

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در پیاده سازی و بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (مطالعه موردی استان قزوین)

مهدی محمدخانی^۱، عباس ستوده نیا^{۲*}، پیمان دانشکار آراسته^۲ و هادی رضانی اعتدالی^۲

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری و دانشیار گروه آبیاری (علوم مهندسی آب)، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۴

چکیده

سامانه‌های آبیاری تحت فشار ابزارهایی کارآمد در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی محسوب می‌شوند. افزایش بازده آبیاری منجر به صرفه‌جویی در آب کاربردی و افزایش بهره‌وری آب می‌شود اما اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری تحت فشار مستلزم تامین انرژی، ادوات و لوازم مرتبط است که انتشار گازهای گلخانه‌ای را به دنبال خواهد داشت. در این زمینه، یکی از عوامل موثر در تخریب محیط زیست، گرمایش جهانی ناشی از انتشار گاز دی‌اکسید کربن است. در پژوهش حاضر، ۱۷ طرح سامانه آبیاری قطره‌ای اجرا شده در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۸۸ در سطح استان قزوین (برای باغ‌های پسته، سیب، انگور، هلو و گلابی) به صورت تصادفی انتخاب و از منظر جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ارزیابی شدند. مجموع انرژی ورودی و انتشار دی‌اکسید کربن برای سامانه آبیاری قطره‌ای با استفاده از ضریب‌های معادل انرژی و ضریب انتشار دی‌اکسید کربن محاسبه گردید. میانگین مقادیر سالیانه مجموع انرژی مصرفی و انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن معادل در سامانه‌های آبیاری مورد ارزیابی به ترتیب ۳۶۲۰۲/۶۸ مگاژول بر هکتار و ۱۹۷۴/۰۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. بیشترین سهم انرژی مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن به ترتیب با ۸۵ و ۸۶ درصد مربوط به مرحله بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ بود. تولید لوازم مصرفی سامانه و حمل آن به محل اجرای پروژه به ترتیب ۱۳ درصد از انرژی مصرفی و ۱۱ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتایج محاسبات جریان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن، با فرض مدت زمان پانزده ساله برای عمر اقتصادی و مفید سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مطالعاتی، میانگین مجموع مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تامین لوازم، نصب سامانه و کارکرد ایستگاه پمپاژ به ترتیب ۵۴۳/۰۳۵ گیگاژول بر هکتار و ۲۹/۶۱۱ تن گاز دی‌اکسید کربن معادل بر هکتار به دست آمد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد فرضیات مورد استفاده در برآورد نیاز آبی گیاه، مقدار انتشار دی‌اکسید کربن معادل برآوردی را تا حدود ۳۳ درصد متاثر می‌سازد.

واژه‌های کلیدی

انرژی معادل، پتانسیل گرمایش جهانی، جریان انرژی، دی‌اکسید کربن معادل، سامانه آبیاری قطره‌ای

برای زندگی بشر و چالشی جدی برای توسعه

مقدمه

بی‌توجهی به محیط زیست، تهدیدی مستقیم اقتصادی است. کشاورزی یکی از منابع عمده در

مکعب آب زیرزمینی در بخش کشاورزی را ۰/۶ کیلووات ساعت گزارش داده‌است. با توجه به منابع تأمین این انرژی شامل سوخت دیزل با ضریب انتشار کربن ۰/۷۳۲ کیلوگرم بر لیتر و الکتریسیته با ضریب انتشار کربن ۰/۴۰۶۲ کیلوگرم بر کیلووات ساعت، میزان انتشار سالیانه کربن ناشی از مصرف سوخت دیزل و الکتریسیته در چاه‌های کشاورزی پاکستان به ترتیب ۲/۴ و ۱/۴ میلیون تن برآورد شده است. مجموع دو برآورد فوق ۱/۲ درصد از کل انتشار کربن در پاکستان را شامل می‌شود.

تحقیقات گونزالس پریا و همکاران (González Perea *et al.*, 2015) در جنوب اسپانیا نشان داد در صورت جایگزینی روش آبیاری ثقلی با تحت فشار به‌طور میانگین میزان آب کاربردی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، در حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. با این همه، صرفه‌جویی محقق شده در آب کاربردی به قیمت افزایش انرژی مصرفی در محدوده مطالعاتی بوده است. میزان انرژی مورد نیاز در این محدوده، به‌طور متوسط ۱/۵۶ کیلووات ساعت بر هکتار برآورد شده است.

دستان و همکاران (Dastan *et al.*, 2015) با بررسی انتشار دی‌اکسید کربن و گرمایش جهانی ناشی از مصرف انرژی در تولید برنج و راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن نشان دادند بیشترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های تولید مربوط به نیروی برق برای پمپاژ آب آبیاری است که بالاترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی^آ (GWP) دارد.

داکچه و همکاران (Daccache *et al.*, 2014) کشاورزی آبی منطقه مدیترانه را از دیدگاه برهم‌کنش بین مصرف آب، تولید مواد غذایی و

تولید گازهای گلخانه‌ای شناخته شده است. در سال ۲۰۰۵ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای تخمین زده شد (Smith *et al.*, 2007). سهم کشاورزی از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) دی‌اکسید کربن (CO₂)، متان (CH₄) و اکسید نیتروژن در کشور به ترتیب ۲/۱۳، ۰/۹۳ و ۳۰/۶۴ درصد است (Iran Ministry of Energy., 2015).

بخش کشاورزی یکی از بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان منابع آب است. نظر به اهمیت آب و کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، استفاده بهینه از منابع آب و کاربرد آب با استفاده از روش‌های آبیاری نوین با بازده بالا اجتناب‌ناپذیر است. با افزایش بازده مصرف آب می‌توان نسبت به ذخیره آب در سفره یا توسعه سطح کشت در راستای پاسخ به چالش کاهش منابع آبی و تامین غذای کافی برای جامعه بشری اقدام کرد. در حال حاضر، توسعه و اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار یکی از روش‌ها به‌منظور استفاده مناسب از آب مورد توجه و سرمایه‌گذاری متولیان کشاورزی قرار گرفته است (Karbasioun *et al.*, 2007). با توجه به پدیده گرمایش جهانی که منشأ اصلی آن تولید گازهای گلخانه‌ای است، هرگونه فعالیت در راستای تولید لوازم، انرژی و مکانیزاسیون سامانه‌های آبیاری منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای می‌گردد که خود افزایش دما، تغییر نیاز آبی و تغییر اقلیم را به دنبال خواهد داشت (Karimov *et al.*, 2020).

قورشی (Qureshi, 2014) در مطالعات خود در پاکستان میزان انرژی مصرفی برای استخراج هر متر

1- Greenhouse Gasses

2- Global warming potential

مگاژول در هکتار و ۲۶۱۰۷ کیلوگرم بر هکتار برآورد کردند. سامانه آبیاری ۷۰ و ۸۴/۲ درصد به ترتیب از کل انرژی مصرفی و گاز گلخانه‌ای تولیدی را داشته است. در سایر سال‌های رشد گیاه از مرحله جوانی و توسعه تا درخت کامل، مقدار انرژی مصرفی و گاز گلخانه‌ای منتشرشده به ترتیب در بازه ۱۱۵۷۶۰ تا ۴۱۱۸۷۰ مگاژول بر هکتار و ۲۷۴۲ تا ۵۶۸۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر هکتار برآورد گردید. در سال‌های بعد با افزایش مصرف کود و سموم و عملیات کشاورزی دیگر، سهم سامانه آبیاری در مصرف انرژی و انتشار کربن به‌طور چشمگیری کاهش یافت.

جمالی و همکاران (Jamali et al., 2021) در تحقیقی ضمن مقایسه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت گندم، مجموع انرژی مصرفی ناشی از مصرف الکتریسیته و استفاده از لوله‌های تیپ در لارستان و مرودشت ایران را به ترتیب، ۲۶۹۹۰ و ۲۷۱۲۰ مگاژول بر هکتار اعلام کردند. کل انتشار سالیانه گاز دی‌اکسید کربن معادل مربوط به مصرف الکتریسیته و لوله‌های تیپ برای مناطق مذکور به ترتیب، ۲۹۳۵/۶۷ و ۳۵۳۸/۳۲ کیلوگرم بر هکتار برآورد شد.

بررسی مطالعات با محوریت ارزیابی اثرگذاری اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد نوع و مقدار لوازم مصرفی و نیز میزان انرژی مصرفی حین بهره‌برداری از سیستم آبیاری بیشترین تاثیر را بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. با توجه به منابع مختلف تامین انرژی، به‌ویژه در تولید انرژی الکتریسیته، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای مختلف متفاوت خواهد بود. در صورت نیاز به ارزیابی زیست‌محیطی سامانه‌های آبیاری تحت فشار می

مصرف انرژی در ارتباط با مسائل زیست‌محیطی بررسی کردند و نشان دادند که مدرن‌سازی سامانه‌های آبیاری می‌تواند صرفه‌جویی سالیانه ۸ میلیارد مترمکعب را در پی دارد و متقابلاً انتشار گاز دی‌اکسید کربن به‌میزان ۱۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. از طرفی، تغییر کشت دیم به آبی نیز با ۱۶۶ میلیارد مترمکعب نیاز آبی باعث افزایش ۲۷۰ درصد در انتشار گاز گلخانه‌ای خواهد شد.

