکاران، ۱۳۹۴).

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: bijankhan@eng.ikiu.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.3.11.9

لیاقت و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با روش نئوکلاسیک راندمان (راندمان خالص و راندمان مؤثر) و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با نتایج ارزیابی سیستم‌ها به روش کلاسیک را انجام دادند. بدین‌منظور، ۲۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش شبکهٔ آبیاری قزوین، که انواع مختلفی از سیستم‌های آبیاری را شامل می‌شود، انتخاب کردند. ارزیابی سیستم‌ها طی دو مرحله، اوایل و اواسط، از مرحلهٔ رشد در طول تابستان ۱۳۹۱ــ۱۳۹۰، انجام شد. نتایج نشان داد که راندمان کلاسیک آبیاری در روش سطحی در مراحل ابتدایی و اواسط رشد به ترتیب برابر با ۵/۹ و ۲۷/۸ درصد بود. همچنین، در روش بارانی، در مراحل ابتدایی و اواسط رشد پایین‌ترین مقادیر نتایج این ارزیابی مربوط به روش خطی، به‌ترتیب برابر با ۱۱/۸ و ۴۵/۶ درصد بود. بیشترین تفاوت مقادیر راندمان خالص و راندمان کلاسیک در مراحل ابتدایی و اواسط رشد مربوط به سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای به ترتیب برابر با ۴۱/۲ و ۴۴/۹ درصد بود. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد راندمان مؤثر بیان بهتری در زمینهٔ مناسب بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوهٔ انجام دادن آبیاری دارد.

در فرآیند تولید یک محصول یا یک کالا ممکن است منابع مختلف آب مانند آب‌زیرزمینی، آب‌سطحی، چشمه‌ها و غیره استفاده شده باشند که درآن صورت نوع منبع تأمین آب می‌تواند در تحلیل آب‌مجازی نقش بسزایی داشته باشد. این ایده منجر به طبقه‌بندی آب‌های‌مجازی به سه رنگ آبی، سبز و خاکستری شد (Neubert and Horlemann, 2007).

آب‌سبز (Water Green) یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز گیاهان به ویژه در اراضی دیم است. مقدار آبی که گیاه طی فرآیند رشد و نمو مصرف می‌نماید و یا در بافت خود ذخیره می‌کند و بر اثر تعرق از گیاه خارج می‌شود را آب‌سبز مجازی گویند. آب‌مجازی آبی(Water Blue)، حجم آب سطحی یا زیرزمینی است که طی فرآیند تولید کالا یا خدمات به طور مستقیم یا غیر مستقیم مصرف می‌شود. آب‌خاکستری (Water Gray)، آبی است که در چرخه تولید یک کالا آلوده می‌شود. آن مقدار از آب‌خاکستری که در بخش کشاورزی به مصرف گیاه می‌رسد و سپس به صورت پساب از مزرعه خارج می‌شود را آب‌خاکستری‌مجازی گویند.

آبابایی و رمضانی‌اعتدالی اجزای ردپای آب در تولید گندم در ایران را برآورد و با مقیاس‌های جهانی مقایسه کردند. در این مطالعه، برآوردهای قبلی اجزای مختلف ردپای آب (سبز، آبی، خاکستری و سفید) تولید گندم ملی در ایران با برآوردهای مقیاس ملی مقایسه شد. یک جزء جدید (ردپای آب‌سفید) برای محاسبه تلفات آبیاری پیشنهاد گردید. اجزای مختلف ردپای آب گندم برای ۲۳۶ دشت در پانزده استان اصلی تولید گندم را برآورد نموده، سپس میانگین مقادیر هر استان را برآورد کردند. در نهایت، مقادیر میانگین وزنی هر جزء، ردپای آب با استفاده از سهم تولیدات آبی و دیم به عنوان عوامل وزنی برآورد شد. میانگین کل ردپای آب برای مناطق آبیاری شده و بین همه استان‌های منتخب حدود ۳۱۸۸ مترمکعب درتن با سهم قابل مقایسه آب آبی و سبز است، درحالی‌که میانگین کل ردپای آب برای مناطق دیم ۳۰۷۱ مترمکعب درتن است و سهم ردپای آب‌سبز ۹ برابر ردپای آب‌خاکستری است. نتایج نشان داد که کل ردپای آب ملی تولید گندم برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۶ حدود ۴۲،۱۴۳ میلیون مترمکعب در سال (۴۱٪ سبز ، ۱۸٪ آبی ، ۱۶٪ خاکستری و ۲۵٪ سفید) با سهم ردپای آب‌سبز حدود ۲/۳ برابر ردپای آب‌آبی است (Ababaei et al., 2014).

آبابایی و رمضانی‌اعتدالی ردپای آب در غلات اصلی در ایران را مورد ارزیابی قراردادند. میانگین وزنی هر جزء ردپای آب (سبز، آبی، خاکستری و سفید) و ردپای کل آب‌ملی (NTWF[1]) تولید غلات اصلی (گندم ، جو و ذرت) محاسبه شد. ردپای کل آب ملی تولید گندم ، جو و ذرت ۳۶۷۷۷ ، ۷۹۷۵ و ۳۷۴۴ میلیون مترمکعب درسال برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۶ برآورد شد. نسبت کل ردپای آب‌سبز سه محصول به ردپای کل آب‌ملی تجمع یافته (یعنی همه محصولات) ۴۳٪ و نسبت ردپای آب‌سبز به ردپای کل آب‌ملی به ترتیب ۴۷٪ ، ۴۲٪ و ۲٪ برای گندم، جو و ذرت بود. این نتایج نشان می‌دهد که زراعت-های گندم و جو، مصرف‌کنندگان قابل توجهی از منابع آب‌سبز (یعنی بارندگی مؤثر) هستند. این مقادیر اهمیت راهبردهای مدیریت آبیاری بهتر را برای کاهش سهم آب‌سفید و خاکستری نشان می‌دهد که هم از نظر مدیریت منابع آب و هم از نظر حفاظت از محیط زیست اهمیت دارد (Ababaei and Ramezani Etedali, 2017).

فرامرزی و همکاران (۲۰۱۰) تجزیه و تحلیل استراتژی تجارت مجازی آب داخل کشور برای کاهش کمبود آب در ایران را انجام دادند. برای مطالعه وضعیت در سطح منطقه، ایران را به عنوان نمونه در نظر گرفتند. همچنین یک مدل بهینه سازی چند منظوره توسعه یافته که با برنامه نویسی خطی حل شده، نیز مورداستفاده قرارگرفت. داده‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۰ برای درنظرگرفتن نوسانات سالانه دردسترس بودن آب و تولید غذا مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که تحت سناریوی پایه، که ادامه سیاست آب و غذا در سطح ملی را ادامه می‌دهد، برخی سناریوهای تعدیل ساختار الگوی کشت (ASCP[2]) می‌توانند گندم بیشتری با آب کمتر تولید کنند. براساس سناریوهای مختلف در ASCP ، محاسبه شد که ۳۱ تا ۱۰۰ درصد از کل کمبود گندم در استان‌های دارای کمبود را می‌توان از استان‌های دارای مازاد گندم تأمین کرد. در نتیجه، استان‌های کمبود گندم با واردات گندم از استان‌های مازاد، ۳/۵ میلیارد مترمکعب تا ۵/۵ میلیارد مترمکعب آب-

۱- National total water footprint

۲- Adjustment of structure of cropping pattern

مجازی دریافت خواهندکرد (Faramarzi et al., 2010) .

رمضانی‌اعتدالی و همکاران (۲۰۱۵) مدیریت تخصیص آب بین زمین‌های آبیاری شده و زمین‌های دیم در شرایط مختلف آب و هوایی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل بهینه سازی در دشت قزوین نشان داد که سود خالص تحت مدیریت جدید در مورد انتقال آب از ۲۰۰۰ ، ۴۰۰۰ ، ۶۰۰۰ ، ۸۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در یک سال طبیعی از نظر آب و هوایی به ترتیب ۱۱/۱، ۱۳/۵، ۱۹/۲، ۱۶/۶ و ۱۵/۸ درصد افزایش یافته است. در حالی که در یک سال مرطوب به‌ترتیب ۹، ۱۰/۹، ۱۷، ۱۵/۹ و ۱۳/۴ و در یک سال خشک به ترتیب ۸/۰۵، ۱۲/۵، ۱۶/۱، ۱۹/۱ و ۱۹/۹ بود. جو بهترین انتخاب برای کم آبیاری در سه شرایط آب و هوایی بود. عمق کم آبیاری در دهه اول آبان ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌متر و در دهه دوم ماه مه ۵۰ ، ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر در شرایط عادی، مرطوب و خشک بود. همچنین عدس اولین انتخاب برای آبیاری تکمیلی بود. بهترین تیمارها برای آبیاری تکمیلی در مزارع دیم عدس ۷۵ میلی‌متر در دهه سوم ماه مه در سال‌های عادی، ۷۵ میلی‌متر در دهه دوم ماه مه در سال‌های مرطوب و ۱۰۰ میلی‌متر در دهه دوم ماه مه در سال‌های خشک بود (Ramezani Etedali et al., 2015).

تولید بخش کشاورزی تا حد زیادی به موجودیت آب وابسته است و در اکثر مناطق کشور، کشاورزی بدون آبیاری میسر نیست. به این دلیل از دیرباز مردم ایران توجه ویژه‌ای به فن آبیاری داشته‌اند. در سال‌های اخیر نیز با گسترش علم آبیاری روی‌آوری به سامانه‌های آبیاری جدید با هدف ارتقای راندمان آبیاری مدنظر مدیران، کشاورزان و محققین قرارگرفته است. با توجه به اینکه سامانه‌های آبیاری تحت-فشار اغلب نیازمند مصرف انرژی برای تأمین فشار لازم هستند، بحث تأمین انرژی برای این سامانه‌ها و به تبع آن هزینه‌های مصرف انرژی این سامانه‌ها اهمیت زیادی دارد.

