Water and Soil Science, Vol.33, NO.4, Winter 2023, pp. 85-99.

DOI: 10.22034/ws.2021.46181.2417 ISSN:2717-3755 https://water-soil.tabrizu.ac.ir/

Research Article

Investigating the Irrigation Hydromodul Changes in Different Climatic Conditions and Cultivation Patterns

Majid Raoof *

Received: July 23, 2021 Accepted: January 29, 2023
Revised: November 30, 2021 Published online: December 22, 2023

Assoc. Prof., Water Engineering Dept. and Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
*Corresponding Author, Email: majidraoof@gmail.com

Abstract

Background and Objectives

Most of the water consumed in Iran is allocated to the agricultural sector. The world's population will reach about 9 billion by 2050. The population of our country will exceed 86 million in 1404, in which population growth is faster than many other countries. For the exponential and rapid growth of population of the world and Iran, a great challenge will be created in food production with limited water and land resources. Due to population growth and urbanization, water resources in the world are becoming more and more limited. Therefore, paying attention to the amount of water consumed by plants and agricultural cultivation pattern, to maximize the yield of farms, is one of particular importance. Determining the capacity of canals or water pipes depends on the irrigation hydromodule and this parameter must be carefully extracted for each area. On the one hand, if the irrigation hydromodule of an area is estimated to be less than the actual value, water requirement of the plants, will not be met and the agriculture will suffer a lot from this issue. On the other hand, if the irrigation hydromodule of an area is estimated to be higher than the actual value, farmers will not save water and therefore the efficiency of irrigation systems will decrease. Therefore, it is required that for each area, the cultivation pattern and irrigation hydromodule should be carefully estimated and the combined hydromodule should be extracted and be the basis for designing irrigation projects.

Methodology

In this research, according to meteorological data, the rate of evapotranspiration and finally the irrigation hydromodule for some stations in the country is determined. Climatic data of Ardabil, Ahvaz, Qazvin, Kerman and Mashhad stations were collected and the evapotranspiration values of grass, as reference plant, were extracted using Cropwat8 software. The climatic data period in different stations was chosen so that the beginning of the period, as far as possible from the establishment of each station (in the absence of incomplete or missing data) and the end of the period ending in 2015. The length of the period in different stations varies depending on the year of establishment and it was tried to consider the maximum length of the period for each station. The cultivation pattern of the desired areas was extracted from the sources. The changes trend in climatic parameters, rainfall and evapotranspiration of the reference plant of each region were determined. Hydromodules, probability of occurrence, return period and Weibull conversion were extracted for each hydromodule (one per year). Firstly, obtained irrigation hydromodules from the Cropwat8 software for all the years were sorted in ascending order and each one was given a number (m). Then the probability percentage (P%) was calculated for each of the hydromodules. The return period (RP) was calculated for the various probabilities. Finally, using the Weibull conversion coefficient, irrigation hydromodules with different return periods were extracted for each region.

Findings

The results showed that the average evapotranspiration of the grass, as reference plant, for Ardabil, Ahvaz, Qazvin, Kerman and Mashhad stations were calculated 2.87, 5.75, 3.79, 5.4- and 2.49-mm d^{-1}, respectively.

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

The average irrigation hydromodules for the five mentioned stations were 0.66, 0.99, 0.75, 1.1 and 0.71 L s^{-1} ha^{-1}, respectively. Using the linear variation function, in return periods of 2 to 200 years, the irrigation hydromodule values in Ardabil, Ahvaz, Qazvin, Kerman and Mashhad stations varies from 0.673 to 0.768, 1.023 to 1.22, 0.76 to 0.861, 1.095 to 1.248 and 0.7 to 0.759 L s^{-1} ha^{-1}, respectively. Using the exponential variation function, in the return periods of 2 to 200 years, the irrigation hydromodule values in Ardabil, Ahvaz, Qazvin, Kerman and Mashhad stations varies from 0.665 to 0.775, 1 to 1.249, 0.754 to 0.867, 1.086 to 1.255 and 0.695 to 0.761 L s^{-1} ha^{-1}, respectively. Taking the linear change function, by changing the return period from 2 to 200 years and reducing the probability of occurrence, the amount of irrigation hydromodule in Ardabil, Ahvaz, Qazvin, Kerman and Mashhad stations were increased 0.148, 0.303, 0.156, 0.237 and 0.092 Ls^{-1} ha^{-1}, respectively that is equivalent to 19.27, 24.84, 18.11, 19 and 12.12 percent, respectively. Also, considering the exponential change function, the amount of irrigation hydromodule in the mentioned stations were increased 0.173, 0.391, 0.177, 0.267 and 0.55 L s^{-1} ha^{-1}, respectively that is equivalent to 22.32, 39.1, 23.47, 21.27 and 13.98 percent of the average. In short return periods (including 2, 5 and in some stations 10 years), the linear function estimates the amount of irrigation hydromodule more than the exponential function. At higher return periods (including 25, 50, 100, and 200 years), the exponential function estimates the amount of irrigation hydromodule more than the linear function. In the intermediate return periods (including 10 and 25) the results of the linear and exponential functions are very close to each other.

Conclusion

The lowest amount of hydromodule was obtained in Ardabil station for a return period of 2 years and the highest amount was obtained for Ahvaz station for a return period of 200 years. Taking the linear changes function and considering that with increase in return period (even up to 200 years), the irrigation hydromodule does not change much (about 20% of the average), it is suggested that the construction of water storage, transmission and distribution buildings should be designed and implemented with low probability of occurrence (high return period).

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

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۳ شماره ۴ صفحه‌های ۸۵ تا ۹۹/ سال ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات هیدرومدول آبیاری در شرایط آب و هوایی و الگوهای کشت متفاوت

مجید رئوف *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

تاریخ ویرایش:۱۴۰۰/۰۹/۰۹ تاریخ انتشار انلاین :۱۴۰۲/۱۰/۰۱

دانشیار، گروه مهندسی آب و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidraoof2000@gmail.com

