



## Investigation of Water and Energy Consumption in Qazvin Irrigation Network Farms

Vahid Ashoori<sup>1</sup> | Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh<sup>2</sup>  |  
Seied Mehdy Hashemy Shahedani<sup>3</sup>  | Abbas Roozbahani<sup>4</sup> 

1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: [Vahidashori@ut.ac.ir](mailto:Vahidashori@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: [sehashemi@ut.ac.ir](mailto:sehashemi@ut.ac.ir)
3. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: [mehdi.hashemy@ut.ac.ir](mailto:mehdi.hashemy@ut.ac.ir)
4. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. E-mail: [roozbahani@ut.ac.ir](mailto:roozbahani@ut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 4 May 2021

Received in revised form:

16 August 2021

Accepted: 6 January 2022

Published online: 2 July 2023

#### Keywords:

*Performance evaluation,  
Energy,  
Irrigation systems,  
Crop area.*

### ABSTRACT

One of the major consumers of water and energy sources is agriculture and evaluating the performance of irrigation systems to determine the efficient use of these two sources is one of the priorities of sustainable agriculture. In this regard, the present study has conducted a spatial analysis of water and energy consumption in Qazvin irrigation network. For this purpose, first, the dominant cropping pattern of the study area was extracted and then the water requirement was estimated for the products in the cropping pattern using CropWat 8.0 software. To estimate energy consumption, energy consumption in the sprinkler and drip irrigation systems, groundwater pumping, diesel fuel, labor, seeds, machinery (tractors and combines), chemical fertilizers, and pesticides for each available secondary field in the irrigation network was calculated. The results showed that the highest energy consumption in all secondary farms indirect energy consumption is related to diesel fuel with 40% of total energy consumption and in indirect energy consumption belongs to nitrogen fertilizer with 20% of total energy consumption. Also, in the energy used to pump water in irrigation systems at different heads required for pumping for crops in the dominant cropping pattern, alfalfa consumed the most energy with a value of 4811.44 Kwh / ha and corn consumed the least energy with a value of 1194.19 Kwh / ha. According to the results, the impact of diesel fuel, chemical fertilizers, and water pumping on energy consumption are high, thus controlling the consumption of these inputs would significantly reduce energy consumption.

**Cite this article:** Ashoori, V., Hashemi Garmdareh, S. E., Hashemy Shahedani, S. M., & Roozbahani, A. (2023). Investigation of Water and Energy Consumption in Qazvin Irrigation Network Farms. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (2), 295-310. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.323089.869>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.323089.869>

**Publisher:** University of Tehran Press.



## بررسی میزان مصرف آب و انرژی در سطح مزارع شبکه آبیاری قزوین

وحید عاشوری<sup>۱</sup> | سید ابراهیم هاشمی گرمدره<sup>۲</sup> | سید مهدی هاشمی شاهدانی<sup>۳</sup> | عباس روزبهانی<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [Vahidashori@ut.ac.ir](mailto:Vahidashori@ut.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [sehashemi@ut.ac.ir](mailto:sehashemi@ut.ac.ir)

۳. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [mehdi.hashemy@ut.ac.ir](mailto:mehdi.hashemy@ut.ac.ir)

۴. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: [roozbahany@ut.ac.ir](mailto:roozbahany@ut.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

### کلیدواژه‌ها:

ارزیابی عملکرد،

انرژی،

سامانه‌های آبیاری،

محدوده زراعی.

یکی از مصرف‌کنندگان عمده دو منبع آب و انرژی، بخش کشاورزی بوده و ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری با هدف تعیین میزان استفاده کارآمد این دو منبع از اولویت‌های کشاورزی پایدار است. در این راستا، پژوهش حاضر اقدام به تحلیل میزان مصرف آب و انرژی در سطح شبکه آبیاری قزوین نموده است. برای این منظور، ابتدا الگوی کشت غالب منطقه مورد مطالعه استخراج و سپس برای محصولات موجود در الگوی کشت با استفاده از نرم‌افزار CropWat 8.0، نیاز آبی برآورد شد. برای برآورد انرژی مصرفی، میزان مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، پمپاژ آب زیرزمینی، سوخت دیزل، نیروی کارگر، بذر، ماشین‌آلات (تراکتور و کمباین)، کودهای شیمیایی و سموم برای هر محدوده زراعی درجه دو موجود در شبکه آبیاری محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین انرژی مصرفی در تمامی محدوده‌های زراعی درجه دو در مصرف مستقیم انرژی مربوط به سوخت دیزل با ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی و در مصرف غیرمستقیم انرژی متعلق به کود نیتروژن با ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی است. همچنین، در انرژی مصرفی برای پمپاژ آب در سامانه‌های آبیاری در ارتفاعات مختلف لازم برای پمپاژ برای محصولات موجود در الگوی کشت غالب، یونجه بیش‌ترین انرژی با مقدار ۴۸۱۱/۴ کیلووات ساعت در هکتار و ذرت کم‌ترین انرژی را با مقدار ۱۱۹۴/۱۹ کیلووات ساعت در هکتار مصرف کرده است. باتوجه به نتایج، میزان تأثیر سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و پمپاژ آب در مصرف انرژی بالا بوده و کنترل میزان مصرف این نهاده‌ها باعث کاهش به‌سزایی در مصرف انرژی خواهد شد.

**استناد:** عاشوری، وحید؛ هاشمی گرمدره، سید ابراهیم؛ هاشمی شاهدانی، سید مهدی و روزبهانی، عباس (۱۴۰۲). بررسی میزان مصرف آب و انرژی در سطح مزارع شبکه آبیاری قزوین. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۲)، ۲۹۵-۳۱۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.323089.869>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.



## ۱. مقدمه

یکی از الزامات کشاورزی پایدار، استفاده کارآمد از انرژی است، بهره‌گیری از انرژی در بخش کشاورزی در پاسخ به افزایش جمعیت، اراضی قابل کشت محدود و گرایش به رفاه بیش‌تر در زندگی درحال افزایش است (Pelle Saraee et al., 2013). در حال حاضر وابستگی بخش کشاورزی، به‌طور قابل‌توجهی به منابع انرژی مانند برق، سوخت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ افزایش یافته است، این امر مستلزم به تعادل‌رساندن مصرف و تولید انرژی در این بخش است (Rahimian, 2015). برای تولید محصولات کشاورزی، از نهاده‌های مختلفی همچون بذر، کود، سموم شیمیایی در کنار دیگر موارد مصرفی مانند ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی و سوخت استفاده می‌شود (Dalgaard et al., 2001).

استفاده مؤثر از انرژی در بخش کشاورزی، نقش اساسی در پایداری تولید، بهینه‌سازی اقتصادی، حفظ منابع تجدیدناپذیر (سوخت فسیلی) و کاهش آلودگی هوا دارد. تجزیه و تحلیل الگوهای جریان مصرف انرژی و تغییر آن‌ها در بخش کشاورزی می‌تواند در ارزیابی اثر فعالیت‌های انسانی بر تعادل محیطی، مورد استفاده قرار گیرد (Rahimizadeh et al., 2007). مقدار انرژی مصرف‌شده در تولید، فرآوری و توزیع محصولات کشاورزی به میزان قابل‌توجهی بالا است (Khoshnevisan et al., 2015) و از آنجایی‌که تولید محصول و تأمین مواد غذایی به‌طور مستقیم با انرژی همراه است. بنابراین مصرف مقدار مناسب انرژی و استفاده مؤثر و کارآمد آن کاملاً ضروری است (Mohammadi & Omid., 2010). مدیریت انرژی، کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و همچنین افزایش کارایی و امنیت تولیدات کشاورزی باعث پژوهش‌های زیادی در مورد تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در کشاورزی شده است (Hatirli et al., 2006).

