

بررسی و تبیین مبانی نظری عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در استان قزوین

بیژن نظری^{۱*}، عبدالمجید لیاقت، مسعود پارسی‌نژاد، صفیه بهمن‌پوری و حمزه‌علی علیزاده

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

binazari@ut.ac.ir

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

aliaghat@ut.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

parsinejad@ut.ac.ir

دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

s.bahmanpouri@gmail.com

استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه ایلام.

hamzehalizadeh@ut.ac.ir

چکیده

با افزایش یافتن تعرفه‌های انرژی، بحث مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه در سامانه‌های آبیاری ابعاد تازه‌ای به خود گرفته است و در موفقیت این طرح‌ها نقش مهمی بر عهده خواهد داشت. در این تحقیق مبانی تئوریک اثر عوامل طراحی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر هزینه‌های 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 تحت فشار استان قزوین (عمدتاً در محدوده شبکه آبیاری قزوین) از انواع آبیاری بارانی کلاسیک با آبیاری متحرک، بارانی متحرک پیوسته (سنتر و لینیر) و آبیاری موضعی از نظر مصرف انرژی ارزیابی شده و انرژی لازم در هر سامانه برای تامین یک متر مکعب 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 برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی را خاطر نشان می‌سازد. همچنین برای محصولات کشاورزی عمده شبکه آبیاری قزوین میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه به واسطه کاربرد سامانه‌های تحت فشار 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 بهره‌برداری و نگهداری اصولی از ایستگاه پمپاژ طبق دفترچه پمپ، در کاهش هزینه‌های انرژی این سامانه‌ها اهمیت بالا دارد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای، ضوابط طراحی آبیاری، انتخاب پمپ.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی، گروه علوم و مهندسی آب.

* - دریافت: بهمن ۱۳۹۲ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

مقدمه

با توجه به فرار گرفتن کشور در منطقه خشک و نیمه خشک جهان، تولید بخش کشاورزی تا حد زیادی به موجودیت آب وابسته است و در اکثر مناطق کشور، کشاورزی بدون آبیاری میسر نیست. بدین جهت از دیرباز مردم ایران توجه ویژه ای به فن آبیاری داشته اند. در سال- های اخیر نیز با گسترش علم آبیاری روی آوری به سامانه های آبیاری جدید با هدف ارتقای راندمان آبیاری مدنظر مدیران، کشاورزان و محققین قرار گرفته است.

طبق آمار موجود تا پایان سال ۱۳۹۲، ۱/۳ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور به سیستم های آبیاری تحت فشار مجهز شده اند (معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۳). به منظور افزایش تولیدات کشاورزی، اقتصاد پایدار و امنیت غذایی کشور، برنامه- ریزان برنامه پنج ساله توسعه را برگسترش و توسعه پایدار روش های آبیاری تحت فشار بنا نهاده اند. با توجه به این که سامانه های آبیاری تحت فشار اغلب نیازمند مصرف انرژی برای تأمین فشار لازم هستند، بحث تأمین انرژی برای این سامانه ها و به تبع آن هزینه های مصرف انرژی این سامانه ها اهمیت زیادی دارد.

سازمان فائو روابط بین هزینه های انرژی و ابعاد لوله ها و پمپ و ... و روش شناسی برآورد هزینه های فصلی انرژی در سیستم های آبیاری را ارائه کرده است و بر ضرورت توجه به هزینه های انرژی در طراحی هیدرولیکی سیستم های آبیاری تأکید کرده است (فائو، ۱۹۹۲). همچنین روش شناسی لحاظ کردن بازده آبیاری در صرفه جویی هزینه های انرژی توسط USDA ارائه شده است (USDA، ۱۹۹۷). موسسه IWMI در مطالعاتی جامع اظهار داشته است که هزینه های انرژی با حذف و کاهش یارانه ها افزایش قابل ملاحظه ای خواهد داشت. در این مطالعه به این مسئله اشاره شده است که چاه های عمومی به علت نگهداری ضعیف تر از چاه های خصوصی، هزینه های انرژی بیشتری دارند (اسکات و همکاران، ۲۰۰۴). در نشریات متعدد فائو لزوم توجه به

هزینه های انرژی در انتخاب سامانه های آبیاری بارانی مطرح شده و تأکید شده است که طراحان سیستم های آبیاری تحت فشار، بایستی بررسی و تعیین نیاز انرژی سیستم را در فرآیند طراحی مدنظر قرار دهند (فائو، ۲۰۰۲). از مدل های تلفیقی جهت صرفه جویی مستقیم و غیرمستقیم انرژی از طریق صرفه جویی در آب استفاده شده است (دیمونسابت و همکاران، ۱۹۹۸) با استفاده از فرآیند بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک، صرفه- جویی قابل ملاحظه در هزینه های انرژی گزارش شده است (مرادی و همکاران، ۲۰۰۴). در تحلیل هزینه های سالانه آب، انرژی، کارگری، تجهیزات و... برای جنس لوله و آرایش های مختلف، هزینه آب، سرمایه گذاری و انرژی بیشترین نقش را در هزینه سالانه سیستم داشته اند (رومرو و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه ای در اسپانیا، با متوسط نیاز آبیاری سالانه ۲۵۸۹ مترمکعب بر هکتار، مصرف سالانه انرژی در سیستم های آبیاری تحت فشار بالا و در محدوده ۱۰۰۰ کیلووات بر ساعت بر هکتار بوده است.