نظری و همکاران (۱۳۹۵) بررسی و تبیین موارد نظری عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در استان قزوین را انجام دادند. در این تحقیق مبانی تئوریک اثر عوامل طراحی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار بر هزینه-های انرژی تبیین گشته و با آنالیز حساسیت هزینه‌های انرژی به این عوامل، ملاحظات طراحی بهینه سامانه از حیث مصرف انرژی لازم مطرح شده است. همچنین ۴۵ سامانه آبیاری تحت‌فشار استان قزوین (عمدتاً در محدوده شبکه آبیاری قزوین) از انواع آبیاری بارانی-کلاسیک با آبپاش متحرک، بارانی متحرک پیوسته (سنتر و لینیر) و آبیاری موضعی از نظر مصرف انرژی ارزیابی شده و انرژی لازم در هر سامانه برای تأمین یک مترمکعب آب در این سیستم‌ها به ترتیب ۰/۲۹۰، ۰/۲۰۵ و ۰/۲۰۲ (kwh/m^3) محاسبه گردید که اهمیت لحاظ بررسی میزان مصرف انرژی در انتخاب سیستم آبیاری مناسب در برنامه ریزی‌های منطقه‌ای و ملی را خاطر نشان می‌سازد. همچنین برای محصولات کشاورزی عمده شبکه آبیاری قزوین میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه به واسطه کاربرد سامانه-های تحت‌فشار برای آبیاری محاسبه شد که در مطالعات تعیین الگوی کشت و تحلیل‌های اقتصادی می‌تواند مفید باشد. علاوه بر ضرورت انتخاب سامانه آبیاری کم مصرف انرژی، طراحی صحیح این سامانه‌ها، انتخاب پمپ با راندمان بالا در نقطه کار سامانه و بهره-برداری و نگهداری اصولی از ایستگاه پمپاژ طبق دفترچه پمپ، در کاهش هزینه‌های انرژی این سامانه‌ها اهمیت بالا دارد.

با افزایش میزان آب برداشتی در نیروگاه‌ها، پدیده آب مجازی یا ردپای آب در فرآیند تولید و تجارت برق اهمیت زیادی یافت (Wang et al.. 2015). در فرآیند تولید برق تمامی نیروگاه‌های حرارتی اعم از زغال سنگ، گاز طبیعی، هسته‌ای، زمین‌گرمایی، زیست‌توده و سیکل-ترکیبی از آب به عنوان یک مایع خنک‌کننده استفاده می‌کنند.

موسوی‌رینه و یوسفی (۱۳۹۹) میزان آب‌مجازی مصرفی به ازای تولید هر کیلو وات ساعت برق از نیروگاه‌های حرارتی و انرژی های تجدیدپذیر تعدادی از نیروگاه‌های کشور را به عنوان نمونه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد میزان آب‌مجازی مصرفی در نیروگاه‌های مختلف تابع نوع نیروگاه و نوع سیستم خنک‌کننده آن است. میانگین میزان مصرف آب برای نیروگاه‌های بخار با سیستم خنک‌کننده برج‌تر برابر با ۲/۲ لیتر برکیلو وات ساعت، برای نیروگاه-های بخار و سیکل‌ترکیبی با سیستم خنک‌کننده یک‌بارگذر برابر با ۱/۵ لیتر برکیلو وات ساعت، برای نیروگاه‌های بخار و سیکل‌ترکیبی با سیستم خنک‌کننده خشک برابر با ۰/۲ لیتر برکیلو وات ساعت، برای نیروگاه‌های گازی برابر با ۰/۰۲۵ لیتر برکیلو وات ساعت و برای نیروگاه‌های فتوولتائیک ۰/۰۷ لیتر برکیلو وات ساعت است بود.

با توجه به سابقه مطالعات می‌توان دریافت که موارد مربوط به آب‌مجازی، حسابداری آب و مصرف انرژی مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. در این بین موضوع مصرف انرژی برای بازچرخانی آب دارای اهمیت بسیار بالایی می‌باشد. برای این منظور در تحقیق حاضر به بررسی ردپای انرژی در آب برگشتی ناشی از تلفات نفوذعمقی انواع سامانه-های آبیاری (سطحی و تحت فشار)، با استفاده از مبانی هیدرولیکی و درنظرگرفتن راندمان انواع پمپ فشارقوی و شناور، پرداخته شد.

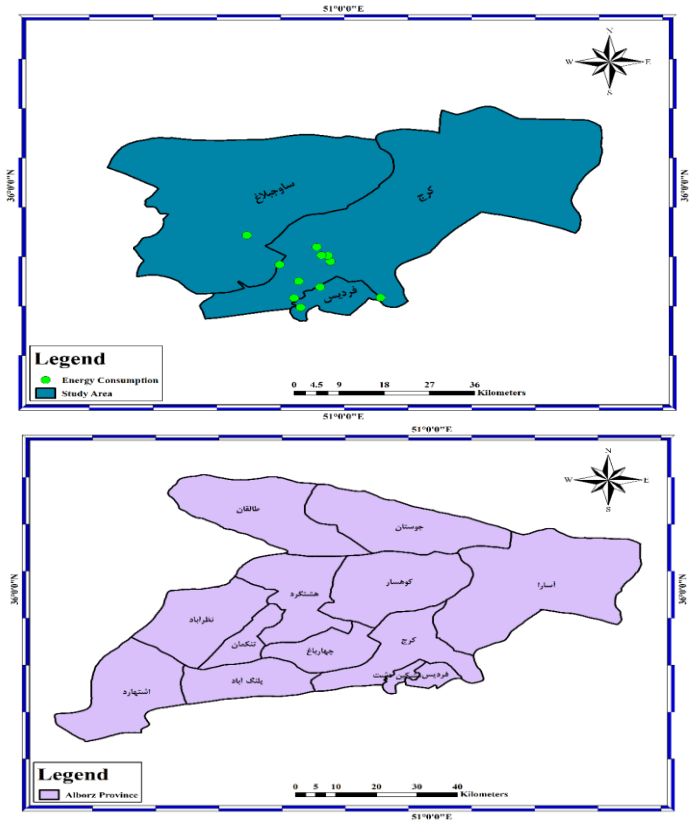
مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

استان البرز سی و یکمین استان کشور است. جمعیت استان حدود ۲/۵ میلیون نفر است که مرکز آن شهر کرج است. آب و هوای استان البرز تحت تأثیر کوه‌های البرز، دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های

معتدل است. جنوب استان به دلیل مجاورت با دشت، آب و هوای خشک و گرم دارد و این ویژگی خاص این منطقه به شمار می‌رود که از یک سو به کوه‌های پر برف البرز و از سوی دیگر به حاشیه یکی از خشک‌ترین بیابان‌های ایران منتهی می‌شود. منابع آب استان البرز به دو دسته، آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی تقسیم می‌شود. شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی چاه‌های مورد مطالعه در استان البرز به تفکیک شهرستان های آن را نشان می‌دهد.

رود کرج از بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و در انتها به دریاچه نمک قم می‌ریزد. سد امیرکبیر به عنوان اولین سد مخزنی چند منظوره در ایران بر روی رود کرج احداث شد که بخشی از آب مصرفی تهران و کرج را تأمین می‌کند. رود طالقان که از به هم پیوستن ۱۵ رود بزرگ و کوچک از جمله دیزان و کرکبود، در دره طالقان به سمت غرب جریان می‌یابد. سد مخزنی طالقان نیز بر روی رود طالقان احداث شد. از دیگر رودهای استان البرز می‌توان به رود کردان و رود شور اشاره کرد. رود کردان از رودهایی همچون دروان و برغان تشکیل شده است. رود شور نیز از به هم پیوستن رودهای کردان و ابهررود در شهرستان نظرآباد به وجود می‌آید و به موازات جاده کرج – اشتهارد به سمت شرق جریان می‌یابد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی چاه‌های مورد مطالعه

ب) داده‌های مورد استفاده

در ادامه این تحقیق سه روش آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی برای بررسی ردپای انرژی در سامانه‌های آبیاری مختلف، مورد بررسی قرار گرفتند. برای محاسبه انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری ابتدا داده‌های مربوط به ساعت کارکرد پمپ، دبی و فشارآب مورد نیاز پمپ برای آبیاری بارانی و قطره‌ای از دفترچه طراحی ازجهاد کشاورزی شهرستان هشتگرد، برای ده قطعه زمین اعم از زراعی و باغی دریافت شد.

بااستفاده از دبی (Q مترمکعب بر ثانیه)، ارتفاع کلی آبرسانی (H متر)، وزن مخصوص آب (γ نیوتون برمترمکعب) و راندمان پمپاژ (η)، میزان توان مصرفی از رابطه مصرف توان (P) برحسب کیلووات بر مترمکعب، از معادله (۱) محاسبه گردید:

$$p = \frac{\gamma QH}{\eta} \qquad (۱)$$

با توجه به فرمول (۱) برای محاسبه توان مصرفی نیاز به داشتن اطلاعات مربوط به ارتفاع (H) می‌باشد. در برخی از تحقیقات گذشته، فاصله بین سطح ایستابی تا سطح زمین به عنوان ارتفاع کلی آبرسانی

(H)، درنظر گرفته شد و مورد بررسی قرار گرفتـه اسـت. حـال آنکـه، برای محاسبه توان مصرفی باید از سطح دینامیک بـه عنـوان ارتفـاع کلی آبرسانی استفاده نمود. به عبارت دیگر زمان تخلیه آب لازم است توان مورد نیاز برای جبران افت آبخوان و افت چاه نیز در نظر گرفتـه شود.