چکیده

حجم اعظم آب مصرفی در ایران به بخش کشاورزی اختصاص دارد. در این تحقیق سعی بر آن است که با توجه به داده‌های هواشناسی، میزان تبخیر-تعرق و در نهایت هیدرومدول آبیاری برای برخی از ایستگاه‌های کشور تعیین گردد. داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد جمع‌آوری و با استفاده از نرم افزار Cropwat8 مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن استخراج شد. الگوی کشت مناطق مورد نظر از منابع، استخراج شد. نحوه تغییرات پارامترهای اقلیمی، بارش و تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن هر منطقه بررسی شد. در نهایت با استفاده از ضریب تبدیل ویبول، هیدرومدول با دوره بازگشتهای مختلف برای هر منطقه استخراج گردید. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن برای ایستگاه‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب ۲/۸۷، ۵/۷۵، ۳/۷۹، ۵/٤ و ۲/٤۹ میلی‌متر بر روز می‌باشد. میانگین هیدرومدول آبیاری برای پنج ایستگاه ذکر شده به ترتیب ۰/٦٦، ۰/۹۹، ۰/۷۵، ۱/۱ و ۰/۷۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد. با احتساب تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب ۰/۱٤۸، ۰/۳۰۳، ۰/۱٥٦، ۰/۲۳۷ و ۰/۰۹۲ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۹/۲۷، ۲٤/۸٤، ۱۸/۱۱، ۱۹ و ۱۲/۱۲ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. همچنین با احتساب تابع تغییرات نمایی، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب ۰/۱۷۳، ۰/۳۹۱، ۰/۱۷۷، ۰/۲٦۷ و ۰/۱۰٥ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۲۲/۳۲، ۳۹/۱، ۲۳/٤۷، ۲۱/۲۷ و ۱۳/۹۸ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کشت، تبخیر-تعرق، دوره بازگشت، گیاه مرجع، Cropwat8

مقدمه

جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر خواهد رسید (فائو ۲۰۰۹، اُدگارد وندروت ۲۰۱٤، بنه و همکاران ۲۰۱٤، ون دیک و همکاران ۲۰۱٦). بر اساس تحقیقات صورت گرفته جمعیت کشورمان نیز در سال ۱٤۰٤ از مرز ۸٦ میلیون نفر عبور خواهد کرد که رشد جمعیت در آن در مقایسه با بسیاری از کشورها دارای سرعت بیشتری می‌باشد (محمودی و همکاران ۲۰۱۲). برای رشد نمایی و سریع جمعیت جهان و ایران یک چالش بزرگ در تولید غذا و با منابع آب و زمین محدود ایجاد خواهد شد. به علت گسترش جمعیت و افزایش شهرنشینی، منابع آب موجود در دنیا روز به روز محدودتر می‌گردد. بنابراین توجه به مقدار آب مصرفی گیاهان و الگوی کشت کشاورزی، برای به حداکثر رساندن عملکرد مزارع، از اهمیت خاصی برخوردار است (عثمان و همکاران ۲۰۱۷). در کشورمان، از آب مصرفی در بخش کشاورزی، به ویژه در سال‌های اخیر، در برنامه ریزی کلان کشور استفاده نشده است (ناصری و همکاران ۲۰۱۷). در این راستا استفاده از سناریوهای متفاوت کم آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به عنوان یک مدیریت کارآمد آب در مزرعه برای افزایش سطح زیر کشت، کارآیی مصرف آب، درآمد اقتصادی و نیز تعیین الگوی کشت بهینه مورد استفاده قرار گیرد. کم آبیاری به عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آبیاری و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح است (بومن و تونگ ۲۰۰۱). در این راستا می‌توان به تحقیقاتی مانند گورانتیوار و اسموت (۲۰۰۲)، داگدلن و همکاران (۲۰۰۵)، توکلی (۲۰۰۳)، نظری‌فر و همکاران (۲۰۱۲)، شیرشاهی و همکاران (۲۰۲۰) و ثانی و دشتی (۲۰۲۱) اشاره نمود. از دیگر راهکارهای استفاده بهینه از آب در کشاورزی می‌توان به دیدگاه آب مجازی (بابازاده و سرائی تبریزی ۲۰۱۲)، استفاده از الگوی کشت بهینه (عثمان و همکاران ۲۰۱۷، آقاجانی و همکاران ۲۰۱۳، سینگ و پاندا ۲۰۱۲، کارآموز و همکاران ۲۰۱۲ و بوستانی و همکاران ۲۰۱۰) و بالا بردن راندمان آبیاری (اسدزاده و رئوف ۲۰۱۸، دیهیبی و همکاران ۲۰۰۷ و ناروآ و همکاران ۲۰۱٤) 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 می‌باشد. برای آبرسانی به یک مزرعه نیاز به تاسیسات انتقال آب اعم از کانالها یا لوله های انتقال آب می‌باشد. تعیین ظرفیت کانال ها یا لوله های انتقال آب بستگی به هیدرومدول مزرعه مورد نظر داشته و این پارامتر بایستی به دقت برای هر منطقه استخراج گردد. از یک طرف، چنانچه هیدرومدول یک منطقه کمتر از مقدار واقعی برآورد گردد، 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 گردد، کشاورزان در مصرف آب صرفه جویی نخواهند کرد و لذا راندمان سیستم های آبیاری در آن مناطق پایین خواهد آمد. لذا ایجاب می نماید که برای هر منطقه هیدرومدول الگوی کشت، به دقت برآورد شده و هیدرومدول ترکیبی استخراج و مبنای طراحی پروژه‌های آبی قرار گیرد (بی نام ۲۰۰٦).

اسدزاده و رئوف (۲۰۱۸) 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. برای ارزیابی مدیریت آبیاری و کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب در شبکه‌ها از شاخص‌های عرضه

