

Energy Audit in Sprinkler Irrigation Systems, Methodology and Application

Maedeh Farrokhi¹, Atefeh Parvaresh Rizi^{2*}

¹Master's degree in Hydraulic Structures, Irrigation and Development Engineering Department, Tehran Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Irrigation and Development Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding Author's E-mail: parvarsh@ut.ac.ir

Received: 17 Mar. 2023



Accepted: 08 Aug. 2023

Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: Pressurized irrigation is employed to enhance water efficiency and expand cultivated areas within limited water resources, but it results in a substantial rise in energy consumption within the agricultural sector. Consequently, the need to conserve water and energy arises as a critical requirement for pressurized irrigation. One effective approach to address this issue is the implementation of energy audits, which identify opportunities for energy savings within irrigation systems. However, there is a scarcity of studies that examine energy audits specifically in irrigation systems. Thus, the objective of this research is to present a methodology for conducting energy audits in sprinkle irrigation systems, encompassing all three defined levels of analysis. Additionally, the proposed methodology is applied to two case studies. It is worth noting that due to insufficient data monitoring in energy management and sprinkle irrigation systems, a comprehensive energy audit could not be fully executed. Nonetheless, conducting a preliminary audit can still elucidate the causes of energy losses and facilitate future planning for higher-level energy audits.

Keywords: Energy saving, Water and energy efficiency, Classic sprinkler irrigation, Center pivot irrigation, Pumping stations

Introduction: Energy plays a vital role in ensuring economic security, development, and stability within societies. In the agricultural sector, the transition from surface irrigation to pressurized irrigation systems has been adopted to enhance water consumption efficiency. However, this shift has resulted in increased energy consumption. Consequently, conserving both water and energy has become a fundamental requirement for pressurized irrigation. Pumps account for over 70% of energy consumption in the agricultural sector, making it essential to evaluate pumping stations to improve overall irrigation system efficiency. In Iran, the absence of guidelines, specific standards, and adequate supervision in the design, selection, installation, and operation of pumps has led to low energy efficiency in these systems. Globally, pumps consume over 20% of produced electricity, while the average efficiency of pumping stations remains below 40%. Therefore, conducting audits of irrigation pumps and proposing solutions to enhance their efficiency, lifespan, and reduce energy consumption can significantly optimize energy usage. Neglecting the relationship between water and energy consumption can lead to escalated energy costs. Conducting an energy audit in the irrigation system to identify opportunities for energy savings is considered one of the most effective methods for enhancing irrigation energy efficiency.

Methodology: There is a scarcity of studies specifically addressing energy audits in irrigation systems, and in Iran, despite the attention given to energy audits in various sectors, this practice has not been observed in the

irrigation sector. An energy audit entails analyzing and processing energy data for a system, aiming to identify parameters that can reduce energy consumption in the unit being assessed. Thus, conducting an energy audit can be a valuable approach to improving irrigation water consumption and reducing energy costs in irrigation systems. Energy audits are conducted at different levels, determined by the time and budget allocated to the process. These levels include Walkthrough Energy Audit, Preliminary Energy Audit, and Comprehensive Energy Audit.

The purpose of an energy audit is to initiate energy optimization, assess the overall energy consumption of the sprinkler irrigation system, and ascertain whether these costs are reasonable or excessive. At this stage, it is crucial to identify visible energy losses. The objective of a preliminary energy audit is to determine the potential for energy savings and calculate the achievable energy reduction in the audited unit. The comprehensive energy audit is the most intricate type, requiring substantial time and cost, but offering high accuracy. Advanced measuring equipment, tools, and computer simulations can be employed to conduct this type of energy audit. This research aims to emphasize the presentation of an energy audit methodology for irrigation systems and discuss the outcomes of applying energy audits in two case studies. These case studies focus on contrasting sprinkler irrigation systems, namely a classic fixed irrigation system and a center pivot irrigation system.

Results and Discussion: Following site visits, data collection, and analysis conducted in the case studies, energy audit guidelines were developed at various levels. The key findings are as follows: 1) the relatively low cost of energy compared to other inputs in the agricultural sector has led to a perception that energy audit and energy-saving efforts are unnecessary. However, research in this field remains crucial; 2) in the first case study, which is situated in a windy area, the utilization of fixed sprinkler irrigation was found to be inappropriate due to significant water and energy losses; 3) there is a lack of specific planning for the maintenance and servicing of the irrigation system and pumping station. Extensive leakage in the motor, pump, pipelines, and washers during the irrigation season contributes to energy loss; 4) The maintenance conditions of the pumping station and electrical panel do not adhere to standard practices; 5) Certain essential equipment, such as a flow meter, is absent, leading to visual or experimental measurement of the flow rate. Moreover, critical information like the characteristic curve of the pump is unavailable; 6) In both case studies, constant speed pumps are utilized, with flow control managed through bypass and control valves. This results in substantial energy wastage. This loss can be mitigated by adopting variable speed pumps; and 7) An important factor contributing to energy loss is the improper selection of pumps, as they are oversized. Based on these findings, recommendations and improvements can be made to enhance energy efficiency and reduce energy consumption in the irrigation systems.

Conclusion: In the initial level of the energy audit conducted on irrigation systems, practical findings demonstrate that energy efficiency can be enhanced through the implementation of straightforward solutions. The primary challenge lies in drawing attention to the significance of energy within the agricultural sector. While energy is recognized as an important concern globally, it has not yet emerged as a major issue in our country. The heavy reliance on fossil fuels has contributed to the neglect of energy-related matters. Moreover, the cost of energy in the agricultural sector is comparatively minimal when compared to other production factors. Consequently, there is a lack of motivation to monitor and reduce energy consumption in this context.

© 2022 University of Zabol, Zabol, Iran.