برای محاسبه توان مصرفی در سـامانه‌هـای آبیـاری قطـره‌ای و بارانی ابتدا داده‌های مربوط به ساعت کارکرد پمـپ، دبـی و فشـارآب مورد نیاز پمپ برای آبیاری بارانی و قطره‌ای، بـا توجـه بـه اطلاعـات موجود و دفترچـه طراحـی و همچنـین کارشناسـان جهـاد کشـاورزی شهرستان هشتگرد ده قطعه زمین اعم از زراعی و باغی به مسـاحت-هـــای (۶۰ ، ۶/۷ ، ۱۸/۵ ، ۳ ، ۳/۵ ، ۱/۴ ، ۲ ، ۹ ، ۵ ، ۴/۵) هکتـــار انتخاب شد.

به منظور محاسبه میزان توان مورد نیاز پمپ برای رسیدن آب به مزرعه برای آبیـاری قطـره‌ای ازمعادلـه (۲) بـر حسـب کیلـو وات بـر مترمکعب محاسبه گردید:

$$P=\frac{\gamma\, Q\, H}{1000\times\eta} \qquad (۲)$$

همچنین برای محاسبه توان خارج شده از پمپ برای پمپـاژ آب، برای آبیاری بارانی از معادله (۳) اسـتفاده شـد (رضـوانی و همکـاران، ۱۳۸۹):

$$P=\frac{QH}{102} \qquad (۳)$$

با بررسی‌های صورت گرفتـه از آمارنامـه‌هـای جهـاد کشـاورزی، ۱۵محصول از محصولات باغی، زراعی و صـیفی‌جـات بـرای مطالعـه تعیین شد. محصولات باغی مورد مطالعه شامل سیب، هلـو، گـیلاس، گردو و انگور و محصولات زراعی و صیفی‌جات شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پیاز، خیار بهاره، خیار تابستانه، گوجه فرنگی، هندوانه و خربزه می‌باشد.

سپس نیاز آبـی خـالص هرکـدام از محصـولات بـاغی، زراعـی و صیفی‌جات استان البرز از طریق نرم‌افزار NETWAT محاسـبه شـد. سپس با توجه به راندمان آب برای سیستم آبیاری‌های مختلف، میزان آب مصرفی (نیاز ناخالص) از طریق هرکـدام از سیسـتم‌هـای آبیـاری مورد مطالعه برای همه محصولات بـه‌صـورت جداگانـه بدسـت آمـد. درنتیجه از محاسبه نیاز آبیاری هرگیاه در میزان توان بدسـت آمـده از هر آبیاری برای هرکدام از چاه‌های مورد مطالعه میزان ردپـای انـرژی برای هر چاه و هر محصول بدست آمد.

جدول (۱) نیازآبیاری محصولات مورد مطالعه با توجه به رانـدمان آبیاری برای سیستم‌های آبیاری سطحی، قطـره‌ای و بـارانی را نشـان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به نیازآبیاری محصولات کشاورزی

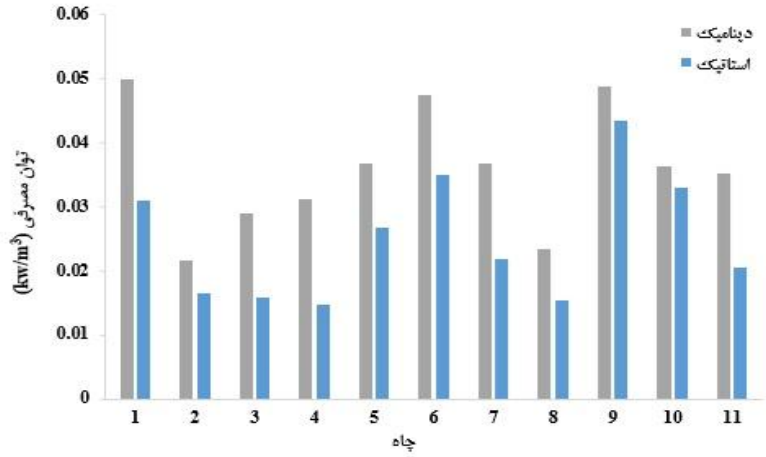
ردیف	نوع محصول	نیاز آبیاری (آبیاری سطحی) (m^3/ha)	نیاز آبیاری (آبیاری قطره‌ای) (m^3/ha)	نیاز آبیاری (آبیاری بارانی) (m^3/ha)
۱	سیب	۱۹۴۲۰	۱۰۷۸۹	–
۲	هلو	۱۷۶۲۰	۹۷۸۸/۹	–
۳	گیلاس	۱۸۹۲۰	۱۰۵۱۱	–
۴	گردو	۲۱۳۶۰	۱۱۸۶۶/۷	–
۵	انگور	۱۱۵۴۰	۶۴۱۱/۱	–
۶	پیاز	۱۸۴۴۰	۱۰۲۴۴	–
۷	خیاربهاره	۱۶۶۴۰	۹۲۴۴	–
۸	خیارتابستانه	۹۷۰۰	۵۳۸۹	–
۹	گوجه فرنگی	۱۱۲۶۰	۶۲۵۶	–
۱۰	هندوانه	۱۱۹۶۰	۶۶۴۴	–
۱۱	خربزه	۱۰۸۴۰	۶۰۲۲	–
۱۲	گندم	۷۴۲۰	۴۱۲۲/۲	۵۷۰۷/۷
۱۳	جو	۶۱۸۰	۳۴۳۳/۳	۴۷۵۳/۸
۱۴	ذرت علوفه‌ای	۱۵۰۶۰	۸۳۶۶/۷	۱۱۵۸۵
۱۵	یونجه	۱۹۴۴۰	۱۰۸۰۰	۱۴۹۵۳/۸

میزان انرژی مورد نیاز پمپ برای رسیدن آب به مزرعه برای آبیاری قطره‌ای و بارانی محاسبه و میزان برق مصرفی از انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری و انرژی مصرفی تلفات آبیاری بدست آمده، محاسبه شد. میزان آب مورد نیاز برای تولید یک مگاوات ساعت برق در نیروگاه‌های گازی (از روش خنک‌کننده گردشی) برابر با ۳/۵ مترمکعب در نظر گرفته شد (Macknick et al., 2012). سپس میزان آب مورد نیاز برای تولید برق که از انرژی مصرفی مورد نیاز محصولات مورد مطالعه بدست آمده بود، محاسبه شد. همچنین از انرژی مصرفی تلفات آبیاری، درصد تلفات مفید و غیرمفید آبیاری محاسبه و بازچرخانی آب مورد بررسی قرار گرفت.

لیاقت و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی سیستم‌های آبیاری که طی دو مرحله، اوایل و اواسط، از مرحلهٔ رشد در طول تابستان ۱۳۹۱ــ۱۳۹۰، انجام دادند. که دراین تحقیق راندمان کلاسیک آبیاری در روش سطحی در مراحل ابتدایی و اواسط رشد به ترتیب برابر با ۵/۹ و ۲۷/۸ درصد بود. همچنین، در روش بارانی، در مراحل ابتدایی و اواسط رشد پایین‌ترین مقادیر نتایج این ارزیابی مربوط به روش خطی، به ترتیب برابر با ۱۱/۸ و ۴۵/۶ درصد بود. بیشترین تفاوت مقادیر راندمان خالص و راندمان کلاسیک در مراحل ابتدایی و اواسط رشد مربوط به سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای به ترتیب برابر با ۴۱/۲ و ۴۴/۹ درصد بدست آمد. بنابراین، میزان تلفات مفید (آب بازگشتی) از کل تلفات آبیاری، مقدار ۲۰٪ ، ۳۰٪ و ۴۰٪ برای آبیاری قطره‌ای و مقادیر ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ برای تلفات مفید آبیاری برای آبیاری سطحی و بارانی درنظر گرفته شد.