نسبی آبیاری سالانه (ARIS[1])،عرضه نسبی آب سالانه (ARWS[2]) و عرضه بارش نسبی (RRS[3])، بهره‌وری آب (WP[4])، بهره‌وری آب آبیاری (IWP[5])، بهره‌وری اقتصادی از جمله سود ناخالص به ازای واحد حجم آب (BPD[6]) و سود خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD[7]) استفاده شد. نتایج نشان داد که جایگزینی گیاه کلزا به جای سیب زمینی در شبکه آبیاری بالادست کانال یامچی، از نظر مصرف آب و درآمدکشاورزان، بازده بالاتری نسبت به شرایط موجود خواهد داشت. در شبکه آبیاری قوریچای برای داشتن بهره‌وری آبی و اقتصادی بیشتر شبکه، الگوی کشت موجود شبکه توصیه گردید. در هر دو شبکه جایگزینی گیاه چغندرقند به جای سیب زمینی نیز از لحاظ بهره‌وری اقتصادی قابل توجیه بود. نظری‌فر و همکاران (۲۰۱۲)، سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری با رویکرد افزایش بهره وری 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 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 بیشتر نمودن شاخص NBPD مناسب می‌باشد. 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 حالیکه متوسط هیدرومدول بهینه الگوی کشت منتخب نسبت به متوسط هیدرومدول آبیاری کامل حدود ۱۸درصد کاهش نشان داد. حمادی و همکاران (۲۰۱٤)، با به کارگیری اطلاعات بیش از ٤۰ ایستگاه، هواشناسی، تبخیرسنجی و سینوپتیک به محاسبه تبخیر-تعرق 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 گام های اولیه بازدهی بیشتری دارد. اِواید و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی نیاز آبی، هیدرومدول آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری، با استفاده از نرم افزار Cropwat8، در جنوب عراق پرداختند. آنها ابتدا مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن، نیاز آبی گیاهان ذرت، گوجه فرنگی، گندم و جو را برای استان ذی‌قار[8]، محاسبه نموده و سپس آنرا برای کل کشور عراق تعمیم دادند. سپس با توجه به بیلان روزانه رطوبتی، برنامه ریزی آبیاری را برای گیاهان ذکر شده تکمیل نمودند. نتایج نشان داد که مقادیر نیاز آبیاری برای گیاهان گندم، جو، ذرت و گوجه فرنگی به ترتیب برابر ۱۱٤۲، ۲۰۳/۲،

1 Annual Relative Irrigation Supply
2 Annual Relative Water Supply
3 Relative Rainfall Supply
4 Water Productivity
5 Irrigation Water Productivity
6 Benefit Per Drop
7 Net Benefit Per Drop
8 Dhi-Qar

۸٤٤/۸ و ۱۱۸۰ میلیمتر می باشد. تقاضای آب در فصول خشک (شامل تابستان و پاییز) بالا و در فصول مرطوب (شامل بهار و زمستان) پایین است. دونگ (۲۰۱۸)، با استفاده از نرم افزار Cropwat8 پارامترهای نیاز آبی، هیدرومدول، مقدار آب آبیاری خالص و ناخالص را برای گیاهان گندم زمستانه و ذرت در منطقه جینگیکو کشور چین بررسی نمودند. در این تحقیق 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 برنامه ریزی آبیاری در طول فصل شد. نتایج نشان داد که در طول دوره آماری مورد بررسی نیاز آبیاری گیاه گندم بیشتر از ذرت می باشد. مقادیر هیدرومدول ماهانه برای گیاهان ذکر شده متفاوت بوده، اما کل نیاز آبیاری گندم در طول دوره رشد ٤٤٢/۹ و ذرت ۲۹٤/۲ میلیمتر به دست آمد.

هدف از این تحقیق بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد (به ترتیب مراکز استان‌های اردبیل، خوزستان، قزوین، کرمان و خراسان رضوی)، استخراج تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن و هیدرومدول آبیاری و تعیین تغییرات آنها و در نهایت تعیین هیدرومدول حداکثر با دوره‌های بازگشت مختلف برای ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های مورد بررسی

در این تحقیق تعداد پنج ایستگاه سینوپتیک در مناطق و اقلیم‌های متفاوت انتخاب گردید. ایستگاه‌های منتخب شامل، اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد می‌باشند. 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 زمانی، حتی الامکان از بدو تاسیس هر ایستگاه (در صورت نداشتن داده‌های ناقص یا گم شده) و انتهای دوره زمانی منتهی به سال ۲۰۱۵ گردد. طول دوره زمانی در ایستگاه‌های مختلف، بسته به سال تاسیس متفاوت می‌باشد و سعی گردید که حداکثر طول دوره برای هر ایستگاه در نظر گرفته شود. 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. داده های مورد استفاده، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شدند.

روش کار

روش‌انجام کار به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. اطلاعات اقلیمی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی، در نرم‌افزار Cropwat وارد و مقادیر تشعشع خورشیدی و تبخیر-تعرق مرجع برای ماه‌ها و سال‌های مختلف استخراج شد. اینکار برای هر پنج ایستگاه و سال‌های مندرج در جدول ۲ انجام شد.

شکل ۱- موقعیت 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
اردبیل	٤٨/١٧	٣٨/١٥	١٣٣٢	سرد و خشک (میرزائی ٢٠١٤)
اهواز	٤٨/٦٥	٣١/٣	١٢	گرم و خشک (موحد و همکاران ٢٠١٢)
قزوین	٥٠/٣	٣٦/١٥	١٢٧٩	سرد و نیمه خشک (هدایتی دزفولی و کاکاوند ٢٠١٢)
کرمان	٥٦/٥٨	٣٠/١٥	١٧٥٣/٨	خشک و بیابانی (نشاط و سجادی بمی ٢٠١٦)
مشهد	٥٩/٦٣	٣٦/١٦	٩٩٩	نیمه خشک (تفاخری و طاهری ٢٠١٦)

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

پارامتر	ایستگاه				
	اردبیل	اهواز	قزوین	کرمان	مشهد
ابتدای دروه	١٩٨٥	١٩٧٠	١٩٧٥	١٩٧٨	١٩٦١
انتهای دوره	٢٠١٨	٢٠١٨	٢٠١٨	٢٠١٨	٢٠١٨
T (°C)	٩/٥	٢٦/٢	١٣/٩٦	١٥/٧١	١٤/٦٨
RH (%)	٧٣	٤٣/٣	٥٢/٢	٣٢/٦	٥٢/٥
U2 m(m s^{-1})	٣/٩	١/٦	١/٨	٣/٠٢	٢/٤٦
n (hr d^{-1})	٦/٨٥	٧/٤٦	٨/١٨	٨/٦٨	٧/٨٧
P (mm)	٢٢/٤٧	١٩/٢٥	٢٤/١٧	١١/٧٧	٢٠/٨٢

۲. برای ماه‌ها و سال‌های مختلف مقادیر بارندگی کل وارد نرم‌افزار Cropwat شده و مقادیر بارش موثر برای ماه‌های مختلف استخراج شد. برای استخراج باران موثر در مناطق مورد بررسی از روش فائو استفاده شد.

۳. 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. جدول ۳ نیز الگوی کشت ٥ منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. در ایستگاه اهواز به علت اقلیم منطقه و موجودیت آب برخی از مساحت‌ها دو بار در سال کشت می‌شود و به این دلیل مجموع مساحت‌های موجود در الگوی کشت بیشتر از ۱۰۰ درصد بوده است. راندمان آبیاری در مناطق مورد نظر به طور متوسط ٦٠ درصد در نظر گرفته شد. این عدد بر اساس گزارش‌های مختلف که برای پنج منطقه مورد مطالعه به دست 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.