محققین اذعان داشته اند، هزینه های انرژی در مواردی موجب شده است که آب کاربردی کمتر از مقدار نیاز اعمال شود و این مسئله لزوم توجه و تحلیل همزمان آب و انرژی مورد نیاز را مطرح می سازد (رودریگوئز، ۲۰۱۰). در مطالعات دیگر بر نقش مشارکت تشکلهای بهره برداری از شبکه های آبیاری تحت فشار در کاهش هزینه های انرژی تأکید شده است و بیان شده است که اصلاح مدیریت بهره برداری تا ۱۵ درصد هزینه های مصرف انرژی را کاهش می دهد (گارسایا پراتز، ۲۰۱۱؛ کاریلو کوبو، ۲۰۱۰). افزایش تعرفه های انرژی می تواند با تغییراتی که در آنالیز هزینه پروژه های آبیاری داشته باشد، طراحی اقتصادی سازه ها و لوله ها را تغییر دهد. به عنوان نمونه در سال ۲۰۰۹ برای یک پروژه آبیاری، لوله با قطر ۲۰۰ میلیمتر اقتصادی ترین قطر برآورد شده است، در حالی که در سال ۲۰۱۰ برای همین پروژه به علت افزایش

مواد و روش‌ها

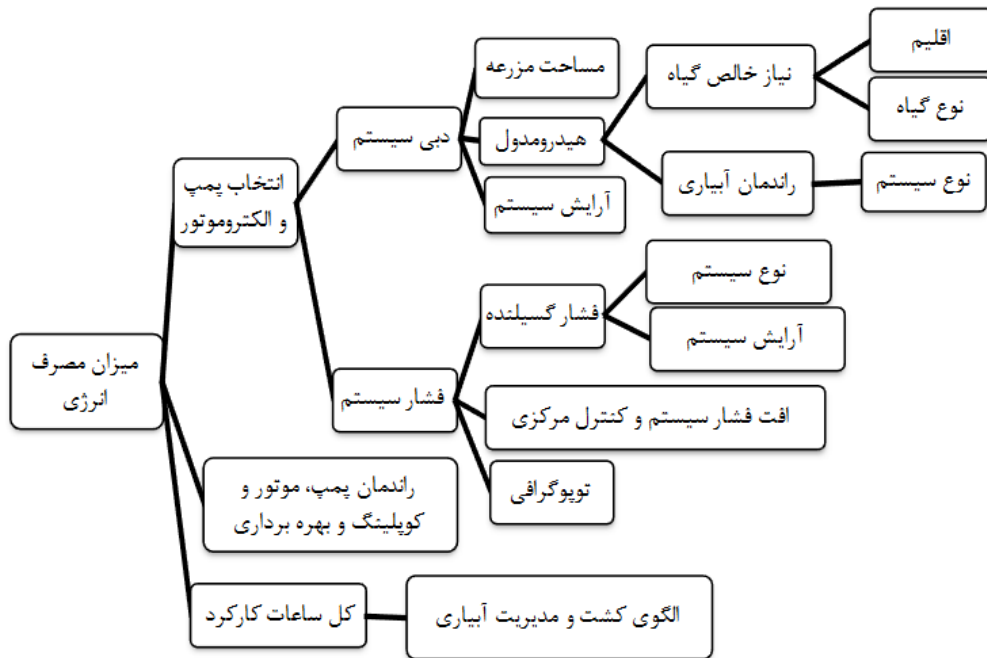
۱- تئوری

ممکن است در نظر اول در خصوص بحث راهکارهای افزایش بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری و کاهش هزینه‌های انرژی نظر کارشناسان امر فقط به ایستگاه‌های پمپاژ و طراحی و بهره‌برداری بهینه‌های آنها معطوف شود؛ اما باید توجه داشت که علاوه بر ایستگاه‌های پمپاژ که نقش مهمی در ارتقای بهره‌وری مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری دارند، بسیاری از عوامل طراحی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری در میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه اثر قابل ملاحظه‌ای دارند که ضروری است مدنظر قرار گیرند و این مطالعه بر روی این عوامل تاکید و تمرکز دارد و بحث بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ را در بر نمی‌گیرد. اثر این عوامل بر میزان مصرف انرژی، علاوه بر مطرح کردن ضرورت بررسی مصرف انرژی در فرآیند طراحی سامانه‌ها، اهمیت تحلیل هزینه‌های انرژی در انتخاب نوع سامانه آبیاری مناسب در هر منطقه را نیز خاطر نشان می‌سازد. یک بهره‌بردار و متقاضی اجرای سامانه آبیاری تحت فشار باید از هزینه‌های انرژی سامانه خود در سال‌های بهره‌برداری از آن اطلاع کافی داشته باشد و آگاهانه در انتخاب سامانه طراح مشورت کند.

از عوامل و پارامترهای نشان داده شده در شکل (۱) برخی قابلیت مدیریت و طراحی را دارند و برخی خارج از حوزه مدیریت و طراحی است. به عنوان نمونه اقلیم و نیازآبی گیاه که نهایتاً بر روی دبی مورد نیاز سیستم و هزینه پمپاژ سامانه آبیاری اثرگذار است، از حوزه کنترل طراح خارج است. این گونه عوامل به علت تاثیری که بر هزینه‌های انرژی می‌گذارند، باید در برنامه‌ریزی اقتصادی الگوی کشت و در سطح کلان مدنظر باشند. در ادامه با توجه به رابطه اصلی محاسبه میزان مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری، حساسیت میزان مصرف انرژی به عواملی از شکل (۱) که در حوزه مدیریت و طراحی قرار می‌گیرند، سنجدیده می‌شود.

