

مقاله علمی-پژوهشی

اثر پارامترهای اقلیمی و الگوی کشت روی تبخیرتعرق و هیدرومدول آبیاری در برخی مناطق شمال غرب ایران

مجید رئوف^{۱*}، آرش امیرزاده^۲، رئوف مصطفی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

چکیده

در کشورمان بیش از ۹۰ درصد آب، در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. در این پژوهش تغییرات مقدار آب مصرفی گیاهان الگوی کشت، در برخی از مناطق شمال غرب کشور، به صورت تابعی از پارامترهای اقلیمی استخراج شد. در گام اول، داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال جمع‌آوری شد. در گام دوم، با استفاده از نرم‌افزار Cropwat8، تبخیرتعرق گیاه مرجع چمن، در هر ایستگاه استخراج شد. الگوی کشت مناطق مورد نظر از منابع، استخراج شد. در نهایت، با استفاده از ضریب تبدیل ویبول، هیدرومدول با دوره‌های بازگشت مختلف برای هر منطقه استخراج شد. نتایج نشان داد که میانگین تبخیرتعرق گیاه مرجع مربوط به ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال به ترتیب ۳/۱۴، ۲/۸۷، ۳/۹۲، ۳/۸ و ۲/۸۹ میلی‌متر بر روز است. میانگین هیدرومدول آبیاری برای پنج منطقه به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۵۳، ۰/۵۶ و ۰/۴۹ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد. با تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال به ترتیب ۰/۰۸۵، ۰/۰۸۳، ۰/۱۶۶، ۰/۰۴۶ و ۰/۰۸ و با تابع تغییرات نمایی، به ترتیب ۰/۰۹۸، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۰۴۹ و ۰/۰۹۴ لیتر بر ثانیه بر هکتار است.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کشت، دوره بازگشت، گیاه مرجع، Cropwat8، FAO56

مقدمه

شد. به علت گسترش جمعیت و افزایش شهرنشینی، منابع آب موجود در دنیا روز به روز محدودتر می‌شود. بنابراین توجه به مقدار آب مصرفی گیاهان و الگوی کشت کشاورزی، برای به حداکثر رساندن عملکرد مزارع، از اهمیت خاصی برخوردار است (Osman et al., 2017). در این راستا استفاده از سناریوهای متفاوت کم آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک مدیریت کارآمد آب در مزرعه در جهت افزایش سطح زیر کشت، کارایی مصرف آب، درآمد اقتصادی و نیز تعیین الگوی کشت بهینه مورد استفاده قرار گیرد. کم آبیاری به‌عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آبیاری و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح است (Bouman and Tuong, 2001). در این راستا می‌توان به پژوهش‌هایی مانند گوران‌تیوار و اسموت، داغدالن و همکاران، نظری‌فر و همکاران (۱۳۹۱) و توکلی (۲۰۰۳) اشاره نمود (Gorantiwar and Smout, 2003; Dagdelen et al., 2005). از دیگر راهکارهای استفاده بهینه از آب در کشاورزی می‌توان به دیدگاه

بر اساس پیش‌بینی‌ها، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر خواهد رسید (Wise, 2013; Odegard and Van der Voet, 2014; Béné et al., 2015; Van Dijk et al., 2016). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته جمعیت کشور ایران نیز در سال ۱۴۰۴ از مرز ۸۶ میلیون نفر عبور خواهد کرد که رشد جمعیت در آن در مقایسه با بسیاری از کشورها دارای سرعت بیش‌تری است (موحدی و همکاران، ۱۳۹۱). برای افزایش جمعیت جهان و ایران یک چالش بزرگ در تولید غذا و با منابع آب و زمین محدود ایجاد خواهد

۱- استاد، گروه مهندسی آب و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: majidraoof@gmail.com)

بررسی نمودند. نیاز آبی، شاخص سود خالص بهره‌وری به ازای متر مکعب و هیدرومدول الگوی کشت محاسبه و بر اساس سه معیار، سناریوهای متفاوت کم آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد چون الگوی کشت بهینه با میزان آب مصرفی، تولید و سود بهینه در تعامل بوده از اینرو انتخاب سطوح بهینه کم آبیاری با هدف افزایش شاخص NBPD مناسب است. در بین کلیه ترکیب‌های الگوی کشت، الگوی کشتی که در آن برای محصولات لوبیا و باقلا، ۱۰ درصد کم آبیاری، برای محصولات آفتابگردان و سیب زمینی ۲۰ درصد کم آبیاری و برای محصول گندم اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در نظر گرفته شد، دارای حداکثر NBPD بود. برای این الگوی کشت سطح بهینه نسبت به سناریو آبیاری کامل ۱۱ درصد افزایش پیدا کرد. در حالی که متوسط هیدرومدول بهینه الگوی کشت منتخب نسبت به متوسط هیدرومدول آبیاری کامل حدود ۱۸ درصد کاهش نشان داد. حمادی و همکاران (۱۳۹۳)، با به کارگیری اطلاعات ۴۰ ایستگاه، هواشناسی، تبخیرسنجی و سینوپتیک به محاسبه تبخیرتقرق پتانسیل گیاه مرجع چمن، بارندگی موثر، نیاز آبی گیاهان گندم، ذرت، نیشکر، هندوانه و گوجه در استان خوزستان اقدام نموده و با اعمال راندمان‌های مختلف نیز نیاز آبی ناخالص را محاسبه نمودند. از آنجایی که محاسبات به صورت نقطه‌ای و ایستگاهی انجام گرفت، یافته‌ها با استفاده از تکنیک‌های زمین آماری در محیط GIS در سطح استان خوزستان گسترش یافت. در نهایت نشان داده شد که بهبود مصرف در راندمان‌های پایین باعث کاهش نیاز آبی بیشتر نسبت به راندمان‌های بالاتر می‌شود و لذا مدیریت مصرف در گام‌های اولیه بازدهی بیش‌تری دارد.