٤. با وارد کردن تمامی اطلاعات مورد نیاز هر منطقه، هیدرومدول هر سال در ماه‌های مختلف بطور جداگانه استخراج شد. در هر ایستگاه، برای هر سال یک ماه دارای هیدرومدول ماکزیمم بود. این عدد برای هر سال استخراج شده و به عنوان ماکزیمم هیدرومدول منطقه در آن سال در نظر گرفته شد (هر سال یک هیدرومدول).

٥. هیدرومدول‌ها، احتمال وقوع، دوره بازگشت و تبدیل ویبول برای هر هیدرومدول (هر سال یک عدد) استخراج شد. برای اینکار ابتدا هیدرومدول‌های بدست آمده از نرافزار برای تمامی سال‌ها، به صورت صعودی مرتب

شده و به هر یک شماره (m) داده شد. سپس درصد احتمال (P%)

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

نوع گیاه	ایستگاه				
	اردبیل	اهواز	قزوین	کرمان	مشهد
گندم	۲۰	۲٤	۳۳	۵۳	٤۰
جو	۱۰	–	۲۵	٤	۳۰
سیب زمینی	۳۰	–	–	–	۵
یونجه	۱۰	–	۱٤	–	۵
لوبیا	۲۰	–	–	–	–
آفتابگردان	۱۰	–	–	–	–
ارزن	–	۲٤	–	–	–
نیشکر	–	۲۷	–	–	–
چغندرقند	–	۲۰	–	–	–
گوجه فرنگی	–	۵	۷	–	۳
ذرت	–	٤۸	۲۱	۳۲	۵
پنبه	–	–	–	۳	–
هندوانه	–	–	–	٤	–
مرکبات	–	–	–	–	۱۰
سایرگیاهان	کمتر از ۱ درصد	۲	کمتر از ۱ درصد	٤	۲
جمع (٪)	۱۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
منبع	جهاد کشاورزی اردبیل	جهاد کشاورزی اهواز	جهاد کشاورزی قزوین	جهاد کشاورزی کرمان	جهاد کشاورزی مشهد

برای هر یک از هیدرومدول ها با رابطه ۱ محاسبه شد. دوره بازگشت (RP)، برای احتمال‌های بدست آمده، از رابطه ۲ محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه ۳ مقدار تبدیل ویبول برای تمامی سال‌ها بدست می‌آید. ضریب تبدیل ویبول برای خطی سازی داده ها مورد استفاده قرار می گیرد (بی نام ۲۰۰٦).

$$P = 1 - (m/(m_1 + 1)) \quad [۱]$$

$$RP = 100/P \quad [۲]$$

$$W = \log(-\log(P/100)) \quad [۳]$$

٦. با به دست آمدن W برای هر هیدرومدول، نمودار این دوپارامتر نسبت به هم ترسیم و معادله بهترین خط برازش داده شده استخراج شد. با داشتن معادله خط به روش عکس مرحله ۵ عمل نموده و هیدرومدول برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله استخراج شد.