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

ممیزی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی، روش‌شناسی و کاربرد

مأده فرخی^۱، عاطفه پرورش ریزی^{۲*}

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس تهران کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول [Web2 ramin.amini@Shahroodut.ac.ir](mailto:ramin.amini@Shahroodut.ac.ir)

وب‌گاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

چکیده: به دلیل بهبود بهره‌وری در مصرف آب، گسترش سطح زیر کشت با یک مقدار مشخص از آب در دسترس، سامانه‌های آبیاری تحت فشار گسترش چشمگیری پیدا کرده اند، که خود افزایش قابل توجه مصرف انرژی در بخش کشاورزی را به دنبال دارد. در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی از الزامات آبیاری تحت فشار است. در کشور ما نبود دستورالعمل، استاندارد مشخص، و نظارت کافی در طراحی، انتخاب، نصب، و بهره‌برداری سیستم‌های پمپاژ متناسب با شرایط و نیازها، موجب شده تا اغلب این سیستم‌ها با بازده پایین و تلفات بالای انرژی بهره‌برداری شوند. یکی از بهترین روش‌ها برای بهبود کارایی مصرف انرژی آبیاری، تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در سامانه آبیاری است (ممیزی انرژی آبیاری). مطالعاتی که به بحث ممیزی انرژی در سامانه‌های آبیاری پرداخته اند، نادر هستند. هدف این پژوهش ارائه روندی برای ممیزی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی به صورت دستورالعمل‌هایی در هر سه سطح (مقدماتی، قدم زانه، جامع) تعریف شده برای ممیزی انرژی است. همچنین روش شناسی ارائه شده، در دو موردکاوی (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان قزوین و سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی (سنتریوت) در شهرستان شهریار) بکار گرفته شده است. در این مطالعات به دلیل پایش نشدن بسیاری از داده‌های ضروری در مدیریت انرژی در ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری بارانی، ممیزی به طور کامل قابل پیاده سازی نبود، ولی ممیزی سطح پایین هم می‌تواند دلیل تلفات انرژی را توضیح دهد و انجام سطوح بالاتر ممیزی را امکان‌پذیر کند.

کلیدواژه‌گان: صرفه‌جویی انرژی، بهره‌وری آب و انرژی، آبیاری بارانی کلاسیک، آبیاری بارانی دوار مرکزی، ایستگاه پمپاژ

۱- مقدمه

ارائه راهکارهایی که افزایش بازده و طول عمر ایستگاه‌ها و کاهش مصرف انرژی را در پی داشته‌باشد، می‌تواند گام موثری در بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور باشد (Delfan Azari & Parvareh Rizi., 2015). یکی از بهترین روش‌ها برای بهبود کارایی مصرف انرژی در آبیاری، ممیزی انرژی در سامانه آبیاری است. ممیزی انرژی در سامانه آبیاری، عبارت است از یافتن روش‌های مناسب برای

براساس آمارهای بین‌المللی، سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش کشاورزی ۳/۳ برابر متوسط جهانی است (Energy balance report., Ministry of Power., 2020). از طرفی بیش از ۷۰٪ از انرژی در بخش کشاورزی، به‌وسیله پمپ‌ها مصرف می‌شود و متوسط راندمان ایستگاه‌های پمپاژ کمتر از ۴۰٪ است. بنابراین، بررسی ایستگاه‌های پمپاژ و

بهبود بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، ممیزی انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای بهبود راندمان در ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری در زمان بهره‌برداری، به غیر از نگهداری و تعمیرات متداول، دستورالعملی وجود ندارد. در این تحقیق ضمن تعریف و ارائه روش‌شناسی ممیزی انرژی در سطوح مختلف در سامانه‌های آبیاری بارانی، به نتایج کاربرد ممیزی انرژی در دو مورد کاری هم پرداخته خواهد شد.

۲- روش‌شناسی

در این قسمت ابتدا به بیان مفاهیمی چون ممیزی انرژی، ممیزی انرژی در سامانه آبیاری بارانی و اهداف آن و سطوح مختلف ممیزی انرژی در سامانه آبیاری بارانی می‌پردازیم. سپس دو نمونه از مزارعی را که سطوح مختلف ممیزی انرژی در آنها مورد بررسی قرار داده‌ایم را معرفی می‌کنیم.

۲-۱- تعریف ممیزی

شناسایی گلوگاه‌های تلفات مصرف انرژی و ارائه راهکارهای صرفه‌جویی مصرف انرژی در یک چارچوب زمانی مشخص را ممیزی انرژی می‌گویند (Dallo, 2013). ممیزی انرژی در یک سامانه آبیاری بارانی عبارت است از، یافتن روشی مناسب برای تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در سامانه آبیاری بارانی، که در آن وضعیت توزیع و مصرف انرژی بررسی می‌شود و پیشنهادهایی برای بهبود مصرف و کارایی انرژی در بخش‌های مختلف سامانه و ایستگاه پمپاژ ارائه می‌شود.

۲-۲- اهداف ممیزی انرژی در آبیاری بارانی

هدف از ممیزی انرژی در آبیاری بارانی، تعیین چگونگی استفاده (تولید، توزیع و مصرف) انرژی و شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در سامانه و ایستگاه پمپاژ است. همچنین می‌توان به موارد زیر نیز اشاره کرد:

۱. شناسایی گلوگاه‌های تلفات انرژی در سامانه و ایستگاه پمپاژ و مطالعه و امکان‌سنجی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی، که در آن وضعیت توزیع و مصرف انرژی بررسی می‌شود و پیشنهادهایی برای بهبود مصرف و کارایی انرژی در بخش‌های مختلف سامانه ارائه می‌شود.

آزمایش‌های انجام شده در مزارع آمریکا نشان داد که با تنظیم شافت پمپ، انتخاب سایز پمپ متناسب با شدت پمپاژ (و نه بیشتر) و انجام تعمیرات لازم در ایستگاه پمپاژ، می‌توان راندمان پمپ‌ها را از ۵۰٪ به ۶۷٪ افزایش داد (Loftis & mile, 2004). در عملیات ممیزی انرژی در پنجاب هند، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۱، بیان شد که نیمی از شیوه‌های مدیریتی در آن منطقه ناکارآمد است و در صورت اصلاح آنها، تقریباً ۹٪ از انرژی اولیه ذخیره خواهد شد (Singh et al., 2019). مطالعه‌ای در استان یزد با ارائه راهکارهای عملی شامل تبدیل الکتروپمپ‌های دیزلی به برقی، انتخاب صحیح و مناسب الکتروپمپ‌ها به همراه افزایش بازده سیستم‌های پمپاژ، تغییر سیستم آبیاری از غرقابی به آبیاری تحت فشار، انتخاب محصول کشاورزی مطابق با اقلیم استان مورد مطالعه، کاهش تقاضا و طرح خازن‌گذاری نشان داد که می‌توان حدود ۱۰۲۳۹۳۱/۱ مگاوات-ساعت در بخش انرژی الکتریکی و حدود ۶۸۲/۶۳ میلیون مترمکعب در بخش آب مصرفی صرفه‌جویی نمود (Zarini et al., 2015). پژوهش‌گران در تحقیقی در استان قزوین با استفاده از نرم‌افزار متلب و ابزار سیمولینک^۲ در پنج سناریوی بهره‌برداری، نشان دادند که میزان انرژی الکتریکی مصرفی با به‌کارگیری پمپ دورمتغیر، در مقایسه با روش بهره‌برداری، با پمپ دورثابت تا ۱۸٪ کاهش یافته است (Gomrokchi & Parvaresh Rizi, 2017).