از طرفی دیگر، مجموع عوامل تغییر اقلیم، خشکسالی‌های اخیر، رشد جمعیت و برداشت بی‌رویه از منابع آب باعث ایجاد فشار مضاعف بر منابع آب شده است (Gadami Firouzabadi, 2015). به‌طوری‌که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث ممنوع‌شدن بیش از ۹۰ درصد از دشت‌های کل کشور جهت برداشت از آب زیرزمینی شده است (Kamrani et al., 2020). میزان مصرف آب در بخش کشاورزی با احتساب اراضی تحت آبیاری، نزدیک به ۱۰۰۰۰ متر مکعب بر هکتار است. متوسط تولید محصول در ازای یک مترمکعب آب در ایران بین ۹۰۰ گرم تا یک کیلوگرم می‌باشد، درحالی‌که این مقدار در دنیا به‌طور متوسط ۲/۳ کیلوگرم می‌باشد. بنابراین بهره‌وری مصرف آب در این بخش بسیار کم بوده و لازمه توجه بیش‌تر جهت کنترل مصرف آب در این بخش می‌باشد (Shahrestani, 2013).

Zahedi et al. (2015b) در مطالعه‌ای به بررسی کارایی مصرف انرژی در چهار سیستم دو کشتی شامل ذرت علوفه‌ای-گندم، ذرت علوفه‌ای-جو، ذرت دانه‌ای-جو و جو-برنج در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که کل انرژی مصرفی به‌ترتیب عبارت است از ۳۹۰۰۶، ۳۵۸۲۷/۴، ۳۳۷۱۱/۰۲، ۴۸۰۴۵/۸۶ کیلووات ساعت در هکتار که بیش‌ترین مصرف انرژی در سوخت دیزل بوده و بعد از آن به‌ترتیب کود و آب رتبه‌های دوم و سوم را داشته‌اند. Lorzadeh et al. (2012) در بررسی مزارع ذرت شهرستان ایذه واقع در استان خوزستان، بیش‌ترین سهم انرژی مصرفی را مربوط به کود نیتروژن گزارش کردند. همچنین در پژوهش مشابهی که در ترکیه بر روی محصول ذرت علوفه‌ای صورت گرفت، بیش‌ترین منبع انرژی مصرفی مربوط به کودهای شیمیایی با مقدار ۵۱/۴۷ درصد به‌دست آمد (Vural & Efecan., 2012). در مطالعه‌ای Taki et al. (2013) به تعادل انرژی بین ورودی و انرژی‌های خروجی هر واحد تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه در استان اصفهان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که برای تولید گوجه‌فرنگی مقدار انرژی برابر با ۴۶۵۷/۸ کیلووات ساعت در هکتار مصرف شده است. همچنین، در این بررسی سوخت دیزل با ۴۰ درصد و کودهای شیمیایی و کود دامی با ۳۰ درصد از بالاترین انرژی‌های ورودی برای تولید گوجه‌فرنگی بودند. در مطالعه‌ای Ghadami Firouzabadi et al. (2015) به بررسی میزان مصرف آب و تلفات و راندمان انرژی در

ایستگاه‌های پمپاژ گازوئیلی طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ در مزارع شهرستان همدان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد متوسط انرژی تلف شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برابر  $4/84$  لیتر گازوئیل در ساعت بود. از عوامل مؤثر بر کاهش بازده انرژی را می‌توان استهلاک موتور پمپ، عدم اجرای فونداسیون مناسب موتور پمپ و عدم انتخاب موتور متناسب با پمپ را نام برد. در پژوهشی، Aliabadi *et al.* (2015) به بهره‌وری آب و انرژی مصرفی الکتریکی، در تولید ذرت بذری در خراسان رضوی پرداختند. در این پژوهش بهره‌وری ذرت بذری نسبت به آب و انرژی الکتریکی مصرفی در سه سامانه آبیاری نشتی، بارانی و قطره‌ای، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که شاخص بهره‌وری انرژی الکتریکی مصرفی برای پمپاژ و توزیع آب به ترتیب برابر با  $0/682$ ،  $0/838$  و  $0/448$  کیلوگرم بذر ذرت در یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی است. همچنین، نتایج نشان داد که بهره‌وری انرژی الکتریکی مصرفی در سامانه بارانی بیش‌تر از سامانه‌های آبیاری نشتی و قطره‌ای است. Sabzealipour & Bagherpour (2019) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی انرژی مصرفی در تولید توت‌فرنگی در مزارع روباز با بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی، سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی چندلایه (انفیس) و رگرسیون در شهر دزفول پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، کل انرژی ورودی و خروجی برای این محصول به ترتیب برابر  $10071/44$  و  $8335/12$  کیلووات ساعت در هکتار است. بیش‌ترین میزان مصرف نهاده با مقدار  $5038/83$  کیلووات ساعت در هکتار و با سهم ۵۰ درصدی به کودهای شیمیایی تعلق داشت. در مطالعه‌ای Bolandnazar *et al.* (2020) به ارزیابی الگوی مصرف انرژی و انتخاب بهترین روش بین مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، پرسپترون چند لایه (MLP)<sup>۲</sup>، تابع پایه شعاعی (RBF)<sup>۳</sup> و ماشین بردار پشتیبان (SVM)<sup>۴</sup> برای برآورد انرژی خروجی سیب‌زمینی در شهرستان جیرفت واقع در جنوب استان کرمان پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد میانگین کل انرژی ورودی حدود  $23419/22$  و متوسط کل انرژی خروجی  $36171/32$  کیلووات ساعت در هکتار است. آب آبیاری با ۳۶ درصد و کودها با ۲۶ درصد مهم‌ترین ورودی انرژی در تولید سیب‌زمینی بودند.

جمع‌بندی مطالعات ارائه شده نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی مرتبط با کودهای شیمیایی مصرفی در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درصد، سامانه‌های آبیاری ۱۰ تا ۳۵ درصد و سوخت دیزل ۳۰ تا ۴۰ درصد است. بنابراین، تعیین میزان مصرف انرژی در هر بخش، به مدیران اطلاعات کاملی از پراکندگی مصرف انرژی در هر محدوده زراعی درجه دو را ارائه می‌کند. همچنین امکان ارزیابی راه‌کارهای کاهش مصرف در هر بخش را به صورت جداگانه مشخص می‌نماید. بنابراین در پژوهش حاضر به تحلیل میزان مصرف آب و انرژی در مزارع با هدف بررسی مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری، کودهای شیمیایی، سوخت دیزل، نیروی انسانی، ماشین آلات کشاورزی و سایر نهاده‌های مؤثر بر مصرف انرژی، پرداخته شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش مصرف آب و انرژی در مزارع شبکه آبیاری قزوین بررسی شده است. شمای کلی انجام پژوهش در شکل (۱) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ابتدا داده‌های مورد نیاز این پژوهش از منابع گوناگونی از جمله سازمان جهاد کشاورزی استان و آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۵ جمع‌آوری و سپس الگوی کشت غالب منطقه مورد مطالعه استخراج شد. برای محصولات موجود در الگوی کشت غالب، با استفاده از نرم‌افزار CropWat 8.0 نیازآبی با در نظر گرفتن راندمان کاربرد آب در مزرعه (۷۰ درصد) و سپس با توجه به راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری (۸۲/۵ درصد) (Abbasi *et al.*, 2015)، میزان مصرف آب در محدوده‌های زراعی درجه دو برآورد شد. با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، میزان مصرف انرژی در نهاده‌های مؤثر بر مصرف انرژی از قبیل سیستم‌های پمپاژ آب (سامانه‌های آبیاری و استخراج آب

زیرزمینی)، کودهای شیمیایی، بذر، سوخت دیزلی، سموم کشاورزی، ماشین‌آلات کشاورزی و نیروی کارگری در محدوده‌های زراعی درجه دو برآورد شد. سپس برای هر محدوده زراعی درجه دو میزان مصرف انرژی و آب برای سال زراعی ۹۵-۹۶ محاسبه شد.

