



پژوهش های خشکسالی و تغییر اقلیم



دوره اول، شماره چهارم، پیاپی ۴، زمستان ۱۴۰۲

- ۱ اثر مؤلفه های اصلی تغییر اقلیم بر کارایی فتوسنتزی و عملکرد دانه ارقام گندم تحت شرایط دیم
فرزانه اسلامی سنوکش، لیلیا زرنندی میاندوآب، رامین لطفی، امین عباسی، نادر چپارزاده
- ۱۷ پهنه بندی کیفیت آب شرب با استفاده از روش آنتروپی و ارتباط آن با میزان خشکسالی (مطالعه موردی: آبخوان آبدالان، گچساران)
اکبر خدری، طالب مرادی نژاد، مجید دشتی برمکی، مرضیه اسکندری
- ۳۷ مکان یابی مناطق مستعد برای کشت و توسعه یونجه درختی (*Chamaecytisus palmensis* L.) در استان یزد با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی
شهاب اقبالی شاه آباد، محمدحسن رحیمیان، هادی زارع خورمیزی
- ۵۷ تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی، جهت جریان و هیدروگراف واحد آبخوان دشت کهورستان
طنان دست انداز، عدنان صادقی لاری، مهدی بهرامی
- ۷۱ ارزیابی شاخص های مختلف خشکسالی برای یافتن تطبیق پذیرترین شاخص (مطالعه موردی: دشت الشتر)
عاطفه امیری، سیامک بهاروند، مژگان راد
- ۸۷ تأثیر تنش خشکی بر ویژگی های ریختی کاج تهران (*Pinus eldarica Medw.*) و زیتون تلخ (*Melia azedarach L.*) در سن های مختلف
محمد عسگری، محسن جوانمیری پور، وحید اعتماد، خالد احمدآلی
- ۱۰۵ ارزیابی روش های GW-SRAL، MSDS و NNA در ریزمقیاس سازی دما و بارش برای دو اقلیم متفاوت در استان خراسان رضوی
مهتاب حلمی، سپیده زراعتی نیشابوری، مهدی امیرآبادی زاده، مصطفی یعقوب زاده





The Effect of Main Components of Climate Change on Photosynthetic Efficiency and Grain Yield of Wheat Genotypes under Rainfed Conditions

Farzaneh Eslami Senoukesh¹, Leila Zarandi-Miandoab², Ramin Lotfi^{3*}, Amin Abbasi⁴, Nader Chaparzadeh⁵

1. MSc Student, Department of Biology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Biology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
3. Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
4. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.
5. Professor, Department of Biology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: R.lotfi@areeo.ac.ir

Keywords:

Electron transfer, Chlorophyll a fluorescence, Rainfed wheat

Extended Abstract

Introduction:

Climate changes in the last few decades due to human intensification have caused global concerns regarding their effects on agricultural products. These changes will affect wheat growth and performance in Iran. According to the IPCC report, without greenhouse gas emissions controls, global warming is expected to increase between 1.5 and 2 °C during the 21st century. With increasing temperatures, photosynthesis and crop growth can decrease and it can affect grain yield. Reports indicated that wheat grain yield decreases by 31% under heat stress and 57% under drought stress conditions. In addition, when heat stress and drought are combined, the yield declines by 76% and the grain weight by 67%. So, in this research, the effects of the main components of climate change, i.e. temperature, drought stress and carbon dioxide, on the yield and photosynthetic mechanism of rainfed wheat genotypes were investigated.

Materials and Methods:

To evaluate the effects of climate change components on the photosynthetic efficiency and grain yield of four rainfed wheat genotypes (Sardari, Ohadi, Varan and Ivan), an experiment was carried out under two controlled and field conditions during 2021-2022. In the controlled environment, a split-plot experiment based on an RCBD was

Received:

24 July 2023

Revised:

27 August 2023

Accepted:

29 August 2023

How to cite this article:

Eslami Senoukesh, F., Zarandi-Miandoab, L., Lotfi, R., Abbasi, A., & Chaparzadeh, N. (2024). The Effect of Main Components of Climate Change on Photosynthetic Efficiency and Grain Yield of Wheat Genotypes under Rainfed Conditions. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 1-16. [10.22077/JDCR.2023.6609.1033](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6609.1033)



done including temperature ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$ and $34\pm 3^{\circ}\text{C}$) in the main plots, carbon dioxide (380 to 480 and 800 to 900 ppm) in sub-plots and drought stress (normal and water stress) in sub-sub-plots. In the field conditions, a split plot experiment based on RCBD was carried out with three planting dates of 7, 22 October and 6 November in the main plots and genotypes in the sub-plots. Chlorophyll fluorescence parameters were measured in the last developed leaf with a fluorometer (PAM 2500, Walz, Germany).

Result and discussion:

Results showed that the components of climate change in all genotypes reduced F_m and led to an increase in NPQ, which is related to the inhibition of electron transfer from the electron donor in PSII and led to the activation of the non-photochemical quenching pathway and thermal energy dissipation through the Xanthophyll cycle and finally ETR decreased. The interaction effect of temperature and high carbon dioxide in all genotypes and heat in Sardari, Ohadi and Ivan had higher electron transfer rates than other factors. The rate of electron transfer varied in different wheat genotypes and temperature stress, drought and carbon dioxide contributed to a decrease in the electron transfer rate. Correlation between different parameters of chlorophyll fluorescence showed that the correlation between F , F_m , F_o and Y_{II} in all genotypes was positive. The highest negative correlation was recorded between q_L and q_P parameters with NPQ and q_N . Electron transfer rate (ETR) in Sardari had a positive correlation with q_P , q_L and Y_{II} parameters, while this parameter in Ohadi and Ivan with Y_{II} and in Varan genotype with YNPQ, q_N and NPQ parameters had the same positive correlation. On the first planting date, the grain yield was significantly 23% higher than the second planting date and 100% higher than the third planting date. It was concluded that rainfed wheat genotypes can adapt to climate changes despite stress conditions by disposing of energy in the photosynthetic system.

Conclusion:

It was concluded that despite climate change conditions, the studied genotypes have adequate adaptation to energy disposal within the photosynthetic system. This is mainly through the diffusion of non-photochemical energy.



اثر مؤلفه‌های اصلی تغییر اقلیم بر کارایی فتوسنتزی و عملکرد دانه ارقام گندم تحت شرایط دیم

فرزانه اسلامی سنوکش^۱، لیلا زرنندی میان‌دوآب^۲، رامین لطفی^{۳*}، امین عباسی^۴، نادر چاپارزاده^۵

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۲. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۳. استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
۴. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۵. استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

*نویسنده مسئول: R.lotfi@areeo.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

انتقال الکترون، فلورسانس کلروفیل، گندم دیم

در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات مؤلفه‌های تغییر اقلیم بر کارایی فتوسنتزی و عملکرد دانه چهار رقم گندم دیم (سرداری، اوحدی، واران و ایوان)، طرح آزمایشی در دو شرایط محیط کنترل‌شده و مزرعه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. در محیط کنترل‌شده آزمایش دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل دما (دمای معمولی 25 ± 3 درجه سانتی‌گراد و دمای افزایش یافته 34 ± 3 درجه سانتی‌گراد) در کرت‌های اصلی، دی‌اکسید کربن (380 تا 480 و 800 تا 900 قسمت در میلیون) در کرت‌های فرعی و تنش خشکی (50 درصد نیازآبی و نرمال) در کرت‌های فرعی-فرعی قرار گرفتند. در مزرعه آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ مهر و ۱۵ آبان ماه در کرت‌های اصلی و ارقام در کرت‌های فرعی اجرا شد. نتایج بخش کنترل‌شده نشان داد که مؤلفه‌های تغییر اقلیم در همه ارقام فلورسانس حداکثر را کاهش داد و منجر به فعال‌شدن مسیر خاموشی غیر فتوشیمیایی و انرژی‌بخش حرارتی از طریق چرخه زانتوفیل شد و در نتیجه نرخ انتقال الکترون کاهش یافت. اثر متقابل دما و دی‌اکسیدکربن بالا در همه ارقام و تیمار دمای بالا در ارقام سرداری، اوحدی و ایوان نرخ انتقال الکترون را افزایش دادند. در تاریخ کاشت اول عملکرد دانه به طور معنی‌داری نسبت به تاریخ کاشت دوم ۲۳ درصد و نسبت به تاریخ کاشت سوم ۱۰۰ درصد بیشتر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ارقام گندم دیم با وجود شرایط تنش می‌توانند سازگاری مناسبی نسبت به تغییرات اقلیمی با دفع انرژی درون سیستم فتوسنتزی داشته باشند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۶/۰۷