با توجه به شرایط کم‌آبی کشور که در دو دهه اخیر به سیاست‌گذاری برای افزایش سطح سامانه‌های آبیاری تحت فشار منجر شده‌است، غفلت از مسأله بررسی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی هزینه‌های مربوطه، مسائل مختلفی را از نظر تامین انرژی، آلودگی محیط زیست و لطامات اقتصادی ایجاد می‌کند. در میان راهکارهای مختلف برای

باید به هر نوع ارتعاش و صدای ساییدگی غیر معمول، نشتی از پمپ، گرفتگی آشغالگیرها، فرسودگی میله شافت، تنظیم نبودن پروانه‌های پمپ، خشک نبودن یاتاقان‌های پمپ و متفاوت بودن فشار تخلیه پمپ نسبت به حالت استاندارد توجه شود، چراکه همه این موارد باعث مصرف بیشتر انرژی می‌شود. همچنین در سامانه آبیاری بارانی باید درستی عملکرد فشارسنج و فشار عملیاتی در تمام خطوط لوله‌ای که در معرض نشت هستند، شیرهای تخلیه هوا و کنترل‌کننده و وضعیت جریان سنج‌ها به طور منظم پایش و ارزیابی شوند.

ممیزی انرژی مقدماتی: هدف از ممیزی انرژی مقدماتی، تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی مصرفی به طور دقیق‌تر و محاسبه انرژی قابل صرفه‌جویی در سامانه آبیاری بارانی و ایستگاه پمپاژ است. برای انجام ممیزی در این سطح از روش‌های مختلفی از جمله موارد زیر می‌توان استفاده کرد.

۱. پمپ: برای افزایش راندمان پمپ می‌توان پمپ‌های قدیمی را بازسازی کرد که یک جایگزین مقرون به صرفه بجای خرید پمپ جدید است. بازسازی معمولاً شامل تعویض روکش‌های شافت و جداکردن یا تعویض پروانه‌ها است. برای کارایی بهینه، پمپ باید با نیازهای منبع آب، سیستم تحویل آب و تجهیزات آبیاری مطابقت داشته‌باشد. اگر پمپ کوچکتر یا بزرگتر از اندازه موردنیاز باشد و با نیاز سیستم مطابقت نداشته باشد، هرگز به صورت کارآمد کار نمی‌کند و جایگزینی پمپ متناسب بهترین گزینه است (Morris, M., & Lynne, V., 2006). همچنین با استفاده از پمپ‌ها به عنوان توربین می‌توان انرژی ذخیره کرد (Algieri et al., 2020). فن موتور پمپ تقریباً ۸٪ از سوخت را مصرف می‌کند. می‌توان برای خنک کردن موتور وسایلی را نصب کرد که از آب آبیاری استفاده می‌کند و نیاز به فن را برطرف می‌کند (Morris, M., & Lynne, V., 2006).

۲. کنترل‌کننده‌های دور موتور: طبق قوانین تشابه^۴ با کاهش ۱۰٪ از دور موتور، حدوداً ۲۷٪ در مصرف انرژی

۲. برآورد پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی، هزینه‌های اجرا، دوره بازگشت سرمایه و اولویت‌بندی راه‌کارهای پیشنهادی در سامانه

۳. افزایش سطح حساسیت مدیران و کارشناسان به موضوع مصرف انرژی در سامانه آبیاری بارانی در کشاورزی و فرهنگ‌سازی کارکنان در زمینه بهره‌وری انرژی با تغییر نگرش، اصلاح رفتار و ترک عادت‌های نادرست و ارتقای فرهنگی بهره‌وری انرژی در کشاورزی

۴. ایجاد فرهنگ استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای ایستگاه‌های پمپاژ (آبیاری خورشیدی)

۵. کاهش میزان مشخص مصرف انرژی در زمان معین در کل سامانه

۶. گزارش سالیانه بهبود عملکرد انرژی در سامانه آبیاری بارانی

۷. تدوین خط مشی خرید تجهیزات با بازده بالای انرژی برای سامانه آبیاری بارانی و ایستگاه پمپاژ

۸. تهیه گزارش‌های منظم ماهیانه میزان مصرف و هزینه حامل‌های انرژی در سامانه آبیاری و ایستگاه پمپاژ

۹. ارتقای شاخص‌های عملیاتی عملکرد انرژی سامانه و ایستگاه پمپاژ با هدف افزایش بهره‌وری انرژی

۱۰. بودجه‌بندی سالانه برای انجام مدیریت انرژی در سامانه آبیاری بارانی و ایستگاه پمپاژ

۲-۳- سطوح ممیزی انرژی

ممیزی انرژی در سطوح مختلف انجام می‌پذیرد و با توجه به مدت زمان و میزان هزینه‌ای که برای انجام آن صرف می‌کنیم، سطح آن تعیین می‌شود. این سطوح عبارتند از: ممیزی انرژی قدم‌زنانه^۱، ممیزی انرژی مقدماتی^۲ و ممیزی انرژی جامع^۳

ممیزی انرژی قدم‌زنانه در سامانه آبیاری بارانی مهم‌ترین کاری که باید در این مرحله انجام شود، شناسایی تلفات آشکار انرژی است که از طریق ارزیابی سامانه آبیاری و ایستگاه پمپاژ حاصل می‌شود. به طور مثال در ایستگاه پمپاژ

³ Comprehensive Energy Audit

⁴ Affinity

¹ Walk Through Energy Audit

² Elementary Energy Audit

تعرفه‌ای است. برای مثال می‌توان در زمان‌های اوج مصرف تعداد پمپ‌ها را کمتر کرد و در بازه زمانی که هزینه پایین‌تر است، تعداد پمپ‌ها را افزایش داد. این نحوه مدیریت وقتی اهمیت می‌یابد که بدانیم بهای هر کیلووات‌ساعت برق مصرفی در ساعات اوج بار حدود دو برابر بهای کیلووات‌ساعت برق مصرفی در ساعات میان باری، و چهار برابر بهای کیلووات‌ساعت برق مصرفی در ساعات کم‌باری است. (Mohammadi., 2012).

۷. تشخیص نقاط بحرانی: باید نقاط فشار بحرانی که به خاطر فاصله زیاد از ایستگاه پمپاژ، فشار حداقلی دارند شناسایی شوند و با روش‌هایی چون گروه‌بندی هیدرانت‌های شبکه آبیاری و یا استفاده از پمپ‌های تقویت کننده، فشار مورد نیاز آنها را تامین کرد. گاهی وجود چند نقطه بحرانی باعث ایجاد ارتفاع فشار کل زیاد و مصرف انرژی بیش از حد می‌شود. (Diaz et al., 2009).