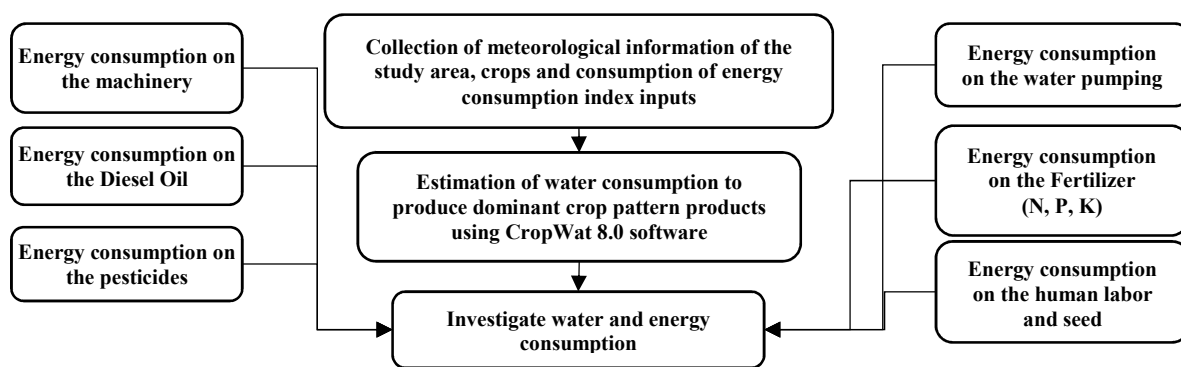


Figure 1. Research overview

## ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه شده در این پژوهش، شبکه آبیاری و زهکشی استان قزوین است. سیستم‌های آبیاری مورد استفاده در این شبکه شامل سیستم‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای می‌باشند و آب مورد نیاز برای آن نیز به صورت مشترک از آب شبکه آبیاری قزوین سد طالقان و برداشت از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. میزان بارش سالیانه استان قزوین حدود ۳۱۸ میلی‌متر و دمای متوسط هوا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع ثبت شده برای این استان به ترتیب ۲۹۷۱ و ۱۱۰۰ متر و متوسط آن حدود ۱۲۵۰ متر از سطح دریا است. شبکه آبیاری و زهکشی قزوین بین ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شبکه آبیاری و زهکشی با هدف انتقال آب رودخانه طالقان از محل سد انحرافی زیاران به دشت قزوین احداث شده و در حدود ۸۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت را زیر پوشش قرار می‌دهد. کانال اصلی شبکه به طول ۹۴ کیلومتر، در ابتدا با ظرفیت ۳۰ مترمکعب بر ثانیه و در انتها تا ۳ مترمکعب بر ثانیه ساخته شده است. شبکه دارای ۱۲ رشته کانال درجه ۲ به ظرفیت ۰/۶ تا ۷/۴ مترمکعب در ثانیه بوده که طول آن‌ها در مجموع بالغ بر ۲۱۴ کیلومتر می‌شود (شکل ۲). در این پژوهش هر محدوده تحت آبیاری کانال‌های درجه دو، محدوده زراعی درجه دو نام‌گذاری شد. محدوده‌های درجه دو شامل L1، L2، L3، L4a، L4b، L5، L6، L7، L8، L9، L10 و L20 است، محدوده‌های L4a با L4b و محدوده‌های L10 و L20 باهم تلفیق شده و به ترتیب L4 و L10 نام‌گذاری شدند (Hosseini Jolfan *et al.*, 2020). مساحت هر کدام از محدوده‌های زراعی درجه دو در جدول (۱) ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، L3 بزرگ‌ترین محدوده زراعی درجه دو با ۲۷ درصد از کل مساحت و L5 کوچک‌ترین محدوده زراعی درجه دو با ۲ درصد از کل مساحت است. با توجه به عدم موجود بودن اطلاعات نوع سیستم‌های آبیاری در این محدوده‌ها، این مقادیر با استعلام از کارشناسان مطلع سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان قزوین به صورت تقریبی در نظر گرفته شد (جدول ۲).

Table 1. Area of each second grade crop area (hectares)

Name	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Area	5772	7303	21700	6654	2346	9802	7800	13045	2500	4480

Table 2. Irrigation system area in each second-grade crop area (%)

Name	Surface irrigation (%)	Sprinkler irrigation (%)	Drip irrigation (%)
L1	70	20	10
L2	68	21	11
L3	65	23	12
L4	60	25	15
L5	55	27	18
L6	50	29	21
L7	45	32	23
L8	40	35	25
L9	35	38	27
L10	30	40	30

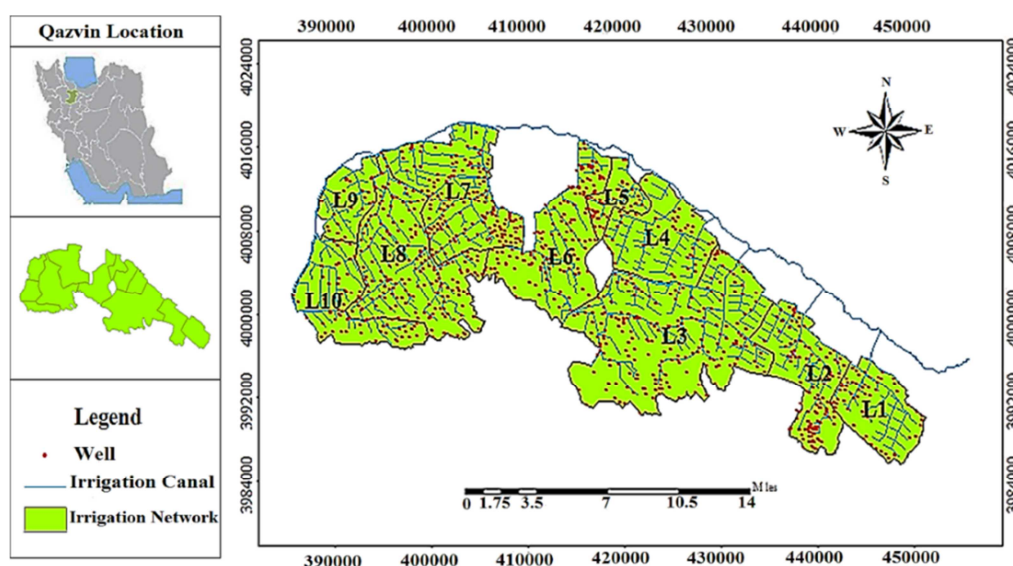


Figure 2. Geographical location of Qazvin irrigation and drainage network

## ۲-۲. محاسبه میزان آب و انرژی مصرفی محدوده‌های شبکه آبیاری

در ابتدا با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از جهاد کشاورزی استان قزوین و آمارنامه کشاورزی، محصولات کشت‌شده در استان استخراج شد. پس از آن، با استفاده از آمارنامه کشاورزی و مطالعات انجام‌شده، محصولات کشت‌شده در شبکه و سپس الگوی کشت غالب در شبکه آبیاری استخراج و با استفاده از نرم‌افزار CropWat 8.0 نیاز آبی برای الگوی کشت غالب در هر محدوده زراعی درجه دو به‌صورت جداگانه با احتساب راندمان کاربرد ۷۰ درصدی محاسبه شد. در گام آخر، مقدار آب لازم هر محدوده زراعی درجه دو با توجه به راندمان انتقال و توزیع ۸۲/۵ درصد (Abbasi *et al.*, 2015) در نظر گرفته شد.