نتایج و بحث

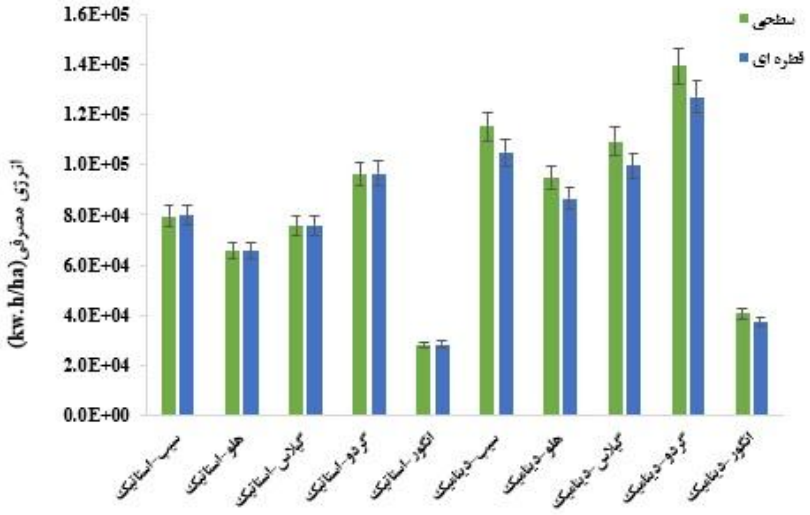
در این تحقیق سه روش آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی برای بررسی ردپای انرژی در سامانه‌های آبیاری مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. راندمان آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی به ترتیب ۵۰، ۹۰ و ۶۵ درصد درنظر گرفته شد (نحوی نیا و همکاران، ۱۳۹۸). با فرض تأمین آب کشاورزی از محل آب زیرزمینی، کل توان مصرفی شامل پمپاژ آب از چاه به سطح زمین به اضافه توان مصرفی در سامانه آبیاری می‌باشد. به منظور محاسبه توان مصرفی پمپاژ آب از چاه (یکبار برای سطح استاتیک و یکبار برای سطح دینامیک) از معادله (۱) استفاده شد. در این راستا داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به ۶۴ حلقه چاه مشاهده‌ای واقع در دشت البرز در دوره آماری ۱۳۹۸ از آب منطقه‌ای استان البرز جمع‌آوری شد. با استفاده از روش‌های زمین آماری، درون‌یابی سطح ایستابی در سال ۱۳۹۸ از روش KRIGING انجام شد. همچنین برای محاسبه سطح دینامیک چاه، h_d، از رابطه ابعادی استفاده شد. بنابراین با انجام آنالیز ابعادی با استفاده از روش باکینگهام (π) و با در نظر گرفتن تمامی متغیرهای مستقل و وابسته مؤثر، یک مدل ریاضی برای برآورد سطح دینامیک چاه بدست آمد. از بین ۶۴ حلقه چاه مورد مطالعه تعداد ۱۱ حلقه چاه در محدوده اعداد بدون بعد قرار گرفتند. از اطلاعات این ۱۱ حلقه چاه واقع در شهرستان‌های ساوجبلاغ، فردیس و کرج استفاده شد. شکل (۲) توان مصرفی برای پمپاژ آب از هر یک از چاه‌ها را نشان می‌دهد. میانگین توان مصرفی ۱۱ حلقه چاه برای سطح استاتیک و سطح دینامیک برحسب کیلو وات بر مترمکعب به ترتیب، معادل ۰/۰۲۵(kw/m^3)، ۰/۰۳۶ (kw/m^3) محاسبه شد.



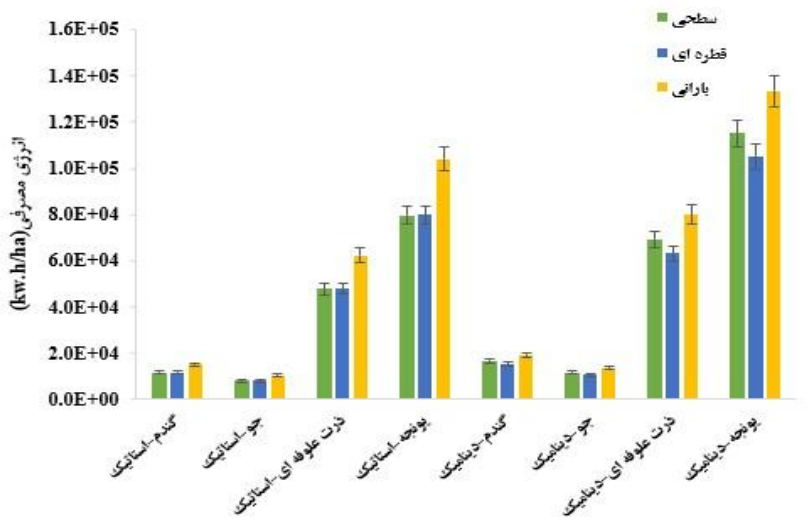
شکل ۲- توان مصرفی برای پمپاژ آب از هر یک از چاه‌ها

با توجه به اینکه میزان آب کشاورزی مصرفی از محل آب زیرزمینی برای محاسبه انرژی مصرفی برای آبیاری قطره‌ای و بارانی درنظر گرفته شد، بنابراین درصد انرژی مصرفی که مربوط به آوردن آب از سفره به سطح زمین است برای سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی محاسبه شد. میزان آب مصرفی از آب زیرزمینی برای محاسبه انرژی مربوط به سطح دینامیک، برای آبیاری قطره‌ای ۷۷/۸ درصد و برای آبیاری بارانی ۷۱/۳۳ درصد و برای محاسبه انرژی مربوط به سطح استاتیک، برای آبیاری قطره‌ای ۷۰/۲۶ درصد و برای آبیاری بارانی ۶۲/۷۱ درصد می‌باشد.

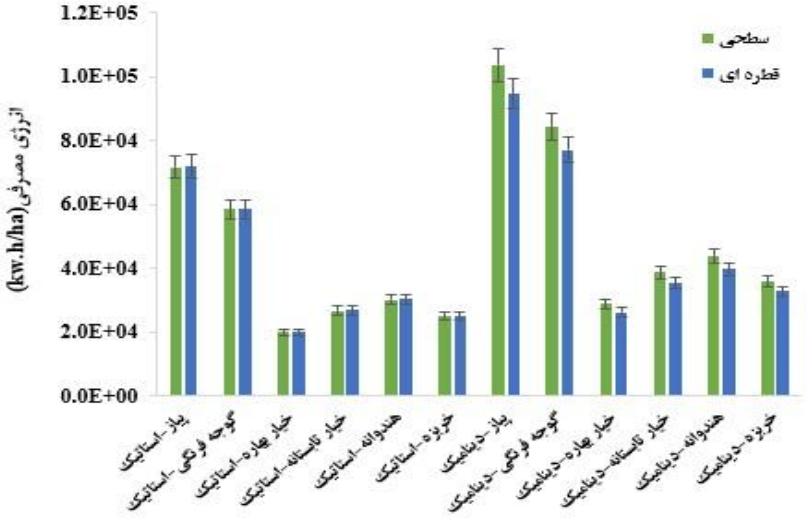
شکل ۳تا ۵ به ترتیب میانگین مصرف انرژی براساس نیاز خالص آبیاری سطح استاتیک و سطح دینامیک مربوط به سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه مربوط به محصولات باغی، زراعی و صیفی‌جات با توجه به نیاز آبیاری هر محصول را نشان می‌دهد.



شکل ۳- میزان انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری برای محصولات باغی