۸. برنامه‌ریزی آبیاری^۱: یکی از روش‌های مدیریتی برای صرفه‌جویی و ممیزی انرژی در سامانه آبیاری تحت فشار، شبیه‌سازی برنامه‌ریزی‌های مختلف آبیاری در سامانه و بررسی میزان مصرف انرژی در هر یک از آنها است. به طور مثال در صورتی که اختلاف ارتفاع اراضی زیاد باشد می‌توان آنها را بخش‌بندی کرد و ساعت‌بندی‌های متفاوتی را برای آبیاری آنها در نظر گرفت، همچنین با توجه به دوره رشد گیاه و یا تنوع محصولات می‌توان ساعات تحویل آب را تقسیم‌بندی کرد و در نهایت با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و بررسی میزان مصرف انرژی در هر یک، برنامه بهینه آبیاری را از نظر مصرف انرژی انتخاب کرد (Gomrokchi & ParvareshRizi., 2021).

برای محاسبه تلفات انرژی در ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری تحت فشار (از جمله تلفات نشت و اصطکاک که شامل اصطکاک در لوله‌ها، شیرهای هیدرولیک و هیدرانت‌ها است) از مقایسه عملکرد ایستگاه پمپاژ با معیار پمپاژ نبراسکا (جداول ۱ و ۲) استفاده می‌شود. برخی از روابط مورد نیاز برای محاسبه تلفات انرژی نیز در جدول ۳ آمده است.

الکتریکی صرفه‌جویی خواهد شد، همچنین اگر دور موتور ۲۰٪ کاهش داده شود ۴۹٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. قوانین تشابه در پمپ‌ها، پایه نظریه صرفه‌جویی انرژی با استفاده از درایو هستند. با استفاده از درایو، صرفه‌جویی انرژی حتی تا ۴۰٪ در پمپ‌ها صورت می‌گیرد (Lakzaeyanpoor., 2006).

۳. کنترل جریان: یکی از بالاترین قابلیت‌های کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ مربوط به اصلاح روش کنترل جریان است. استفاده از شیرهای کنترل جریان و خط کنارگذر که تلفات انرژی زیادی دارند بسیار رایج است. استفاده از پمپ‌های دورمتغیر در ایستگاه پمپاژ نسبت به ایستگاه‌های پمپاژ متداول که در آن از پمپ‌های دورثابت استفاده می‌شود، برحسب نوع بهره‌برداری، باعث ذخیره ۴۴ تا ۵۴ درصدی انرژی می‌شود (ParvareshRizi., & Delfan Azari., 2013).

۴. تبدیل موتورهای دیزلی به برقی: بر اساس معیار پمپاژ نبراسکا بازده موتورهای دیزلی ۳۳٪ و بازده موتورهای الکتریکی ۸۸٪ در نظر گرفته می‌شود در نتیجه اتلاف انرژی در پمپ‌های الکتریکی کمتر از دیزلی است (Comforti., & Giampietro., 1997). در شرایط الزام به استفاده از پمپ‌های دیزلی، پمپ و واحد توان باید متناسب با نیاز انتخاب شوند، در غیر این صورت بازده پمپ پایین می‌آید و مصرف سوخت زیاد می‌شود (Chavez et al., 2010).

۵. کیفیت توان: مسائل کیفیت توان شبکه شامل کلیه اختلالات شبکه برق (مثل عدم تقارن در ولتاژ، افت ولتاژ، چشمک زدن برق، سیستم ارت بد، هارمونیک‌ها و نظایر آن) می‌شود. از آنجا که کیفیت توان شبکه تأثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، اگر ولتاژ موتور بیش از ۵٪ کاهش پیدا کند راندمان بین ۲ تا ۴٪ افت پیدا کرده و دمای موتور حدود ۱۵٪ افزایش می‌یابد؛ افزایش دما، عمر عایق موتور را کاهش می‌دهد (Mohammadi., 2012).

۶. استفاده از کنتورهای دو یا چند تعرفه‌ای در ایستگاه‌های پمپاژ: یکی از راهکارهای اجرایی اعمال مدیریت مصرف در ایستگاه‌های پمپاژ استفاده از کنتورهای دو یا چند

¹ Irrigation scheduling

مورد کاوی ۱: موسسه کشاورزی و دامپروری احسانی در غرب استان قزوین با وسعت ۲۰۰ هکتار است که ۷۸ هکتار آن برای کشاورزی استفاده می‌شود. آبیاری با سامانه آبیاری کلاسیک ثابت انجام می‌شود و کشت غالب گندم و ذرت و یونجه است.

جدول ۱ معیار کارکرد ایستگاه پمپاژ نبراسکا (رضوانی و همکاران، ۱۳۸۹)

Table 1 Nebraska Pumping Station Performance Criteria (Rizvani et al., 2010)

Energy unit	Nebraska Pumping Standards for Pumping Stations	Nebraska Pumping Standard for Power Unit (Engine)	Energy source
Kwh/lit	2.5	3.3	Gasoline
Kwh/lit	1.7	2.3	Petrol
Kwh/lit	1.4	1.8	Propane
Kwh/m ³	1.3	1.7	Natural gas
Kwh/ Kwh	0.67	0.88	Electricity

جدول ۲ معیار بازده ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری نبراسکا (رضوانی و همکاران، ۱۳۸۹)

Table 2 efficiency criteria of irrigation pumping stations in Nebraska (Rizvani et al., 2010)

Total yield (%)	Engine power unit efficiency (%)	Engine type
66	88	Electric
24	33	Diesel
17	24	natural gas

ممیزی انرژی جامع: بالاترین سطح و پیچیده‌ترین نوع ممیزی است. این نوع ممیزی زمان‌بر و پرهزینه است، اما دارای دقت مناسبی است و با بهره‌گیری از تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری پیشرفته و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری میسر است. به طور مثال با استفاده از برنامه گردریپ^۱ رفتار سامانه آبیاری تحت فشار بر اساس توزیع محصولات و نیاز آبی در هر قطعه زراعی شبیه‌سازی می‌شود و برنامه‌ی آبیاری پیشنهاد می‌شود که در آن مصرف آب و انرژی به حداقل می‌رسد و نیاز محصول نیز تامین می‌شود (Lima et al., 2018). زیرساخت‌های تامین داده و نحوه پایش شبکه‌های آبیاری در کشور ما هنوز فاصله زیادی با کاربرد روش ممیزی جامع دارد و غیر از پایلوت‌های تحقیقاتی امکان اجرای آن در طرح‌های آبیاری نیست. ولی اگر سیاستگذاری و مدیریت انرژی در کشور به این نتیجه برسد که ارتقا بهره‌وری انرژی برای کشورهای نفت‌خیز هم لازم و حیاتی است، امکان برنامه ریزی برای دستیابی به ممیزی انرژی جامع هم در سامانه‌های آبیاری وجود دارد.