تعرفه‌های انرژی (۳۴ درصد افزایش تعرفه) قطر ۲۵۰ میلیمتر اقتصادی‌ترین قطر محاسبه شده است (ریندرس و همکاران، ۲۰۱۳). در گزارش استانداردها و رهنمودهای ارتقای راندمان آبیاری، تاکید شده است که بررسی مصرف انرژی در تمامی مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری سیستم‌های باید مدنظر طراح و برنامه‌ریز باشد، و هزینه‌های مربوطه باید در تحلیل‌های اقتصادی سیستم‌های آبیاری لحاظ گردد و از عوامل مهم در انتخاب سیستم آبیاری مناسب هر منطقه مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه می‌باشد. در این گزارش اشاره شده است که برنامه‌ریزی ساعات آبیاری در دوره‌های با تعرفه‌های ارزان‌تر، هزینه‌های انرژی سیستم‌های آبیاری را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و بایستی همواره راهکارهای افزایش راندمان پمپ و موتور مدنظر باشد. همچنین راهکارهای غیرسازه‌ای مانند کم‌آبیاری و افزایش راندمان آبیاری نقش قابل توجهی در کاهش هزینه‌های انرژی دارند (ریندرس و همکاران، ۲۰۱۳).

ملاحظه می‌شود، مصرف انرژی در فرآیند طراحی و تحلیل اقتصادی سامانه‌های آبیاری از جایگاه مهمی برخوردار است و سازمان‌های بین‌المللی نظیر فائو و IWMI و دانشگاه‌های معتبر نظیر UTAH، IDAHO و ... در این زمینه دستورالعمل‌ها و نشریات تخصصی‌ای ارائه داده‌اند. به این مهم در کشور تاکنون کمتر پرداخته شده است و با توجه به شرایط کم‌آبی کشور که به برنامه‌ریزی جهت افزایش سطح سامانه‌های آبیاری تحت فشار منجر شده است، در صورت غفلت از مسأله بررسی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی هزینه‌های مربوطه، مشکلات زیادی در آینده به وجود خواهد آمد و لطمات زیادی به اقتصاد ملی وارد خواهد شد. هدف این پژوهش تبیین اثر عوامل طراحی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر هزینه‌های مصرف انرژی و آنالیز حساسیت هزینه‌های انرژی به این عوامل می‌باشد. همچنین سامانه‌های آبیاری تحت فشار رایج در محدوده شبکه قزوین از این حیث مورد تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۱- رابطه ترسیمی پارامترهای مهم پروژه آبیاری و انتخاب الکتروپمپ و میزان مصرف انرژی.

که در آن:

T نرخ بهره سالانه (اعشار) و n تعداد سال می باشد.

مقادیر راندمان پمپ و موتور بستگی به نوع پمپ و موتور، مدیریت بهره برداری، اقلیم و ... دارد. این عوامل بر کارایی ایستگاه های پمپاژ اثر زیادی دارند که در مقالات و کتب متعددی به آن پرداخته شده است. آنچه در این مطالعه مورد بررسی بوده است، اثر عوامل طراحی سامانه های آبیاری تحت فشار می باشد که بر روی دو پارامتر H و Q و نهایتاً بر روی میزان مصرف انرژی اثر می گذارند. حساسیت میزان انرژی مورد نیاز سامانه آبیاری تحت فشار به دو پارامتر H و Q همچنان که از رابطه (۱) مشهود است به صورت خطی بوده و در صورت افزایش یک درصد فشار و یا دبی، میزان مصرف انرژی یک درصد افزایش می یابد. در ادامه با توجه به این که عوامل مختلف بر روی H و Q طراحی سیستم اثر می گذارند این عوامل بررسی و تبیین شده اند.

۱-۱) فشار کارکرد (H)

فشار طراحی سیستم آبیاری از رابطه زیر

محاسبه می شود:

رابطه تعیین انرژی مورد نیاز نیرو محرکه برای

پمپاژ یک مقدار مشخص دبی با یک ارتفاع فشار مورد نظر که اساس محاسبه میزان مصرف انرژی قرار می گیرد رابطه زیر است:

$$E = \frac{T \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \times \eta} \quad (1)$$

E : انرژی مورد نیاز بر حسب $T.KWh$: ساعات کارکرد سالانه، Q : دبی پمپاژ (m^3/sec)، H = ارتفاع فشار مورد نیاز برای پمپاژ بر حسب m ، γ : وزن مخصوص سیال بر حسب (N/m^3)، η : راندمان پمپاژ که حاصل ضرب E_p (راندمان پمپ)، E_m (راندمان نیرو محرکه) و E_c (راندمان انتقال نیرو از نیروی محرکه به پمپ، راندمان کوپلینگ) می باشد.

رابطه هزینه انرژی نیز به صورت زیر بیان می شود (الیز، ۱۹۹۸):

$$C = \frac{aRT\gamma QH}{1000 \times \eta} \quad (2)$$

C هزینه پمپاژ؛ a : تعرفه انرژی (در اینجا ریال بر کیلووات ساعت)؛ T : ساعات کاربرد پمپاژ؛ R : ضریب تبدیل هزینه سرمایه ای به جاری که از رابطه زیر بدست می آید (اسکونزاد، ۱۳۸۹):

$$R = \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \quad (3)$$

ساده سازی روابط عمق ناخالص و دور آبیاری رابطه زیر به دست می آید:

$$Q=2.78 \frac{A.Etc}{Ea.T} \quad (۷)$$

که در آن:

Etc نیازآبی گیاه در دوره پیک و Ea راندمان آبیاری (به اعشار) است.

۳-۱) رابطه آنالیز حساسیت

رابطه عمومی آنالیز حساسیت که در این مطالعه نیز استفاده شده است:

$$\text{Sensitivity (\%)} = \frac{\frac{\delta O}{O}}{\frac{\delta P}{P}} \times 100 \quad (۸)$$

\bar{P} : متوسط مقادیری که پارامتر P (متغیر مستقل) داشته است، δP : محدوده تغییرات پارامتر \bar{O} : متوسط مقادیری که تابع هدف (متغیر وابسته) به ازای تغییرات P به دست آمده است، δO : محدوده تغییرات تابع هدف.