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین محصول در رژیم‌های غذایی مردم در سراسر جهان می‌باشد (Shewry and Hey, 2015). به‌گونه‌ای که ۲۰ درصد از کالری دریافتی برای هر نفر در دنیا از طریق این گیاه تأمین می‌شود (FAO, 2020). بر اساس گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، با عدم کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود گرمایش جهانی در طول قرن بیست و یکم بین ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2021). با افزایش دما، فتوسنتز و رشد گیاهان زراعی در گیاهان C3 کاهش می‌یابد که برآیند آن را می‌توان در افت عملکرد مشاهده کرد (Iqbal et al., 2022). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا اواسط قرن بیست و یکم کاهش ۴/۴-۴/۱ درصدی عملکرد گندم در سراسر جهان در اثر افزایش تنها ۱ درجه سانتی‌گراد در دمای جهانی اتفاق خواهد افتاد (As-seng et al., 2015). دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد تأثیر نامطلوبی بر گندم دارد. مرحله گرده‌افشانی گندم به‌عنوان حساس‌ترین مرحله‌ی رشدی این گیاه در واکنش به تنش دمای بالا می‌باشد که تأثیرات غیرقابل جبرانی بر عملکرد می‌گذارد (Prasad and Djanaguiraman, 2014; Aiqing et al., 2018).

مسیر فتوسنتزی یک عامل تعیین‌کننده کلیدی برای پاسخ گیاه به عوامل آب‌وهوایی می‌باشد (Ledvinka et al., 2022). تنش دمای بالا با اختلال در انتقال الکترون، غیرفعال کردن مرکز فتوسیستم II (PSII) و تخریب پروتئین‌های مسیر فتوسنتزی منجر به کاهش عملکرد فتوسنتزی گیاهان می‌شود (Riaz et al., 2021; Sehar et al., 2023). تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت محیطی به‌صورت مستقیم بر متغیرهای فتوسنتزی و عملکرد تأثیر می‌گذارد (Katerji et al., 2009; Ali et al., 2018). اثرات مستقیم تنش خشکی بر کارایی فتوسنتز در اثر بسته‌شدن روزنه می‌باشد (Salvucci and Crafts-Brandner., 2004). تنش خشکی ظرفیت جذب الکترون در برگ را کاهش می‌دهد که با افزایش سطح انرژی لازم برای بسته‌شدن مراکز واکنشی تأیید می‌شود. درواقع ظرفیت مخازن انتقال‌دهنده‌های الکترون بین PSII و بخش پذیرنده PSI را شامل می‌شود و در این

شرایط زمان لازم برای رسیدن به فلورسانس حداکثر افزایش می‌یابد (Lotfi et al., 2015). تحت تنش شدید خشکی میزان فلورسانس حداقل (Fo) افزایش و سطح فلورسانس حداکثر (Fm) کاهش می‌یابد (Lotfi et al., 2018). افزایش سطح فلورسانس حداقل تحت تنش خشکی را می‌توان به‌عنوان کاهش در نرخ ثابت به دام انداختن انرژی توسط مراکز واکنشی PSII تعبیر کرد (Kalaji et al., 2018) که می‌تواند نتیجه اثرات جدایی فیزیکی کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور در هسته PSII باشد (Lotfi et al., 2020).