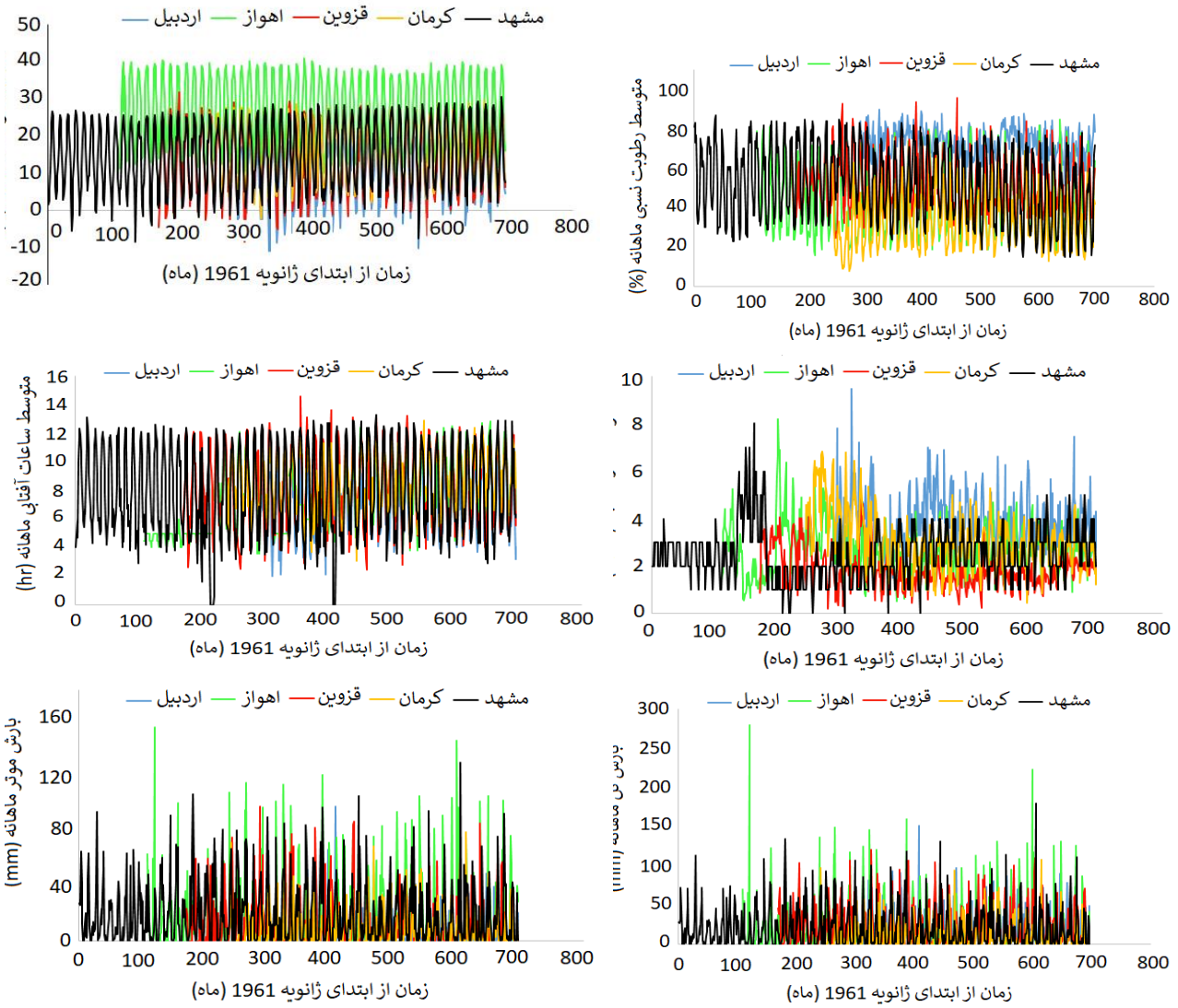
نتایج و بحث

بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع

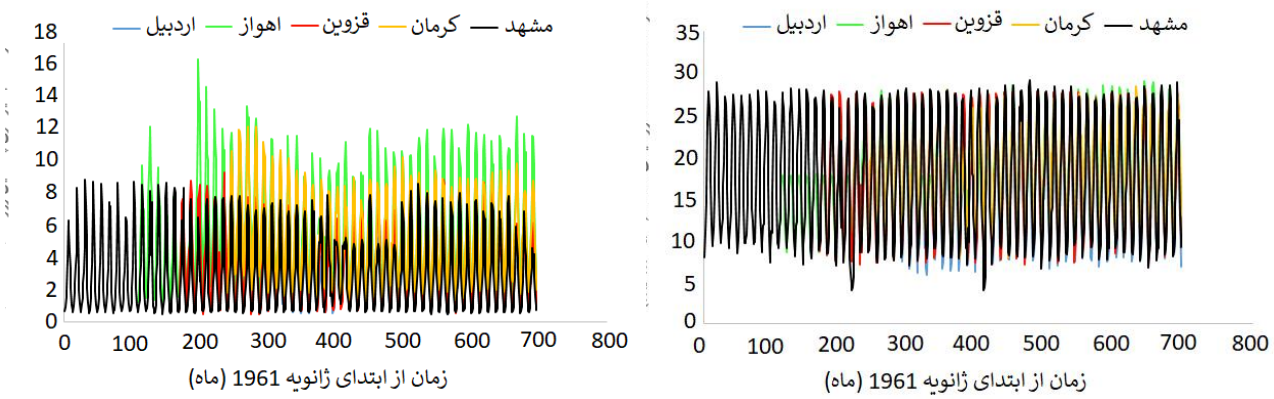
برای بررسی پارامترهای اقلیمی در مناطق مورد مطالعه، نمودار تغییرات متوسط سالانه پارامترهای دمای متوسط، رطوبت نسبی متوسط، سرعت باد متوسط روزانه، متوسط ساعات آفتابی روزانه بارندگی کل و بارش موثر ماهانه، برای کل دوره مورد نظر ترسیم گردید. شکل ۲ تغییرات پارامترهای مذکور را نشان می-دهد. نکته قابل توجه در مورد داده‌های اقلیمی، بالا بودن متوسط دمای ماهانه در ایستگاه اهواز، بالا بودن بارش

کل و بارش موثر در برخی از ماه‌ها در ایستگاه اهواز، پایین بودن دما و بالا بودن سرعت باد در ایستگاه اردبیل و گستردگی دامنه داده‌های ساعات آفتابی در ایستگاه مشهد می‌باشند.

بررسی میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی حاکی از آن است که دما و سرعت باد متوسط در تمام ایستگاه‌ها افزایش نسبی دارند. همچنین رطوبت نسبی در تمام ایستگاه‌ها دارای روند نسبتا کاهشی و پارامترهای ساعات آفتابی، بارش کل و بارش موثر دارای روند خاصی نمی‌باشند. شکل ۳ مقادیر تشعشات 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 ٤ MJ m^{-2} d^{-1} تا MJ m^{-2} d^{-1} ۲۹/۲ (هر دو برای ایستگاه مشهد و مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن از ۰/٤۸ mm d^{-1} (برای ایستگاه مشهد) تا ۱٦/۲۸ mm d^{-1} (برای ایستگاه اهواز) متغیر می‌باشد.



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

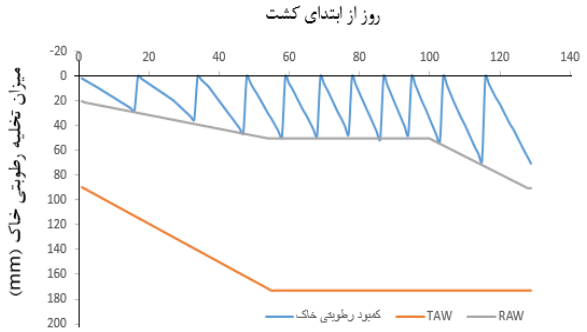


شکل ۳- تغییرات پارامترهای تشعشعات خورشیدی و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن در ایستگاه‌های مورد بررسی.

میانگین تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن برای ایستگاه‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب ۲/۸۷، ۵/۷۵، ۳/۷۹، ۵/٤ و ۲/٤۹ میلی‌متر بر روز می‌باشد. کم بودن دمای هوا و بالا بودن سرعت باد در ایستگاه مشهد، در بازه زمانی مورد بررسی باع شده است که حداقل تابش خورشیدی و تبخیر-تعرق پتانسیل در این ایستگاه ثبت گردد. علت اینکه حداقل تبخیر-تعرق محاسبه شده در ایستگاه اردبیل ثبت نشده است، احتمالا به خاطر رطوبت نسبی نسبتا بالا در این ایستگاه است. 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 گردید. برای نمونه، نمودار نشان داده شده در شکل ٤ مربوط به آبیاری گیاه سیب‌زمینی در دشت اردبیل می‌باشد. آبیاری زمانی صورت گرفته که رطوبت خاک به حد رطوبت سهل‌الوصول (RAW[1]) رسیده باشد و مقدار آبیاری تا پرکردن مقدار رطوبت تا ظرفیت زراعی انجام می‌شود. در این شکل همچنین کل رطوبت قابل دسترس (TAW[2]) نیز نشان داده شده است. چنانچه از شکل مشخص است در طول دوره رشد گیاه که ۱۲۹ روز بوده است، تعداد ۱۰ آبیاری نیاز بوده است.

بررسی تغییرات هیدرومدول

از آنجا که پروژه‌های آبیاری بر اساس حداکثر میزان مصرف گیاهان زراعی صورت می‌گیرد، برای تحلیل هیدرومدول نیز حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ٥ حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده، برای هر سال را در پنج منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. جدول ٤ مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط را برای حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. هیدرومدول استخراج شده برای ایستگاه‌های اهواز و کرمان دارای اختلاف قابل توجهی نسبت به سه ایستگاه دیگر یعنی اردبیل، قزوین و مشهد بوده است. مقادیر ارائه شده در جدول ٤ نیز نشان می‌دهد که مقادیر میانگین حداکثر هیدرومدول سالانه برای ایستگاه کرمان بیشترین و برای اردبیل کمترین می‌باشد.