۲- منطقه مطالعه موردی

در این تحقیق میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوط به آن بر اساس اطلاعات سامانه‌های آبیاری بارانی و موضعی استان قزوین مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. دشت قزوین که بخشی از آن با شبکه آبیاری قزوین پوشش داده شده است، از قطب‌های مهم کشاورزی استان و کشور است. اطلاعات سامانه‌های آبیاری نظیر سطح زیر کشت، دبی و فشار کارکرد سیستم، نوع محصول و عملکرد آنها و نوع سیستم که شامل بر انواع آبیاری بارانی کلاسیک با آبیاش متحرک، سنتریوت و لینیور و آبیاری موضعی بوده، از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده است.

نتایج

آنالیز حساسیت ارتفاع فشار ایستگاه پمپاژ به پارامترهای

سیستم

حساسیت ارتفاع ایستگاه پمپاژ به پارامترهای سیستم بر اساس رابطه ذکر شده در روش‌شناسی محاسبه

$$H = F_s \times (H_1 + H_f + H_e + H_s + H_c) \quad (۴)$$

H: کل فشار مورد نیاز بر حسب m، H_1 : فشار در ابتدای لاترال در بحرانی‌ترین مسیر (لاترال بحرانی) بر حسب m، H_f : افت فشار در مسیر لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و فرعی در بحرانی‌ترین مسیر بر حسب m، H_e : اختلاف ارتفاع بین محل پمپ تا ابتدای لاترال بحرانی (علامت آن در سربالایی مثبت و به عکس)، H_s : عمق مکش یا ارتفاع مکش پمپ (علامت مثبت برای عمق مکش و علامت منفی برای ارتفاع مکش)، H_c : افت در ایستگاه کنترل مرکزی که در آبیاری موضعی مطرح می‌باشد (افت سیستم تصفیه و تزریق کود)، F_s : ضریب اطمینان به منظور افزایش افت دایر فرسودگی و رسوب‌گذاری در لوله‌ها، کاهش راندمان موتور و پمپ به مرور زمان که معمولاً ضریب ۱/۱ جهت افزایش درجه اطمینان منظور می‌شود. اجزای H_1 و H_f برای آنالیز حساسیت با جزییات بیشتری بیان می‌شوند.

$$H_1 = H_a + K(H_{fl}) + 0.5H_{el} + H_f \quad (۵)$$

که در آن:

H_a : فشار کارکرد گسیلنده یا آبیاش، K: ضریب مربوط به تک قطری و دو قطری بودن (در تک قطری مقدار آن ۰/۷۵ است)، H_{fl} : افت اصطکاکی، D_1 : قطر لاترال H_{el} ، (mm): اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای لاترال بحرانی (علامت مقدار آن در سربالایی مثبت و در سراسیمی منفی است) H_f : ارتفاع پایه آبیاش (در مورد آبیاری بارانی مطرح می‌باشد).

۲-۱) دبی سیستم (Q)

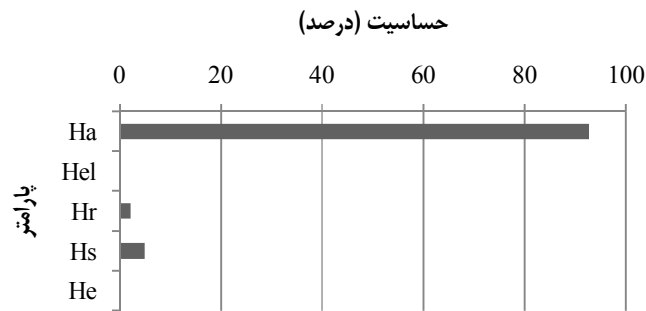
ظرفیت مورد نیاز یک سیستم آبیاری بستگی به مساحت تحت آبیاری، عمق ناخالص آبیاری در هر نوبت و دور آبیاری دارد. این ظرفیت عبات خواهد بود از:

$$Q = 2.78 \frac{A.d}{f.T} \quad (۶)$$

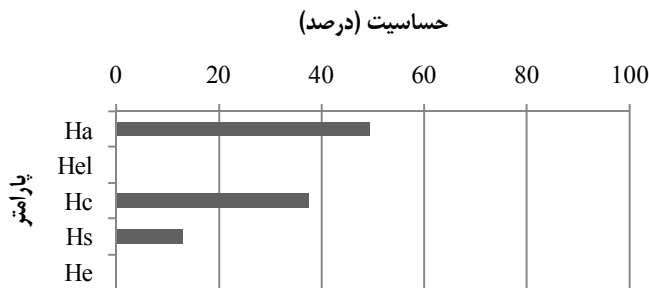
Q: ظرفیت سیستم (Lit/s)، A: مساحت تحت آبیاری (ha)، d: عمق ناخالص آبیاری (m)، f: دور آبیاری (day)، T: میانگین زمان آبیاری در هر روز (hr). که با

گذارد. در مورد آبیاری موضعی نیز بیشترین حساسیت هد پمپاژ به فشار گسیلنده و سپس افت در سیستم کنترل مرکزی بوده است. این موارد، اهمیت بالای انتخاب آبپاش با فشار کارکرد کمتر در راستای کاهش میزان مصرف انرژی در سامانه های آبیاری بارانی را خاطر نشان می سازد. در تمامی این تحلیل ها، طبق رابطه (۸)، O ، میزان انرژی مورد نیاز پمپاژ و P ، پارامتر مورد بررسی از نظر میزان اثر بر مصرف انرژی بوده است.