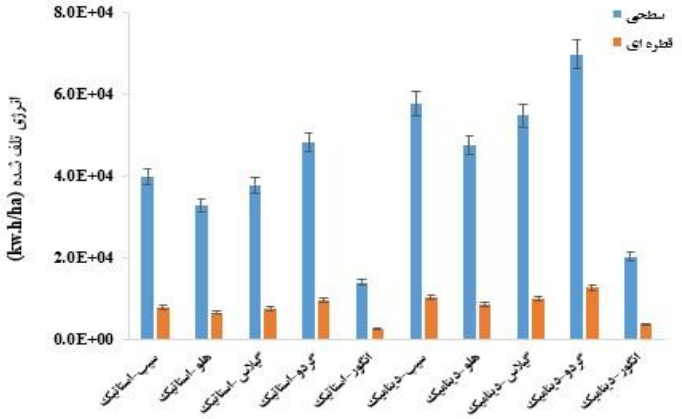


شکل ٤- انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی

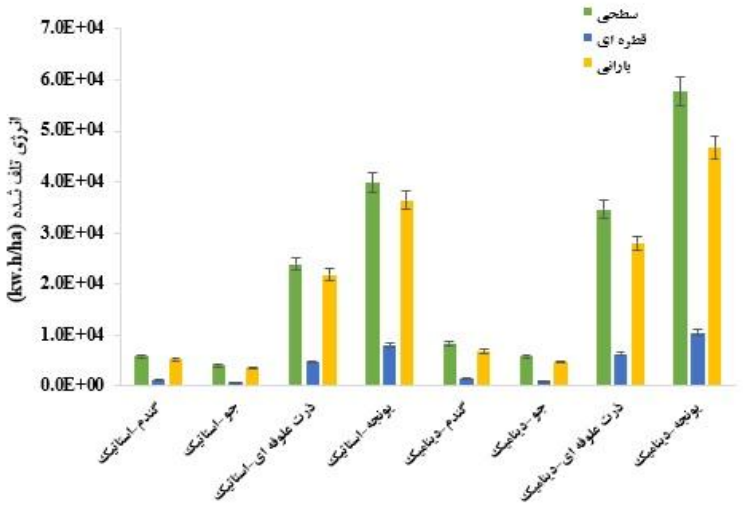


شکل ۵- انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری صیفی‌جات

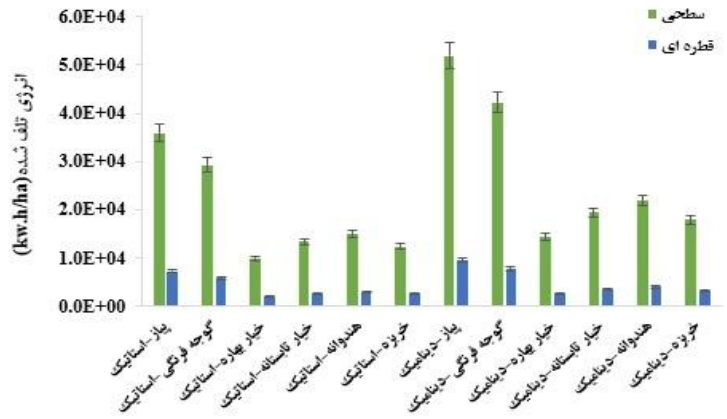
با توجه به شکل (۳) بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به روش آبیاری سطحی برای گردو و کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به روش آبیاری قطره‌ای برای انگور می‌باشند. میزان مصرف انرژی سطح استاتیک محصولات باغی برای آبیاری سطحی و قطره-ای نزدیک بهم می‌باشد، و برای سطح دینامیک میزان مصرف انرژی در آبیاری سطحی برای همه محصولات مورد مطالعه بیشتر از آبیاری قطره‌ای می‌باشد. شکل (۴) نشان می‌دهد، انرژی مصرفی برای سطح دینامیک و سطح استاتیک درمحصولات زراعی، یونجه در هر سه سیستم آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی بیشترین میزان مصرف انرژی را دارد. همچنین جو در سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه کمترین میزان مصرف انرژی را دارد. با توجه به اینکه توان مصرفی برای رسیدن آب به مزرعه برای آبیاری بارانی از سایر روش‌های آبیاری بیشتر است، بنابراین میزان انرژی مصرفی برای آبیاری بارانی در محصولات زراعی بیشتر از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی می‌باشد. با توجه به شکل (۵) پیاز بیشترین و خیار بهاره کمترین میزان مصرف انرژی برای سطح دینامیک و سطح استاتیک را دارند. به لحاظ آبیاری، بیشترین مصرف انرژی مربوط به آبیاری بارانی می-باشد. بعد از آن آبیاری سطحی در مرتبه دوم قرار دارد. با توجه به میزان انرژی بدست آمده برای آبیاری سطحی مشخص می‌شود که آبیاری سطحی کمترین مقدار مصرف انرژی را ندارد. دلیل این امر تلفات بالای این روش نسبت به سایر روش‌های آبیاری می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به آبیاری قطره‌ای می‌باشد. میزان تلفات انرژی برای هرمحصول با توجه به راندمان سامانه و میزان آب مصرفی از طریق هرکدام از سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه برای همه محصولات به - صورت جداگانه بدست آمد. شکل های (۶)، (۷) و (۸) میانگین انرژی مصرفی تلفات آبیاری، مربوط به محصولات باغی، زراعی و صیفی-جات استان را نشان می‌دهد.



شکل ٦- میزان انرژی مصرفی تلفات آبیاری محصولات باغی



شکل ۷- میزان انرژی مصرفی تلفات آبیاری محصولات زراعی



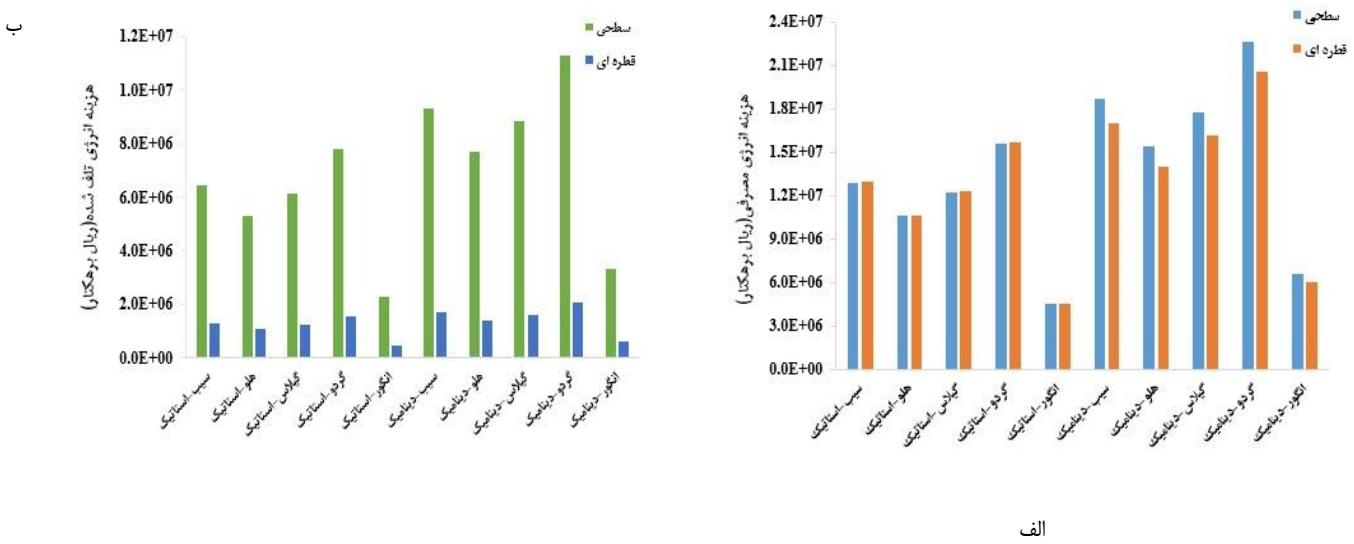
شکل ۸- میزان انرژی مصرفی تلفات آبیاری صیفی‌جات

با توجه به شکل‌های ۶ تا ۸ بیشترین میزان انرژی مصرفی تلفات آبیاری مربوط به آبیاری سطحی و کم‌ترین مقدار مربوط به آبیاری قطره‌ای است. همچنین بیشترین میزان اتلاف انرژی به لحاظ مقایسه محصولات کشاورزی مربوط به محصولات باغی می‌باشد. درمقایسه مصرف انرژی تلفات آبیاری سطح دینامیک و سطح استاتیک، برای تمام محصولات مورد مطالعه، انرژی مصرفی تلفات آبیاری برای سطح دینامیک بیشتر از سطح استاتیک می‌باشد.

مصرف انرژی در سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه، از نظر هزینه ریالی (بر اساس تعرفه برنامه‌ریزی شده – بهمن۱۴۰۰) مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین هزینه‌های انرژی مصرف شده و انرژی مصرفی تلفات آبیاری مربوط به دوره‌های مختلف آبیاری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. شکل‌های ۹ تا ۱۱ میانگین هزینه انرژی مصرفی سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه برای محصولات باغی، زراعی وصیفی‌جات را نشان می‌دهد.

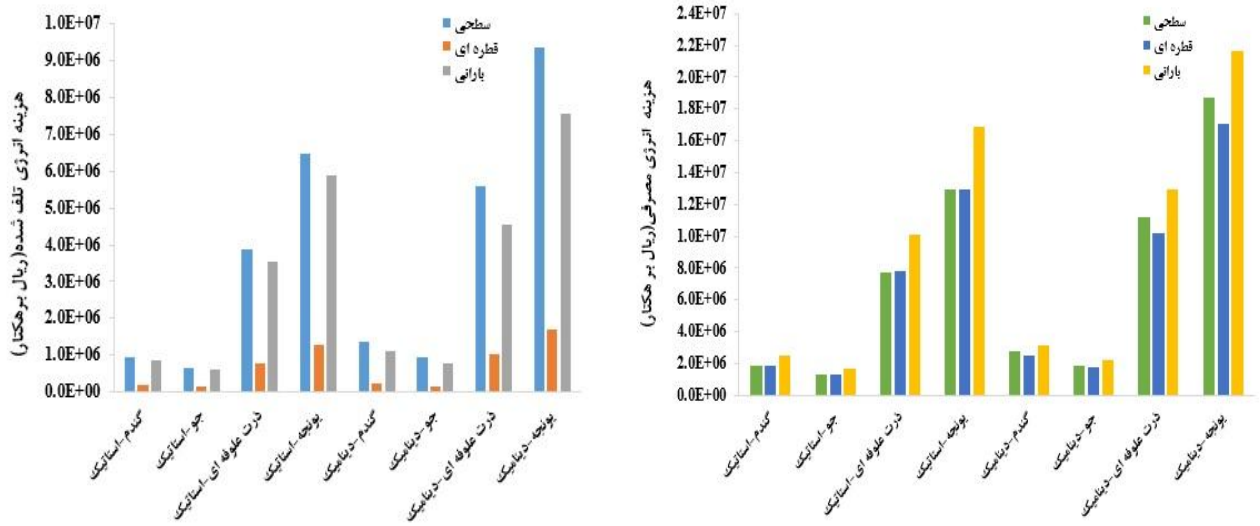
هزینه‌های انرژی در محصولات مختلف متفاوت است. در محصولات باغی و صیفی‌جات برای سطح دینامیک، آبیاری سطحی میزان هزینه بیشتری را در بر دارد. با توجه به اینکه میزان انرژی مصرفی برای تولید محصولات زراعی مربوط به سیستم آبیاری بارانی می‌باشد، بنابراین درمحصولات زراعی انرژی مصرف شده بر اساس نیاز خالص آبیاری، سیستم آبیاری بارانی بالاترین میزان هزینه را دارا می‌باشد. آبیاری سطحی بیشترین هزینه در انرژی مصرفی تلفات آبیاری برای همه محصولات مورد مطالعه را دارا می‌باشد. در همه محصولات باغی، زراعی و صیفی، کم‌ترین میزان هزینه مربوط به آبیاری قطره‌ای است. با توجه به بررسی انرژی مربوط به محصولات مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت سیستم‌های آبیاری مختلف و همچنین محصولات با نیاز آبیاری مختلف، هزینه‌های انرژی متفاوتی

را خواهند داشت. به منظور محاسبه میزان مصرف آب برای تولید برق بر حسب مترمکعب بر هکتار، میزان آب مورد نیاز برای تولید یک مگاوات ساعت برق در نیروگاه‌های گازی (از روش خنک‌کننده گردشی) برابر با ۳/۵ مترمکعب در نظر گرفته شد (Macknick et al.. 2012). سپس میزان آب مصرفی برای تولید برق محاسبه گردید. شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ میانگین مقدار آب مصرف شده برای تولید برق در نیروگاه برای تولید انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری و انرژی مصرفی تلفات آبیاری محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