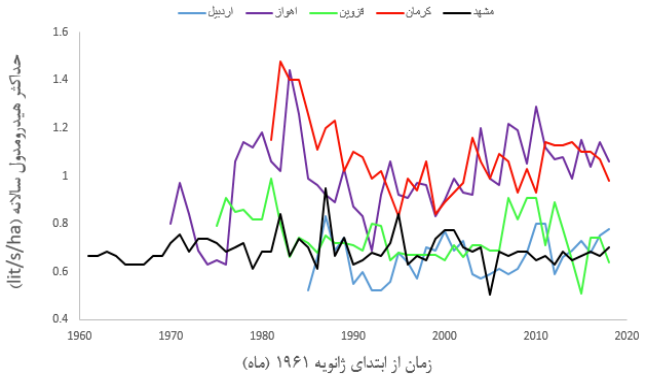


شکل ۴- تغییرات رطوبت خاک در کشت سیب‌زمینی در دشت اردبیل.

[1] Readily Available Water

[2] Total Available Water

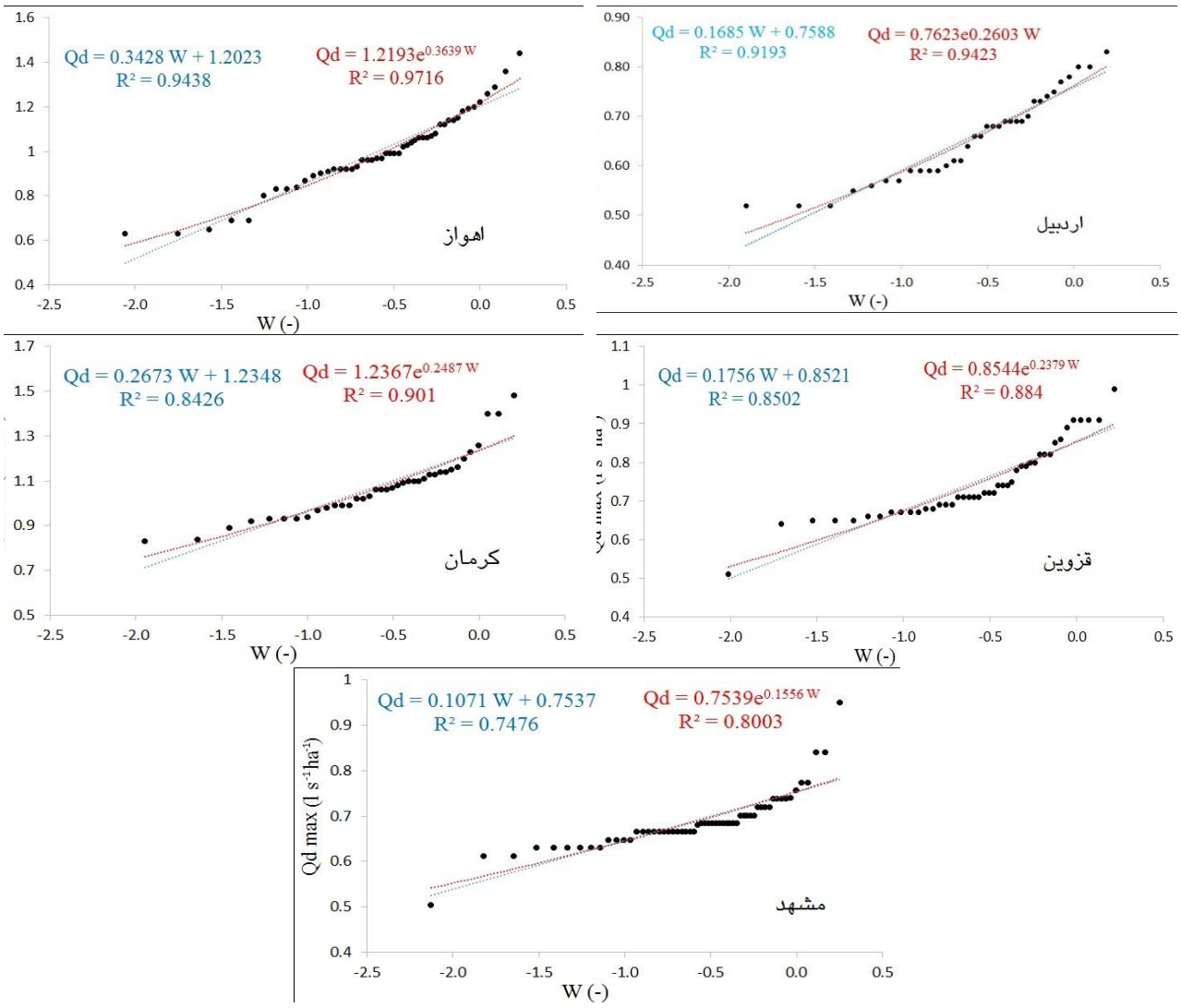
نظری‌فر و همکاران (۲۰۱۲)، طی تحقیقی حداکثر هیدرومدول آبیاری را برای اراضی تحت پوشش یک کانال درجـه دو آبیاری مربوط به طرح شبکه آبیاری و زهکشی توسعه اراضی شهید چمران اهواز برابر ۱/۰۶ لیتر بر ثانیه بر هکتار و رئوف و عزیزی (۲۰۱۹) نیز میزان حداکثر تبخیر–تعرق گیاه مرجع چمن را برای دشت اردبیل برابر ۵/٦ میلی‌متر بر روز (معادل ۰/٦۵ لیتر بر ثانیه بر هکتار) گزارش نمودند که با میانگین حداکثر هیدرومدول استخراج شده در این تحقیق (۰/۹۹ برای اهواز و ۰/٦٦ برای اردبیل) مطابقت دارد. برای استخراج هیدرومدول‌های با دوره بازگشت مشخص، مطابق روش ارائه شده در بخش قبل، از تبدیل ویبول استفاده شد. شکل ٦ تغییرات هیدرومدول آبیاری را به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W)، برای پنج ایستگاه مورد بررسی نشان می‌دهد. برای استخراج این نمودار، 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 پارامترهای تبدیل ویبول (W) و هیدرومدول آبیاری (Qd) از برازش خطی و نمایی استفاده شده است. در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، تابع نمایی دارای ضریب رگرسیون بالاتری نسبت به تابع خطی بوده است که نشان می‌دهد تابع نمایی دارای دقت بیشتری بوده است. محور افقی در شکل ٦ (ضریب تبدیل ویبول) بیانگر سال–های آماری یا دوره بازگشت می‌باشد. شیب تابع خطی تغییرات اهواز بیشترین و در مشهد و اردبیل کمترین مقدار را دارد که بیان می‌کند که با افزایش دوره بازگشت یا کاهش احتمال وقوع، افزایش هیدرومدول آبیاری در اهواز دارای شیب بیشتری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها می–باشد. در تابع نمایی نیز همین موضوع صادق بوده و ایستگاه اهواز دارای بیشترین نما می‌باشد. در این تابع ایستگاه قزوین 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 می–دهد. چنانچه از جدول ۵ مشخص است، در دوره‌های بازگشت کوتاه (شامل ۲، ۵ و در برخی از ایستگاه‌ها ۱۰ سال)، تابع خطی مقدار هیدرومدول آبیاری را بیشتر از تابع نمایی تخمین می زند. در دوره‌های بازگشت بالاتر (شامل ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) تابع نمایی مقدار هیدرومدول را بیشتر از تابع خطی تخمین زده است. در دوره‌های بازگشت میانی (شامل ۱۰ و ۲۵) نتایج حاصل از تابع خطی و نمایی بسیار نزدیک به هم به دست آمده است. کمترین مقدار هیدرومدول در ایستگاه اردبیل و برای دوره بازگشت ۲ سال و بیشترین مقدار برای ایستگاه اهواز و برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال به دست آمده است. میانگین هیدرومدول محاسبه شده به دو روش خطی و نمایی، در هیچ از ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ندارند.