عواید و همکاران، به بررسی نیاز آبی، هیدرومدول آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری، با استفاده از نرم‌افزار Cropwat8، در جنوب عراق پرداختند. آن‌ها ابتدا مقدار تبخیرتقرق گیاه مرجع چمن، نیاز آبی گیاهان ذرت، گوجه فرنگی، گندم و جو را برای استان ذی‌قار، محاسبه نموده و سپس آن‌را برای کل کشور عراق تعمیم دادند. سپس با توجه به بیان روزانه رطوبتی، برنامه‌ریزی آبیاری را برای گیاهان ذکر شده تکمیل نمودند و نتیجه رگفتند که مقادیر نیاز آبیاری برای گیاهان گندم، جو، ذرت و گوجه فرنگی به ترتیب برابر ۱۱۴۲، ۲۰۳/۲، ۸۴۴/۸ و ۱۱۸۰ میلی‌متر است. تقاضای آب در فصول خشک (شامل تابستان و پاییز) بالا و در فصول مرطوب (شامل بهار و زمستان) پایین است (Ewaid et al., 2019). هم‌چنین دانگ با استفاده از نرم‌افزار Cropwat8 پارامترهای نیاز آبی، هیدرومدول، مقدار آب آبیاری خالص و ناخالص را برای گیاهان گندم زمستانه و ذرت در منطقه

آب مجازی (بابازاده و سرائی تبریزی، ۱۳۹۱)، استفاده از الگوی کشت بهینه (Osama et al, 2017; Aghajani et al, 2013; Singh and Boostan and Panda, 2012; Karamooz et al., 2012; Mohamadi, 2010) و بالا بردن راندمان آبیاری اسدزاده و رئوف، (۱۳۹۷) و (Dhehibi et al., 2007; Naroua et al., 2014) اشاره نمود. اولین قدم در تعیین میزان آب مصرفی و استفاده بهینه از آن، تعیین ارتباط بین الگوی کشت هر منطقه با آب مصرفی آن است. آب مصرفی هر منطقه و الگوی کشت آن، بر حسب دبی مورد نیاز یک هکتار سنجیده شده و به آن هیدرومدول گفته می‌شود که هزینه بسیاری از پروژه‌های آب وابسته به آن است (اسدزاده و رئوف، ۱۳۹۷). جهت آبرسانی به یک مزرعه نیاز به تاسیسات انتقال آب اعم از کانال‌ها یا لوله‌های انتقال آب است. تعیین ظرفیت کانال‌ها یا لوله‌های انتقال آب بستگی به هیدرومدول مزرعه مورد نظر داشته و این پارامتر باید به دقت برای هر منطقه استخراج شود. از یک طرف، چنان‌چه هیدرومدول یک منطقه کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شود، نیاز آبی گیاهان آن منطقه برطرف نشده و کشاورزی آن منطقه خسارت فراوانی از این مسئله خواهد دید. از طرف دیگر، چنان‌چه هیدرومدول یک منطقه بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد شود، کشاورزان در مصرف آب صرفه جویی نخواهند کرد و لذا راندمان سیستم‌های آبیاری در آن مناطق پایین خواهد آمد. لذا ایجاب می‌نماید که برای هر منطقه هیدرومدول الگوی کشت، به دقت برآورد شده و هیدرومدول الگوی کشت منطقه مورد نظر استخراج و مبنای طراحی پروژه‌های آبی قرار گیرد.

در همین راستا، اسدزاده و رئوف (۱۳۹۷) به بررسی آب مورد نیاز الگوی کشت شبکه‌های آبیاری قوریچای و بالادست کانال یامچی، واقع در دشت اردبیل پرداختند. آنها ابتدا آب مورد نیاز شبکه‌ها را برای شرایط موجود استخراج و سپس برای چهار سناریو مختلف (سناریوهای پیشنهادی با توجه به پتانسیل منطقه) این کار را تکرار نمودند. نتایج نشان داد که جایگزینی گیاه کلزا به جای سیب‌زمینی در شبکه آبیاری بالادست کانال یامچی، از نظر مصرف آب و درآمد کشاورزان، بازده بالاتری نسبت به شرایط موجود خواهد داشت. در شبکه آبیاری قوریچای جهت داشتن بهره‌وری آبی و اقتصادی بیش‌تر شبکه، الگوی کشت موجود شبکه توصیه شد. در هر دو شبکه جایگزینی گیاه چغندر قند به جای سیب‌زمینی نیز از لحاظ بهره‌وری اقتصادی قابل توجه بود. نظری‌فر و همکاران (۱۳۹۱)، سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری با رویکرد افزایش بهره‌وری مصرف آب را برای پنج محصول باقلا، لوبیا، گندم، سیب زمینی، آفتابگردان در نتیجه اعمال سه سناریوی کم آبیاری ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درصد از مدل رشد گیاهی را

زمانی، حتی الامکان از بدو تاسیس هر ایستگاه (در صورت نداشتن داده‌های ناقص یا گم شده) و انتهای دوره زمانی منتهی به سال ۲۰۲۱ شود. طول دوره زمانی در ایستگاه‌های مختلف، بر اساس به سال تاسیس متفاوت است و سعی شد که حداکثر طول دوره برای هر ایستگاه در نظر گرفته شود (Mirzaeiet al., 2014). جدول ۲ ابتدا و انتهای دوره زمانی، میانگین دما (T)، میانگین رطوبت نسبی (RH)، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (U2m)، میانگین ساعات آفتابی (n) و میانگین بارش (P) ماهانه را در کل دوره مورد بررسی هر ایستگاه نشان می‌دهد.

روش کار

جهت استخراج هیدرومدول‌های مناطق مختلف طرح، در دوره‌های بازگشت مختلف، مراحل زیر انجام شدند: در وهله اول مقادیر تشعشعات خورشیدی و تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن برای ماه‌ها و سال‌های مختلف، با وارد کردن پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی، در نرم‌افزار Cropwat، استخراج شد. اینکار برای هر پنج ایستگاه و سال‌های مندرج در جدول ۲ انجام شد. در ادامه مقادیر بارش موثر برای ماه‌های مختلف، با وارد کردن مقادیر بارندگی کل در نرم‌افزار Cropwat، استخراج شد. برای استخراج باران موثر در مناطق مورد بررسی از روش فائو استفاده شد. سپس اطلاعات مورد نیاز برای خاک و گیاهان زراعی در مرحله بعد وارد نرم‌افزار Cropwat شد. خاک تمام مناطق به صورت متوسط بافت در نظر گرفته شد. الگوی کشت ۵ منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

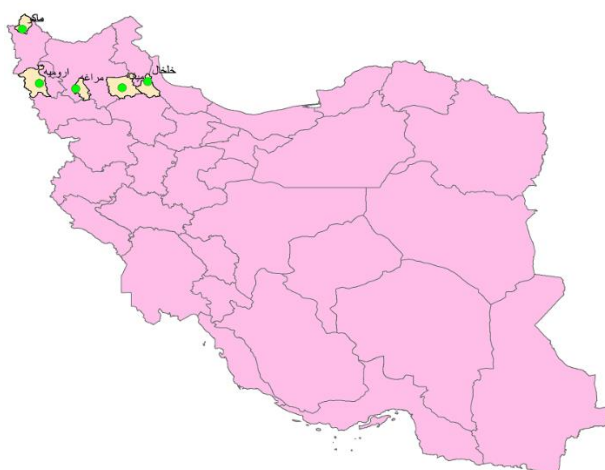
جینگیکو در کشور چین بررسی نمودند. در این پژوهش ابتدا با استفاده از پارامترهای اقلیمی ثبت شده مقادیر تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن، تبخیر تعرق گیاهان زراعی گندم و ذرت و باران موثر استخراج و سپس اقدام به محاسبه هیدرومدول آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری در طول فصل شد. نتایج نشان داد که در طول دوره آماری مورد بررسی نیاز آبیاری گیاه گندم بیش‌تر از ذرت است. مقادیر هیدرومدول ماهانه برای گیاهان ذکر شده متفاوت بوده، اما کل نیاز آبیاری گندم در طول دوره رشد ۴۴۲/۹ و ذرت ۲۹۴/۲ میلی‌متر به دست آمد (Dong, 2018).