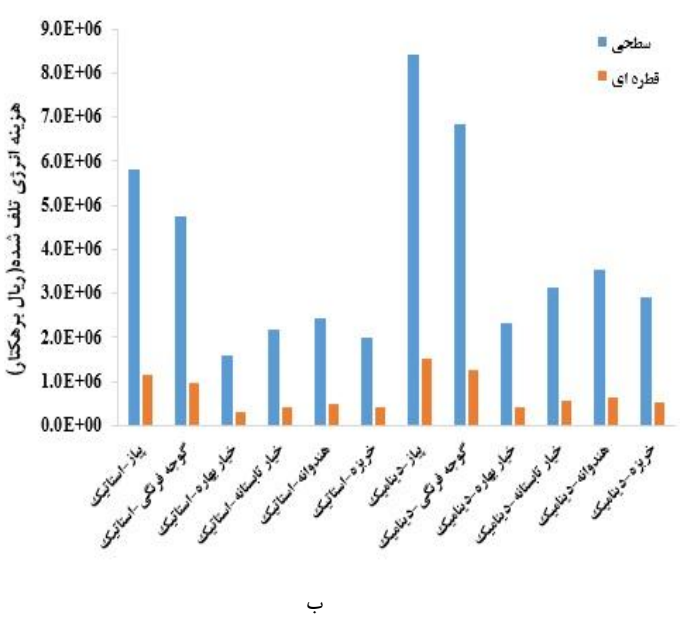
الف

شکل ۹- الف) هزینه انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) هزینه انرژی مصرفی تلفات آبیاری (محصولات باغی)

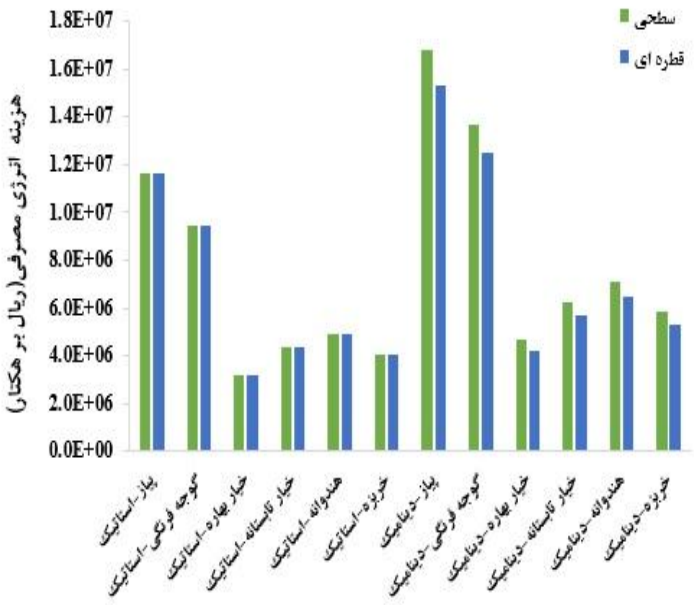


ب الف

شکل ۱۰- الف) هزینه انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) هزینه انرژی مصرفی تلفات آبیاری (محصولات زراعی)

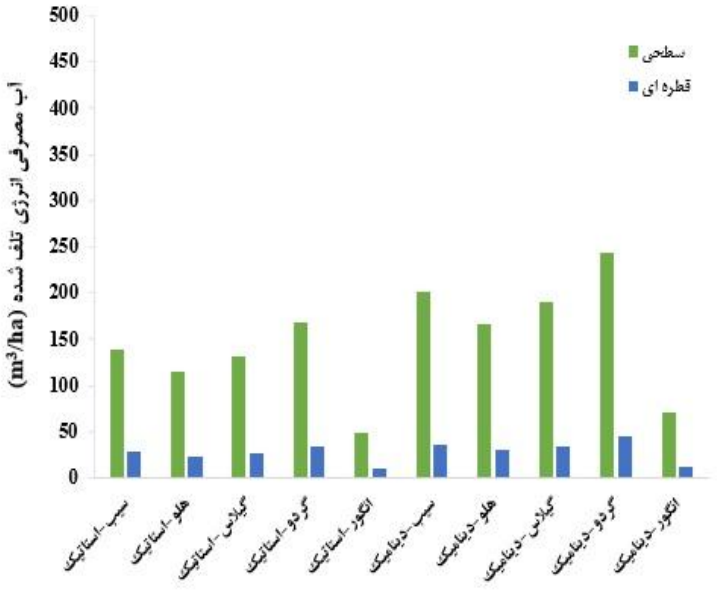


ب

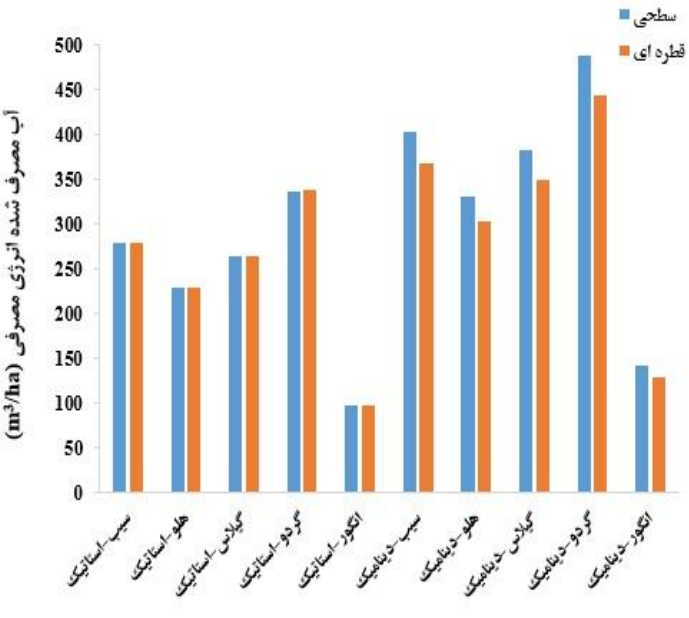


الف

شکل ۱۱- الف) هزینه انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) هزینه انرژی مصرفی تلفات آبیاری (صیفی‌جات)