گوایزو و همکاران (Guiso et al., 2016) با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات^۱ (LCA) ردپای کربن را در سه روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ)، آبیاری قرقه‌ای با آبپاش تفنگی و آبیاری قرقه‌ای با آبپاش پیکانی برای نواحی شمالی و مرکزی ایتالیا بررسی کردند. در این بررسی، آب کاربردی فصلی در هر سه سامانه آبیاری مطالعاتی یکسان بود (۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار). میزان دی‌اکسید کربن معادل به‌زای یک مترمکعب آب کاربردی در دو مرحله تولید قطعات و کاربرد سامانه در مزرعه محاسبه شد. با توجه به عمر مفید یک سال برای استفاده از لوله پلی‌اتیلن سبک با قطر خارجی ۲۲ میلی‌متر در کشت گیاهان ردیفی و پانزده سال عمر مفید سامانه آبیاری قرقه‌ای، طول مدت بهره‌برداری و انرژی مصرفی، آبیاری تیپ بیشترین میزان کل تولید دی‌اکسید کربن معادل را به مقدار ۰/۲۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب و آبیاری قرقه‌ای با آبپاش پیکانی کمترین مقدار دی‌اکسید کربن معادل را به مقدار ۰/۱۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب کاربردی داشته‌اند.

طی مطالعه‌ای در حوضه رودخانه سگورا^۲ در جنوب غرب کشور اسپانیا، ماستر والرو و همکاران (Maestre Valero et al., 2018) میزان انرژی مصرفی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن در موستان در مراحل رشد و استقرار گیاه را به ترتیب ۲۰۲۲۶۰

است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است (Ahmadi et al., 2015).

بر اساس اطلاعات اخذ شده از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، مجموع کل مساحت اراضی تجهیز شده به سامانه‌های نوین آبیاری در سطح استان از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۹ به میزان ۳۴۵۵۶/۴ هکتار است که سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با مساحت در حدود ۱۸۵۱۵ هکتار، ۵۳/۵۸ درصد از کل مساحت سامانه‌های آبیاری استان را دارد. با توجه به اعمال تغییرات از سوی بهره‌برداران در نحوه بهره‌برداری و بعضاً در اندازه، مقدار و جانمایی لوازم مصرفی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اجرا شده، با بررسی ۷۳ مورد سامانه آبیاری قطره‌ای اجرا شده و مشورت با کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، از مجموع ۵۲ طرح که شرایط اجرا و بهره‌برداری آنها با دفترچه طراحی مطابقت داشت، ۱۷ طرح سامانه آبیاری قطره‌ای به صورت تصادفی انتخاب، بررسی و ارزیابی شد (جدول ۱). موقعیت طرح‌های آبیاری مورد بررسی در استان قزوین در شکل ۱ نشان داده شده است.

توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز به عنوان عاملی اثر گذار لحاظ کرد که این مورد تاکنون در ارزیابی‌ها مغفول واقع شده است.

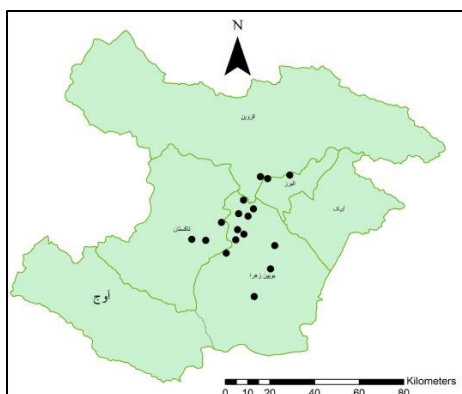
به نظر می‌رسد به منظور توسعه پایدار بخش کشاورزی و به طور خاص در زمینه توسعه و ترویج سامانه‌های آبیاری تحت فشار، لازم است علاوه بر جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی به موضوع زیست‌محیطی نیز توجه شود.

هدف از این مطالعه ارزیابی جریان انرژی و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان مولفه‌ای مهم در بروز گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ناشی از اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در ۱۷ طرح اجرا شده سامانه آبیاری قطره‌ای در استان قزوین است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی برابر با ۱۵۸۲۱ کیلومترمربع در حوضه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. اقلیم این استان نیمه خشک سرد



شکل ۱- موقعیت طرح‌های آبیاری قطره‌ای مورد بررسی در استان قزوین

Fig 1- Location of drip irrigation projects in Qazvin province

جدول ۱- مشخصات کلی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مطالعه شده در استان قزوین

Table 1- General specifications of drip irrigation systems studied in Qazvin province

مشخصات پمپ مورد استفاده Specifications of the pump used											
شهرستان City	مساحت (هکتار) Area (ha)	محصول کشت شده Cultivated crop	لوله پلی اتیلن (کیلوگرم) PE pipe(kg)	اتصالات Polyethylene fittings (kg)	پلی اتیلن (کیلوگرم) Metal (kg)	مدل Model	وزن (کیلوگرم) weight (kg)	دبی (لیتر مکعب بر ساعت) discharge (m ³ /hr)	فشار (متر) pressure(m)	توان (کیلووات ساعت) power (kwh)	ساعت کاری سالانه Annual operating time (hr)
بوئین زهرا Buinzahra	11	گلایی pear	8623.85	703.456	1163.6	UQH 293/4	153	57.7	43	15	1883
بوئین زهرا Buinzahra	74.4	پسته Pistachio	49007.25	3532.912	3539.7	BPN374/3	334	138.53	61	37	6331
بوئین زهرا Buinzahra	7	انگور rape	1961.7	554.023	990.6	WKL65/4	109	30	43	7.5	1353
بوئین زهرا Buinzahra	15.5	انگور rape	7139.95	800.222	1419.8	UQH 293/3	130	50	44	11	1795
بوئین زهرا Buinzahra	9	پسته Pistachio	5023.896	31.538	1156.0	WKL80/3	125	66.9	40.8	15	15836
بوئین زهرا Buinzahra	4.2	هلو Peach	3289.98	286.948	941.7	UQH 293/4	153	30.06	39.7	11	1245
بوئین زهرا Buinzahra	5.3	پسته Pistachio	3248.56	291.1715	1272.5	UQH 293/4	153	50	60	15	1250
بوئین زهرا Buinzahra	36	پسته Pistachio	22210.66	1869.131	2149.4	WKL100/3	276	102	56	37	4161
قزوین Qazvin	33.8	گلایی pear	16123.02	133.411	1296.3	BPN374/2	276	105.84	46.3 65	24	3154
تاکستان Takestan	15.33	انگور rape	11692.27	580.684	998.3	UQH 293-3	130	40.032	60.0 1	11	2221
بوئین زهرا Buinzahra	3	پسته Pistachio	1350.705	255.009	952.5	ETANORM 40-160	34	26.6	34.7 1	5.5	1330
تاکستان Takestan	9.5	انگور rape	4699.05	32.408	860.9	WKL 80/4	210	53.316	54.4 3	18.5	1033
البرز Alborz	10.7	گلایی pear	7721	104.112	1910.0	UQN345/2	201	72	51.8 2	22	801
تاکستان Takestan	5	گلایی pear	4398.68	201.441	729.3	RP 325/4	124	39.816	54.6 5	7.5	1240
تاکستان Takestan	5	انگور rape	2687	125.634	1409.8	RP233/3	118	24.26	39.4 2	5.5	1195
قزوین Qazvin	4.5	گلایی pear	2517.36	288.238	881.1	RP 263/3	109	30.384	40.9 6	5.5	1463
بوئین زهرا Buinzahra	9.5	انگور rape	3963.275	164.58	1068.8	RP 293/3	143	48.8	43	11	1129

روش تحقیق

ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل ماشین‌آلات و الکتروموتور، پمپ و انرژی الکتریکی ناشی از افت در شبکه توزیع و بازده تولید از سوخت فسیلی است. مقادیر لوازم و تجهیزات مصرفی (کیلوگرم)، میزان مصرف سوخت (لیتر)، مدت زمان کار ماشین‌آلات (ساعت)، نیروی انسانی مرتبط در مرحله اجرا (ساعت)، انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ در تامین فشار کاری سامانه آبیاری (کیلووات ساعت)، و حجم آب آبیاری پمپاژ شده (مترمکعب) برای تمامی طرح‌ها به تفکیک جمع‌آوری شد. انرژی معادل از حاصل ضرب انرژی مصرفی در هر فرآیند در ضریب انرژی معادل آن بر حسب مگاژول محاسبه گردید (جدول ۲).

محاسبه و تفکیک انرژی‌های ورودی: انرژی ورودی در هر سامانه آبیاری قطره‌ای شامل انرژی مستقیم و غیرمستقیم است.