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال (واقع در منطقه شمال غرب کشور)، استخراج تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن و تعیین نحوه تغییرات آنها، استخراج هیدرومدول آبیاری و تعیین تغییرات آنها و در نهایت تعیین هیدرومدول ماکزیمم با دوره‌های بازگشت مختلف برای ایستگاه‌های مورد بررسی است.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های مورد بررسی

در این پژوهش تعداد پنج ایستگاه سینوپتیک در منطقه شمال غرب کشور انتخاب شد. ایستگاه‌های منتخب شامل، ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال هستند. شکل ۱ موقعیت مکانی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه را در کل کشور نشان می‌دهد. جدول ۱ نیز مشخصات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های منتخب مورد بررسی را نشان می‌دهد. طول دوره زمانی مورد بررسی، در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی طوری انتخاب شد که آغاز دوره



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد بررسی در کشور

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	نوع اقلیم بر اساس طبقه‌بندی دومارتن
ارومیه	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۵/۹	نیمه‌خشک (Mrizaei et al., 2014)
ماکو	۴۴/۴۳	۳۹/۳۳	۱۴۱۱/۳	نیمه‌خشک (Mrizaei et al., 2014)
مراغه	۴۶/۲۶	۳۷/۴	۱۴۷۷/۷	نیمه‌خشک (Mrizaei et al., 2014)
میانه	۴۷/۷	۳۷/۴۵	۱۱۱۰	نیمه‌خشک (Mrizaei et al., 2014)
خلخال	۴۸/۵۲	۳۷/۶۳	۱۷۹۶	نیمه‌خشک (Mrizaei et al., 2014)

جدول ۲- میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه					
پارامتر	ارومیه	ماکو	مراغه	میانه	خلخال
ابتدای دوره	۱۹۸۲	۱۹۸۵	۱۹۸۴	۱۹۹۰	۱۹۸۸
انتهای دوره	۲۰۲۱	۲۰۲۱	۲۰۲۱	۲۰۲۱	۲۰۲۱
T (°C)	۱۱/۵۳	۱۰/۸۷	۱۳/۶۱	۱۴/۳۴	۸/۶۱
RH (%)	۵۹/۰۳	۵۶/۴۷	۴۹/۲	۵۲/۳۲	۶۲/۴۴
U2 m(m/s)	۱/۴	۱/۴۳	۲/۸۷	۱/۲۸	۲/۱۹
n (hr/d)	۷/۹۲	۶/۸۸	۷/۹۱	۸/۰۸	۷/۶۲
P (mm)	۲۶/۱	۲۵/۶۵	۲۴/۴۱	۲۲/۵۲	۳۰/۸۲

در انتها با به‌دست آمدن W یا همان مقدار تبدیل ویبول برای هر هیدرومدول، نمودار این دو پارامتر نسبت به هم ترسیم و معادله بهترین خط برازش داده شده، استخراج شد. برای تمامی ایستگاه‌ها دو معادله خطی و نمایی برازش داده شد. با داشتن معادله خط به روش عکس مرحله ۵ عمل نموده و هیدرومدول برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله استخراج شد.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع

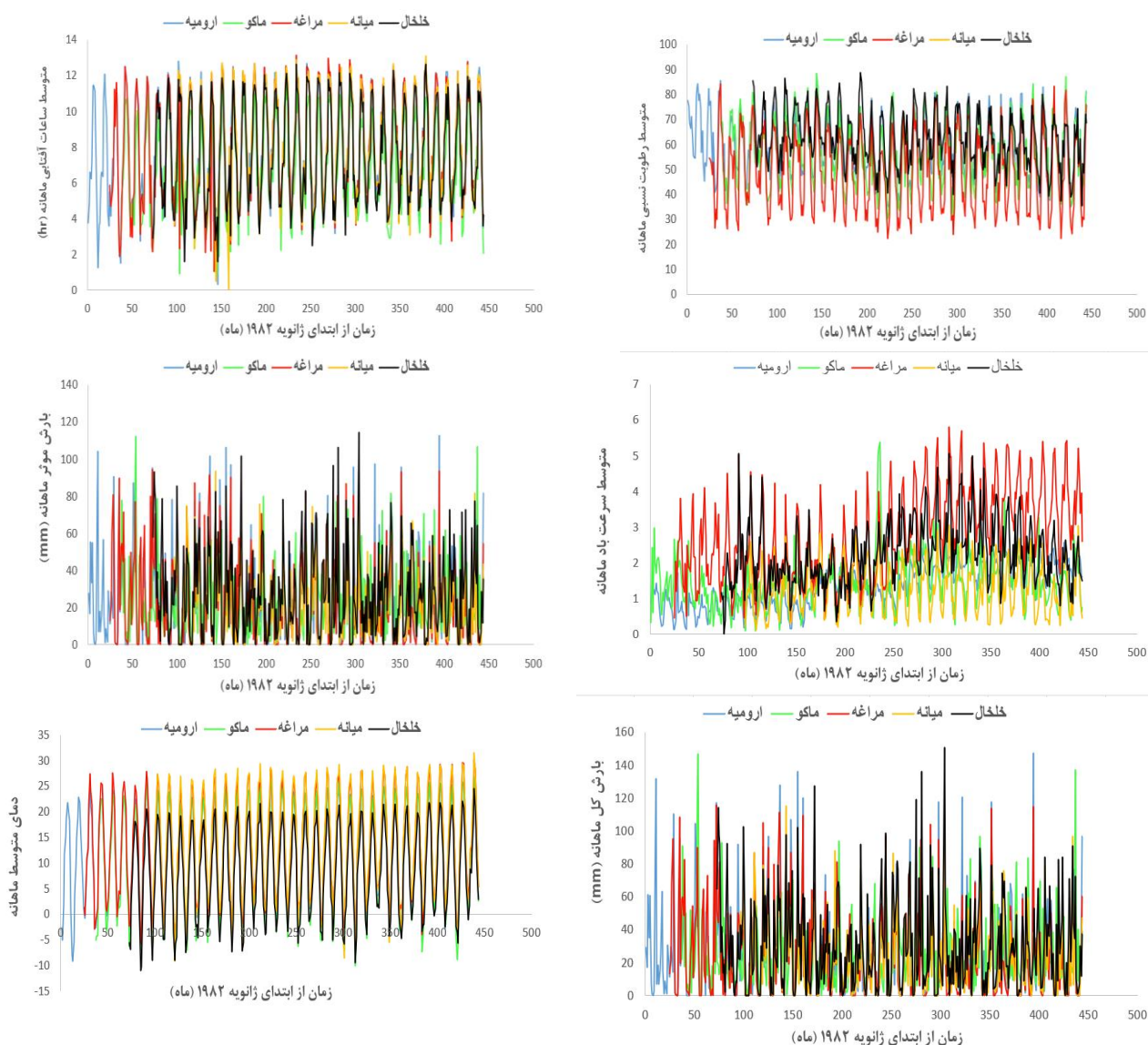
ابتدا جهت تجزیه و تحلیل پارامترهای هواشناسی، نمودار تغییرات متوسط سالانه پارامترهای دمای متوسط، رطوبت نسبی متوسط، سرعت باد متوسط روزانه، متوسط ساعات آفتابی روزانه بارندگی کل و بارش موثر ماهانه، برای کل دوره مورد نظر ترسیم شد. شکل ۲ تغییرات پارامترهای مذکور را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در مورد داده‌های اقلیمی، پایین بودن متوسط دمای ماهانه در ایستگاه‌های خلخال و ماکو و بالا بودن متوسط سرعت باد و به تبع آن پایین بودن متوسط رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه مراغه است. بقیه پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد بررسی، تقریباً به صورت یکنواخت و عاری از هر گونه روند است. بررسی میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی حاکی از آن است که سرعت باد متوسط در تمام ایستگاه‌ها افزایش نسبی دارد. همچنین رطوبت نسبی در تمام ایستگاه‌ها دارای روند نسبتاً کاهشی و پارامترهای ساعات آفتابی، بارش کل و بارش موثر دارای روند خاصی نیستند.