میزان انرژی مصرفی طبق شاخص ارایه‌شده توسط El-Gagy (2017) که به‌صورت مجموع انرژی مصرف‌شده برای تولید محصول  $c$  در یک هکتار (ha) زمین در زمان  $t$  در نظر گرفته شده  $T$  محاسبه شد (معادله ۱).

$$E_{c,t} = \sum [q_h h_{(c,t)} + q_m m_{(c,t)} + q_d d_{(c,t)} + q_f f_{(c,t)} + q_p p_{(c,t)} + q_s s_{(c,t)} + Sp_{(Irr,c)} + Dr_{(Irr,c)} + I_{(w,c)}] \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن،  $Sp_{Irr}$  و  $Dr_{Irr} \cdot I_w \cdot q_s \cdot q_p \cdot q_f \cdot q_d \cdot q_m \cdot q_h$  به ترتیب انرژی مصرف شده توسط نیروی انسانی ( $MJ/h$ )، ماشین آلات (شامل تراکتور و کمباین) ( $MJ/h$ )، سوخت‌های فسیلی (دیزل) ( $MJ/L$ )، کود ( $MJ/kg$ )، آفت‌کش و علف‌کش ( $MJ/kg$ )، بذر ( $MJ/kg$ )، پمپاژ آب زیرزمینی (Kwh)، آبیاری قطره‌ای (Kwh/ha) و آبیاری بارانی (Kwh/ha) به‌زای کشت محصول  $c$  است.  $w(c.t)$  و  $s(c.t) \cdot p(c.t) \cdot f(c.t) \cdot d(c.t) \cdot m(c.t) \cdot h(c.t)$  به ترتیب ساعت کار نیروی انسانی ( $h/ha$ )، ساعت کار ماشین آلات ( $h/ha$ )، میزان سوخت فسیلی مصرف شده ( $L/ha$ )، میزان کود داده شده ( $kg/ha$ )، میزان سم داده ( $kg/ha$ )، میزان بذر داده شده ( $kg/ha$ ) و میزان آب تحویل داده شده ( $m^3/ha$ ) با زای کشت محصول  $c$  است. برای محاسبه انرژی پمپاژ آب زیرزمینی ( $I_w$ ) از معادله ارائه شده توسط Karimi et al., (2012) استفاده شد. این معادله به صورت زیر است (معادله ۲):

$$Ec = \frac{2.73 \times D \times V}{OPE \times (1 - TL) \times 100} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن،  $EC$ : کل انرژی مصرفی برحسب (kwh)،  $D$ : ارتفاع استخراج (به‌طور متوسط ۴۵ متر برای تمامی واحدهای زراعی)،  $V$ : حجم استخراج،  $OPE$ : راندمان پمپ (۷۰ درصد)،  $TL$ : تلفات انتقال و توزیع (فقط برای پمپ‌ها الکتریکی صادق است و برای دیگر پمپ‌ها صفر است).

برای محاسبه انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری ( $Sp_{Irr} \cdot Dr_{Irr}$ )، ابتدا بیش‌ترین نیاز آبی محصولات در دوره آبیاری ۱۰ روزه انتخاب، سپس برای هر محصول با در نظر گرفتن دبی لازم برای یک هکتار از مزرعه با کارکرد ۲۱ ساعت در شبانه‌روز، یک پمپ انتخاب شد. برای انتخاب پمپ از سایت و نرم‌افزار انتخاب پمپ، شرکت پمپ‌ایران استفاده شد. سپس برای تمامی محصولات براساس ساعات کارکرد پمپ در دوره کشت، مقدار انرژی مصرفی در یک هکتار برحسب کیلووات ساعت در هکتار برای سه ارتفاع مختلف کارکرد پمپ در سامانه آبیاری بارانی و سامانه آبیاری قطره‌ای محاسبه شد، که ارتفاع محاسباتی در سامانه آبیاری بارانی شامل ۱۰۰، ۵۰ و ۴۷ متر و در سامانه آبیاری قطره‌ای شامل ۲۰، ۷۰ و ۴۷ متر که به ترتیب برای پمپاژ مستقیم آب زیرزمینی به سامانه آبیاری، پمپاژ آب سطحی در سامانه آبیاری و پمپاژ آب زیرزمینی به سطح زمین می‌باشند.

مقادیر استفاده از نهاده‌های موجود در شاخص مصرف انرژی (معادله ۱) در مزارع در جدول (۳) آمده است. در این جدول میزان استفاده بذر، ساعات کار نیروی کارگر، میزان کارکرد ماشین آلات کشاورزی، میزان سوخت دیزل، میزان کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی در یک هکتار آمده است. میزان معادل انرژی هر یک از نهاده‌های موجود در شاخص مصرف انرژی، با توجه به پژوهش‌های مختلفی که درباره انرژی صورت گرفته است، انتخاب و در جدول (۴) ارائه شد. تلاش بر این بود که این میزان انرژی مصرفی در هر نهاد از پژوهش‌هایی که در داخل کشور انجام شده، استخراج شود تا نتایج به دست آمده با شرایط کشور و منطقه هم‌خوانی داشته باشد.

Table 3. Estimated values of energy index inputs

Crop	Seed (kg/ha)	Human labor (h/ha)	Tractor (h/ha)	Combine (h/ha)	Diesel Oil (L/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Herbicide (kg/ha)	Pesticide (kg/ha)
Wheat	293.5	495	52	1.3	579.3	161.9	137.4	162.2	3.9	1.2
Barely	232.7	350.3	47.3	1.3	486.9	183.6	121.3	91.7	3.1	1.7
Canola	6	208	7.1	1.5	141	131	110.5	46	2.2	2
Sugar beet	5.3	932.9	39.7	0	498.6	130.3	129.6	108.8	2.6	5
Tomato	0.5	1093.2	46.3	0	153.5	406.4	418.5	105.6	0	2.2
Silage Corn	71.7	489.5	43.1	0	633.1	214.4	90.5	57.5	5.1	1.6
Alfalfa	40	316.9	140.9	0	380.4	92	57.5	138	0	1.5

Table 4. Energy equivalent of inputs in agricultural production

Inputs	Energy equivalent	Unit	Reference
Human labor	1.95	(Mj/hr)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015) (b)
Tractor	62.7	(Mj/hr)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015)(b)
Combine	306.7	(Mj/hr)	Ovtit-Canavate. and Hernanz, (1999)
Diesel Oil	50.23	(Mj/L)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015) (b)
N	75.46	(kgr/ha)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015) (b)
P	12.44	(kgr/ha)	Taki <i>et al.</i> , (2013)
K	11.15	(kgr/ha)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015) (b)
Herbicide	238.32	(kgr/ha)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015) (b)
Pesticide	101.2	(kgr/ha)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015)(b)
Wheat	20.1	(Mj/kg)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015)(b)
Barely	14.7	(Mj/kg)	Firat & Gokdogan, (2014)
Canola	27.6	(Mj/kg)	Unakitan <i>et al.</i> , (2010)
Sugar beet	50	(Mj/kg)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015)(a)
Tomato	1	(Mj/kg)	Canakci <i>et al.</i> , (2005); Esengun <i>et al.</i> , (2007)
Silage Corn	14.7	(Mj/kg)	Zahedi <i>et al.</i> , (2015)(b)
Alfalfa	28.1	(Mj/kg)	Asgharipour <i>et al.</i> , (2016)

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. آب مصرفی

مقدار نیاز آبی خالص در هر محدوده زراعی درجه دو طبق روش یادشده برای الگوی کشت غالب استخراج و به تفکیک محصولات موجود در الگوی کشت در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، ۶۱ درصد از سهم کشت‌شده در شبکه آبیاری مربوط به گندم است که در نتیجه بیش‌ترین نیاز آبی با مقدار ۳۴۷/۶۹ میلیون مترمکعب در کل شبکه آبیاری را دارد. کم‌ترین مساحت کشت‌شده با سه درصد از سهم کشت در شبکه آبیاری مربوط به ذرت علوفه‌ای است که کم‌ترین نیاز آبی را با مقدار ۱۱/۶۵ میلیون مترمکعب دارد. در مجموع کل نیاز آبی خالص در شبکه آبیاری برابر با ۵۶۴/۷ میلیون مترمکعب برای الگوی کشت غالب با دوره کشت هفت ماهه است.