گردیده است و به منظور لحاظ داشتن تمامی ترکیب های مختلف پارامترهای مطالعه در مورد هر نوع سیستم آبیاری و قطرهای ۱۲۰۰۰ حالت ممکن بررسی شده است. این نتایج با بررسی حساسیت به این عوامل در محدوده معمول فشار کارکرد، ارتفاع رایزر و ... در سیستم های آبیاری محاسبه شده است. در مورد سیستم آبیاری بارانی، فشار کارکرد آبپاش بیشترین اثر را بر هد پمپاژ سیستم (بیش از ۹۰ درصد) و به تبع آن هزینه پمپاژ سیستم می -



شکل ۲- حساسیت فشار کارکرد ایستگاه پمپاژ آبیاری بارانی به پارامترهای طراحی موثر بر آن



شکل ۳- حساسیت فشار کارکرد ایستگاه پمپاژ آبیاری موضعی به پارامترهای طراحی موثر بر آن

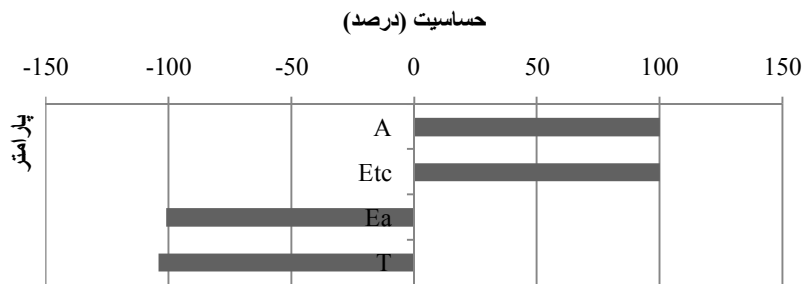
حساسیت کمتری به آنها نشان داده است. مهارت طراح در انتخاب بهترین آرایش نقش مهمی در این اجزا خواهد داشت. این عوامل در میزان هد لازم در سیستم پمپاژ اثر دارند و توصیه می شود که طراحان علاوه بر در نظر داشتن عوامل دیگری که در آرایش بندی سامانه های آبیاری نقش دارند همواره، اثر آرایش بر میزان هد لازم در سیستم را نیز مدنظر داشته باشند و با در نظر داشتن سایر عوامل مطرح در آرایش بندی (خطوط کشت، شکل مزرعه، سرعت باد و ...)، گزینه با هد لازم کمتر را انتخاب نمایند.

باید در نظر داشت که در مورد حساسیت کمتر هد پمپاژ سیستم آبیاری به پارامترهای اختلاف ارتفاع در طول لاترال و مانیفولد (He و Hel)، دلیل این است که این پارامترها بسته به ناهمواری های طرح می توانند مثبت و یا منفی باشند. با توجه به این که هدف این مطالعه مقایسه سیستم ها و پارامترهای طراحی بوده است، در تحلیل حساسیت، زمین هموار فرض شده است تا بتوان مقایسه قابل قبولی انجام داد. مسلماً اختلاف ارتفاع در میزان ارتفاع پمپاژ اثرگذار است. از طرفی چون محدوده نرمال این پارامترها (چند متر) است و نسبت به پارامتری نظیر فشار کارکرد (چند ده متر) سهم کمتری دارد، هد پمپاژ

نتایج حساسیت دبی به پارامترهای سیستم

سیستم در روز رابطه عکس دارد و به ازای یک درصد افزایش در هر یک از این پارامترها، دبی سیستم یک درصد کاهش می‌یابد. شکل (۴) نیز حساسیت محاسبه شده با رابطه آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد که گویای این مسئله است.

همچنان که از رابطه (۹) مشهود است، دبی سیستم با سطح اجرای سامانه آبیاری و نیاز آبی گیاه رابطه مستقیم دارد و به عبارتی به ازای یک درصد افزایش در هر یک از این پارامترها، دبی سیستم یک درصد افزایش می‌یابد. همچنین دبی با راندمان آبیاری و ساعات کارکرد



شکل ۴- حساسیت دبی ایستگاه پمپاژ آبیاری تحت فشار به پارامترهای طراحی موثر بر آن

کاهش می‌یابد، مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه کاهش می‌یابد. راندمان پمپاژ نیز اثر زیادی بر میزان مصرف انرژی دارد و همچنان که در نتایج آنالیز حساسیت دیده می‌شود، افزایش راندمان پمپاژ هزینه‌های انرژی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. راهکارهای افزایش راندمان پمپاژ (شامل سه بخش راندمان پمپ، موتور و کولینگ) در مطالعات زیادی اشاره شده است ولی هنوز هم در این بخش نیاز به تحقیقات دیده می‌شود.

ساعات کارکرد ایستگاه پمپاژ آبیاری بارانی نیز به عوامل زیادی من جمله اقلیم، الگوی کشت (تک کشتی، دو کشتی و ...)، دارد. آنچه در مورد این مورد باید توجه داشت این است که در واقع در رابطه مصرف انرژی (رابطه ۱)، حاصل ضرب ساعات کارکرد ایستگاه پمپاژ در دبی پمپاژ معرف میزان حجم آب پمپ شده در دوره را نشان می‌دهد و می‌توان شاخص میزان مصرف انرژی به ازای پمپاژ هر متر مکعب آب (KWh/m^3) را محاسبه و در مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها منظور کرد. تعریف این شاخص به ویژه در سیستم‌های آبیاری و شبکه‌های آبیاری تحت فشار بسیار حائز اهمیت و کاربردی است. در این مطالعه نیز در بخش بعد این شاخص محاسبه شده است. پارامتر دیگری که سهم زیادی در تعیین مصرف انرژی در