راندمان آبیاری در مناطق مورد نظر به طور متوسط ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). این عدد بر اساس گزارش‌های مختلف که برای پنج منطقه مورد مطالعه به‌دست آمده است، استخراج شده است. زمان آبیاری بر اساس روش تخلیه رطوبتی مجاز فائو در نظر گرفته شد. همچنین ضرایب تخلیه مجاز برای گیاهان مختلف الگوی کشت از جدول فائو مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با وارد کردن تمامی اطلاعات مورد نیاز هر منطقه، هیدرومدول هر سال در ماه‌های مختلف به‌طور جداگانه استخراج شد. در هر ایستگاه، برای هر سال یک ماه دارای هیدرومدول ماکزیمم بود. این عدد برای هر سال استخراج شده و به‌عنوان ماکزیمم هیدرومدول منطقه در آن سال در نظر گرفته شد. سپس هیدرومدول‌ها، احتمال وقوع، دوره بازگشت و تبدیل ویبول برای هر هیدرومدول (هر سال یک عدد) استخراج شد. برای اینکار ابتدا هیدرومدول‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار برای تمامی سال‌ها، به‌صورت صعودی مرتب شده و به هر یک شماره (m) داده شد. سپس درصد احتمال (P) برای هر یک از هیدرومدول‌ها با رابطه ۱ محاسبه شد. دوره بازگشت (RP)، برای احتمال‌های به‌دست آمده، از رابطه ۲ محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه ۳ مقدار تبدیل ویبول برای تمامی سال‌ها به‌دست آمد.

$$P = 1 - (m / (m_1 + 1)) \quad (1)$$

$$RP = 100/P \quad (2)$$

$$W = \log(-\log(P/100)) \quad (3)$$



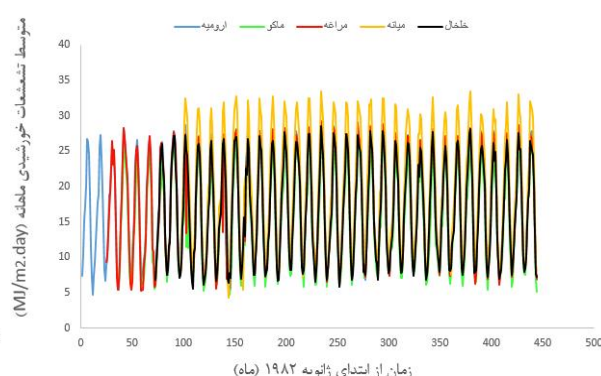
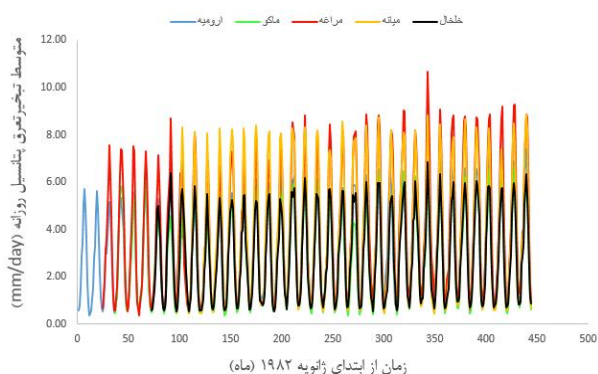
شکل ۲- تغییرات پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش کل و بارش موثر) در ایستگاه‌های مورد بررسی

تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن برای ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال، به ترتیب $۳/۱۴$ ، $۲/۸۷$ ، $۳/۹۲$ ، $۳/۸$ و $۲/۸۹$ میلی‌متر بر روز است. چنانچه انتظار می‌رود، با توجه به نزدیک بودن مناطق به همدیگر و همچنین عدم وجود اختلاف اقلیمی زیاد بین ایستگاه‌های مورد بررسی، میانگین سالانه تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن، در ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف زیادی ناست. کم بودن دمای هوا در ایستگاه‌های ماکو و خلخال، در بازه زمانی مورد بررسی باعث شده است که حداقل تابش خورشیدی و تبخیر تعرق پتانسیل در این ایستگاه‌ها ثبت شود.