Table 5. The area under cultivation of the dominant cultivation pattern and its net water requirement in each range

Range Crop	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	Sum
Wheat*	3578	5180	15278	4021	1438	5037	5448	5455	1485	3129	50050
WR <sup>5**</sup>	24.8	35.9	106.1	27.94	9.99	34.99	37.85	37.9	10.3	21.74	347.69
Barely	153	290	897	497	247	653	438	732	336	392	4634
WR	0.78	1.46	4.53	2.51	1.25	3.3	2.21	3.7	1.7	1.99	23.46
Canola	399	548	1670	397	160	565	608	622	126	345	5442
WR	2.32	3.2	9.75	2.31	0.93	3.29	3.55	3.63	0.75	2.01	31.87
Sugar beet	0	24	584	439	176	1958	385	704	141	129	4540
WR	0	0.18	4.43	2.2	1.34	14.88	2.92	5.34	1.07	0.98	34.51
Tomato	388	329	680	169	68	215	109	5217	155	196	7526
WR	3.15	2.66	5.52	1.36	0.55	1.75	0.89	42.33	1.25	1.59	61.07
SilageCorn	692	107	819	0	66	275	277	140	105	75	2556
WR	3.15	0.49	3.74	0	0.3	1.25	1.27	0.63	0.48	0.34	11.65
Alfalfa	563	825	1772	1130	190	1099	535	176	150	214	6654
WR	4.7	6.9	14.84	9.47	1.6	9.2	4.48	1.47	1.25	1.79	55.72

\*Area= hectare, \*\* Water requirement = million M<sup>3</sup>

پس از مشخص شدن نیاز آبی خالص هر محدوده، میزان مصرف آب (نیاز آبی ناخالص) با توجه به راندمان انتقال و توزیع برآورد شد که نتایج آن در جدول (۶) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان مصرف آب در محدوده زراعی L3 برابر با ۱۸۰/۵۵ میلیون مترمکعب بوده که بیش‌ترین مقدار در بین محدوده‌های زراعی درجه دو شبکه آبیاری است، از سوی دیگر، محدوده زراعی L5 با مصرف آب ۱۹/۳۵ میلیون مترمکعب، کم‌ترین مقدار مصرف را در دوره کشت



۷ ماهه دارد. مقدار نیاز آبی ناخالص در شبکه آبیاری با توجه راندمان انتقال و توزیع، ۶۸۴/۵۲ میلیون مترمکعب برآورد شد، حجم آب موردنیاز یادشده از طریق منابع آب سطحی موجود در منطقه و منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، طبق آمار ارایه‌شده به‌وسیله شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، مقدار آب سطحی ورودی شبکه آبیاری ۳۳۰/۷۵ میلیون مترمکعب بوده است. با توجه کمبود منابع آب سطحی، مقدار قابل‌توجهی از این حجم، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، که با توجه به قرار گرفتن بیش از ۹۰ درصد پتانسیل منابع آب زیرزمینی کشور در دشت‌های ممنوعه (Kamrani *et al.*, 2020)، زنگ خطری برای شبکه‌های آبیاری وابسته به آب زیرزمینی است.

**Table 6.** Water consumption in each second grade crop area

Name	Area under cultivation (ha)	Net water requirement (million M <sup>3</sup> )	Gross water requirement (million M <sup>3</sup> )
L1	5772	38.97	67.24
L2	7303	50.90	61.70
L3	21700	148.95	180.55
L4	6654	45.80	55.51
L5	2346	15.96	19.35
L6	9802	68.68	83.25
L7	7800	53.17	64.45
L8	13045	95.03	115.19
L9	2500	16.83	20.40
L10	4480	30.44	36.90
Sum	81403	564.7	684.52

### ۳-۲. انرژی مصرفی

برای برآورد میزان مصرف انرژی در هر محدوده زراعی از معادلات (۱) و (۲) استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبات انرژی مصرفی برای پمپاژ آب مصرفی (آب سطحی و آب زیرزمینی) هر محصول از الگوی کشت غالب، به تفکیک برای انرژی مصرفی پمپاژ در سامانه آبیاری قطره‌ای، سامانه آبیاری بارانی و هم‌چنین استخراج آب زیرزمینی در جدول (۷) برای هر محصول در یک هکتار ارایه شده است. همان‌طورکه در این جدول مشاهده می‌شود، نتایج مصرف انرژی در سامانه آبیاری قطره‌ای نشان می‌دهد بیش‌ترین انرژی مصرفی برای یونجه در دو ارتفاع ۷۰ و ۲۰ متری به‌ترتیب برابر با ۳۲۵۹/۵۹ و ۱۳۳۶/۵۰ کیلووات ساعت در هکتار است. از طرف دیگر کم‌ترین انرژی مصرفی در ارتفاع ۷۰ متری برای جو با مقدار ۱۶۹۳/۱۶ کیلووات ساعت در هکتار و در ارتفاع ۲۰ متری برای گندم با مقدار ۶۴۱/۱۸ کیلووات ساعت در هکتار است. نتایج مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی نشان می‌دهد، بیش‌ترین انرژی مصرفی در این سامانه آبیاری برای یونجه در دو ارتفاع ۱۰۰ و ۵۰ متری به‌ترتیب با مقادیر ۴۸۱۱/۴۱ و ۳۲۳۴/۳۴ کیلووات ساعت در هکتار است. از سوی دیگر، کم‌ترین انرژی مصرفی در ارتفاع ۱۰۰ و ۵۰ متری برای گندم به‌ترتیب با مقادیر ۲۳۸۸/۷ و ۱۵۴۶/۳۷ کیلووات ساعت در هکتار است. هم‌چنین، نتایج مصرف انرژی برای استخراج آب نشان می‌دهد، یونجه با مقدار ۲۴۰۵/۷۱ کیلووات ساعت در هکتار و ذرت علوفه‌ای با مقدار ۱۱۹۴/۱۹ کیلووات ساعت در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند.

**Table 7.** Energy consumption of groundwater pumping for each product in irrigation and water extraction systems (kWh per hectare)

Crop	Sprinkler irrigation system		Drip irrigation system		Water extraction
	Head 100	Head 50	Head 70	Head 20	Head 47
Wheat	2388.7	1546.37	2011.54	641.18	1194.35
Barely	2573.6	1666.07	1693.16	690.81	1286.8
Canola	3245.77	1622.88	2127.79	883.57	1496.66
Sugar beet	4724.57	2325.66	3207.61	988.86	1794.61
Tomato	4685.75	2306.55	3232.8	980.74	1779.86
Silage Corn	3143.9	1547.58	2169.05	658.03	1194.19
Alfalfa	4811.42	3234.34	3259.59	1336.5	2405.71

برای برآورد انرژی مصرفی کل در محدوده‌های زراعی مورد مطالعه، در ابتدا انرژی مصرفی برای نهاده‌های مطرح در معادله ۱ به صورت مجزا برآورد شد که نتایج آن در شکل‌های (۳) تا (۷) آمده است. در نتایج ارایه شده در شکل (۳) مشاهده می‌شود، بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر انرژی مصرفی بذر به ترتیب با ۳۰ درصد در محدوده L3 و با ۳/۲ درصد در محدوده L5 است، به همین ترتیب مقادیر انرژی مصرفی نیروی کارگری در محدوده L3، ۲۴ درصد و در محدوده L5، ۲/۷ درصد است.

در نتایج ارایه شده در شکل (۴) مشاهده می‌شود، بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر انرژی مصرفی در سه نهاده سوخت دیزل، تراکتور و کمباین به ترتیب با ۲۸/۱، ۲۷/۲ و ۲۹/۷ درصد در محدوده L3 و با ۳/۲، ۳ و ۳/۲ درصد در محدوده L5 است. همچنین، سوخت دیزل با مصرف نزدیک به ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی، بیش‌ترین مقدار مصرف در کل شبکه را دارد. در نتایج ارایه شده برای انرژی مصرفی در سموم کشاورزی (شکل ۵) و کودهای شیمیایی (شکل ۶) مشاهده می‌شود، انرژی مصرفی کودهای شیمیایی در محدوده‌های L3 و L8 به طور میانگین به ترتیب با ۲۵ و ۲۲ درصد بیش‌ترین مصرف و در محدوده L5 به طور میانگین با ۲/۵ درصد کم‌ترین مصرف است. همچنین، کود نیتروژن، حدود ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی در شبکه آبیاری را به خود اختصاص داده است. انرژی مصرفی سموم کشاورزی در محدوده L3 با ۲۶/۵ درصد بیش‌ترین مصرف و محدوده L5 با سه درصد کم‌ترین مصرف است.