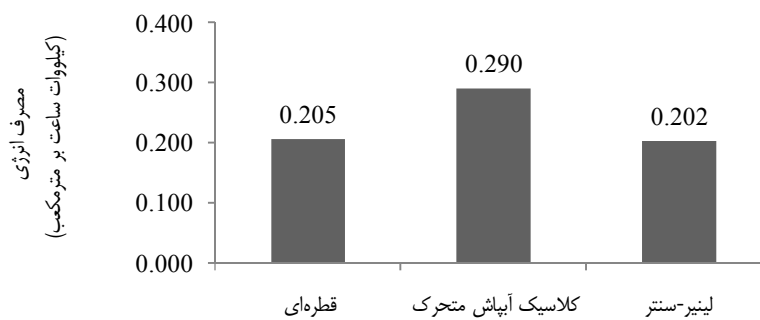
آنالیز حساسیت پارامترهای طراحی و مدیریتی بر مصرف انرژی در بخش‌های قبل اثر پارامترهای طراحی بر هد دبی ایستگاه پمپاژ آبیاری تحت فشار به طور جداگانه بررسی گردید. با توجه به رابطه مصرف انرژی رابطه (۱)، هر پارامتری که بر روی دبی و هد ایستگاه پمپاژ آبیاری تحت فشار اثر بگذارد بر روی میزان مصرف انرژی نیز اثر خواهد گذاشت که این اثرات باید به صورت هم‌زمان و توأم نیز بررسی شود. علاوه بر این راندمان پمپاژ نیز بر میزان مصرف انرژی نقش قابل‌ملاحظه‌ای دارد. جهت جلوگیری از حجیم شدن مطلب از ارائه نتایج این بخش به صورت شکل خودداری شده است. پارامترهایی که بیشترین اثر را بر مصرف انرژی سالانه در یک سیستم آبیاری دارند شامل راندمان آبیاری، سطح زیر کشت، نیاز آبی گیاه، راندمان پمپاژ، ساعات کارکرد ایستگاه پمپاژ، ساعات کارکرد روزانه سیستم آبیاری و فشار کارکرد آبیاش (در مورد موضعی گسیلنده) دارد. اثر پارامترهایی نظیر سطح زیر کشت و نیاز آبی گیاه بر مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه باید در تعیین الگوی کشت اقتصادی و بهینه‌سازی بهره‌وری آب و انرژی منطقه منظور گردد. راندمان آبیاری نیز با توجه به سیستم آبیاری متفاوت است که طبیعتاً با ارتقای آن چون میزان حجم آب پمپاژ سالانه

مختلف به علت راندمان و فشار کارکرد آبیاری متفاوت، میزان مصرف انرژی و هزینه های انرژی متفاوتی را خواهند داشت. در این بخش نتایج ارزیابی و مقایسه سیستم های مختلف آبیاری تحت فشار رایج در دشت قزوین ارائه شده است. در شکل های (۵) تا (۸) به ترتیب نتایج مقایسه سیستم های مورد مطالعه از نظر مصرف انرژی به ازای تامین هر متر مکعب آب، از نظر هزینه ریالی تامین هر متر مکعب آب (بر اساس تعرفه برنامه-ریزی شده در برنامه های توسعه)، از نظر هزینه های انرژی سالانه و از نظر معادل حاضر هزینه های انرژی سامانه های تحت فشار مورد مطالعه در دوره ۲۰ ساله (با نرخ بهره ۱۵ درصد) ارائه شده است. در قسمت بحث این نتایج به اختصار مورد بحث قرار گرفته است.

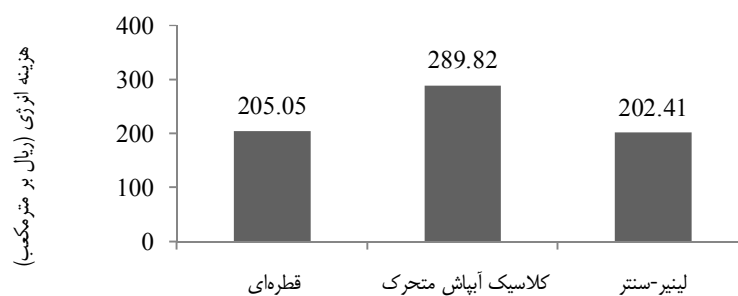
سیستم های آبیاری تحت فشار دارد، فشار کارکرد آبیاری (و با درجه اهمیت کمتری فشار کارکرد گسیلنده در آبیاری موضعی) است. انتخاب و ترویج و طراحی آن دسته از سیستم های آبیاری تحت فشار که فشار کارکرد آبیاری در آنها کمتر است می تواند، هزینه های انرژی در این سیستم ها را تا حد زیادی کاهش دهد که علاوه بر کاهش هزینه های کشاورزان، خسارات وارده به اقتصاد ملی در اثر مصرف زیاد انرژی در سیستم های آبیاری را تسکین می دهد.

مقایسه میزان مصرف انرژی و هزینه های مربوطه در سامانه های مورد مطالعه

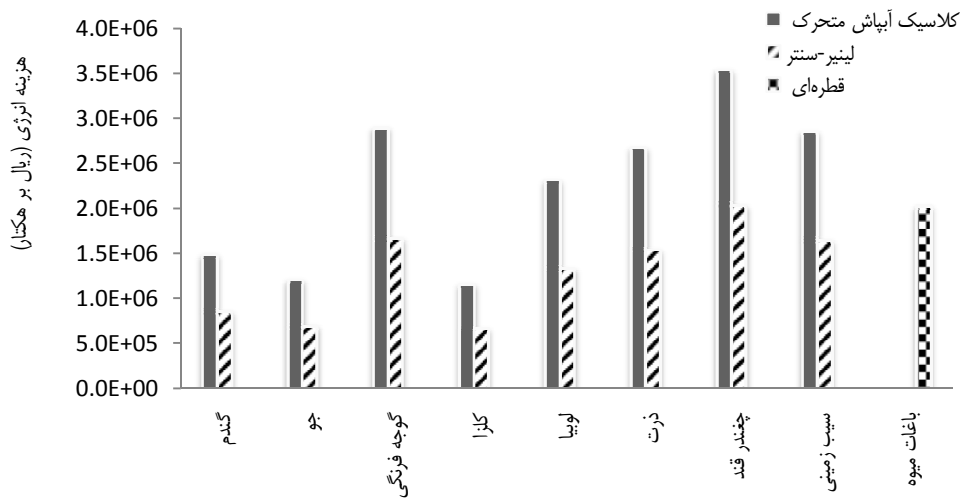
با عنایت به مطالعات تحلیلی که در بخش های پیشین ارائه شد، می توان نتیجه گرفت سیستم های آبیاری