شکل ۳ مقادیر تشعشعات خورشیدی و تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن را برای ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. این مقادیر از نرم‌افزار کراپ‌وات استخراج شده‌اند. مقادیر تابش خورشیدی در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی از $۴/۳ \frac{MJ}{m^2.d}$ تا $۳۳/۵ \frac{MJ}{m^2.d}$ (هر دو برای ایستگاه میانه) و مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن از $۰/۳۶ \frac{mm}{d}$ (برای ایستگاه ارومیه) تا $۱۰/۶۷ \frac{mm}{d}$ (برای ایستگاه مراغه) متغیر است. میانگین تشعشعات خورشیدی برای ایستگاه‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال به ترتیب $۱۷/۰۹$ ، $۱۵/۴۶$ ، $۱۷/۱۱$ ، $۱۹/۸۵$ و $۱۶/۷۸$ مگاژول بر مترمربع در هر روز است. هم‌چنین میانگین

جدول ۳- الگوی کشت غالب (نوع گیاه و درصد مساحت تحت کشت) مورد استفاده برای مناطق مختلف مورد بررسی

نوع گیاه	ایستگاه				
	ارومیه (%)	ماکو (%)	مراغه (%)	میانه (%)	خلخال (%)
گندم	۳۰	۲۵	۲۸	۳۶	۴
جو	۳	۴	۷	۸	۳
یونجه	۲۲	۶۴	۶۱	۳۷	۲۸
لوبیا	۲		۲		
آفتابگردان	۴	۷			
برنج				۱۰	
چغندرقد	۲				
گوجه فرنگی	۹				۲
انگور	۲۴		۴	۴	
ذرت	۴				
گردو					۵۳
هندوانه				۳	
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
منبع	جهاد کشاورزی آذربایجان غربی	جهاد کشاورزی آذربایجان غربی	جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی	جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی	جهاد کشاورزی اردبیل



شکل ۳- تغییرات پارامترهای تشعشعات خورشیدی و تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن در ایستگاه‌های مورد بررسی

بررسی تغییرات هیدرومدول

از آنجا که طراحی و اجرای پروژه‌های آبی بر اساس حداکثر میزان مصرف گیاهان زراعی صورت می‌گیرد، برای تحلیل هیدرومدول نیز حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

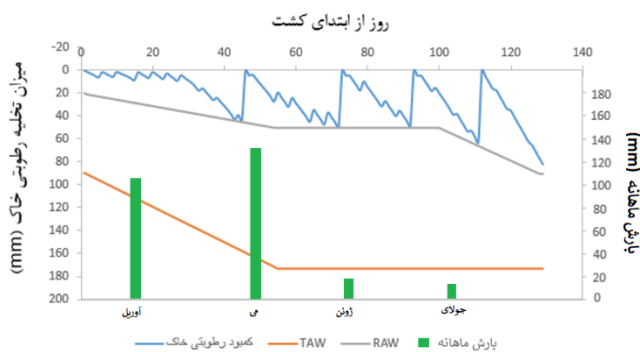
شکل ۵ حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده، برای هر سال را در پنج منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط را برای حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. چنانچه انتظار می‌رود، هیدرومدول استخراج شده برای ایستگاه‌های مورد نظر، دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای نسبت به یکدیگر نیستند. مقادیر ارائه شده در جدول ۴ نیز

برای کلیه گیاهان الگوی کشت و در تمام پنج منطقه مورد نظر برنامه‌ریزی آبیاری صورت گرفت و تعداد آبیاری‌ها برای هر گیاه از نرم‌افزار کراپ‌وات استخراج شد. برای نمونه، نمودار نشان داده شده در شکل ۴ مربوط به آبیاری گیاه سیب‌زمینی در دشت ارومیه است. آبیاری زمانی صورت گرفته که رطوبت خاک به حد رطوبت سهل‌الوصول (RAW) رسیده باشد و مقدار آبیاری تا پرکردن مقدار رطوبت تا ظرفیت زراعی انجام می‌شود. در این شکل هم‌چنین کل رطوبت قابل دسترس (TAW) نیز نشان داده شده است. چنانچه از شکل مشخص است در طول دوره رشد گیاه که ۱۲۹ روز بوده است، تعداد ۴ آبیاری نیاز بوده است.

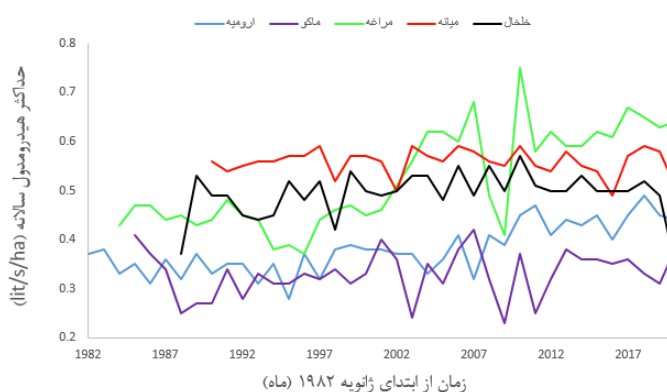
- 1- Readily Available Water
- 2- Total Available Water

چمن را برای دشت اردبیل برابر ۵/۶ میلی‌متر بر روز (معادل ۰/۶۵ لیتر بر ثانیه بر هکتار) گزارش نمودند (Raouf and Azizi, 2019)، که با توجه به نزدیک بودن آب و هوای ایستگاه‌های مورد بررسی به ایستگاه اردبیل، هیدرومدول استخراج شده با نتایج ایستگاه اردبیل مطابقت نشان می‌دهد. علت بالا بودن متوسط حداکثر سالانه هیدرومدول در ایستگاه اردبیل نسبت به ایستگاه‌های مورد پژوهش، بالا بودن سرعت متوسط باد در اردبیل است.

نشان می‌دهد که مقادیر میانگین حداکثر هیدرومدول سالانه برای ایستگاه میانه بیش‌ترین (۰/۵۶ lit/s/ha) و برای ماکو کم‌ترین (۰/۳۳ lit/s/ha) است. نظری فر و همکاران (۱۳۹۱)، طی پژوهشی حداکثر هیدرومدول آبیاری را برای اراضی تحت پوشش یک کانال درجه دو آبیاری مربوط به طرح شبکه آبیاری و زهکشی توسعه اراضی شهید چمران اهواز برابر ۱/۰۶ لیتر بر ثانیه بر هکتار استخراج نمودند. رؤف و عزیززی نیز میزان حداکثر تبخیر تعرق گیاه مرجع



شکل ۴- تغییرات رطوبت خاک در کشت سیب‌زمینی در دشت ارومیه



شکل ۵- تغییرات مقادیر حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی

جدول ۴- مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط برای حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی

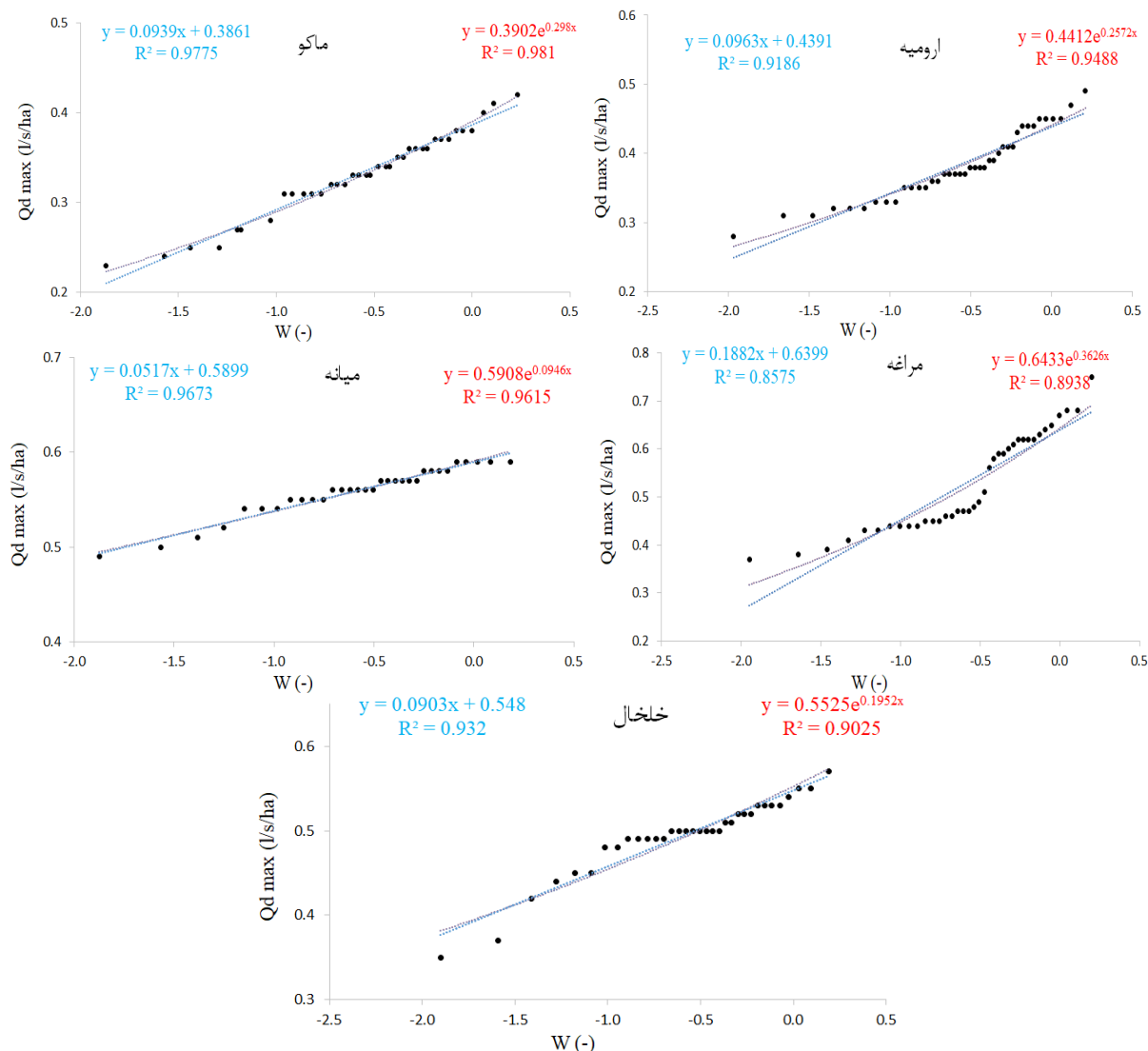
ایستگاه					پارامتر (lit/s/ha)
خلخال	میانه	مراغه	ماکو	ارومیه	
۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۲۸	حداقل حداکثر هیدرومدول سالانه
۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۴۹	حداکثر حداکثر هیدرومدول سالانه
۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۳۸	متوسط حداکثر هیدرومدول سالانه

جهت استخراج این نمودارها، ابتدا مقادیر حداکثر هیدرومدول استخراج شده برای سال‌های مختلف، به صورت صعودی مرتب شده، احتمال وقوع رخدادها و دوره بازگشت آنها محاسبه و سپس تبدیل ویبول هر یک محاسبه شده است. در تمام ایستگاه‌ها برای ایجاد ارتباط بین

از تبدیل ویبول، برای استخراج هیدرومدول‌های با دوره بازگشت مشخص (مطابق روش ارائه شده در بخش قبل)، استفاده شد. شکل ۶ تغییرات هیدرومدول آبیاری را به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W)، برای پنج ایستگاه ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال نشان می‌دهد.

تابع خطی از نمایی بالاتر به دست آمده است، اما از یک طرف، اختلاف بسیار کمی بین ضرایب رگرسیون در دو تابع وجود دارد و از طرف دیگر در تمام ایستگاه‌ها ضریب رگرسیون بیش‌تر از ۰/۸۵ و در بسیاری از آنها ضریب رگرسیون بالاتر از ۰/۹ به دست آمده است.

پارامترهای تبدیل ویبول (W) و هیدرومدول آبیاری (Qd) از برازش خطی و نمایی استفاده شده است. در سه ایستگاه ارومیه، ماکو و مراغه، تابع نمایی دارای ضریب رگرسیون بالاتری نسبت به تابع خطی بوده است. در دو ایستگاه میانه و خلخال نیز ضریب رگرسیون



شکل ۶- تغییرات هیدرومدول آبیاری به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W) برای ایستگاه‌های مورد بررسی

در تابع نمایی نیز همین موضوع صادق بوده و ایستگاه مراغه دارای بیش‌ترین نما است. در این تابع ایستگاه میانه کم‌ترین نما را دارد. با به دست آمدن معادله‌های خطی و نمایی تغییرات هیدرومدول، برای ایستگاه‌های مختلف، به ازای دوره‌های بازگشت مختلف مقادیر هیدرومدول به دوروش خطی و نمایی محاسبه گردید. جدول ۵ مقادیر هیدرومدول را به ازای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال نشان می‌دهد.

این موضوع نشان می‌دهد که هر دو تابع خطی و نمایی دارای دقت بالایی در تخمین هیدرومدول آبیاری دارند.

محور افقی در شکل ۶ (ضریب تبدیل ویبول) بیانگر سال‌های آماری یا دوره بازگشت است. شیب تابع خطی تغییرات در مراغه بیش‌ترین و در میانه کم‌ترین مقدار را دارد که بیان می‌کند که با افزایش دوره بازگشت یا کاهش احتمال وقوع، افزایش هیدرومدول آبیاری در مراغه دارای شیب بیش‌تری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها است.