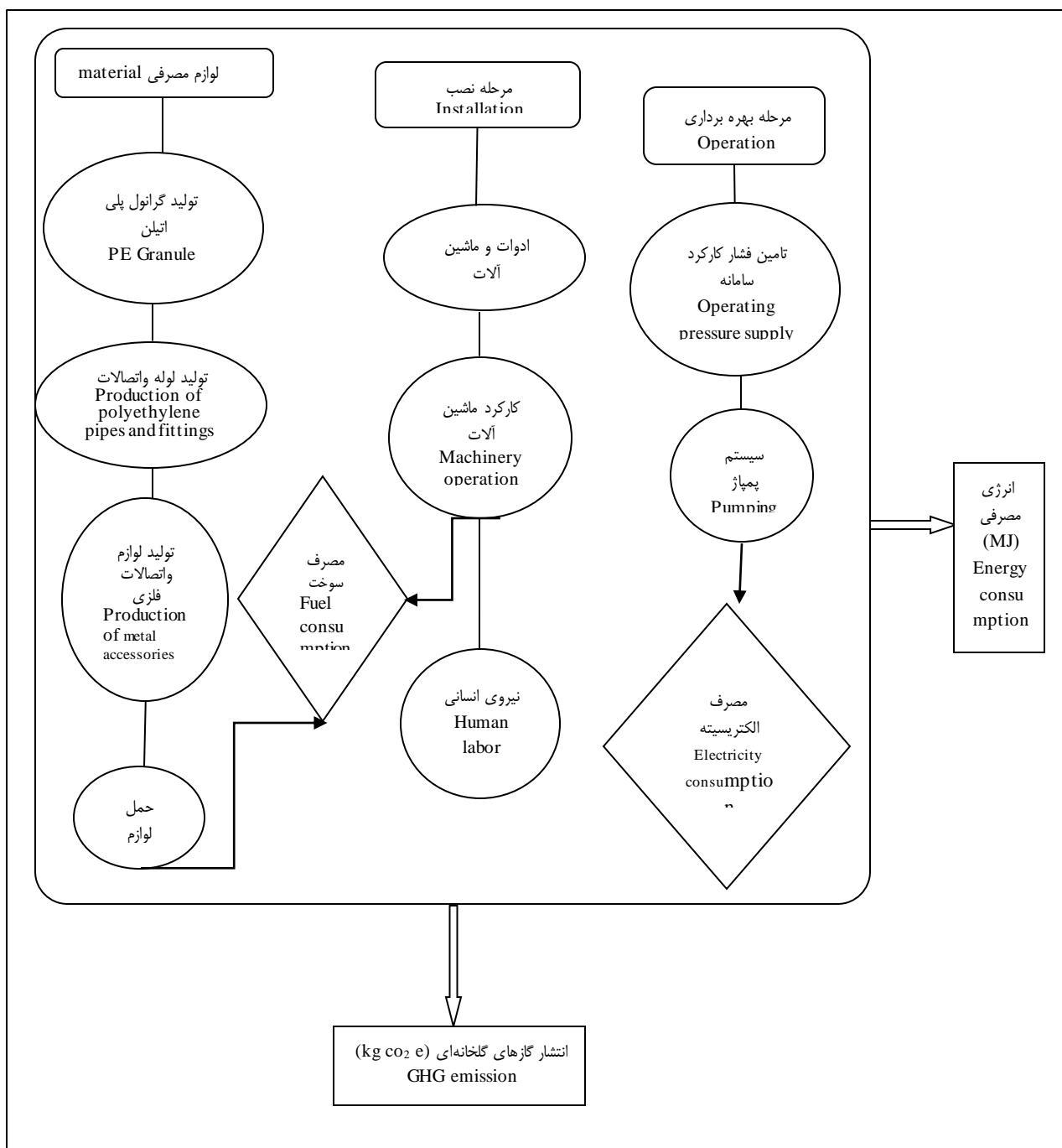
انرژی مستقیم شامل سوخت دیزل مورد نیاز ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در محل اجرای پروژه، نیروی الکتریسیته برای تامین فشار کاری سامانه آبیاری لازم از طریق پمپاژ ثانویه و نیروی انسانی به‌منظور نصب و راه‌اندازی سامانه است.

انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مورد نیاز برای تولید لوله‌های پلی‌اتیلن، اتصالات و سایر متعلقات و حمل آن به محل پروژه، انرژی مورد نیاز به‌منظور

جدول ۲- معادل انرژی‌های ورودی در اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 2- Energy content of inputs in Implementation of drip irrigation system

منبع Refrence	معادل انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ.unit ⁻¹)	واحد Unit	ورودی Input
(ISRIR, 2007; 2011)	91.65	کیلوگرم kg	لوله پلی‌اتیلن PE pipe
(ISRIR, 2007; 2011)	98.49*	کیلوگرم kg	اتصالات پلی‌اتیلن PE fittings
(Kaltsas <i>et al.</i> , 2007)	142.7	کیلوگرم kg	ماشین‌آلات Machinery
(Iran Ministry of Energy, 2015; ISRIR, 2007)	13.68	کیلووات ساعت kw.h	الکتریسیته Electricit
Mohammadi & Omid., 2010	1.96	ساعت hr	نیروی کارگری Human labor
(NISC, 2021; Statistical Center of Iran, 2013)	61.79	کیلوگرم kg	ضمائم فلزی Metal accessories
Ministry.of petroleum of Iran, (2019)	36.7	لیتر liter	سوخت گازوئیل Gasoline
Ministry.of petroleum of Iran, (2019)	33.1	لیتر liter	بنزین Petrol
Ministry.of petroleum of Iran, (2019)	34.2	مترمکعب m ³	گاز طبیعی natural gas



شکل ۲- روند نمای تحلیل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سامانه آبیاری قطره‌ای

Fig 2- Flowchart of energy consumption analysis and greenhouse gas emissions in drip irrigation system

*براساس تجارب و اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت‌های تولید کننده لوله و اتصالات، بسته به نوع دستگاه اکسترودر و تزریق، مقدار تقریبی انرژی مصرفی در تولید لوله و اتصالات پلی‌اتیلن از گرانول به ترتیب، ۰/۵ و ۱ کیلووات ساعت است.

مستقیم ناشی از مصرف سوخت توسط ماشین‌آلات در زمان کار، میزان انرژی مصرفی به‌منظور ساخت، نگهداری و انتقال آن نیز باید محاسبه شود. در جدول ۳ به مشخصات کلی ماشین‌آلات مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اشاره شده است.

انرژی استفاده از ماشین‌ها شامل ساخت و نگهداری ماشین‌ها و انتقال آنها به محل پروژه است. مقدار انرژی استفاده از ماشین‌ها برای هر عملیات بر اساس رابطه ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (Rajabi et al., 2012):

$$E = UEH \times t \quad (1)$$

$$UEH = \frac{UEW \times W}{ULT} \quad (2)$$

که در آنها،

TE = انرژی حاصل از استفاده از ماشین (مگاژول)،
 UEH = انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌ها برای اجرای عملیات (مگاژول در ساعت)، t = مدت زمان کاربرد ماشین (ساعت)، UEW = انرژی موردنیاز برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین (معادل با ثابت ۱۴۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم)، W = وزن ماشین (کیلوگرم) و ULT = عمر مفید دستگاه (ساعت).

انرژی مصرفی ناشی از سوخت مصرفی ماشین-آلات با توجه به مقدار و نوع سوخت مصرفی محاسبه شد (رابطه ۳).

$$Emf = F \times HV \quad (3)$$

که در آن،

Emf = مقدار انرژی حاصل از مصرف سوخت ماشین‌آلات (مگاژول)، F = مقدار سوخت مصرفی (لیتر) و HV = ارزش حرارتی خالص سوخت مصرفی (مگاژول بر لیتر).

روندنمای اجرای تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. در تحقیق حاضر جریان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن معادل در مرحله تولید مواد اولیه به‌منظور ساخت لوازم مصرفی، تولید لوازم مصرفی، حمل لوازم و منصوبات، نصب سامانه و در نهایت بهره‌برداری از سامانه بررسی شد.

لوله‌ها، اتصالات و متعلقات: مواد اولیه تجهیزات پلی‌اتیلن به‌صورت گرانول پلی‌اتیلن از مشتقات نفتی در صنایع پتروشیمی در واحد الفین پس از طی فرآیند کراکینگ و پلیمرزاسیون به‌دست می‌آید. میزان انرژی موجود در یک کیلوگرم ماده اولیه پلی‌اتیلن شامل ۲۲/۲ مگاژول انرژی حرارتی مصرفی در فرآیند تولید اتیلن و ۲/۳۳ مگاژول انرژی حرارتی از مصرف گاز طبیعی و ۰/۹۶ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی در فرآیند تولید پلی‌اتیلن از اتیلن است (ISIRI, 2007). ارزش حرارتی خالص اتیلن ۴۷ مگاژول و مصرف انرژی در دستگاه اکسترودر به - منظور تولید هر کیلوگرم لوله معادل با ۰/۵ کیلووات ساعت مصرف انرژی در دستگاه اکسترودر به منظور تولید هر کیلوگرم لوله است.

در تحقیق حاضر در هر طرح آبیاری قطره‌ای پس از محاسبه طول لوله‌های استفاده شده و اتصالات و متعلقات، وزن لوله‌های پلی‌اتیلن و اتصالات به‌کار رفته با توجه به ابعاد و مشخصات فنی ارائه شده از سوی شرکت‌های تولیدی محاسبه و سپس میزان انرژی مصرف شده با توجه به ضرایب انرژی معادل (جدول ۲) محاسبه گردید.

ماشین‌آلات: ماشین‌آلات مورد استفاده در هر پروژه آبیاری قطره‌ای عمدتاً شامل ماشین حفاری ترانشه، دستگاه جوش و پمپ‌های ایستگاه پمپاژ است. به منظور محاسبه میزان انرژی حاصل از کارکرد ماشین‌آلات، علاوه بر مصرف انرژی به صورت

جدول ۳- مشخصات کلی ماشین‌آلات مورد استفاده در اجرا و بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 3- General specifications of machines used in the implementation and operation of drip irrigation system

مصرف سوخت (لیتر بر ساعت) Fuel consumption (l/hr)	متوسط کارکرد (ساعت بر هکتار) Average operation (hr/ha)	طول عمر اقتصادی (ساعت) Economic lifespan (hr)	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	مدل Model	ماشین‌آلات Machinery
14	9.35	15000	6200	TDL86	بیل بکھو Back shovel
1.5	17.52	15000	190	BH-315	دستگاه جوش Welding machine
2256.50(kwh/ha)	187.40	15000	*163.4	شناور Submersible	پمپ Pump

*وزن پمپ لحاظ شده مربوط به متوسط انواع مختلف پمپ استفاده شده عمدتاً از نوع شناور UQH 293/3 و BPN 374/3 است.

(Alizadeh, 2008).

انرژی الکتریسیته

برای محاسبه مقدار انرژی مصرفی در بخش استفاده از انرژی الکتریسیته مصرفی از رابطه (۴)

استفاده شد:

$$EE = T \times P \times UE \quad (۴)$$

که در آن،

EE = مقدار انرژی الکتریکی مصرفی (مگاژول)،
 t = مدت زمان استفاده از الکتروموتور (ساعت)،
 P = توان الکتروموتور (کیلووات ساعت) و UE = معادل هر کیلووات ساعت انرژی (مگاژول).