نتایج انرژی مصرفی برای پمپاژ آب در سامانه‌های آبیاری (بارانی و قطره‌ای) و استخراج آب زیرزمینی در شکل (۷) ارایه شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود انرژی مصرفی سامانه آبیاری بارانی در محدوده‌های L3 و L8 با ۲۱/۲ و ۲۱/۴ درصد بیش‌ترین مصرف و در محدوده L5 با ۲/۷ درصد کم‌ترین مصرف است. در سامانه آبیاری قطره‌ای محدوده L8 با ۲۳/۷ درصد بیش‌ترین مصرف انرژی و محدوده L5 با ۲/۸ درصد کم‌ترین مصرف انرژی را دارد. در استخراج آب زیرزمینی محدوده‌های L3 و L8 با ۲۰/۹ و ۲۱/۱ درصد و محدوده L5 با ۲/۸ درصد کم‌ترین مصرف انرژی را دارند. با توجه به نتایج به دست آمده در تأثیر غیرمستقیم مصرف انرژی در محدوده‌های زراعی درجه دو واقع در شبکه آبیاری، کود نیتروژن بیش‌ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده و در تأثیر مستقیم مصرف انرژی، سوخت دیزل بیش‌ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است.

طبق نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، سهم انرژی مصرفی در تولید گندم، یونجه و ذرت در کود نیتروژن ۲۲ درصد، ۱۹ درصد در سوخت دیزل و ۲۸ درصد در الکتروسیته برآورد شده است (Yousefi & Damghani, 2013)، همچنین، بیش‌ترین سهم انرژی در تولید گوجه‌فرنگی در کودهای شیمیایی با ۵۱ درصد (Raei et al., 2011) و بیش‌ترین سهم انرژی در تولید چغندر قند در سوخت دیزل ۴۰/۵ درصد و در کود نیتروژن ۱۵/۹ درصد (Zahedi et al., 2015a) گزارش شده است.

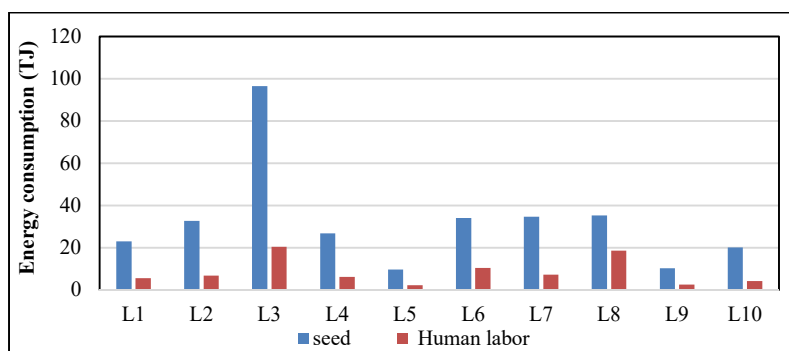


Figure 3. Seed and labor consumption energy in each second grade crop area

در پژوهش دیگر بیشترین سهم انرژی در تولید کلزا در کود نیتروژن ۳۲ درصد و در سوخت دیزل ۵۲ درصد (سوخت مصرفی در پمپاژ آب و ماشین‌آلات کشاورزی) گزارش شده است (Fathi *et al.*, 2019). نتایج پژوهش‌های صورت گرفته با نتایج استخراج شده در این پژوهش مطابقت داشته و نشان‌دهنده مصرف انرژی زیاد در نهاده‌های سوخت و کودهای شیمیایی است.

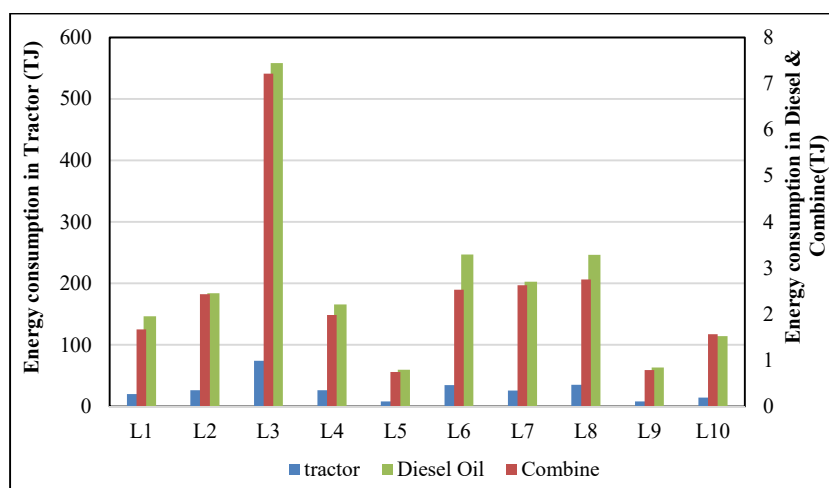


Figure 4. Machinery and diesel oil consumption energy in each second grade crop area

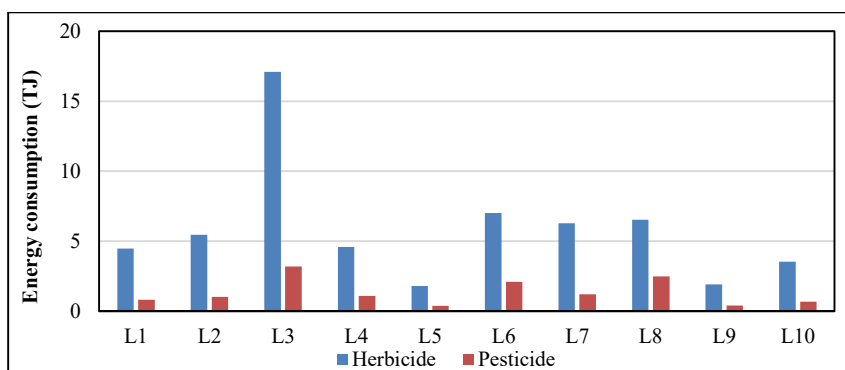


Figure 5. Herbicide and pesticide consumption energy in each second grade crop area

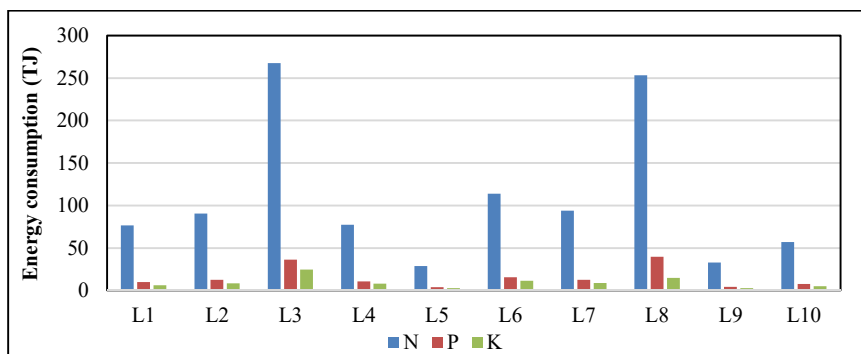


Figure 6. Fertilizer (N, P & K) consumption energy in each second grade crop area