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.

پارامتر ($L\ s^{-1}\ ha^{-1}$)	ایستگاه				
	اردبیل	اهواز	قزوین	کرمان	مشهد
حداقل حداکثر هیدرومدول سالانه	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۸۳	۰/۵
حداکثر حداکثر هیدرومدول سالانه	۰/۸۳	۱/٤٤	۰/۹۹	۱/٤۸	۰/۹۵
متوسط حداکثر هیدرومدول سالانه	۰/٦٦	۰/۹۹	۰/۷۵	۱/۱	۰/۷۱



شکل۶- تغییرات هیدرومدول آبیاری به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W) برای ایستگاه‌های مورد بررسی.

میانگین هیدرومدول محاسبه شده برای پنج ایستگاه مورد بررسی با تابع خطی برابر ۰/۹۷۱ و با تابع نمایی برابر ۰/۹۸۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار استخراج گردید که اختلاف معنی‌داری با همدیگر نشان نمی‌دهد. از مهم‌ترین عوامل بالا بودن هیدرومدول در ایستگاه‌های اهواز و کرمان گرم بودن این مناطق و وجود مساحت قابل توجه گیاه ذرت، به عنوان یک گیاه پر مصرف، در الگوی کشت این مناطق (٤۸ درصد در اهواز و ۳۲ درصد در کرمان) است.

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

نوع تابع	ایستگاه	دوره بازگشت (سال)							میانگین
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	
خطی	اردبیل	۰/۶۷۳	۰/۷۳۸	۰/۷۶۳	۰/۷۸۲	۰/۸۰۳	۰/۸۱۴	۰/۸۲۱	۰/۷۶۸
	اهواز	۱/۰۲۳	۱/۱۴۹	۱/۲۰۲	۱/۲۵۲	۱/۲۸۱	۱/۳۰۵	۱/۳۲۶	۱/۲۲
	قزوین	۰/۷۶	۰/۸۲۵	۰/۸۵۲	۰/۸۷۷	۰/۸۹۲	۰/۹۰۵	۰/۹۱۶	۰/۸۶۱
	کرمان	۱/۰۹۵	۱/۱۹۳	۱/۲۳۵	۱/۲۷۴	۱/۲۹۶	۱/۳۱۵	۱/۳۳۲	۱/۲۴۸
	مشهد	۰/۷	۰/۷۳۷	۰/۷۵۴	۰/۷۶۹	۰/۷۷۸	۰/۷۸۶	۰/۷۹۲	۰/۷۵۹
نمایی	اردبیل	۰/۶۶۵	۰/۷۳۲	۰/۷۶۲	۰/۷۹۲	۰/۸۰۹	۰/۸۲۴	۰/۸۳۸	۰/۷۷۵
	اهواز	۱	۱/۱۵۲	۱/۲۱۹	۱/۲۸۵	۱/۳۲۶	۱/۳۶	۱/۳۹۱	۱/۲۴۹
	قزوین	۰/۷۵۴	۰/۸۲۳	۰/۸۵۴	۰/۸۸۴	۰/۹۰۲	۰/۹۱۸	۰/۹۳۱	۰/۸۶۷
	کرمان	۱/۰۸۶	۱/۱۹	۱/۲۳۷	۱/۲۸۲	۱/۳۱	۱/۳۳	۱/۳۵۳	۱/۲۵۵
	مشهد	۰/۶۹۵	۰/۷۳۶	۰/۷۵۴	۰/۷۷۱	۰/۷۸۱	۰/۷۹	۰/۸	۰/۷۶۱