۱-۲- کاربرد ممیزی انرژی در دو مورد کاوی

کاربرد روش شناسی تدوین شده در دو مطالعه موردی در این پژوهش به شرح ذیل انجام شده است: (۱) مورد کاوی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان قزوین. (۲) مورد کاوی در سامانه آبیاری بارانی دوآر مرکزی (سنترپیوت) در شهرستان شهریار.

جدول ۳ روابط مربوط به تلفات انرژی در ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری تحت فشار

Table 3 Relationships related to energy losses in the pumping station and pressurized irrigation system

Formula	title	Reference
$OPE = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$	Total energy efficiency	Rizvani et al., 2010
$P_{out} = \frac{QH}{102}$	Power output from the pump(kw)	Rizvani et al., 2010
$P_i = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$	Power consumption in the electric motor (w)	Rizvani et al., 2010
$E_l(t_p) = \gamma \sum_{t_k=0}^{t_k=t_p} (\sum_{i=1}^{n_l} q_{li}(t_k) \cdot h_i(t_k)) \cdot \Delta t_k$	Energy lost through leakage(J)	(Pardo et al., 2013)
$E_f(t_p) = \gamma \sum_{t_k=0}^{t_k=t_p} (\sum_{j=1}^{n_l} q_j(t_k) \cdot \Delta l_j(t_k)) \cdot \Delta t_k$	Frictional energy in pipes(J)	(Pardo et al., 2013)
$E_v(t_p) = \gamma \sum_{t_k=0}^{t_k=t_p} (\sum_{j=1}^{n_v} q_{vj}(t_k) \cdot \Delta h_{vj}(t_k)) \cdot \Delta t_k$	Wasted energy from hydraulic valves(J)	(Pardo et al., 2013)
$E_h(t_p) = \gamma \sum_{t_k=0}^{t_k=t_p} (\sum_{j=1}^{n_h} q_{hj}(t_k) \cdot \Delta j_{hj}(t_k)) \cdot \Delta j_k$	Energy wasted in hydrants(J)	(Pardo et al., 2013)

¹ GREDRIP

جدول ۵ آورده شده است.

۲-۳- نتایج موردکاوی‌ها

در این پژوهش دو منطقه با سامانه‌های آبیاری بارانی متفاوت، مطالعه شدند. سامانه آبیاری کلاسیک ثابت در موسسه کشاورزی و دامپروری احسانی و سامانه آبیاری بارانی سنتریپوت در مزرعه خدایار. دستورالعمل‌های ممیزی انرژی در سطوح مختلف آن برای این مناطق تهیه شد. بر این اساس انجام ممیزی قدم‌زنانه و برخی از مراحل ممیزی مقدماتی امکان‌پذیر بود که با توجه به میزان اثرگذاری اولویت بندی و به نتایج زیر منجر شد.

۱- در هر دو موردکاوی برای پمپاژ از پمپ‌های دورثابت و برای کنترل جریان از خط کنار گذر و شیر کنترلی استفاده می‌کنند. در نتیجه پمپاژ بیشتر از حد لازم انجام می‌شود و برگشت آب به استخر پمپاژ بوجود می‌آید و انرژی زیادی تلف می‌شود. در صورت استفاده از پمپ دور متغیر می‌توان از این اتلاف انرژی جلوگیری کرد.

۲- بخش مهمی از تلفات انرژی مربوط به انتخاب نامناسب پمپ هاست. در واقع در هر دو موردکاوی، پمپ‌ها بزرگتر از حد لازم است می‌توان به جای استفاده از یک پمپ با ظرفیت بالا از چند پمپ با ظرفیت کمتر استفاده کرد تا در زمانی که دبی مورد نیاز کمتر بود از پمپ‌های کمتر استفاده و از تلفات انرژی جلوگیری شود. همچنین در مواردی خرابی پمپ‌ها و بی‌توجهی به تعمیر یا تعویض آنها منجر به تلفات انرژی شده است.

۳- در موردکاوی اول، نیاز آبی محصولات به دقت محاسبه نشده است و آبیاری بیش از حد لازم و به صورت تجربی انجام می‌شود. بدیهی‌ترین روش صرفه‌جویی انرژی، از بین بردن آبیاری غیرضروری است که با برنامه‌ریزی مناسب آبیاری می‌توان حجم کلی آب مورد استفاده در مزرعه را به حداقل رساند. یعنی باید تلفات آبیاری از جمله تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی و بادبردگی به حداقل برسد.

فشار در ابتدا لوله خروجی از ایستگاه پمپاژ حدوداً ۶ بار است، لوله اصلی خروجی از ایستگاه پمپاژ ۲۵۰ میلی‌متر است و در انتهای مزرعه به ۲۰۰ میلی‌متر می‌رسد. قطر لوله‌های فرعی که رایزر و شیر خودکار روی آن بسته شده و به لوله اصلی متصل است از ۷۵ تا ۶۳ میلی‌متر است. منبع تامین آب برای سامانه آبیاری بارانی چاه است. آب برداشت شده از چاه وارد استخر ذخیره می‌شود و به دلیل استفاده از پمپ دورثابت، آب پمپاژ شده اضافی از خط کنارگذر به استخر پمپاژ برمی‌گردد (یکی از پتانسیل‌های اتلاف انرژی).

مورد کاوی ۲: مزرعه موقوفه خدایار واقع در روستای بادامک، در بخش مرکزی شهرستان شهریار با وسعت ۳۵۰ هکتار است که ۱۵۰ هکتار آن با ۲ سامانه آبیاری بارانی خطی و یک سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی (سنتریپوت) و بقیه اراضی با سامانه آبیاری کلاسیک ثابت آبیاری می‌شود و در اینجا سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی ممیزی شده است. الگوی کشت این مزرعه شامل گندم، کلزا، ذرت و یونجه است. سامانه آبیاری سنتریپوت این مزرعه شامل ۸ دهانه و یک دوار مرکزی است و از طریق استخری که در مجاورت آن قرار دارد تغذیه می‌شود. سیستم انتقال قدرت از طریق تابلو برق سه‌فاز و ۳۸۰ ولت تامین می‌شود. فشار دستگاه بین ۱ تا ۳ اتمسفر متغیر است. این سامانه مجهز به سیستم تزریق کود و سموم زمان‌دار است. منبع تامین آب چاهی به عمق ۱۷۰ متر است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج ارائه روش‌شناسی