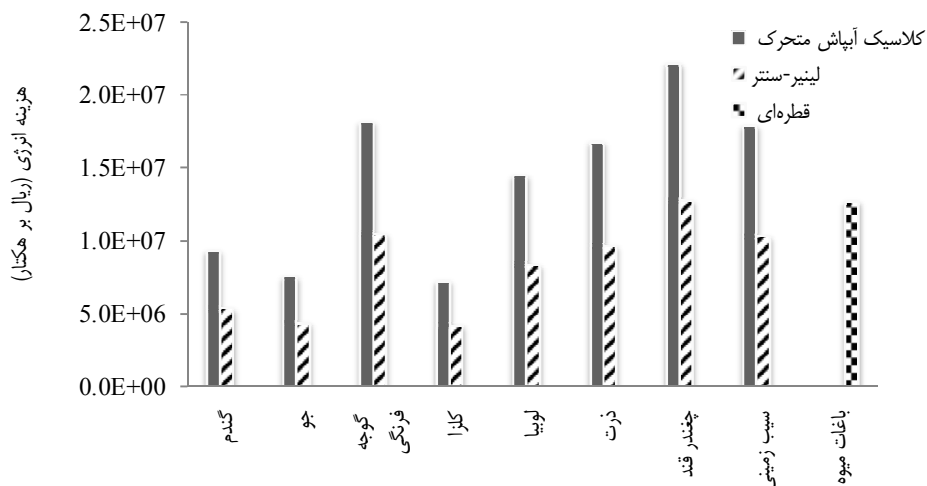
شکل ۵- میزان مصرف انرژی به ازای پمپاژ یک مترمکعب در سامانه های آبیاری تحت فشار مورد مطالعه



شکل ۶- هزینه انرژی به ازای پمپاژ یک مترمکعب در سامانه های آبیاری تحت فشار مورد مطالعه



شکل ۷- هزینه‌های انرژی سالانه در سامانه‌های تحت فشار برای محصولات زراعی عمده و باغات شبکه



شکل ۸- معادل حاضر "هزینه‌های انرژی" سامانه‌های تحت فشار در محصولات مختلف شبکه در دوره ۲۰ ساله

همچنان که در مطالعه موردی انجام شده در این تحقیق دریافت شد که مصرف انرژی در سامانه کلاسیک با آبیاش متحرک، نسبت به سامانه‌های سنتریپوت و لینیر، و آبیاری موضعی به ترتیب ۴۱ و ۴۳ درصد بیشتر بوده است.

هر چند سیستم آبیاری کلاسیک با آبیاش متحرک به لحاظ مسایل اجرایی مقبولیت زیادی در نزد کشاورزان دارد اما با ملحوظ داشتن هزینه‌های روز افزون انرژی ممکن است در آینده استقبال از این سیستم‌ها با مشکل مواجه شود و حتی کشاورزانی که در حال حاضر از این سیستم‌ها بهره‌برداری می‌کنند به علت سودآوری کم بخش کشاورزی ناچار به ترک این سیستم‌های آبیاری

بحث

همچنان که در بخش نتایج اعلام گشت، تمامی پارامترهایی که در طراحی آبیاری تحت فشار وجود دارند به نوعی بر میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه در سامانه‌های آبیاری تحت فشار اثرگذار هستند و ضروری است در فرآیند طراحی این سامانه‌ها به این مهم توجه داشت و کمینه‌سازی مصرف انرژی در این سامانه‌ها را از اهداف طراحی مدنظر قرار داد. همچنین در تحلیل‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی ضروری است تفاوت‌هایی که در بین سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار از منظر مصرف انرژی وجود دارد، ملحوظ گردد.

شوند. در این موارد بایستی به دنبال راهکارهای بهسازی و اصلاح آرایش سیستم‌ها و به کارگیری آبیاری‌های با فشار کارکرد کمتر در راستای اصلاح سیستم‌ها با هدف کاهش مصرف انرژی بود. شایان ذکر است که آرایش‌های رایج کشور در سیستم کلاسیک با آبیاری متحرک (۲۰*۲۵ و ۳۰*۲۰ و ... که فواصل بسیار بالایی هستند) که منجر به انتخاب آبیاری‌های با فشار کارکرد بالا می‌شود، از زمینه‌های هزینه بالای انرژی در این سیستم است. این مسئله باید در طراحی این سیستم و در تحلیل‌های اقتصادی طراحی آن لحاظ گردد.

در این مطالعه، شاخص انرژی مصرفی برای تامین و پمپاژ آب در آبیاری تحت فشار بر حسب (KWh/m^3) تعریف گردید و در مقایسه میزان انرژی لازم در سامانه‌های آبیاری تحت فشار از آن استفاده شد. این شاخص در سیستم‌های کلاسیک با آبیاری متحرک، متحرک (ستتر و لینیر) و آبیاری موضعی به ترتیب ۰/۲۹۰، ۰/۲۰۵ و ۰/۲۰۲ محاسبه گردید که اهمیت انتخاب سیستم آبیاری مناسب در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی جهت کاهش هزینه‌های انرژی را خاطر نشان می‌سازد. برآورد این شاخص برای تمامی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، ضرورت دارد. همچنین با توجه به تفاوت تعرفه برق در ساعات پرمصرف و کم‌مصرف برنامه‌ریزی آبیاری در ساعات کم‌مصرف هزینه‌های انرژی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد که به علت جلوگیری از حجیم شدن مقاله، نتایج آن در اینجا ارائه نشده است.