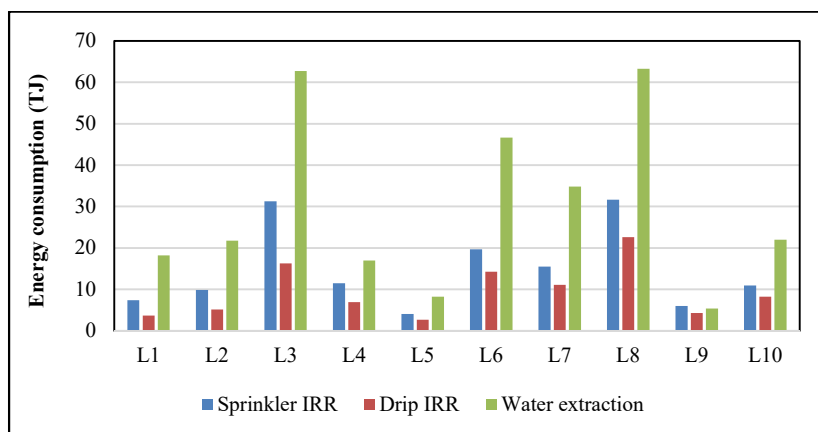


Figure 7. Water pumping consumption energy in each second grade crop area

نتایج مصرف انرژی برای تولید هر محصول در محدوده‌های زراعی درجه دو در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین انرژی صرف‌شده برای تولید یک محصول در شبکه آبیاری مربوط به گندم با میزان  $۸۷۸۹۰۷۴۳۲/۲۱$  کیلووات ساعت است که  $۶۳/۵$  درصد از کل انرژی مصرفی است. کم‌ترین انرژی صرف‌شده برای تولید محصول در شبکه آبیاری مربوط به کلزا با میزان  $۵۳۷۰۱۰۸۱۶/۶۵$  کیلووات ساعت است که  $۳/۸$  درصد از کل انرژی مصرفی است. تأثیر سطح زیرکشت محصولات ذکرشده در میزان انرژی مصرفی برای تولید آن‌ها در نتایج دیده می‌شود، در همین راستا برای محصولات موجود در الگوی کشت غالب، میزان انرژی صرف‌شده برای تولید در یک هکتار برآورد شد که نتایج آن در جدول (۸) مشاهده ارائه شده است. نتایج ارائه نشان داد، بیش‌ترین انرژی صرف‌شده برای تولید مربوط به ذرت علوفه‌ای با مقدار  $۲۱۳۳۵/۰۲$  کیلووات ساعت در هکتار و کم‌ترین انرژی صرف‌شده مربوط به کلزا با مقدار  $۹۸۶۷/۸۹$  کیلووات ساعت در هکتار است. طبق نتایج پژوهش‌های صورت‌گرفته، انرژی صرف‌شده برای تولید ذرت علوفه‌ای  $۲۵۱۷۰/۶۸$  کیلووات ساعت در هکتار (Iman Mehr *et al.*, 2016)، انرژی صرف‌شده برای تولید کلزا در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه در کشور ترکیه  $۵۰۸۲/۷۶$  کیلووات ساعت در هکتار (Unakitan *et al.*, 2010)، انرژی صرف‌شده برای تولید گندم  $۱۱۶۸۱/۳۰$  کیلووات ساعت در هکتار و یونجه  $۱۵۵۴۴/۲۹$  کیلووات ساعت در هکتار (Yousefi & Damghani, 2013)، انرژی صرف‌شده برای تولید گوجه‌فرنگی  $۱۸۱۱۱/۰۶$  کیلووات ساعت در هکتار (Raei *et al.*, 2011) و انرژی صرف‌شده برای تولید چغندر قند  $۱۷۱۸۳/۸۴$  کیلووات ساعت در هکتار (Zahedi *et al.*, 2015a) است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارند.

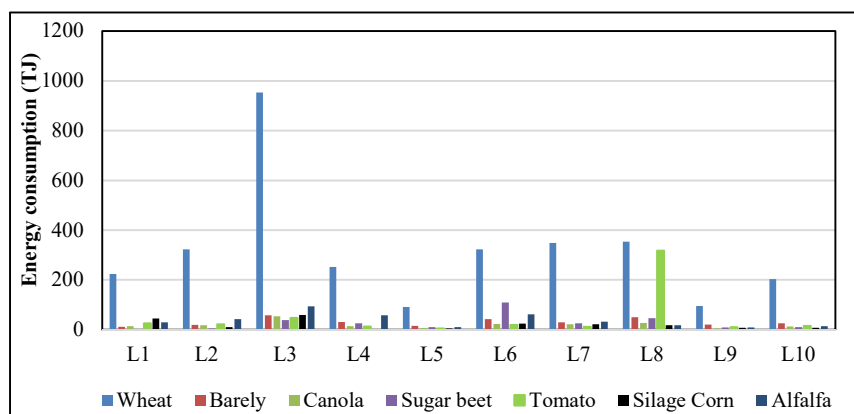


Figure 8. Energy consumed to produce crops dominant

Table 8. Energy consumed to produce crop pattern crops

Crop	Wheat	Barely	Canola	Sugar beet	Tomato	Silage Corn	Alfalfa
Energy (MJ/hr)	63218.3	64537.1	35524.5	60999.5	64352.5	76801.3	55401.3

در نهایت مقدار آب و انرژی مصرفی در هر محدوده زراعی درجه دو برآورد شد که نتایج آن در شکل (۹) مشاهده می‌شود. طبق نتایج ارائه شده در این شکل، بیشترین آب و انرژی مصرفی در وضعیت موجود شبکه آبیاری متعلق به محدوده زراعی L3 با مقادیر مصرف انرژی ۳۶۲۱۷۲۷۱۴/۱۶ کیلووات ساعت مصرف آب ۱۸۰/۵۵ میلیون مترمکعب و کمترین آب و انرژی مصرفی در وضعیت موجود شبکه آبیاری متعلق به محدوده زراعی L5 با مقادیر مصرف انرژی ۳۹۵۳۵۶۱۰/۷۱ کیلووات ساعت مصرف آب ۱۹/۳۴ میلیون مترمکعب است. میزان آب مصرفی کل در شبکه آبیاری ۶۸۴/۵۲ میلیون مترمکعب و میزان انرژی مصرفی کل در شبکه آبیاری ۱۳۸۴۰۶۹۶۹۲/۱۱ کیلووات ساعت برآورد شد.

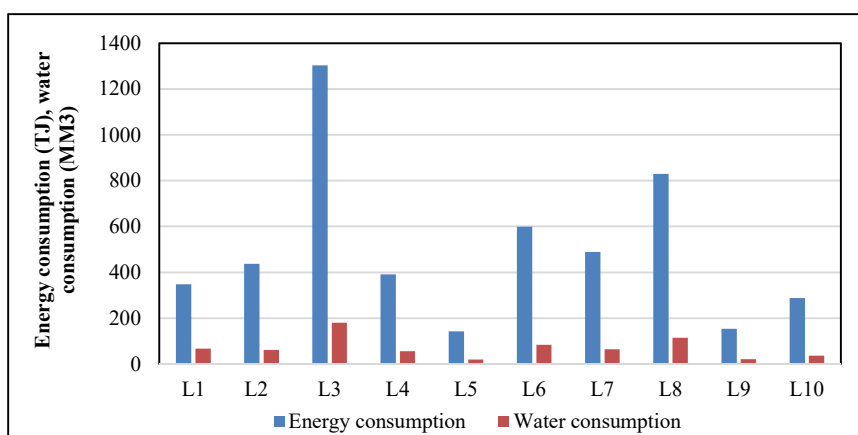


Figure 9. The amount of water and energy consumption in status quo of each second grade crop area

#### ۴. نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده، کل آب مصرفی برای الگوی کشت غالب در شبکه آبیاری ۶۸۴/۵۲ میلیون مترمکعب برآورد شد که محدوده L3 بیشترین و محدوده L5 کمترین آب مصرفی را دارند. بیشترین نیاز آبی خالص با مقدار ۳۴۷/۶۹ میلیون مترمکعب متعلق به گندم با ۶۱ درصد سطح زیرکشت و کمترین نیاز آبی خالص با مقدار ۱۱/۶۵ میلیون مترمکعب متعلق به ذرت علوفه‌ای با سه درصد سطح زیرکشت در شبکه آبیاری می‌باشد. نتایج مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری نشان داد بیشترین انرژی مصرفی برای یونجه با مقدار ۴۸۱۱/۴۱ کیلووات ساعت در هکتار و کمترین انرژی مصرفی برای جو و گندم به ترتیب با مقدار ۱۶۹۳/۱۶ و ۶۴۱/۱۸ کیلووات ساعت در هکتار می‌باشد. بیشترین انرژی صرف شده برای تولید یک محصول در شبکه آبیاری مربوط به گندم با میزان ۶۳/۵ درصد از کل انرژی مصرفی و کمترین انرژی صرف شده برای تولید یک محصول در شبکه آبیاری مربوط به کلزا با میزان ۳/۸ درصد از کل انرژی مصرفی است. سوخت دیزل با مصرف نزدیک به ۴۰ درصد و کود نیتروژن با حدود ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی در شبکه آبیاری بیشترین مقدار مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در محدوده زراعی L5 با کمترین مساحت، انرژی مصرفی ۳۹۵۳۵۶۱۰/۷۱ کیلووات ساعت مصرف آب ۱۹/۳۴ میلیون مترمکعب می‌باشد و در محدوده زراعی L3 با بیشترین مساحت، انرژی مصرفی ۳۶۲۱۷۲۷۱۴/۱۶ کیلووات ساعت مصرف آب ۱۸۰/۵۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده باید از طرف مدیران و ذینفعان تصمیمات مناسب برای کاهش وابستگی شبکه آبیاری به منابع