جدول ۵- مقادیر هیدرومدول را به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (لیتر بر ثانیه بر هکتار)

نوع تابع	ایستگاه	دوره بازگشت (سال)						میانگین	
		۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵		
خطی	ارومیه	۰/۴۴۴	۰/۴۷۴	۰/۴۶۸	۰/۴۶۱	۰/۴۵۳	۰/۴۳۹	۰/۴۲۴	۰/۳۸۹
	ماکو	۰/۳۹۱	۰/۴۲	۰/۴۱۴	۰/۴۰۸	۰/۳۹۹	۰/۳۸۶	۰/۳۷۲	۰/۳۳۷
	مراغه	۰/۶۴۹	۰/۷۰۸	۰/۶۹۶	۰/۶۸۳	۰/۶۶۷	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۴۲
	میانه	۰/۵۹۲	۰/۶۰۹	۰/۶۰۵	۰/۶۰۲	۰/۵۹۷	۰/۵۹	۰/۵۸۲	۰/۵۶۳
	خلخال	۰/۵۵۳	۰/۵۸۱	۰/۵۷۵	۰/۵۶۹	۰/۵۶۱	۰/۵۴۸	۰/۵۳۴	۰/۵
نمایی	ارومیه	۰/۴۴۸	۰/۴۸۴	۰/۴۷۷	۰/۴۶۸	۰/۴۵۸	۰/۴۴۱	۰/۴۲۴	۰/۳۸۶
	ماکو	۰/۳۹۸	۰/۴۳۴	۰/۴۲۷	۰/۴۱۸	۰/۴۰۷	۰/۳۹	۰/۳۷۳	۰/۳۳۴
	مراغه	۰/۶۵۹	۰/۷۳۳	۰/۷۱۷	۰/۶۹۹	۰/۶۷۸	۰/۶۴۳	۰/۶۰۸	۰/۵۳۲
	میانه	۰/۵۹۴	۰/۶۱۱	۰/۶۰۸	۰/۶۰۴	۰/۵۹۹	۰/۵۹۱	۰/۵۸۲	۰/۵۶۲
	خلخال	۰/۵۵۹	۰/۵۹۳	۰/۵۸۶	۰/۵۷۹	۰/۵۶۸	۰/۵۵۲	۰/۵۳۶	۰/۴۹۹

موجود استخراج شد. چنانچه سازه‌های ذخیره، توزیع و انتقال آب، برای دوره‌های بازگشت حداقل ۵۰ سال طراحی و مورد بهره‌برداری قرار گیرند برای دشت‌های ارومیه، ماکو، مراغه، میانه و خلخال، مقدار هیدرومدول طرح باید به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴، ۰/۶۸، ۰/۶ و ۰/۵۷ لیتر بر ثانیه بر هکتار در نظر گرفته شود. ایستگاه ماکو به دلیل داشتن آب و هوای سرد و خشک و بالا بودن ارتفاع خود، دارای کم‌ترین و ایستگاه مراغه با داشتن آب و هوای گرمتر، دارای بیش‌ترین مقدار هیدرومدول بوده است. با احتساب تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه ارومیه ۰/۰۸۵ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۲۲/۳ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های ماکو، مراغه، میانه و خلخال به ترتیب ۰/۰۸۵، ۰/۱۶۶، ۰/۰۴۶ و ۰/۰۸ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد که معادل افزایش ۲۴/۹۴، ۳۱/۵۲، ۶/۹ و ۱۶/۱۴ درصد نسبت به میانگین است. با احتساب تابع تغییرات نمایی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه ارومیه ۰/۰۹۸ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۲۵/۸۱ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های ماکو، مراغه، میانه و خلخال به ترتیب ۰/۱، ۰/۲، ۰/۰۴۹ و ۰/۰۹۴ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد که معادل افزایش ۳۰/۲۴، ۳۸/۱۲، ۷/۴۱ و ۱۹ درصد نسبت به میانگین است. با در نظر گرفتن تابع تغییرات خطی و نظر به اینکه با افزایش دوره بازگشت (حتی تا ۲۰۰ سال)، هیدرومدول آبیاری دچار تغییرات زیادی نمی‌شود (حدود ۲۰ درصد میانگین) پیشنهاد می‌شود که ساخت ابنیه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب در دشت‌های مورد بررسی با احتمال وقوع کم (دوره بازگشت بالا) طراحی و اجرا شود، زیرا هم افزایش هزینه‌ها

چنانچه از جدول ۵ مشخص است فقط در دوره بازگشت ۲ سال، تابع خطی مقدار هیدرومدول آبیاری را بیش‌تر از تابع نمایی تخمین می‌زند. در دوره بازگشت ۵ سال تابع خطی و نمایی، مقدار هیدرومدول را تقریباً برابر با هم تخمین زده است. در دوره‌های بازگشت بالاتر (شامل ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) تابع نمایی مقدار هیدرومدول را بیش‌تر از تابع خطی تخمین زده است. در دوره‌های بازگشت ۵ و ۱۰ سال، نتایج حاصل از تابع خطی و نمایی بسیار نزدیک به هم به دست آمده است. کم‌ترین مقدار هیدرومدول در ایستگاه ماکو و برای دوره بازگشت ۲ سال (برابر ۰/۳۳۴ لیتر بر ثانیه بر هکتار) و بیش‌ترین مقدار برای ایستگاه مراغه و برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال (برابر ۰/۷۳۳ لیتر بر ثانیه بر هکتار) به دست آمده است. میانگین هیدرومدول محاسبه شده به دو روش خطی و نمایی، در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ندارند. میانگین هیدرومدول محاسبه شده برای پنج ایستگاه مورد بررسی با تابع خطی برابر ۰/۵۲۶ و با تابع نمایی برابر ۰/۵۳۲ لیتر بر ثانیه بر هکتار استخراج شد که اختلاف معنی‌داری با همدیگر نشان نمی‌دهد. از مهم‌ترین عوامل پایین بودن هیدرومدول در ایستگاه ماکو سردی کوهستانی بودن این منطقه است.