مدت زمان کارکرد الکتروموتور از تقسیم حجم آب ناخالص مورد نیاز سامانه در دوره رشد محصول بر میزان آبدهی پمپ به دست می‌آید. شرکت‌های طراح حداکثر میزان نیاز آبی خالص روزانه محصولات را از ارقام مندرج در سند ملی تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی استخراج و بر اساس یکی از روابط ۵ و ۶ میزان حد اکثر نیاز خالص گیاهان آبیاری شده با سامانه آبیاری قطره‌ای را برآورد می‌کنند

$$T_d = ET_{crop} [0.1(P_s)^{0.5}] \quad (۵)$$

$$T_d = ET_{crop} [0.15(1 - P_s) + P_s] \quad (۶)$$

که در آنها،

T_d = مقدار نیاز آبی روزانه گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای که فقط بخشی از زمین آبیاری می‌شود در دوره‌ای که نیاز آبی به حداکثر می‌رسد (میلی‌متر بر روز)، ET_{crop} = نیاز آبی روزانه مستخرج از سند ملی تعیین نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی در دوره‌ای که نیاز آبی حداکثر است (میلی‌متر بر روز) و P_s = درصد سطح سایه‌انداز گیاه که در رابطه ۵ به صورت درصد و در رابطه ۶ به صورت کسری از عدد یک به کار رفته.

در طرح‌های بررسی شده در استان قزوین، طراحان از هر دو رابطه ۵ و ۶ در محاسبات سامانه‌ای آبیاری قطره‌ای استفاده کرده‌اند. در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بررسی شده، محاسبات هیدرولیکی،

براین، مقدار انتشار گاز گلخانه‌ای بر اساس معادل دی‌اکسیدکربن را می‌توان از حاصل ضرب مقدار آن گاز در قابلیت گرمایش جهانی آن به دست آورد.

مقدار انتشارات گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، متان (CH₄) و اکسید نیتروس در مراحل مختلف پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مطالعه شده با استفاده از ضرایب انتشار ارائه شده در جدول ۴ محاسبه گردید.

با توجه به پتانسیل متفاوت ایجاد اثر گلخانه‌ای، هر کیلوگرم گاز متان (CH₄) و اکسید نیتروس (N₂O) در بازه زمانی ۱۰۰ ساله به ترتیب معادل ۲۸ و ۳۱۰ کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن اثر گلخانه‌ای دارند (IPCC, 2007).

مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای معادل شده بر اساس دی‌اکسید کربن در رابطه ۷ بیان شده است (Heijungs et al., 1992):

$$\text{Greenhouse effect} = \sum_i m_i \times \text{GWP}_i \quad (7)$$

که در آن،

$$m_i = \text{جرم گاز منتشر شده (کیلوگرم)}$$

محاسبه مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر فرآیند و مرحله سامانه آبیاری قطره‌ای با توجه به نوع و مقدار انرژی مصرفی و ضریب انتشار گاز مربوط به آن محاسبه می‌شود. ضرایب انتشار مذکور در جدول ۴ ارائه شده است.

برآورد قطر لوله‌ها، منصوبات و طراحی ایستگاه پمپاژ بر مبنای حداکثر نیاز آبی روزانه گیاه که مرحله رشد آن تکمیل شده و با لحاظ کردن حداکثر سطح سایه‌انداز ۷۰ درصد، راندمان کل آبیاری ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. برنامه زمانی بهره‌برداری از سامانه نیز برای گیاه تکامل یافته تدوین گردیده است. در تمامی طرح‌های بررسی شده در این تحقیق مقدار آب کاربردی سامانه آبیاری در کلیه سنوات بهره‌برداری ثابت و برابر با حداکثر نیاز آبی سالیانه گیاه در نظر گرفته شد که مرحله رشد آن کامل شده است.

در تحقیق حاضر بر اساس ارقام مندرج در سند ملی تعیین نیاز آبی، حجم خالص آب مورد نیاز بر هکتار برای محصولات باغی پسته، سیب، انگور، هلو و گلابی به ترتیب ۱۰۶۱۰، ۸۸۹۰، ۵۲۲۰، ۸۰۲۰ و ۸۸۹۰ مترمکعب منظور گردید.

در این بررسی، مقدار بازده تولید الکتریسیته از انرژی فسیلی در نیروگاه‌های کشور ۳۰ درصد، تلفات در شبکه توزیع برق ۱۲/۳ درصد و انرژی معادل برای هر کیلووات ساعت برق مصرفی برابر ۱۳/۶۸ مگاژول در نظر گرفته شد (ISIRI, 2007).

انتشار گازهای گلخانه‌ای: معادل دی‌اکسید کربن، CO₂e (کیلوگرم)، سنجه‌ای است که برای مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای مختلف بر اساس قابلیت گرمایش جهانی آنها به کار گرفته می‌شود. بنا

جدول ۴- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب گرم در واحد انرژی و مواد مصرفی در سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 4- Emission coefficients of greenhouse gases in terms of gram per unit of energy and materials used in drip irrigation system

منبع	اکسید نیتروژن N ₂ O	متان CH ₄	دی اکسید کربن CO ₂	واحد Unit	بخش Item
(Iran Ministry of Energy, 2015)	0.002	0.016	660.65	کیلووات ساعت Kwh	الکتربسیته Electricit
(Ministry.of petroleum of Iran, 2019)	0.0000006	0.000003	69.3	مگاژول MJ	بنزین Petrol
(Ministry.of petroleum of Iran, 2019)	0.0000006	0.000003	74.1	مگاژول MJ	گازوئیل Gasoline
(Ministry.of petroleum of Iran, 2019)	0.0000001	0.000001	56.1	مگاژول MJ	گاز طبیعی natural gas
(Ministry.of petroleum of Iran, 2019)	-	6	1700	مگاژول MJ	اتیلن Ethylen gass
(Dyer and Desjardins., 2006)	-	-	71	کیلوگرم kg	ماشین آلات Machinery
(Houshyar <i>et al.</i> , 2015)	-	-	360	ساعت hr	نیروی انسانی Human labor

نتایج و بحث

بررسی جریان انرژی ورودی در سامانه آبیاری

قطره‌ای: متوسط عمر مفید و اقتصادی برای سامانه آبیاری قطره‌ای برابر ۱۵ سال (MPOI, 2005) و محاسبات کلی برای مدت ۱۵ سال در نظر گرفته شد. میانگین مقدار انرژی‌های ورودی در مراحل مختلف اجرا و بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطره‌ای با میزان انرژی معادل آن در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده است. مجموع انرژی ورودی در مراحل بهره‌برداری و اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای برابر با ۵۴۳۰۳۵ مگاژول بر هکتار طی عمر مفید پروژه است.

میزان متوسط انرژی مصرفی سالیانه ناشی از اجرای سامانه قطره‌ای ۳۶۲۰۳ مگاژول بر هکتار خواهد بود.

بیشترین انرژی مصرفی در سامانه آبیاری قطره‌ای مربوط به انرژی الکتریکی در ایستگاه پمپاژ به‌منظور تامین فشار کاری سامانه با مقدار ۳۰۸۶۹ مگاژول در سال و تامین انواع لوله‌های پلی‌اتیلن با مقدار انرژی مصرفی ۳۶۱۴ مگاژول در سال است. جکسون و همکاران (Jackson *et al.*, 2010) میزان انرژی مصرفی در استرالیا را به‌منظور تامین فشار کاری سامانه آبیاری قطره‌ای در محصول ذرت دانه‌ای ۱۵۳۴۰ مگاژول بر هکتار محاسبه کرده‌اند. در تحقیق حاضر، در استان قزوین کمترین انرژی مصرفی در سامانه آبیاری قطره‌ای مربوط به استفاده از نیروی انسانی در نصب و اجرای سامانه با ۲۷ مگاژول در سال برآورد شده است.

گوایزو و همکاران (Guiso *et al.*, 2016) میزان
توان مورد نیاز پمپ را برای کاربرد ۲۵۰۰ مترمکعب
در تحقیق حاضر، با توجه به مقدار متوسط آب
کاربردی برابر با ۹۸۴۳ مترمکعب بر هکتار در
سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بررسی شده در استان
آب در یک هکتار سامانه آبیاری قطره‌ای با فشار
متوسط ۳۵ متر، ۳۴۱ کیلووات اعلام کردند.
قزوین با متوسط فشار کاری ۴۷ متر، میزان توان
مورد نیاز الکتروموتور ۲۲۵۷ کیلووات بر هکتار
است.

جدول ۵- مصرف لوازم، سوخت و نیروی انسانی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای طی عمر مفید سامانه بر واحد سطح (هکتار)

Table 5- Accessories, fuel and human labor in drip irrigation systems during the useful life of the system per hectare

کمترین Min	بیشترین Max	خطای استاندارد ± میانگین Average ± SE	واحد Unit	بخش Item
280.24	879.74	591.47±38.38	کیلوگرم kg	لوله پلی اتیلن PE pipe
3.41	85.00	41.63±6.54	کیلوگرم kg	اتصالات پلی اتیلن PE fittings
38.35	317.50	145.01±20.18	کیلوگرم kg	ضمائم فلزی Metal accessories
98.65	285.27	±209±11.20	ساعت hr	نیروی کارگری Human labor
18.64	49.34	29.67±2.10	کیلوگرم kg	تامین ماشین‌آلات Supply of machinery کارکرد ماشین‌آلات Machinery operation
88.08	216.53	130.83±6.75	لیتر liter	گازوئیل Gasoline
17.69	43.50	26.28±1.35	لیتر liter	بنزین Petrol
19140	64145.42	33847.52±3209.13	کیلووات kwh	الکتریسیته Electricity حمل لوازم Transport
31.37	68.21	49.38±2.88	لیتر liter	گازوئیل Gasoline
3.82	43.07	18.29±2.66	لیتر liter	بنزین Petrol

جدول ۶- تجزیه میزان انرژی مصرفی در اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای طی عمر مفید سامانه بر واحد سطح (هکتار)

Table 6- Analysis of energy consumption in the implementation and operation of drip irrigation systems during the useful life of the system per hectare