آب زیرزمینی و کاهش مصارف انرژی از قبیل روی‌آوری به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش وابستگی به سوخت فسیلی و روی‌آوری به کشاورزی ارگانیک برای کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن صورت پذیرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود تأثیر کشاورزی ارگانیک بر میزان مصرف انرژی با توجه به تأثیر نزدیک به ۲۰ درصدی کودهای شیمیایی در آن و همچنین در زمینه کاهش وابستگی مزارع به منابع آب زیرزمینی در جهت کاهش انرژی مصرفی جهت استخراج آب و تأثیر آن بر میزان مصرف انرژی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. Multiple Linear Regressions
2. Multilayer Perceptron
3. Radial Basis Function
4. Support Vector Machine
5. Water Requirement

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 113-120. (In Persian)
- Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2015). *Technical report: Irrigation efficiencies and its temporal and spatial changes in Iran*, Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Technical Research and Engineering Institute. (In Persian)
- Aliabadi, H., Alizadeh, A., & Erfani, A. (2015). *Energy and water productivity under different irrigation systems, (Case Study of Corn in Jovain Agro-Industry)*. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(4), 571-582. (In Persian)
- Asgharipour, M. R., Mousavinik, S. M., & Enayat, F. F. (2016). *Evaluation of energy input and reenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran*. *Energy Reports*, 2, 135-140.
- Bolandnazar, E., Rohani, A., & Taki, M. (2020). *Energy consumption forecasting in agriculture by artificial intelligence and mathematical models*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(13), 1618-1632.
- Canakci, M., & Akinci, I. (2006). *Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production*. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). *Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey*. *Energy Convers Management*, 46, 655-66.
- Dalgaard, T., Halberg, N., & Porter, J. R. (2001). *A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming*. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1, 51-65.
- El-Gafy, I. (2017). *Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop's production system applying the indicators approach*. *Applied Water Science*, 7(6), 2857-2868.

- Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., & Erdal, H. (2007). *An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey*. *Renewable Energy*, 32, 1873-1881.
- Fathi, R., kheiralipour, K., & Azizpanah, A. (2019). *Assessment of the pattern of energy consumption in dryland rape production and its environmental effects in ilam province. Quarterly energy economics review*. 15 (62), 155-180. (In Persian)
- Firat, M., & Gokdogan, O. (2014). *Energy input/output analysis of barley production in Thrace region of Turkey*. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 14(11), 1255-1261.
- Ghadami Firouzabadi, A., Dehghani Sanich, H., Khoshravesh, M., Sidan, M. (2015). *Evaluation of energy efficiency and water consumption in gasoline pumping stations*. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29.3(3), 367-377. (In Persian)
- Hatirli, S. A., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). *Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production*. *Renewable Energy*, 31(4), 427-38.
- Hosseini Jolfan, M., Hashemy Shahdany, S. M., Javadi, S. (2020). *Assessing the effectiveness of the centralized proportional-integral control system in improving operation management of the main irrigation canal and aquifer storage and recovery in water shortage conditions (case study: Qazvin irrigation district)*. *Water and Irrigation Management*, 10(2), 281-299. (In Persian)
- Iman Mehr, A., Soltani Kazemi, M., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2016). *Evaluation of energy efficiency and productivity of fodder corn production in Markazi province. The Second National Conference on Mechanization and New Technologies in Agricultural, agriculture and natural resources university of Khuzestan*. (In Persian)
- Kamrani, K., Roozbahani, A., & Shahdany, S.M.H. (2020). *Using bayesian networks to evaluate how agricultural water distribution systems handle the water-food-energy nexus*. *Agricultural Water Management*, 239, 106265.
- Karimi, P., Qureshi, A. S., Bahramloo, R., & Molden, D. (2012). *Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran*. *Agricultural Water Management*, 108, 52-60.
- Khoshnevisan, B., Bolandnazar, E., Shamshirband, S., Motamed, H., Badrul, N., Mat, L., & Kiah, M. L. M. (2015). *Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm*. *Journal of Cleaner Production*, 86, 67-77.
- Lorzadeh, S. H., MahdaviDamghani, A., Enayatgholizadeh, M. R., & Yousefi, M. (2012). *Research of energy use efficiency for maize production systems in Izeh, Iran*, *Acta Agriculturae Slovenica*, 99, 137-142.
- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). *Economical analysis and relation between energy inputs and yield of reenhouse cucumber production in Iran*. *Applied Energy*, 87, 191-196.
- Ovtit-Canavate, J., & Hernanz, J. L. (1999). *Energy analysis and saving*. In *CIGR handbook of agricultural engineering. energy and biomass engineering*. ASAE Publication; MI., 13-23.
- Prophetic Staircase, A. (2014). *Modeling and optimization of energy consumption and emission rate using expert systems in the dominant cultivation pattern of Astana Ashrafieh and Langrud counties in Gilan province Master's thesis*. University of Tabriz, Iran. (In Persian)
- Raei Jadidi, M., Homayounifar, M., Sabuhi Sabuni, M., & Kheradmand, V. (2011). *Determination of energy use efficiency and productivity in tomato production*. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 24(3), 363-370. (In Persian)
- Rahimian, B. (2015). *Determining economic, energy and environmental indicators in the cultivation of several crops (sugar beet, wheat and chickpeas) in West Azerbaijan province with the help of computational intelligence techniques*. *Master Thesis*. University of Tehran, 129. (In Persian)

- Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadoost, S., Mehraban, A., & Marjani, A. (2008). *Energy analysis in the ecosystem of agricultural systems and strategies to increase energy efficiency. Sixth National Energy Conference, Tehran*, 12. (In Persian)
- Sabzealipour, F., & Bagherpour, H. (2019). *Modeling energy consumption of strawberries on the basis of energy consumption pattern using artificial neural network and anfis and regression in Dezfoul county. Plant Products Technology (Agricultural Research)*, 19(1), 207-219. (In Persian)
- Shahrestani, H. (2013). *Organize and manage optimal consumption water in agriculture, agricultural and natural resources engineering*, 45, 37-41. (In Persian)
- Taki, M., Abdi, R., Akbarpour, M., & Mobtaker, H. G. (2013). *Energy inputs–yield relationship and sensitivity analysis for tomato greenhouse production in Iran. Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(1), 59-67.
- Unakitan, G., Hurma, H., & Yilmaz, F. (2010). *An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Energy*, 35, 3623-3627.
- Vural, H., & Efecan, I. (2012). *An analysis of energy use and input costs for maize production in Turkey. Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10, 613-616.
- Yousefi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2013). *Evaluating the water and energy productivity of irrigated agroecosystems in Kermanshah Province, Iran. Journal of Agroecology*, 5(2), 113-121. (In Persian)
- Zahedi, M., Eshghizadeh, H. R., & Mondani, F. (2015a). *Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. Journal of Crop Production and Processing*, 5(17), 181-191. (In Persian)
- Zahedi, M., Mondani, F., & Eshghizadeh, H. R. (2015b). *Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid region. Energy Reports*, 1, 43-49.