نتیجه‌گیری کلی

از آنجا که مقدار هیدرومدول آبیاری در بسیاری از پروژه‌های مربوط به انتقال و توزیع آب، تاثیر زیادی بر حجم پروژه و در نتیجه هزینه آن دارد، در این تحقیق به بررسی تغییرات هیدرومدول آبیاری در ۵ ایستگاه کشور شامل، اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد پرداخته شد. میانگین هیدرومدول آبیاری برای پنج ایستگاه ذکر شده به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۹۹، ۰/۷۵، ۱/۱ و ۰/۷۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار برای سال‌های آماری موجود استخراج شد. چنانچه سازه‌های ذخیره، توزیع و انتقال آب، برای دوره‌های بازگشت حداقل ۵۰ سال طراحی و مورد بهره-برداری قرار گیرند، برای دشت‌های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد، مقدار هیدرومدول طرح بایستی به ترتیب ۰/۸، ۱/۲۸، ۰/۹، ۱/۳ و ۰/۷۸ لیتر بر ثانیه بر هکتار در نظر گرفته شود. وجود برخی گیاهان پر مصرف مانند یونجه، ذرت و گوجه فرنگی در الگوی کشت برخی از ایستگاه‌ها از یک طرف و پایین بودن مقدار بارش کل و به تبع آن بارش موثر در کلیه ایستگاه‌ها، باعث شده است که هیدرومدول آبیاری بالا به دست آید. ایستگاه اردبیل به دلیل داشتن آب و هوای سرد و خشک دارای کمترین و ایستگاه اهواز با داشتن آب و هوای گرم و خشک 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 اردبیل ۰/۱۴۸ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۹/۲۷ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب ۰/۳۰۳، ۰/۱۵۶، ۰/۲۳۷ و ۰/۰۹۲ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد که معادل افزایش ۲۴/۸۴، ۱۸/۱۱، ۱۹ و ۱۲/۱۲ درصد نسبت به میانگین می‌باشد. با احتساب تابع تغییرات نمایی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه اردبیل ۰/۱۷۳ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۲۲/۳۲ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب ۰/۳۹۱، ۰/۱۷۷، ۰/۲۶۷ و ۰/۱۰۵ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد که معادل افزایش ۳۹/۱، ۲۳/۴۷، ۲۱/۲۷ و ۱۳/۹۸ درصد نسبت به میانگین می‌باشد. با توجه به کمبود آب در مناطق مختلف کشور پیشنهاد می‌گردد از تابع خطی برای تخمین هیدرومدول آبیاری در دوره‌های بازگشت مختلف استفاده گردد. با در نظر گرفتن تابع تغییرات خطی و نظر به اینکه با افزایش دوره بازگشت

(حتی تا ۲۰۰ سال)، هیدرومدول آبیاری دچار تغییرات زیادی نمی‌گردد (حدود ۲۰ درصد میانگین) پیشنهاد می‌گردد که ساخت ابنیه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب در دشت‌های مورد بررسی با احتمال وقوع کم (دوره بازگشت بالا) طراحی و اجرا گردد، زیرا هم افزایش هزینه‌ها آنچنان بالا نبوده و هم اینکه در زمان انتقال و توزیع آب می‌توان با خطر کمتری این کار را انجام داد.

منابع مورد استفاده

Aghajani A, Bidabadi FS, 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. (In Persian with English abstract)

Anonymous, 2006. Basics and criteria for designing, equipping and renovating arid lands. Ministry of Agriculture 2 (346): 181 p. (In Persian)

Asadzadeh H and Raoof M, 2018. Comparison of water use efficiency in sprinkler and hydroflume irrigation systems (Case study: Ardabil Plain). Water and Irrigation Management 8 (1): 55-68. (In Persian with English absstract)

Babazadeh H and Soraei Tabrizi, 2012. Assessing the agricultural situation of Hormozgan province from the virtual water perspective. Water Research in Agriculture 26 (4): 485-499. (In Persian with English absstract)

Béné C, Barange M, Subasinghe R, Andersen P, Merino G, Hemre GI and Williams M, 2015. Feeding 9 billion by 2050–Putting fish back on the menu. Food Security7(2): 261-274.

Bouman BAM, van Keulen H, van Laar HH and Rabbinge R, 1996. The school of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. Agricultural Systems 52:171–198.

Boustani F and Mohammadi H, 2010. Determination of optimal cropping pattern due to water deficit: A case study in the South of Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science 7: 591–595.

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. 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 Jinghuiu irrigation area. Pp. 245-257. Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 14-16 August, Nanjing, China.

Ewaid SH, Ali Abed S and Al-Ansari N, 2019. Crop Water Requirements and Irrigation Schedules for Some Major Crops in Southern Iraq. Water 756: 1-12.

FAO, 2009. How to Feed the World in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert paper/How to Feed the World in 2050. Pdf. (accessed March 25, 2017).

Gorantiwar SD and Smout IK, 2003. Allocation of scarce water resources using deficit irrigation in rotational systems. Irrigation and Drainage Engineering 129(3): 155-163.

Hamadi K, Zakeri Hoseini F, Hoseinzade Sadati M and Allah Din S, 2014. Estimation water requirement of agricultural crops of Khoozestan province. Water Engineering and Science 9: 7-16. (In Persian with English absstract)

Hedayti Dezfooli A and Kakavand R, 2012. Climatic zoning of Qazvin province. Nivar 76: 59-73.

Karamouz M, Ahmadi B and Zahmatkesh Z, 2012. Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. Water Resources Planning and Management 139: 349–363.

Mirzaei S, Raoof M, Ghasemi A, Esmali A, Etaati H and Moradnezhadi M, 2014. Determination of a 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.

Movahedi S, Heydari Naser abad B, Hashemi ana K and Ranjbar F, 2012. Meteorological regions zonning of Khoozestan province. Geographical Space 4: 64-73.

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.

Naseri A, Abbasi F and Akbari M, 2016. Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research 18 (68): 17-32. (In Persian with English absstract)

Nashat A and Sajjadi Bami Y, 2014. Predicting the impact of climate change on the temperature parameter using atmosphere HadCM3 General Circulation Software (Case study: Kerman and Bam). Water Resources Engineering 9: 51-62. (In Persian with English absstract)

Nazarifar MH, Behbahani MR and Momeni R, 2012. Evaluation of different scenarios of irrigation deficiency and determination of hydromodule and optimal level of cultivation pattern under irrigation deficiency conditions. Irrigatin Engineering and Science 35 (2): 91-105. (In Persian with English absstract)

Odegard IYR 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): 1-10.

Raoof 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 Science and Technology (JAST) 21(2): 487-499.

Sani F and Dashti Gh, 2021. Determining optimal cropping pattern for adaptation of water scarcity under uncertainty using Robust Goal Programming Approach. Water and Soil Science 31 (1): 15-30. (In Persian with English absstract)

Shirshahi F, Babazadeh H, Ebrahimipak N and Khaledian MR, 2020. Determining optimum major crops cultivation areas in different levels of deficit irrigation in Qazvin Irrigation and Drainage District. Water and Soil Science 30 (1): 69-81. (In Persian with English abstract)

Singh A and Panda SN, 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. Agricultural Water Management 115: 267–275.

Tafakheri S and Taheri J, 2016. Architectural design compatible with Mashhad climate. Proceedings of the 4th International Civil Engineering, Architecture and Urban Development Conference. 27-29 december, Tehran, Iran. (In Persian)

Tavakoli A, 2003. The impact of deficit irrigation and nitrogen on yield and yiled components of wheat. Scientific Journal of Agriculture 26(2): 75-87.

Van Dijk M, Mandryk M, Gramberge 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. LEI Wageningen UR.