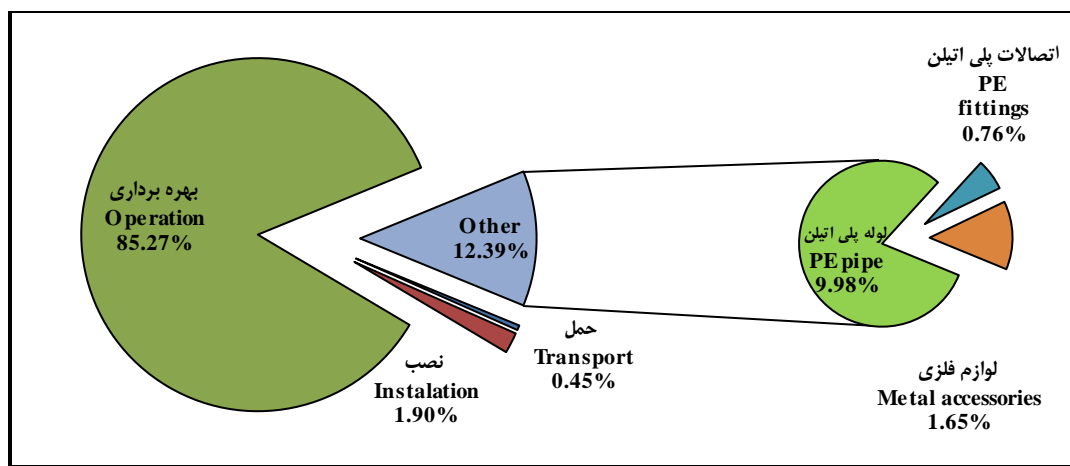
کمترین Min	بیشترین Max	خطای استاندارد \pm میانگین Average \pm SE	واحد Unit	بخش Item
25684.26	80627.80	54208.23 \pm 3517	مگاژول MJ	لوله پلی اتیلن PE pipe
336.05	8373.65	4100.14 \pm 644.71	مگاژول MJ	اتصالات پلی اتیلن PE fittings
2369.87	19618.44	8960.16 \pm 1246.81	مگاژول MJ	ضمائم فلزی Metal accessories
193.36	559.12	409.64 \pm 2195	مگاژول MJ	نیروی انسانی Human labor
2660.95	7041.56	4233.90 \pm 300	مگاژول MJ	تامین ماشین‌آلات Supply of machinery
				کارکرد ماشین‌آلات Machinery operation
3232.79	7946.77	4801.46 \pm 247.66	مگاژول MJ	گازوئیل Gasoline
558.74	1439.85	869.87 \pm 44.87	مگاژول MJ	بنزین Petrol
261835.20	877509.41	463034.21 \pm 43900.92	مگاژول MJ	الکتریسیته Electricity
				حمل لوازم Transport
1151.12	2503.46	1812.25 \pm 105.94	مگاژول MJ	گازوئیل Gasoline
126.52	1425.50	605.40 \pm 87.90	مگاژول MJ	بنزین Petrol
324523.92	956412.22	543035.26 \pm 45433.39	مگاژول MJ	کل انرژی مصرفی Total energy consumption

حمل لوازم و تجهیزات پروژه با احتساب مسافت حمل مواد اولیه از مجتمع‌های پتروشیمی تا کارخانه تولید لوله به مسافت متوسط ۱۰۰۰ کیلومتر و متعاقب آن حمل لوله تولیدی از کارخانه تا محل پروژه با متوسط مسافت ۲۰۰ کیلومتر معادل با ۲۴۱۸ مگاژول محاسبه شد. مرحله نصب شامل به‌کارگیری ماشین‌آلات و مصرف سوخت مرتبط با ماشین‌آلات و استفاده از نیروی انسانی برابر ۱۰۳۱۵

سهم انرژی‌های ورودی در مراحل مختلف اجرا و بهره‌برداری سامانه آبیاری قطره‌ای

مراحل اجرای هر سامانه آبیاری قطره‌ای به طور کلی شامل تامین لوازم، نصب و بهره‌برداری است. از مجموع کل انرژی مصرفی طی عمر اقتصادی هر سامانه، ۶۷۲۶۹ مگاژول مربوط به لوازم مصرفی شامل لوله و اتصالات پلی‌اتیلن، لوازم و شیرآلات فلزی مصرفی است.

مگاژول تعیین شد. مرحله بهره‌برداری از پروژه شامل تامین نیروی الکتریسیته به‌منظور بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ است. با توجه به پمپ انتخابی و توان الکتروموتور مربوط و ساعت کارکرد پمپ به‌طور متوسط در طول عمر اقتصادی هر سامانه آبیاری قطرهای معادل ۴۶۳۰۳۴ مگاژول انرژی مصرف می‌شود. در شکل ۳، سهم انرژی مصرفی به تفکیک مراحل اجرای سامانه آبیاری نشان داده شده است. میانگین سهم انواع انرژی مستقیم و غیرمستقیم از کل انرژی مصرفی در سامانه آبیاری قطرهای به ترتیب ۲۳/۵۵ و ۷۶/۴۵ درصد است (جدول ۷).



شکل ۳- سهم جریان انرژی به تفکیک مراحل اصلی اجرا و بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطرهای

Fig 3- Share of energy flow by main stages of implementation and operation of drip irrigation system

جدول ۷- مقدار انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم (مگاژول بر هکتار) در سامانه آبیاری قطرهای

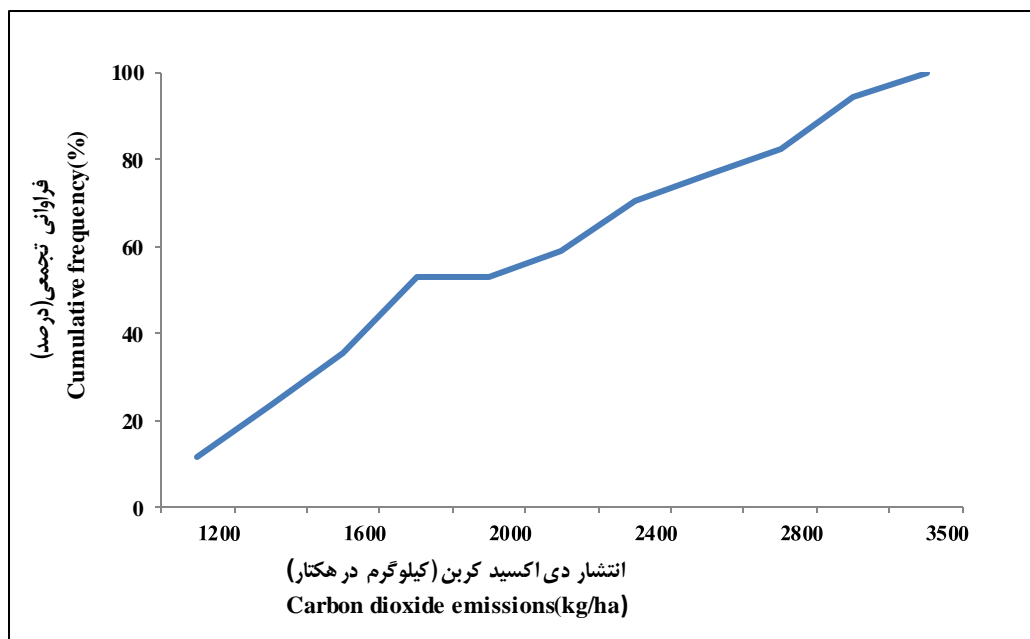
Table 7- The amount of direct and indirect energy consumption in the drip irrigation system in terms of megajoules per hectare

مقدار Value	بخش Item	انرژی Energy	مقدار Value	بخش Item	انرژی Energy
2417.65	حمل لوازم Transport	غیر مستقیم Indirec	4801.46	سوخت مصرفی بیل بکهو Back shovel excavator fuel consumption	مستقیم Direct
4233.91	ماشین‌آلات Machinery		869.87	سوخت مصرفی دستگاه جوش Welding machine fuel consumption	
341209.90	تلفات تولید و توزیع الکتریسیته Losses of electricity generation and distribution		121824.30	انرژی الکتریکی خالص مصرفی پمپاژ Net electricity consumed by pumping	
67268.53	لوازم مصرفی Accessories		409.64	نیروی انسانی	
415129.99	مجموع Total		127905.27	مجموع Total	

انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی:

تا ۳۴۹۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر است و مقدار آن در ۵۹ درصد از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مطالعاتی کوچک‌تر یا مساوی با ۲۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار است (شکل ۴).

میزان انتشار دی‌اکسید کربن معادل سالانه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بررسی شده بین ۱۱۷۷



شکل ۴- درصد فراوانی تجمعی انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای استان قزوین

Figure 4- Cumulative frequency chart of annual carbon dioxide emissions from drip irrigation systems in Qazvin province

می‌یابد. در تحقیق حاضر، مصرف الکتریسیته در مرحله پمپاژ و تامین لوله پلی‌اتیلن (برابر ۱۷۰۰ و ۱۶۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به ترتیب با ۸۶ و ۸ درصد از کل میزان انتشار) بالاترین سهم آلاینده‌گی سالیانه را دارند. در تحقیق زوو و همکاران (Zou *et al.*, 2012)، فعالیت‌های مربوط به انرژی شامل پمپاژ و انتقال آب ۷۰-۵۰ درصد از مقدار انتشار دی‌اکسید کربن معادل اعلام شده را شامل می‌شود. در تحقیق حاضر، با توجه به مقدار ضریب انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به تولید انرژی الکتریسیته در کشور، نیاز آبی محصول و راندمان پمپ‌های انتخابی، انتشار ناشی از پمپاژ آب در

با توجه به نتایج جدول ۸، میانگین کل انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای؛ با توجه به مراحل مختلف، مجموعاً ۱۹۷۴ کیلوگرم بر هکتار بر سال برآورد گردید. در تحقیق پاتل و همکاران (Patle *et al.*, 2016) میزان انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن معادل ناشی از مصرف انرژی به‌منظور استخراج آب و تحویل در مزرعه در کشت گیاه نیشکر و برنج به ترتیب، ۲۷۲۰ و ۱۱۸۰ کیلوگرم بر هکتار برآورد گردید. بررسی‌های این محققان نشان داده است با افزایش بازده پمپاژ از ۳۴/۷ درصد به ۵۱ درصد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن ۳۲ درصد کاهش

سامانه ۸۶ درصد از کل انتشار دی‌اکسید کربن را دارد. گوایزو و همکاران (Guiso *et al.*, 2016) میزان انتشار دی‌اکسید کربن معادل ناشی از استفاده از لوله‌های آبیاری قطرهای ۱۶ میلی متر را در صورت تعویض سالیانه لوله‌ها به مقدار ۲۰۱ کیلوگرم بر هکتار اعلام کرده‌اند. در سامانه‌های آبیاری قطرهای مطالعاتی انتشار سالیانه حاصل از تامین و به‌کارگیری ماشین‌آلات در حفر و پر کردن ترانشه و اتصالات لوله‌ها از طریق دستگاه جوش ۳۰ کیلوگرم CO₂e بر هکتار است. مجموع انتشار سالیانه در مرحله نصب سامانه‌ها با احتساب انتشار ناشی از به‌کارگیری نیروی انسانی برابر با ۴۰ کیلوگرم CO₂e بر هکتار است. بر این اساس، میزان آلاینده‌گی ناشی از اجرای سامانه‌های آبیاری قطرهای در دوره عمر مفید و اقتصادی پروژه ۲۹۶۱۱ کیلوگرم CO₂e بر هکتار محاسبه گردید.