برای بررسی عملکرد انرژی در تجهیزات انرژی‌بر، شاخص‌هایی تعریف می‌شود. این شاخص‌ها کلیدی یا عمومی هستند و مقادیر آنها یا با مقادیر استاندارد مقایسه می‌شود یا در دوره‌های زمانی مختلف با هم مقایسه می‌شوند. این مقایسه می‌تواند به تحلیل‌های ممیزی کمک کند. شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ در جدول ۴ و شاخص‌های عملکرد انرژی سامانه‌های آبیاری بارانی در

جدول ۴ مجموعه شاخص‌های عملکرد پمپ (منبع: یافته‌های تحقیق)

Table 4 Pump performance indicators (Reference: research findings)

Formula	Definition	Index
$P_H = (Q \times \rho \times g \times H) / 1000$	The hydrodynamic power required to move the fluid by the pump is the amount of useful energy transferred from the pump to the fluid.	Hydrodynamic power
$P_{on\ shaft} = \frac{P_H}{\eta_p}$	This index, like "P _H " index, directly obtained the amount of energy consumption in the pump.	Power required on the shaft
$P_d = \frac{\text{Consumed electrical power}}{\text{rated power}}$	It is the ratio of electric power consumed in the electric motor in operating mode to rated power. The closer the P _d index is to one, the better the performance of the pumping system motor in terms of energy efficiency.	Pump driver loading percentage
$SE_p = \frac{\text{Power consumption pump}}{\text{product unit production}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{Ton}} \right)$	This index, which is also known as absorption index, shows how much energy the pump consumes to produce a mass unit of product or to produce a product.	Special energy per product
$SE_{mass\ flow} = \frac{P}{Q}$	It shows how much energy the pump has consumed for its actual operating capacity. The trend of changes of this index will show the saving or loss of pump energy consumption	Special energy per mass flow
$EC_f = \frac{\text{Pump operating flow rate}}{\text{Nominal flow rate of the pump}}$	The amount of passing mass flow rate in the operating mode is equal to the nominal flow rate of the pump and shows the capacity of the pump compared to its design mode. The closer the "EC _f " index is to one, the better the pump performance in terms of energy consumption.	Equipment capacity
$AEP_p = AEC_p(\text{kwh}) \times \text{Energy Price (Rials/kwh)}$	-	Annual Energy Price of Pump System
$ALP_p = AEL_p \times \text{Energy Price (Rial/kwh)}$	-	Annual Lisses Price of Pump System
$E_{water} = \frac{E_u}{V_{water}}$	It is obtained by dividing the amount of energy consumed (w-h or kw-h) by the volume of water pumped in each month or year and represents the amount of energy consumed per cubic meter of water pumping.	Energy consumption per unit volume of water
$E_{hec} = \frac{E_u}{A}$	This index is obtained by dividing the amount of energy consumed ("wh" or "kwh") by the cultivated area (hectare) and can be defined monthly or annually. The value of this index indicates the amount of energy consumed	Energy consumption per hectare

مرکزی مشکل ایجاد می‌کند. جای چرخ‌ها روی زمین می‌ماند و دهانه‌های یک قسمت متوقف می‌شوند و (در گل گیر می‌کنند) و قسمتی حرکت می‌کند و این باعث شکستگی اجزای سامانه می‌شود.

۵- در سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی عموماً در انتهای زمین افت فشار و نقاط بحرانی وجود دارد که باعث مصرف بیشتر انرژی می‌شود. لازم است با کنترل فشار و سرعت دستگاه و یا استفاده از پمپ‌های تقویت‌کننده این نقاط

۴- در هنگام انتخاب نوع سامانه آبیاری باید به وضعیت توپوگرافی منطقه، نوع خاک، شرایط آب و هوایی و وضعیت وزش باد توجه شود. به‌طور مثال در مورد کاوی اول، منطقه بادخیز است و نباید از سامانه آبیاری کلاسیک ثابت استفاده می‌شد چرا که تلفات بسیار زیادی در آب و انرژی به وجود آمده است. همچنین در مورد کاوی دوم هنگام انتخاب نوع سامانه به جنس خاک توجه نشده است. خاک این منطقه رسی و سنگین است و برای حرکت سامانه آبیاری دوار

جدول ۵ تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی سامانه آبیاری بارانی (منبع: یافته‌های تحقیق)

Table 5 Definition and calculation of energy performance indicators of rain irrigation system (Reference: research findings)

Index	Definition	Formula
PE efficiency	It shows the relationship between the consumed electricity and the power given by the water flow	$A_1 = \frac{(\frac{V}{3.6}) \times H \times 0.736 \times 100}{75 \times E_a}$
Seasonal energy	The seasonal energy consumption index refers to the amount of energy consumed each month compared to the total energy consumed in the pumping station throughout the year.	-
Power per unit area of water	The power index per unit of water level is the ratio of the total consumed power (kw) to the total irrigation area (ha).	-
Peak ratio of electricity consumption to contract power	The ratio of the peak power consumption to the contracted power is the maximum power consumption recorded in the pumping station between the contracted power and the energy source.	-
Energy consumption per unit of water level	The energy consumption index per water surface unit is the total energy consumption in pumping stations (kwh) divided by the irrigation area (ha).	-
Energy consumption per unit of irrigation water delivered	The energy consumption index per unit of delivered irrigation water is equal to the ratio of total energy consumption (kwh) to the total annual volume of pumped irrigation water (m ³).	-
Energy cost per unit volume provided	The energy cost index per unit of supplied volume is the total annual energy cost (Rials) per the total annual volume of water delivered to farmers (m ³).	-
Ratio of energy to total MOM costs	The ratio of energy to total maternal expenses is a percentage of total maternal expenses due to energy expenses.	-
Output per unit of consumed energy	The output index per unit of consumed energy is equal to the total annual value of agricultural production in the irrigation area (riyals) divided by the total annual energy consumed in the pumping station (kwh).	-
Excess of supplied energy	This indicator represents the additional supplied energy and shows whether multiple grouping of network hydrants can reduce energy costs or not.	$I_1 = E_{input} / E_{min,useful}$
network energy efficiency	The most important indicator is the energy efficiency index of the network because it shows the part of the energy delivered to crops and determines whether the network is properly managed or not.	$I_2 = E_u / E_{input}$
Energy dissipation	This index shows the energy losses of the network and shows the performance of the network design.	$I_3 = E_{dissipated} / E_{input}$
Characterization energy losses	It determines the energy losses and its value varies from zero to one. If the values are close to zero, the network is large and the friction loss is low, and if it is close to one, it indicates a leak-free network.	$I_4 = E_{dissipated} / E_{wasted}$
Energy losses in pipes	This index shows the energy loss in the pipe.	$I_5 = E_f / E_{wasted}$
Energy losses in valves	This indicator shows the energy losses in the faucet.	$I_6 = E_v / E_{wasted}$
Energy losses in hydrants	This index shows the energy loss in the hydrant.	$I_7 = E_h / E_{wasted}$

می‌تواند به تامین فشار مناسب کمک کند.