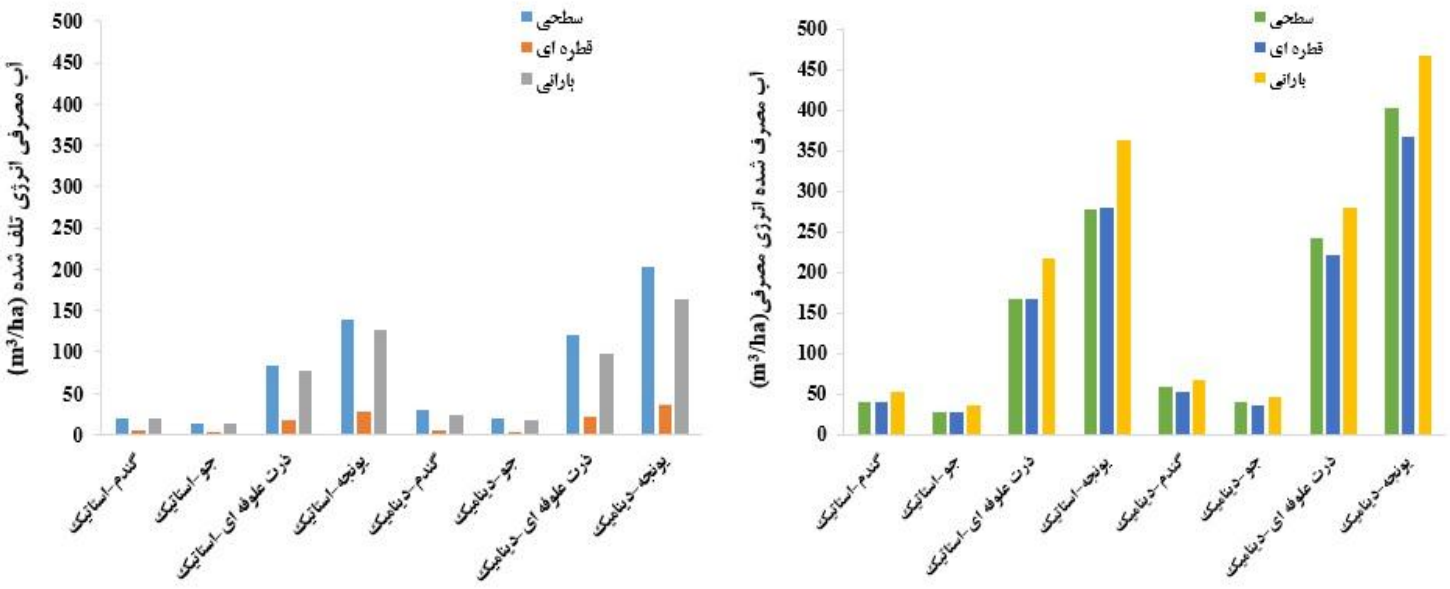


ب



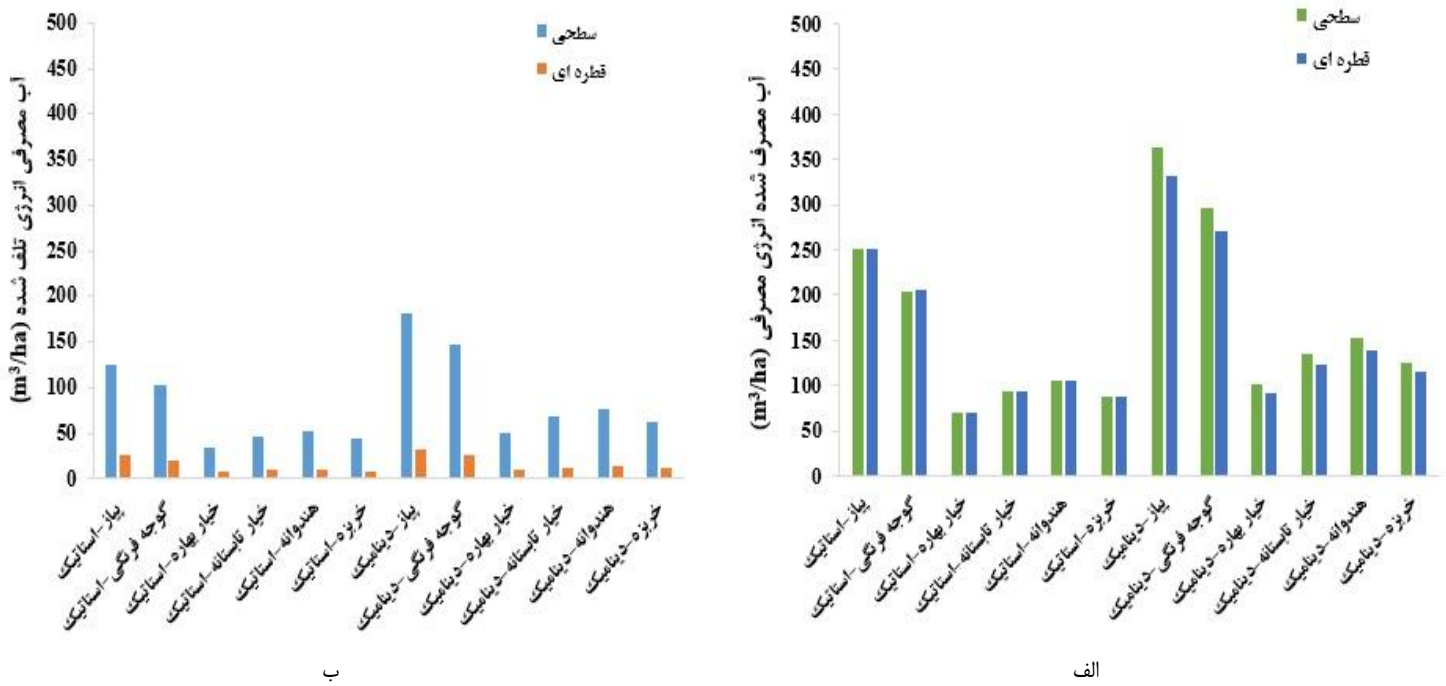
الف

شکل ۱۲- الف) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی تلفات آبیاری (محصولات باغی)



ب الف

شکل ۱۳- الف) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی تلفات آبیاری (محصولات زراعی)

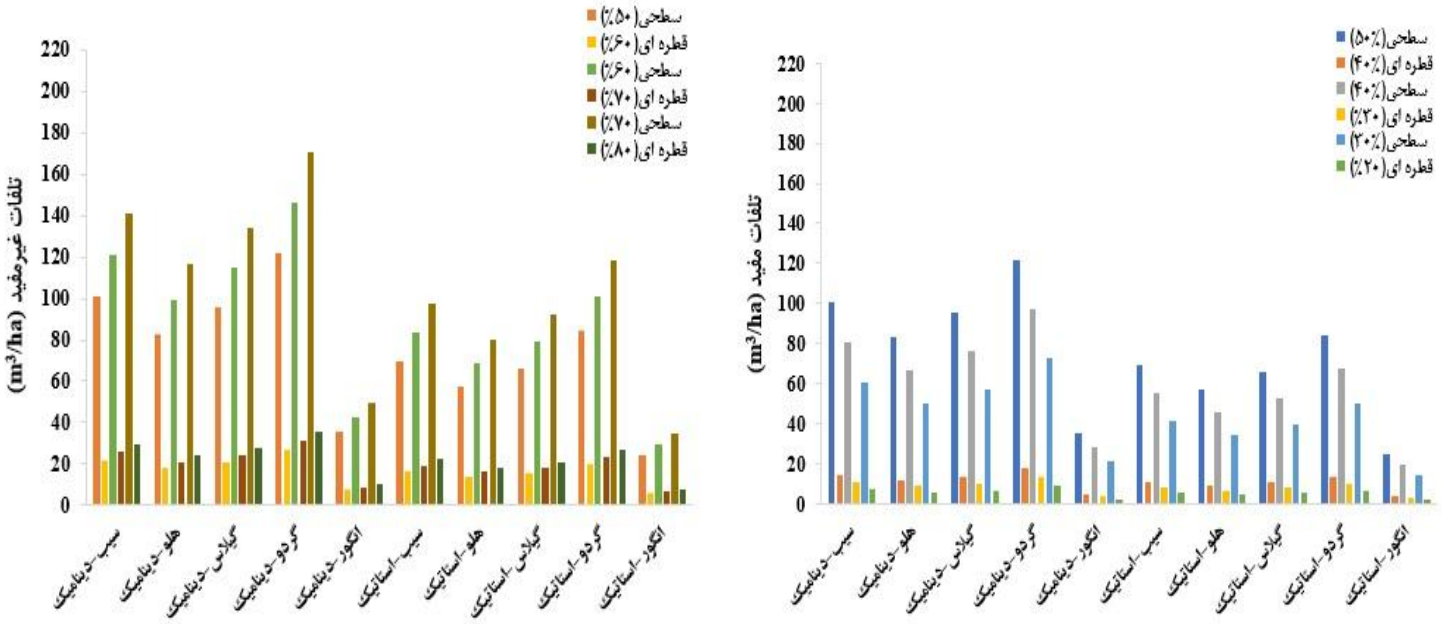


ب الف

شکل ۱۴- الف) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی براساس نیاز خالص آبیاری ب) آب مصرف شده برای تولید انرژی مصرفی تلفات آبیاری (صیفی‌جات)

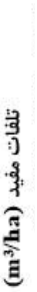
با توجه به شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ مقدار آب مصرفی برای تلفات کل آبیاری بدست آمد، سپس میزان تلفات مفید (آب بازگشتی) از کل تلفات آبیاری، مقدار ۲۰٪ ، ۳۰٪ و ۴۰٪ برای آبیاری قطره‌ای و مقادیر ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ برای تلفات مفید آبیاری برای آبیاری

سطحی و بارانی درنظر گرفته شد (لیاقت و همکاران، ۱۳۹۴). شکل¬های ۱۵ تا ۱۷ میزان تلفات مفید و غیر مفید آبیاری برای محصولات باغی، زراعی و صیفی‌جات را نشان می‌دهد. در این نمودارها مقادیر تلفات مفید و غیر مفید آبیاری از میزان آب مصرفی برای تولید انرژی تلفات آبیاری برحسب مترمکعب برهکتار بدست آمد.



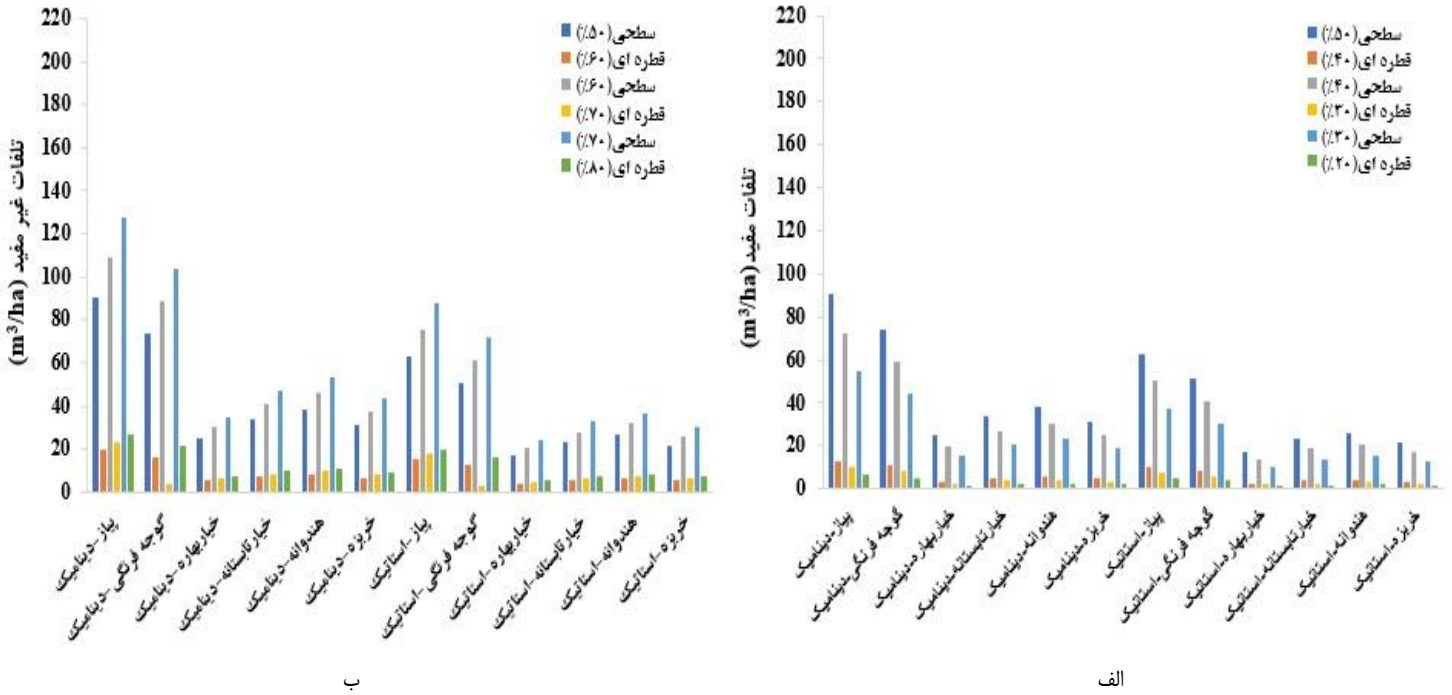
الف ب

شکل ۱۵- الف) تلفات مفید آبیاری ب) تلفات غیرمفید آبیاری (محصولات باغی)