جدول ۸- انتشار سالیانه گازهای گلخانه‌ای بر اساس دی‌اکسید کربن معادل در سامانه‌های آبیاری قطرهای استان قزوین (کیلوگرم بر هکتار)

Table 8- Annual emission of greenhouse gases based on carbon dioxide equivalent in drip irrigation systems of Qazvin province (kg/ha)

بخش Item	خطای استاندارد \pm میانگین Average \pm SE	درصد از کل Percent of total (%)
لوله پلی اتیلن PE pipe	161.43 \pm 10.48	8.18
اتصالات پلی اتیلن PE fittings	12.28 \pm 1.93	0.62
ضمائم فلزی Metal accessories	30.27 \pm 4.21	1.53
نیروی انسانی Human labor	9.83 \pm 0.53	0.53
تامین ماشین‌آلات Supply of machinery کارکرد ماشین‌آلات <u>Machinery operation</u>	20.05 \pm 1.42	1.02
گازوئیل Gasoline	23.55 \pm 1.21	1.19
بنزین Petrol	4.03 \pm 0.21	0.2
الکتریسیته <u>Electricity</u>	1700.74 \pm 161.25	86.15
حمل لوازم Transport	11.89 \pm 0.77	0.6

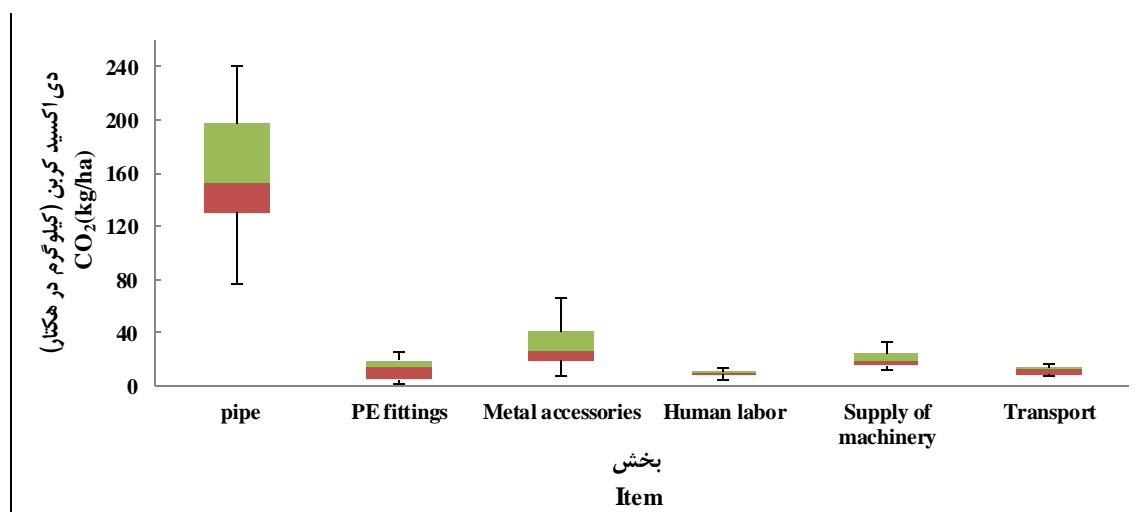
میزان آلاینده‌گی ناشی از تامین و نصب کلیه لوازم مصرفی و ضمائم مورد نیاز طی عمر مفید سامانه ۳۶۶۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر هکتار بر

در قسمت استفاده از ماشین‌آلات، با توجه به کارکرد سالیانه ایستگاه پمپاژ و مصرف انرژی الکتریسیته، انتشار سالیانه ناشی از کارکرد پمپ با میانگین ۱۷۰۱ کیلوگرم بر هکتار، بین ۹۶۲ تا ۳۲۲۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر است. مقدار انتشار سالیانه حاصل از کارکرد دستگاه جوش پلی‌اتیلن و استفاده از بیل مکانیکی حفاری به ترتیب، ۴ و ۲۴ کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد.

با مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیقات لال (Lal, 2004)، زوو و همکاران (Zou et al., 2012)، گوایزو و همکاران (Guiso et al., 2016) و پاتل و همکاران (Patle et al., 2016) مشخص شد که به صورت کلی مقادیر انتشار محاسبه شده مربوط به مصرف انرژی الکتریسیته و لوازم مصرفی با مقادیر مقایسه‌ای متفاوت است که نشان دهنده تفاوت در حجم آب کاربردی با توجه به نیاز آبی محصول در منطقه مورد مطالعه، فشار مورد نیاز سامانه، شرایط تامین، مقدار و اندازه لوازم مورد استفاده، و راندمان‌های مرتبط با پمپ و الکتروموتور با مقادیر لحاظ شده در تحقیق حاضر است. از سوی دیگر، تفاوت در ضریب‌های انتشار مورد استفاده در زمینه محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای در این تحقیق با سایر مطالعات به‌عنوان عاملی مهم و اثر گذار در برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، موجب تفاوت در مقادیر محاسباتی با مقادیر مقایسه‌ای است.

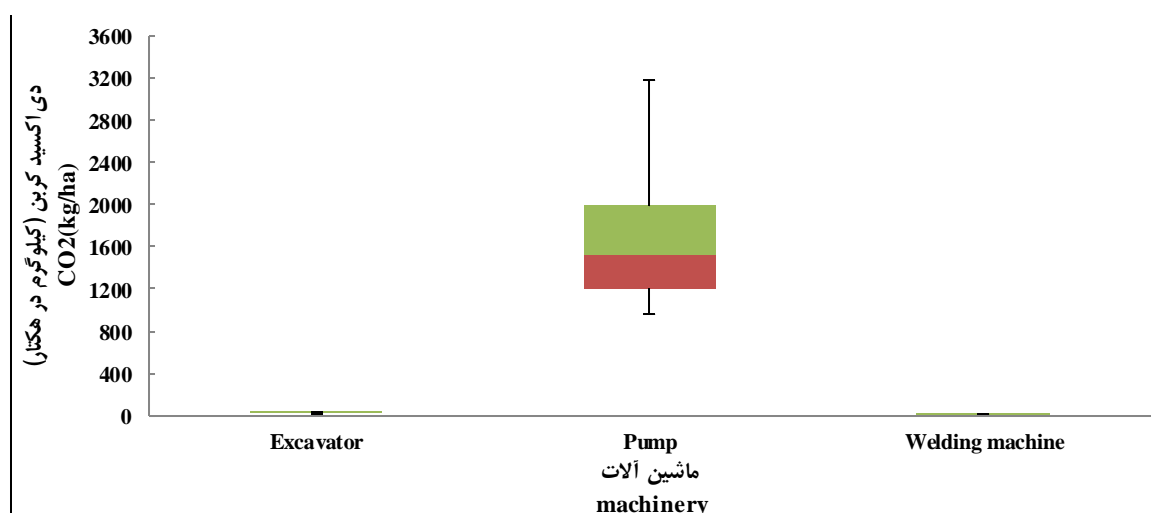
آورد گردید. با توجه به عمر مفید سامانه، مقدار انتشار سالانه ناشی از تهیه و نصب لوازم ۲۴۴ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل بر هکتار برآورد می‌شود. لال (Lal, 2004) میزان انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن معادل را در سامانه آبیاری قطره‌ای که لوله‌های پلی‌اتیلن ۱۶ میلی‌متر در آن هر سال تعویض می‌شد، در مرحله تهیه و نصب لوازم سامانه آبیاری قطره‌ای ۳۱۴/۴۴ کیلوگرم بر هکتار برآورد کرده است. میزان انتشار معادل دی‌اکسید کربن سالیانه بر واحد سطح در مراحل تامین و حمل لوازم، نصب سامانه و بهره‌برداری از سامانه به تفکیک در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

عمده لوازم مصرفی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از نظر وزن، لوله‌های پلی‌اتیلن هستند. بنابراین، بیشترین میزان انتشار گاز گلخانه‌ای حاصل از تامین لوازم سامانه به لوله‌های پلی‌اتیلن اختصاص یافت. با توجه به پلان طرح، توپوگرافی و میزان نیاز آبی سامانه، وزن لوله مصرفی در سامانه‌های قطره‌ای مطالعاتی متفاوت است. میزان انتشار دی‌اکسید کربن معادل مربوط به لوله‌های پلی‌اتیلن نیز بین ۷۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم بر هکتار در سال متغیر و متوسط انتشار سالیانه آن ۱۶۱ کیلوگرم بر هکتار است. کمترین مقدار انتشار سالانه بر هکتار (۹ کیلوگرم) ناشی از به‌کارگیری نیروی انسانی در نصب سامانه‌هاست.