نتیجه‌گیری

مقدار آب مصرفی گیاهان و در نتیجه هیدرومدول آبیاری در بسیاری از پروژه‌های مربوط به انتقال و توزیع آب، تأثیر زیادی بر حجم پروژه و در نتیجه هزینه آن دارد، در این پژوهش میانگین هیدرومدول آبیاری برای پنج ایستگاه ذکر شده به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۳۳، ۰/۵۳، ۰/۵۶ و ۰/۴۹ لیتر بر ثانیه بر هکتار برای سال‌های آماری

- Agricultural Water Management. 82(1-2):63-85.
- Dhehibi, B., Lachaal, L. and Elloumi, M. 2007. Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: an application on citrus producing farms in Tunisia. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 1: 1-15.
- Dong, Q. 2018. Study on the Crop Irrigation Water Requirement Based on Cropwat in Jinghuiqu Irrigation Area. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 394, 2, 022037. IOP Publishing.
- Ewaid, S. H., Ali Abed, S. and Al-Ansari, N. 2019. Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in Southern Iraq. *Water*. 11(4):, 756.
- Wise, T.A. 2013. Can we feed the world in 2050? A scoping paper to assess the evidence. *Global Development and Environment Institute Working Paper*. (13-04).
- Gorantiwar, S. D. and Smout, I.K. 2003. Allocation of scarce water resources using deficit irrigation in rotational systems. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 129(3): 155-163.
- Karamouz M, Ahmadi, B. and Zahmatkesh, Z. 2012. Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 139(4): 349-363.
- Mirzaei, S., Raoof, M., Ghasemi, A., Esmali, A., Etaati, H. and Moradnezehadi, M. 2014. Determination of some simple methods for outlier detection in maximum daily rainfall (case study: Baliglichay Watershed Basin–Ardebil Province–Iran). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 3 (3): 110-117.
- Naroua, I., Rodríguez Sinobas, L., and Sánchez Calvo, R. 2014. Water use efficiency and water productivity in the Spanish irrigation district, Río Adaja? *International Journal of Agricultural Policy and Research*. 2(12): 484-491.
- Odegard, I. Y. R. and Van der Voet, E. 2014. The future of food—Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. *Ecological Economics*. 97: 51-59.
- Osama, S., Elkholy, M. and Rawya Kansoh, M. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*. 56(4): 557-566.
- Raouf, M. and Azizi, J. 2019. Reference Evapotranspiration Estimation Using Locally Adjusted Coefficient of Angstrom's Radiation Model in an Arid-Cold Region. *Journal of Agricultural Water Management*. 82(1-2):63-85.
- آن‌چنان بالا نبوده و هم اینکه در زمان انتقال و توزیع آب می‌توان با خطر کم‌تری این کار را انجام داد.
- ### منابع
- اسدزاده، ح. و رئوف، م. ۱۳۹۷. مقایسه کارایی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری بارانی و هیدروفلوم (مطالعه موردی: دشت اردبیل). مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۱): ۶۸-۵۵.
- بابازاده، ح. و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶ (۴): ۴۹۹-۴۸۵.
- حمادی، ک.، ذاکری حسینی، ف.، حسین زاده ساداتی، م. و اله‌دین، س. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی در استان خوزستان. علوم و مهندسی آب. ۹: ۱۶-۷.
- عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۴. راندمان‌های آبیاری، تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. گزارش کامل. ویرایش سوم. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۵۲ ص.
- موحدی، س.، حیدری ناصر آباد، ب.، هاشمی عنا، ک. و رنجبر، ف. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان. فضایی جغرافیایی. ۴: ۷۳-۶۴.
- نظری‌فر، م.، ه.، بهبهانی، م. ر. و مومنی، ر. ۱۳۹۱. ارزیابی سناریوهای متفاوت کم‌آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم‌آبیاری. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۵ (۲): ۹۱-۱۰۵.
- Aghajani, A., Bidabadi, F. S., Joolaei, R. and Keramatzadeh, A. 2013. Managing cropping patterns agricultural crops of three counties of Mazandarn province of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5: 596-611.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Andersen, P., Merino, G., Hemre, G. I. and Williams, M. 2015. Feeding 9 billion by 2050—Putting fish back on the menu. *Food Security*. 7(2): 261-274.
- Bouman, B.A.M., van Keulen, H., van Laar, H.H. and Rabbinge, R. 1996. The school of de Wit'crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural Systems*. 52:171-198.
- Macaulay, I.C., and Voet, T. 2014. Single cell genomics: advances and future perspectives. *PLoS genetics*, 10(1), e1004126.
- Dagdelen, N. Yilmaz, E., Sezgin, F. and Gurbuz, T. 2005. Water yield relation and water use efficiency of cotton and second crop corn in western Turkey.

- nitrogen on yield and yiled components of wheat. Scientific Journal of Agriculture. 26(2): 75-87.
- Van Dijk, M., Mandryk, M., Gramberger, M., Laborde, D., Shutes, L., Stehfest, E., Valin, H. and Zellmer, K. 2016. Scenarios to explore global food security up to 2050: Development process, storylines and quantification of drivers. No. 2201-2019-1562.
- Agricultural Science and Technology. 21(2): 487-499.
- Singh, A. and Panda, S.N. 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return, Agricultural Water Management. 115: 267-275.
- Tavakoli, A. 2003. The impact of deficit irrigation and

Effect of Climatic Parameters and Cultivation Pattern on Evapotranspiration and Irrigation Hydromodulus in Some Areas of Northwest Iran

M. Raof^{1*}, A. Amirzadeh², R. Mostafazadeh³
Received: Apr.30, 2023 Accepted: July.21, 2023

Abstract

In our country, more than 90% of water, is used in agriculture. The aim of this research, is to extract the changes of cultivation pattern water use, in some regions of the northwest of the country, as a function of climatic parameters. In first step, the meteorological data of Urmia, Makoo, Maragheh, Mianeh and Khalkhal stations were collected. In second step, using Cropwat 8 software, the grass evapotranspiration, as the reference plant, was extracted at each station. The cultivation pattern of the desired areas was also extracted from the sources. In the last step, using the Weibull transformation coefficient, the hydromodulus with different return periods was extracted for each region. The results showed that the average of grass potential evapotranspiration as reference plant, for Urmia, Makoo, Maragheh, Mianeh and Khalkhal stations was 3.14, 2.87, 3.92, 3.8 and 2.89 mm/day respectively. The average irrigation hydromodulus of five mentioned areas, was obtained 0.38, 0.33, 0.53, 0.56 and 0.49 l/s/ha respectively. By taking the linear changes function, by changing the return period from 2 to 200 years and reducing the occurrence probability, the amount of irrigation hydromodulus in Urmia, Makoo, Maragheh, Mianeh and Khalkhal stations was increased 0.085, 0.083, 0.166, 0.046 and 0.8 l/s/ha, respectively, and by taking the exponential changes function, also, was increased 0.098, 0.1, 0.2, 0.049 and 0.094 l/s/ha respectively.

Keywords: Cropwat8, FAO56, Planting date, Reference plant, Return period

1- Professor., Water Engineering Dept. and Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Ph.D Student, Water Engineering Dept., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Associate Professor., Natural Resources Dept. and Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: majidraof@gmail.com)