الف ب

شکل ۱۶ - الف) تلفات مفید آبیاری ب) تلفات غیرمفید آبیاری (محصولات زراعی)



الف ب

شکل ۱۷- الف) تلفات مفید آبیاری ب) تلفات غیرمفید آبیاری (صیفی‌جات)

با توجه به شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ تلفات مفیدآبیاری در همه محصولات برای سطح دینامیک بیشتر از سطح استاتیک می‌باشد. به عنوان مثال مقدار تلفات مفید آبیاری سطح دینامیک محصول یونجه (۴۰ درصد تلفات مفید آبیاری) برای آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی به ترتیب حدود (m^3/ha) ۸۰، (m^3/ha) ۱۵ و (m^3/ha) ۶۵ می‌باشد، و مقدار تلفات مفید آبیاری سطح استاتیک محصول یونجه (۴۰ درصد تلفات مفید آبیاری) برای آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی به ترتیب حدود (m^3/ha) ۵۵، (m^3/ha) ۱۱ و (m^3/ha) ۵۰ می‌باشد. همچنین محصولات باغی بیشترین میزان تلفات مفید آبیاری و صیفی‌جات کم‌ترین میزان تلفات مفید آبیاری را دارا می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ردپای انرژی در سامانه‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به توان بدست آمده از سطح دینامیک میزان انرژی مصرفی برای آبیاری های سطحی، قطره‌ای و بارانی برای محصولات باغی و زراعی بدست آمد. میزان مصرف انرژی در سیستم‌های آبیاری مختلف برای آبیاری بارانی بیشترین میزان مصرف در بیشتر محصولات کشاورزی و آبیاری سطحی در مرتبه دوم بود. البته در برخی محصولات آبیاری سطحی بیشترین میزان مصرف انرژی را دارا است. میزان انرژی بدست آمده برای آبیاری سطحی نشان می‌دهدکه آبیاری سطحی کمترین مقدار مصرف انرژی را ندارد و حتی در برخی محصولات از آبیاری بارانی نیز مقدار انرژی بیشتری مصرف می‌شود. دلیل این امر تلفات بالای این روش نسبت به سایر روش‌های آبیاری می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به آبیاری قطره‌ای می‌باشد. انرژی مصرف شده برای تعیین اتلاف انرژی با توجه به راندمان محصولات در سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه محاسبه شد. بیشترین تلفات انرژی مربوط به آبیاری سطحی و کمترین مقدار مربوط به آبیاری قطره‌ای است. نتایج نشان می‌دهد سیستم آبیاری سطحی بالاترین مقدار مصرف انرژی را دارا می‌باشد، بنابراین مشخص می‌شود این روش آبیاری تلفات بالای انرژی و هزینه را دربر دارد. با توجه به مرسوم بودن این روش آبیاری باید در راستای تغییر روش آبیاری به روش‌های بهینه مانند روش آبیاری قطره‌ای تأمل بیشتری صورت گیرد. هزینه‌های مربوط به مصرف برق برحسب ریال بر هکتار محاسبه گردید. با توجه به اینکه میزان آب مورد نیاز برای تولید یک مگاوات ساعت برق در نیروگاه‌های گازی برابر با ۳/۵ مترمکعب می‌باشد و با درنظر گرفتن هزینه انرژی مصرف شده و انرژی تلف شده، میزان آب مصرفی برای تولید برق به ازائ مترمکعب محاسبه گردید. با توجه به نتایج بدست آمده برای تولید محصولاتی که بیشترین میزان مصرف انرژی را دارا می‌باشند، مانند گردو و یونجه برای یک دوره رشد حدود (m^3/ha)۵۰۰ و برای تولید محصول پیاز حدود (m^3/ha)۴۰۰ آب باید مصرف شود تا انرژی لازم برای تولید این محصولات تأمین گردد. با توجه به اینکه میزان تلفات مفید (آب

بازگشتی) از کل تلفات، مقدار ۲۰٪ ، ۳۰٪ و ۴۰٪ برای آبیاری قطره-ای و مقادیر ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ برای تلفات مفید آبیاری برای آبیـاری سطحی و بارانی درنظر گرفته شد، آب برگشتی مقدار قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد. تلفات مفید آبیاری در همه محصولات برای سطح دینامیک بیشتر از سطح استاتیک می‌باشد. همچنین محصولات باغی بیشـترین میزان تلفات مفید آبیاری و صیفی‌جات کمتـرین میـزان تلفـات مفیـد آبیاری را دارا می‌باشد.

منابع

رضـوانی، م.، جعفـری، ع. م. و سـیف الـه، ا. ۱۳۸۹. بررسـی بـازده و مصرف انرژی در ایستگاه های پمپاژ آبیاری بارانی برخـی مـزارع استان همدان: مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی.

لیاقـت، ع.، مکـاری قهـرودی، ا.، نـوری، ح. و سـتوده نیـا، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی سیستم‌های آبیاری دشت قزوین بـا تعیـین رانـدمان‌هـای آبیاری کلاسیک و نئوکلاسیک. تحقیقات آب و خاک ایران.

موسوی‌رینه، م. و یوسفی، ح. ۱۳۹۹. بررسی ردپای آب در تولید بـرق با تأکید برانرژی‌هـای تجدیدپـذیر. اکوهیـدرولوژی.۷(۴): ۱۰۰۷–۱۰۱۹.

نظری، ب.، لیاقت، ع.، پارسی‌نژاد، م.، بهمن‌پوری، ص. و علیـزاده، ح. ع. ۱۳۹۵. بررسی و تبیین مبانی نظـری عوامـل مـؤثر بـر میـزان مصـرف انـرژی در سـامانه‌هـای آبیـاری تحـت فشـار در اسـتان قزوین. پژوهش آب در کشاورزی.

نحوی نیا، م. ج.، لیاقت، ع. و عباسی، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان). تحقیقات آب و خاک ایران.

Ababaei, B. and Etedali, H. R. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural water management. 179: 401-411.

Ababaei, B. and Etedali, H. R. 2014. Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. Environmental processes. 1(3): 193-205.

Etedali, H. R., Ahmadaali, K., Liaghat, A., Parsinejad, M., Tavakkoli, A. R. and Ababaei, B. 2015. Optimum water allocation between irrigated and rainfed lands in different climatic conditions. In Biological Forum (Vol. 7. No. 1. p. 1556). Research Trend.

Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C. R. and Abbaspour, K. C. 2010. Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. Hydrology and Earth System Sciences. 14(8): 1417-1433.

Horlemann, L. and Neubert, S. 2007. A realistic concept for resolving the water crisis? Dt. Institut für Entwicklungspolitik. (Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik; 25)

Macknick, J., Newmark, R., Heath, G. and Hallett, K. C. 2012. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. Environmental Research Letters. 7(4): 045802.

Wang, Y. D., Lee, J. S., Agbemabiese, L., Zame, K. and Kang, S. G. 2015. Virtual water management and the water--energy nexus: A case study of three Mid-Atlantic states. Resour. Conserv. Recycl. vol. 98. pp. 76–84. 2015.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 17, Aug.-sEP. 2023, p. 545-560

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۷، مرداد – شهریور ۱۴۰۲، ص. ۵۶۰-۵۴۵

Studying the Energy Footprint of Different Irrigation Systems (Case Study: Alborz Province)

T. Darjani Sani[1], M. Bijankhan [2*], H. Ramezani Etedali[3]
Recived: Dec.06, 2022 Accepted: Mar.31, 2023

Abstract

In this study, the energy footprints of the surface, drip, and sprinkler irrigation systems were investigated. In this regard, the water requirements of 15 different crops were considered in Alborz province. The data of the wells of Alborz province, the data of the ground water level of the observation wells located in the Alborz plain in the statistical period of 2019 were collected from the regional water authority of Alborz province. The water table and dynamic level of 11 wells were checked and calculated. The required electric power to pump the water on the ground was then calculated. Taking both static and dynamic water levels, the electric energy required for different irrigation systems was calculated according to the net water requirement and consumed energy of the water losses. Also, taking three scenarios for the return flow to the aquifer and irrigation non-useful losses, the return flow to the aquifer and the associated energy footprint were calculated for both static and dynamic groundwater levels. Results indicated that the highest energy loss is related to surface irrigation and the lowest amount is related to drip irrigation.the irrigation useful losses calculated using the dynamic water level were always higher than that calculated by the static water level. For example, the amount of useful irrigation losses of the dynamic and static water levels of alfalfa crops (40% of the useful losses of drip irrigation) is about 15 and 11 (m^3/ha), respectively. Also, the highest and the least irrigation useful losses were obtained for horticultural and summer crops respectively. The highest amount of losses in horticultural crops, agricultural crops and vegetable crops is related to walnut, alfalfa and onion, respectively, and the lowest losses in horticultural crops, agricultural crops and vegetable crops is related to grape, barley and spring cucumber, respectively.

Keywords: Dynamic groundwater level, Energy footprint, Static groundwater level, Useful losses

1- Master's student, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2- Associated Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3- Associated Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
(* -Corresponding Author Email: bijankhan@eng.ikiu.ac.ir)