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن در مراحل تامین لوازم و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

Figure 5- Box diagram of annual carbon dioxide emissions in the supply and implementation of drip irrigation systems



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای انتشار سالیانه دی‌اکسید کربن ناشی از کارکرد ماشین‌آلات مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

Figure 6- Box diagram of annual carbon dioxide emissions due to the operation of machines used in drip irrigation systems

ارقام موجود در سند ملی تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی و در نظر گرفتن بازده کل آبیاری ۸۰ درصد برای سامانه آبیاری قطره‌ای برنامه بهره‌برداری از سامانه را ارائه می‌دهند. با توجه به محاسبات انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن، شاخص‌های مصرف انرژی و انتشار سالانه مربوط به بهره‌برداری از سیستم آبیاری محاسبه گردید (جدول ۸). گواپزو و

شاخص‌های آب، انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن

در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی، با توجه به عمده محصولات باغی تحت آبیاری سامانه شامل پسته، سیب، هلو، گلابی و انگور متوسط آب مصرفی سامانه ۹۸۴۳ مترمکعب بر هکتار است. در تمامی سامانه‌های قطره‌ای شرکت‌های طراح با توجه به

نشان می‌دهد در چند سامانه مشخص با حجم آب کاربردی یکسان سامانه‌ای که شاخص انتشار به ازای واحد حجم آب کاربردی آن کمتر باشد، در مقایسه با سایر سامانه‌ها آلاینده‌گی کمتری خواهد داشت. از سوی دیگر، در یک سامانه با شاخص انتشار مشخص، کاهش شاخص انتشار در شرایط ثابت بودن مصرف آب کاربردی بیانگر مدیریت مصرف انرژی در سامانه پمپاژ و بهره‌برداری است. مقایسه شاخص مصرف انرژی الکتریسیته به ازای حجم واحد آب کاربردی می‌تواند مبنای ارزیابی و قضاوت در مورد پمپ و معیارهای انتخاب آن باشد.

همکاران (Guiso *et al.*, 2016) مقدار انتشار دی‌اکسید کربن معادل را در سامانه آبیاری قطره‌ای به ازای واحد حجم آب کاربردی، ۰/۲۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کرده‌اند. در تحقیق حاضر در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد بررسی در استان قزوین مقدار انتشار ۰/۲۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. با توجه به اعداد جدول ۸ می‌توان بهره‌وری کل انرژی معادل مصرفی، بهره‌وری انرژی الکتریسته مصرفی و هزینه آلاینده‌گی ناشی از مصرف یک متر-مکعب آب در سامانه آبیاری قطره‌ای را که بر محیط زیست تحمیل می‌شود به دست آورد. نتایج جدول ۸

جدول ۸- شاخص‌های انتشار و انرژی مصرفی در بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 8- Emission and energy consumption indices in operation of drip irrigation system

مقدار Value	واحد Unit	شاخص Indice
0.20	کیلوگرم بر مترمکعب Kg/m ³	انتشار به ازای آب مصرفی Emission per applied water unit
3.68	مگاژول بر مترمکعب MJ/m ³	انرژی به ازای آب مصرفی Energy per applied water unit
0.0543	کیلوگرم بر مگاژول Kg/MJ	انتشار به انرژی مصرفی Emission per energy consumption unit
0.23	کیلووات ساعت بر مترمکعب Kw/m ³	الکتریسته به ازای آب مصرفی Electricity per applied water unit

تحمیل بار اضافی به شبکه بتوان مصرف انرژی در شبکه پمپاژ را کاهش داد. با نصب درایو فرکانس متغیر^۱ (VFD) روی پمپ به منظور استفاده از پمپ‌های دور متغیر، انرژی مصرفی می‌تواند ۴۸ درصد نسبت به شرایط پمپ با دور کارکرد ثابت کاهش یابد (Raisian Amiri & Parvaresh Rizi, 2013). و با توجه به رابطه خطی میزان انتشار با مقدار الکتریسته مصرفی، می‌توان گفت در مرحله پمپاژ در صورت استفاده از فناوری VFD، انتشار دی‌اکسید کربن معادل نیز به اندازه

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد میزان انرژی مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن در مراحل مختلف اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تفاوت زیادی با یکدیگر دارد. انرژی مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن معادل در مرحله پمپاژ به منظور تامین فشار کاری سیستم آبیاری به ترتیب، با ۸۵ درصد و ۸۶ درصد بیشترین سهم را دارد. با توجه به عوامل اثرگذار در توان پمپ، به نظر می‌رسد با اعمال مدیریت مصرف آب، انتخاب پمپ‌های با بازده بالاتر و اجتناب از

کاهش مصرف الکتریسیته کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، با توجه به بازده تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های کشور و بازده انتقال و توزیع آن، در صورت اصلاح و بهبود بازده‌های مذکور، معادل انرژی مصرفی ناشی از مصرف الکتریسیته در مرحله پمپاژ کاهش خواهد یافت.

با توجه به شرایط توپوگرافی و شکل هندسی مزارع و فاصله آنها از کارخانه‌های تولید ادوات سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، انرژی مصرفی و متعاقب آن انتشار دی‌اکسید کربن برای مزارع مختلف عددی ثابت نخواهد بود. با توجه به عمر مفید سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در صورت بهره‌برداری مناسب و افزایش عمر اقتصادی سامانه‌ها و استفاده از پمپ‌های دور متغیر سهم تمامی مراحل اثر گذار کاهش خواهد یافت.

برنامه بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه با رویکرد تامین حداکثر نیاز آبی به منظور تولید حداکثر محصول در شرایطی است که فرآیند رشد کامل و گیاه بالغ شده و برای سامانه مورد بهره‌برداری مقدار نیاز آبی در کلیه سنوات بهره‌برداری ثابت و در بالاترین مقدار است. در مراحل تکمیل دوره رشد درخت، میزان نیاز آبی در سال‌های ابتدایی رشد با توجه به درصد سطح سایه‌انداز، کمتر از سال‌های منتهی به رشد کامل

درخت خواهد بود. نظری و یونسی (Nazari & Yunesi, 2019) متوسط میزان واقعی درصد سطح سایه‌انداز درختان را در سامانه آبیاری استان قزوین حدود ۴۶ درصد اعلام کردند که با توجه به سایه‌انداز ۷۰ درصد لحاظ شده در طراحی مقدار میانگین نیاز آبی سالیانه سامانه‌های بررسی شده حدود ۳۸ درصد بیشتر برآورد شده است. در صورت اعمال ۴۶ درصد سطح سایه‌انداز در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با توجه به کاهش ساعات کارکرد پمپ به ۶۲ درصد، میزان الکتریسیته مصرفی ۳۸ درصد کاهش خواهد یافت و به تبع آن میزان انتشار ناشی از کارکرد ایستگاه پمپاژ نیز ۳۸ درصد پایین می‌آید. سهم انرژی مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن معادل در مرحله پمپاژ به‌منظور تامین فشار کاری سیستم آبیاری به ترتیب ۷۸ درصد و ۷۹ درصد از مجموع کل مراحل خواهد شد و مجموع انتشار سالیانه سامانه از ۱۹۷۴ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل به ۱۳۲۸ کیلوگرم خواهد رسید (۳۳ درصد کاهش در کل مقدار انتشار سالیانه). بنابراین، نحوه برآورد نیاز آبی در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی برآوردهای آب آبیاری مورد نیاز، انرژی مصرفی سیستم پمپاژ و انتشار دی‌اکسید کربن معادل را به‌طور قابل توجهی متاثر خواهد کرد.

کاهش مصرف الکتریسیته کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، با توجه به بازده تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های کشور و بازده انتقال و توزیع آن، در صورت اصلاح و بهبود بازده‌های مذکور، معادل انرژی مصرفی ناشی از مصرف الکتریسیته در مرحله پمپاژ کاهش خواهد یافت.

با توجه به شرایط توپوگرافی و شکل هندسی مزارع و فاصله آنها از کارخانه‌های تولید ادوات سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، انرژی مصرفی و متعاقب آن انتشار دی‌اکسید کربن برای مزارع مختلف عددی ثابت نخواهد بود. با توجه به عمر مفید سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در صورت بهره‌برداری مناسب و افزایش عمر اقتصادی سامانه‌ها و استفاده از پمپ‌های دور متغیر سهم تمامی مراحل اثر گذار کاهش خواهد یافت.

برنامه بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه با رویکرد تامین حداکثر نیاز آبی به منظور تولید حداکثر محصول در شرایطی است که فرآیند رشد کامل و گیاه بالغ شده و برای سامانه مورد بهره‌برداری مقدار نیاز آبی در کلیه سنوات بهره‌برداری ثابت و در بالاترین مقدار است. در مراحل تکمیل دوره رشد درخت، میزان نیاز آبی در سال‌های ابتدایی رشد با توجه به درصد سطح سایه‌انداز، کمتر از سال‌های منتهی به رشد کامل

مراجع

- Ahmadi, H., Javadi, M. R. & Salavati, A. (2014). Zonation of rainfall erosivity strength; using Fournier method and some interpolation techniques (a case study of Ghazvin province). *Natural Ecosystems of Iran*, 5(2), 1-14. (In Persian with English Summary).
- Alizadeh, A. (2008). *Trickle irrigation (principles and practices)*. Imam Reza university Mashhad, Iran. Astan Ghods (in Persian).