بحرانی از بین بروند. اتوماسیون یا هوشمندسازی هم

انرژی در بخش کشاورزی است که گرچه یک موضوع مهم در دنیا محسوب می‌شود ولی هنوز در کشور ما خود را به شکل بحران نشان نداده و اتکا به سوخت‌های فسیلی باعث غفلت ما از موضوع انرژی شده است. قیمت انرژی در بخش کشاورزی بسیار ناچیز است و از همه نهاده‌های کشاورزی ارزانتر است. از این رو دلیل یا عزمی برای پایش مصرف و کاهش مصرف آن وجود ندارد.

۵- فهرست نشانه‌ها

P_{out}	توان خارج شده از پمپ (kW)
Q	دبی (lit/s)
H	• بار فشاری (m)
P_{in}	توان وارد شده به موتور (kW)
P_i	توان مصرفی در موتور الکتریکی (w)
V	اختلاف پتانسیل (V)
I	شدت جریان (A)
$\cos \phi$	ضریب توان مصرف‌کننده الکتریکی (اعشار) است
$E_l(t_p)$	انرژی تلف شده نشت (J)
γ	وزن مخصوص آب (Nm^{-3})
n	تعداد گره‌های شبکه
$q_{li}(t_k)$	• دبی جریان نشتی در لوله‌های مجاور گره i (و در ارتباط با این گره) در زمان t_k ($m^3 s^{-1}$)
$h_i(t_k)$	ارتفاع پیزومتریک در زمان t_k در گره‌ای که نشت (t_k) متمرکز شده است (m)
$E_f(t_p)$	انرژی حاصل از اصطکاک در لوله‌ها (J)
n_l	تعداد خطوط شبکه
$\Delta h_j(t_k)$	تلفات اصطکاک در خط j در زمان t_k که از تفاوت ارتفاع‌های پیزومتریک بین گره‌های اولیه و نهایی حاصل می‌شود (m)
$q_j(t_k)$	دبی جریان در خط j که از مجموع $q_j(t_k)$ دبی تقاضای کاربران و $q_j(t_k)$ دبی نشتی حاصل می‌شود ($m^3 s^{-1}$)
$E_v(t_p)$	انرژی تلف شده از شیرهای هیدرولیکی (J)
n_v	تعداد شیرها
$\Delta h_{vj}(t_k)$	ارتفاع پیزومتریک است که در شیر j در زمان t_k از دست‌رفته است و از تفاوت بین گره‌های بالادست و پایین‌دست شیر حاصل می‌شود (m)
$q_{vj}(t_k)$	دبی جریان در شیر هیدرولیک j در زمان t_k ($m^3 s^{-1}$)
$E_h(t_p)$	انرژی تلف‌شده در هیدرانت‌ها (J)
n_h	تعداد هیدرانت‌ها
$\Delta h_{hj}(t_k)$	ارتفاع پیزومتریک است که در هیدرانت j از دست‌رفته است (m)
$q_{hj}(t_k)$	دبی جریانی است که در زمان t_k از طریق هیدرانت j جریان پیدا می‌کند ($m^3 s^{-1}$)
P_H	توان هیدرودینامیک (kW)
Q	دبی حجمی سیال (m^3/s)

۶- برخی از تجهیزات مهم مانند دبی‌سنج، در هر دو مورد کاوی وجود ندارد و دبی به صورت چشمی یا تجربی اندازه گرفته می‌شود. بعضی از اطلاعات مانند منحنی مشخصه پمپ در دسترس نیست و پلاک روی پمپ موجود نیست. برای ارزیابی انرژی و محاسبه تلفات و شاخص‌های انرژی به همه این موارد نیاز است و نبود آنها روند ممیزی را در سطح مقدماتی و جامع مختل می‌کند.

۷- در مورد کاوی اول، برای نگهداری و سرویس سامانه آبیاری و ایستگاه پمپاژ برنامه‌ریزی مشخصی وجود ندارد. در موتور پمپ، پمپ، خطوط لوله و واشرها نشتی زیادی در طول فصل آبیاری وجود دارد که باعث اتلاف انرژی است.

۸- در مورد کاوی دوم، شرایط نگهداری ایستگاه پمپاژ و تابلو برق استاندارد نیست و به خاطر قرار گرفتن به صورت مستقیم در زیر آفتاب به خصوص در فصل تابستان، بین ولتاژ استاندارد موتور و ولتاژ اعمالی به آن اختلاف ایجاد می‌شود که باعث افزایش دما در موتور و کاهش عمر مفید و راندمان آن و در نتیجه مصرف زیاد انرژی است. همچنین به دلیل غیر استاندارد بودن شرایط نگهداری تابلو برق، ایستگاه پمپاژ و سیم‌کشی‌ها در اثر بارندگی منجر به آتش سوزی شده است که تبعات زیادی را برای کل سامانه به همراه داشته و همچنین باعث اتلاف انرژی شده است.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعاتی که به طور مشخص به بحث ممیزی انرژی در سامانه‌های آبیاری پرداخته اند، نادر هستند و در ایران نیز علیرغم توجه به ممیزی انرژی در بخش‌های مختلف، در بخش آبیاری این موضوع دیده نشده است. در این مطالعه به روش‌شناسی و تهیه دستورالعمل برای ممیزی انرژی در سامانه آبیاری بارانی در هر سه سطح پرداخته شد و همچنین در دو مورد کاوی ممیزی انرژی به صورت عملی انجام شد که به دلیل محدودیت‌هایی مانند نبودن تجهیزات کافی، برای اندازه‌گیری پارامترهای لازم تنها موفق به انجام ممیزی در دو سطح اول شدیم. نتایج نشان می‌دهد که با اعمال راهکارهای بسیار ساده می‌توان بهره‌وری انرژی را در این طرحها افزایش داد. موضوع اصلی جلب توجه به موضوع