شاخص دیگری که در این مطالعه برآورد گردید، هزینه انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر حسب ریال بر متر مکعب بوده است. هزینه انرژی هر متر مکعب آب در سامانه‌های کلاسیک با آبیاری متحرک، متحرک (ستتر و لینیر) و آبیاری موضعی به ترتیب ۲۹۰، ۲۰۵ و ۲۰۴ ریال بر متر مکعب محاسبه شد. مقایسه این مقادیر با آب‌بهای فعلی آب کشاورزی در شبکه که حدود ۱۶۰ ریال به ازای هر متر مکعب آب است، اهمیت هزینه انرژی هر متر مکعب آب در آبیاری تحت فشار را نشان

می‌دهد. در این مطالعه همچنین معادل حاضر هزینه‌های انرژی سالانه و هزینه معادل هزینه‌های انرژی در یک دوره بیست ساله نیز برآورد و محاسبه گردید که در قسمت نتایج ارائه شده است. به عنوان نمونه برای استفاده در آبیاری محصولات زراعی دو سیستم آبیاری کلاسیک و متحرک (لینیر) را اگر با هم مقایسه نماییم، اختلاف هزینه انرژی سالانه بین این دو سیستم برای هر هکتار کشت گندم در سال حدود ۵۵ هزار تومان و برای محصول پرمصرفی مانند چغندر قند، ۱۵۰ هزار تومان می‌باشد که برای یک مزرعه گندم و چغندر ۲۰ هکتاری به ترتیب معادل یک میلیون و صد هزار تومان و سه میلیون تومان هزینه سالانه می‌شود. در مقیاس منطقه‌ای و ملی نیز که در برنامه‌ریزی‌های توسعه آبیاری تحت فشار مطرح می‌باشد، بایستی این مسایل مدنظر قرار گیرد. بدیهی است مسئله ملحوظ داشتن هزینه انرژی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در کنار لحاظ داشتن سایر مسایل فنی، اقتصادی و اجتماعی نظیر راندمان، هزینه اجرا، اجرایی بودن سیستم‌ها، پذیرش عمومی و ... صحیح خواهد بود.

علاوه بر ماهیت هر سامانه آبیاری که به حد مشخصی از انرژی نیاز دارد و در قسمت بالا مورد بحث قرار گرفت، کارآمدی یک سامانه آبیاری از نظر مصرف انرژی، تا حد زیادی به انتخاب، طراحی و بهره‌برداری صحیح از ایستگاه پمپاژ آن سامانه بستگی دارد. در انتخاب پمپ حتماً باید ملاحظات مربوط به انتخاب پمپ دارای بیشترین راندمان در نقطه کارکرد سامانه مدنظر باشد. همچنین، در طی بهره‌برداری از پمپ باید دستورالعمل نگهداری پمپ‌ها، بازرسی بخش‌های مختلف ایستگاه پمپاژ، سرویس‌های ماهانه و سالانه و نحوه راه اندازی پمپ‌ها که از طرف سازندگان پمپ‌ها در دفترچه پمپ‌ها و از طرف طراحان سامانه آبیاری در دفترچه آبیاری ارائه می‌شود، مورد توجه مروجین و بهره‌برداران باشد. هر چه راندمان پمپ و موتور کاهش یابد، طبیعتاً استهلاک انرژی بیشتر شده و هزینه‌های انرژی در سامانه آبیاری افزایش خواهد یافت.

فهرست منابع

۱. اسکونزاد، م. ۱۳۸۹. اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۲. معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۳. گزارش وضع موجود طرح های معاونت آب و خاک و صنایع در تدوین برنامه ششم توسعه.
3. Carrillo Cobo, M. T., Rodriguez Diaz, J. A., Lopez Luque, R., Montesinos, P. and Camacho Poyato, E. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems Eng.* 104(4): 552–561.
4. deMonsabert, S., and Liner, B. L. 1998. Integrated energy and water conservation modeling. *Journal of energy engineering*, 124(1): 1-19.
5. Ellis, E.M. 1998. Agricultural groundwater conservation program in the phoenix active management area. M.S. Thesis. University of Arizona. Tucson. AZ.
6. FAO. 1992. Small-scale pumped irrigation - energy and cost. Water Resources. Development and Management Service.
7. FAO. 2002. Andreas P. Savva and Karen Frenken, Irrigation Manual Module 11. Financial and Economic Appraisal of Irrigation Projects.
8. Moradi-Jalal, M., Rodin, S. I., and Marino, M. A. 2004. Use of genetic algorithm in optimization of irrigation pumping stations. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(5): 357-365.
9. Ortiz Romero, J. N., Montero Martinez, J., Martinez, R. S., and Tarjuelo Martin-Benito, J. M. 2006. Set sprinkler irrigation and its cost. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 132(5):445-452.
10. Prats, A. G., Pico, S. G., Alzamora, F. M., and Bello, M. A. J. 2011. Random Scenarios Generation with Minimum Energy Consumption Model for Sectoring Optimization in Pressurized Irrigation Networks Using a Simulated Annealing Approach. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(7): 613-624.
11. Reinders, F. B., Stoep, I., and Backeberg, G. R. 2013. Improved efficiency of irrigation water use: A South African framework. *Irrigation and Drainage*
12. Rodriguez Diaz, J. A., López Luque., R., Carrillo Cobo, M. T., Montesinos. P., and Camacho Poyato, E. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurized irrigation networks. *Biosystems Eng.* 104 (4): 552–561.
13. Scott, C. A., and Shah, T. 2004. Groundwater overdraft reduction through agricultural energy policy: insights from India and Mexico. *International Journal of Water Resources Development*, 20(2): 149-164.
14. USDA. 1997. National Engineering Handbook. Part 652 Irrigation Guide Irrigation Guide.