- Calzadilla, A., Rehdanz, K. & Tol, R.S.J. (2008). Water scarcity and the impact of improved irrigation management. a CGE analysis. *In: Kiel Working Papers 1436. Working Paper FNU-160. Kiel Institute for the World Economy*, 49 pp.
- Daccache, A., Ciurana, J.S., Diaz, J.R. & Knox, J.W. (2014). Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124014.
- Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G. & Madani, H. (2015). CO2 emission and global warming potential (GWP) of energy consumption in paddy field production systems. *Journal of Agroecology*, 6(4), 823-835. (In Persian).
- Dyer, J.A. & Desjardins, R.L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystem Engineering*, 93 (1), 107-118.
- Fotros, M. H. & Barati, J. (2011). Analysis of carbon dioxide emissions from energy consumption to Iran's economic sectors. an analysis of index analysis. *Journal of Energy Economics Studies*, 8(28), 73-49.
- González Perea, R., Camacho, E., Montesinos, P., Fernández García, I. & Rodríguez Díaz, J. A. (2015). *Reducing the energy demand in irrigation water supply systems. In Experiences from southern Europe. In ICID Conference, Special Session 'Irrigation and Energy', Montpellier, France*
- Guiso, A., Ghinassi, G. & Spugnoli, P. (2016). *Carbon footprint assessment of different irrigation systems. In ICID Conference, Special Session Irrigation and Energy. Oct. Montpellier, France.*
- Heijungs, R., Guinee, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A. & Wegener Sleswijk, A. (1992). Environmental life cycle assessment of products. part 1 and 2. Leiden University Netherlands: Centre for Environmental Science (CML);(in Dutch).
- Houshyar, E., Zareifard, H. R., Grundmann, P. & Smith, P. (2015a). Determining efficiency of energy input for silage corn production: An econometric approach. *Energy*, 93, 2166-2174.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). (2007). *Technical specification and criteria for energy consumption in plastics in primary forms and synthetic rubber production processes*. 9648, 1st. Edition. 15p, ISIRI, Central Office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran. (In Persian).
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). (2009). *Technical specification and criteria for thermal and electrical energy consumption in the cast iron foundry industries- Sand molding process*. 11594 1st. edition. 15p, ISIRI, Central Office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran (In Persian).

- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). (2011). *Olefin -Energy Consumption Criteria in Production Processes*. 13370, 1st. Edition. 11p, ISIRI, Central Office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran (In Persian).
- IPCC, (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge University Press, Cambridge, UK* 850.
- Iran Ministry of Energy. (2015). *Energy Balance Sheet*. 596p. Tehran. Deputy Minister of Energy. (In Persian)
- Jackson, T. M., Khan, S. & Hafeez, M. (2010). A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1477-1485.
- Jamali, M., Soufizadeh, S. Yeganeh, B., & Emam, Y. (2021). A comparative study of irrigation techniques for energy flow and greenhouse gas (GHG) emissions in wheat agroecosystems under contrasting environments in south of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110704.
- Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nanos, G. D. & Kalburtji, K. L. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture ecosystem & environment*, 122(2), 243-251
- Karbasioun, M., Bizmans, H. & Mulder, M. (2007). Supporting role of the agricultural extension services and implications for agricultural extension instructors as perceived by farmers in Esfahan, Iran. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, 14, 31-42.
- Karimov, A. K., Amirova, I., Karimov, A. A., Tohirov, A. & Abdurakhmanov, B. (2022). Water, Energy and Carbon Tradeoffs of Groundwater Irrigation-Based Food Production: Case Studies from Fergana Valley, Central Asia. *Sustainability*, 14(3), 1451.
- Khalili, A., Sharzei, S. M. & Barkhordari, S. (2012). Analysis of carbon dioxide emissions from energy consumption in Iran. *Environmental Science*, 38(61), 104-93.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from and farm operations, *Environ. Int*, 30, 981-990.
- Maestre-Valero, J. F., Martin-Gorriz, B., Nicolas, E., Martinez-Mate, M. A. & Martinez-Alvarez, V. (2018). Deficit irrigation with reclaimed water in a citrus orchard. Energy and greenhouse-gas emissions analysis. *Agricultural Systems*, 159, 93-102.
- Management and Planning Organization of Iran (MPOI). (2005). *Design Criteria for Pressurized Irrigation Systems*. Tehran. Vice President of Administrative and Financial Affairs, Office of Scientific Publications and Specialized Documents (In Persian).

- Ministry of Petroleum of Iran, International Energy Studies Institute. (2008). *Hydrocarbon balance sheet of the Ministry of Petroleum*, 544 p. Tehran. The central building of the Ministry of Petroleum (In Persian).
- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied energy*, 87(1), 191-196.
- Nazari, B. & Yunesi, M. (2020). Analysis of the effect of actual shading area estimation using remote sensing in evaluation of water requirement estimation of orchards in the design and operation phase of local irrigation (case study: Qazvin Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(13), 1601-1611 (In Persian).
- National Iranian Steel Company. (2021). *Studies of the country's steel master plan*. 79p. (In Persian).
- Ministry of petroleum of Iran (2019). *Guide for calculating and reporting greenhouse gas emissions*. 79P. Tehran. General Directorate of Health, Safety, Environment, and Non-operating Defense (HSED). (In Persian).
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J. P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (2007b). Climate change. Impacts, adaptation and vulnerability, editors. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK 976.
- Patle, G. T., Singh, D. K., Sarangi, A., & Khanna, M. (2016). Managing CO₂ emission from groundwater pumping for irrigating major crops in trans indo-gangetic plains of India. *Climatic change*, 136(2), 265-279.
- Qureshi, A. S. (2014). Reducing carbon emissions through improved irrigation management: a case study from Pakistan. *Irrigation and drainage*, 63(1), 132-138.
- Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 19(3), 143-171. (In Persian with English Summary).
- Raisian Amiri, Z. & Parvaresh Rizi, A. (2013). Hydraulic Design and Evaluation of Variable Speed Pumps on Pressurized Irrigation Systems (Case study: Harkalleh-Laali Irrigation System). *Journal. of Water and Soil Conservation*, 21(3), 145-164 (In Persian with English Summary).
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Mccarl, B., Ogle, S., O'Mar, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., & Towprayoon, S. (2007). Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 6-28.

- Statistical Center of Iran. (2013). *Results of statistics on the consumption of energy carriers and small-scale generators of mines in operation in the country - except for sand*. 83p. Tehran. Head Office, Public Relations and International Cooperation (In Persian)
- Zhang, M. Mu. H., & Ning, Y. (2009). Accounting for energy-related CO2 emission in China, 1991–2006. *Energy policy*, 37(3), 767-773.
- Zou, X. Li. Y. E., Gao, Q., & Wan, Y. (2012). How water saving irrigation contributes to climate change resilience—a case study of practices in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(2), 111-132.

Greenhouse Gas Emission Analysis of Drip Irrigation Systems (A Case Study: Qazvin Province, Iran)

M. Mohammadkhani, A. Sotoodehnia*, P. Daneshkar Arasteh and H. Ramezani Etedali

* Corresponding Author: Ph.D Associate Professor Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: sotoodehnia@eng.ikiu.ac.ir
Received: 13 April 2022, Accepted: 23 August 2022

Introduction

Pressurized irrigation systems are efficient tools to improve agricultural water productivity. However, the implementation and operation of pressurized irrigation systems require energy supply, related tools, and equipment, followed by greenhouse gas emissions. In this regard, one of the factors in the degradation of the environment is the phenomenon of global warming due to carbon dioxide emissions. The country's agricultural authorities have considered and invested in developing and implementing pressurized irrigation systems as one of the main approaches for proper water use. Due to the phenomenon of global warming, the primary source of which is greenhouse gas emissions. Any activity in the production of equipment, energy, and mechanization of irrigation systems leads to the production of greenhouse gases, increasing the air temperature and crop water requirements. If the irrigation systems are evaluated from an environmental point of view, air pollutants emissions can be considered an influential factor. This issue has been neglected in the country concerning systems evaluation.

Materials and methods

In the present study, drip irrigation systems implemented in Qazvin province during 2010-2020 were randomly selected and evaluated for energy flow and greenhouse gas emissions. In this research, 17 drip irrigation systems, including pistachio, apple, peach, and nectarine crops, were randomly selected and studied in terms of energy flow and emissions of greenhouse gases. According to the energy equivalent coefficients and carbon dioxide emissions coefficient, the total input energy and carbon dioxide emissions for the drip irrigation systems were calculated. In this research, after collecting data on the drip irrigation systems, we used drilling machines, welding equipment, and manpower based on the equivalent energy extracted from the sources for each stage of equal energy in terms of Megajoules. The process of implementation and operation of the irrigation system was calculated. Then we used greenhouse gas emission coefficients for three crucial greenhouse gases: carbon dioxide, nitrogen oxide, and methane, and considered the global warming potential of each gas using the relation that "i" is The amount of carbon dioxide equivalent to the emitted from the installation and operation of the drip system.

Results and discussion

The results showed that the total annual energy consumption and carbon dioxide greenhouse gas emissions in the evaluated irrigation systems averaged 36,2022.68 MJ per hectare and 1974.07 Kg/ha, respectively. It was found that the highest contribution of energy consumption and carbon dioxide emissions, with 85% and 86%, respectively, are related to the operation stage of the pumping station system. Besides, the production and transporting of the system equipment accounted for 13% of energy consumption and 10.93% of carbon dioxide emission. According to the results of the energy calculations and carbon dioxide emissions and considering the operating period of 15 years for the drip irrigation systems, energy consumption and carbon dioxide emission are 534,035 GJ/ha and 29.611 tons/ha, respectively. These values were

calculated based on considering the processes of equipment supply, system installation, and the operation of the pumping station.

Conclusion

The findings of this study showed that the amount of energy consumed and carbon dioxide emissions in different stages of drip irrigation systems were very different. The energy consumption in the pumping station to provide the required working pressure had the largest impact. Energy consumption could be reduced by applying water consumption management, selecting pumps with higher efficiency, and avoiding imposing additional load on the network. On the other hand, due to the efficiency of electricity production in power plants in Iran and its efficiency of transmission and distribution, if the mentioned efficiencies were improved, the equivalent of energy consumption due to electricity consumption in the pumping stage would be reduced. Due to the topographic conditions and geometric shape of farms and their distance from factories producing equipment, energy consumption and subsequent carbon dioxide emissions for different farms will not be a fixed number. The impact of all practical steps except pumping energy consumption will be reduced annually.

Keywords: Drip irrigation system, Equivalent energy, Equivalent carbon dioxide, Energy flow, Global warming potential.