References	منبع‌ها	ρ	دانسیتة سیال (kg/m^3)
Algieri, A. & Zema, D.A. & Nicotra, A. & Zimbone, S.M. (2020). Potential energy exploitation in collective irrigation systems using pumps as turbines: A case study in Calabria (Southern Italy). <i>Cleaner Production</i> , 257, 120538.		g	شتاب ثقل (m/s^2)
		H	هد کلی سیستم (m)
Chávez, J. L. & Reich, D. & Loftis, J.C. & Miles, D.L. (2010). Irrigation pumping plant efficiency. Colorado State University Cooperative. Extension. No.4. 712.		$P_{\text{on shaft}}$	توان روی شفت
		η_p	کارایی مکانیکی پمپ
Comforti, P. & Giampietro, M. (1997). Fossil energy use in agriculture: an international comparison, <i>Agricultural Ecosystems Environment</i> , 54:231-243.		P_d	درصد بارگذاری درایور پمپ
		SE_p	انرژی ویژه به ازای محصول
Dallo, G. (2013). Green Energy Audit of Buildings. <i>Springer London Heidelberg New York Dordrecht</i> .		$SE_{\text{mass flow}}$	انرژی ویژه به‌ازای دبی جرمی (kw/kg/h) یا ($\text{kw/m}^3/\text{s}$)
		P	برق مصرفی پمپ (kw)
Delfan Azari, M. & Parvaresh Rizi, A. (2015). Application of Variable- Speed Pumps in Design and Operation of on- Demand Irrigation Systems. <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i> , 46(1), 41-48. DOI: 10.22059/ijswr.2015.54294. (In Persian)		Q	دبی جرمی (m^3/s)
		EC_f	شاخص ظرفیت تجهیزات
Delfan Azari, M., & Parvaresh Rizi, A. (2016). Investigation the Effects of Operation Methods on Energy Consumption in Agricultural Water Pumping Stations. <i>Water and Soil</i> , 30(5), 1347-1357. DOI: 10.22067/jsw.v0i0.29554. (In Persian)		AEC_p	میزان مصرف انرژی سالانه سیستم پمپاژ
		η	بازده نامی موتور
Diaz, J.A., & Luque, R., & Cobo, M.T., & Montesinos, P., & Poyato, E. (2009). Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurized irrigation networks. <i>biosystems engineering</i> , 104, 552–561.		LF	ضریب بار پمپ‌ها در سیستم پمپ
		OH	ساعات کاری سیستم پمپ در سال (week/yr, day/week, hr/day)
Energy balance report (2020). Ministry of Power. Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy. (In Persian)		K	ضریب تبدیل اسببخار به کیلووات
		η_M	کارایی موتور الکتریکی
Ghomrokchi, U., & Parvaresh Rizi, A. (2017). Dynamic modeling of variable speed pumps in pressurized irrigation system considering energy consumption analysis (case study: Ashrafieh agro-industry irrigation system). <i>Irrigation and drainage structures engineering research</i> , 18(68), 143-160. SID. (In Persian)		$P_{\text{sh-op}}$	توان شافت در حالت عملیاتی
		$P_{\text{sh-RATE}}$	توان مورد نیاز شافت در حالتی است که پمپ در شرایط طراحی
		η_{p-op}	کارایی پمپ در حالت طراحی
		η_{p-RATE}	کارایی پمپ در نقطه طراحی
		$P_{\text{in-op}}$	توان الکتریکی در حالت عملیاتی
		$P_{\text{in-RATE}}$	توان الکتریکی در حالت طراحی
		kw_{loss}	توان الکتریکی تلف شده
		AEL_p	تلفات انرژی سالانه پمپ
		ALP_p	هزینه ناشی از تلفات انرژی سالانه پمپ
		E_{water}	شاخص مصرف انرژی به ازای واحد حجم آب
		E_u	انرژی مصرف شده (kwh یا wh)
		V_{water}	حجم آب پمپاژ شده در هر ماه یا سال
		E_{hec}	شاخص مصرف انرژی به ازای هر هکتار
		E_u	انرژی مصرف شده (kwh یا wh)
		A	سطح زیر کشت (هکتار)
		E_a	انرژی سالانه مصرف شده (kwh)
		H	ارتفاع نظیر فشار ایستگاه پمپاژ (m)
		V	حجم آب پمپ شده (m^3)
		E_{input}	انرژی ورودی به شبکه
		$E_{\text{min,useful}}$	حداقل انرژی مفید مورد نیاز در یک شبکه بدون نشست و اصطکاک
		E_u	انرژی تامین شده برای کاربران
		$E_{\text{dissipated}}$	انرژی تلف شده ناشی از اصطکاک
		E_{wasted}	انرژی تلف شده ناشی از نشست و پراکندگی
		E_f	انرژی تلف شده ناشی از اصطکاک لوله
		E_v	انرژی تلف شده ناشی از اصطکاک شیر
		E_h	انرژی تلف شده ناشی از اصطکاک هیدرانت

- Mohammadi, M. (2011). Optimizing energy consumption in water pumping stations. Tehran: The fourth conference on improving domestic capacity with the approach of removing obstacles to production in the conditions of embargo. (In Persian)
- Morris, M., & Lynne, V. (2006). Energy Saving Tips for Irrigators. *ATTRA National Sustainable Agriculture*, 800(1), 346-9140
- Pardo, M., & Manzano, J., & Cabrera, E., & Garcia-Serra, J. (2013). Energy audit of irrigation networks. *Biosystems Engineering*, 115(1), 89-101.
- Rezvani, S., & Jafari, A., & Amin, S. (2011). Efficiency and energy consumption in sprinkler irrigation pumping plants in some fields in Hamadan province. *Journal of agricultural engineering research*, 11(4), 19-34. sid. (In Persian)
- Singh, P., & Singh, G., & Sodhi, G.P.S. (2019). Energy auditing and optimization approach for improving energy efficiency of rice cultivation in south-western Punjab, India. *Energy*, 174, 269-279.
- Gomrokchi, A., & Parvaresh Rizi, A. (2021). Flexibility of energy and water management in pressurized irrigation systems using dynamic modeling of pump operation. *Environment, Development and Sustainability*, DOI: 10.1007/s10668-021-01436-7.
- Lakzaeyanpor, G. (2006). Optimizing energy consumption in pumping stations. Tehran: The first national conference of operation in the water and sewage sector. (In Persian)
- Lima, F.A., & Romero, A., & Tarjuelo, J.M., & Corcoles, J.I. (2018). Model for management of an on-demand irrigation network based on irrigation scheduling of crops to minimize energy use (Part I): Model Development. *Agricultural Water Management*, 210, 49-58.
- Loghmanpour zarini R, & Tabatabaee koloor R, & Akram A. (2015). Assessment potential of energy savings in agriculture (case study: Yazd province). *IJE* 2015; 18 (3). (In Persian)
- Loftis, J.C. & Miles, D.L. (2004). Irrigation pumping plant efficiency. Colorado state university cooperative extension .No.4.712.<http://www.ext.colostate.edu/>.