دی‌اکسیدکربن بالا به‌طور کلی هدایت روزنه را کاهش داده و با افزایش نرخ کربوکسیلاسیون روبیسکو سبب افزایش راندمان مصرف آب و مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌گردد (Evans and Clarke, 2019; Zinta et al., 2014). تغییرات در رشد، فتوسنتز، تقسیم و جابه‌جایی متابولیت‌ها، آنزیم‌های فتوسنتزی، سرعت تنفس، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، خروجی زیست توده و کارایی مصرف آب از جمله پیامدهای بالقوه CO₂ بالا بر گیاهان می‌باشد و به‌طور کلی پذیرفته شده است که عملکرد محصول از طریق افزایش فتوسنتز برگ تحت افزایش CO₂ افزایش می‌یابد (Wang et al., 2020).

عملکرد گندم تحت تنش دمای بالا ۳۱ درصد و در شرایط تنش خشکی ۵۷ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، زمانی که تنش دمای بالا و خشکی با هم ترکیب شوند، عملکرد را تا ۷۶ درصد و وزن دانه را تا ۶۷ درصد کاهش می‌دهند (Balla et al., 2011). گزارش شده‌است که افزایش غلظت CO₂ می‌تواند اثر منفی خشکسالی را با تنظیم بسته‌شدن روزنه، کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق، افزایش راندمان مصرف آب و در نتیجه بهبود وضعیت آب و رشد گیاه کاهش دهد (Li et al., 2017). افزایش غلظت CO₂ موجب گردید که همه ژنوتیپ‌ها نرخ فتوسنتزی بالاتری را نشان دهند و حداکثر بازده کوانتومی PSII را تحت تنش دمای بالا در مقایسه با غلظت CO₂ محیط حفظ نمایند (Abdelhakim et al., 2021). با توجه به اثرات مستقیم تغییرات اقلیمی به‌ویژه افزایش دما، دی‌اکسیدکربن و تغییرات توزیع و مقدار بارش که تنش خشکی در

محیط (اتاقک‌های جدا) با دماهای مطابق با تیمارهای آزمایش (دمای محیطی 25 ± 3 درجه سانتی‌گراد و دمای افزایش‌یافته 34 ± 3 درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. در هر محیط با دمای متفاوت، گلدان‌ها در بیرون و درون باکس‌های پلاستیکی (آزادکردن دی‌اکسیدکربن توسط کپسول‌های صنعتی و تنظیم سطح آن توسط سنسورهای پرتابل نشانگر دی‌اکسیدکربن و دما) قرار گرفتند. گلدان‌های درون و بیرون باکس‌های پلاستیکی برای اعمال تنش خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و شرایط نرمال (نگهداری رطوبت در حد ظرفیت زراعی) آبیاری شدند (شکل ۱). گلدان‌ها در کرت‌های فرعی-فرعی در دو تکرار در نظر گرفته شدند. دو هفته بعد از سازگاری گیاهان به محیط‌های قرارگرفته عملکرد فتوسنتزی آن‌ها اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری متغیرهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه‌یافته با دستگاه فلورومتر (PAM 2500, Walz, Germany) انجام گرفت. بدین‌منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. فلورسانس حداقل (F_0) با همه مراکز واکنشی باز PSII، توسط نور با شدت پایین (۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و فلورسانس حداکثر (F_m) با تابش پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به مدت یک ثانیه در برگ‌های سازگار به تاریکی تعیین شد. سپس با تابش نور مرئی سفیدرنگ (۶۸۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) میزان فلورسانس پایدار (F_t) ثبت و مجدداً پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) اعمال و میزان فلورسانس حداکثر (F_m) در برگ‌های سازگار به روشنایی تعیین شد. سپس فلورسانس حداقل در مرحله روشنایی (F_0) با تابش نور قرمز دور ثبت گردید. با استفاده از متغیرهای تعیین‌شده در برگ‌های سازگار به تاریکی و روشنایی میزان فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، حداکثر کارایی کوانتومی PSII، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی (qP، qL و YII) و غیرفتوشیمیایی (qN، NPQ و YNPQ و ETR و YNO) (جدول ۱) ثبت گردید (Li et al., 2008).

مراحل از رشد بر گیاهان القا کرده و در نهایت بر تولید محصولات زراعی دیم مؤثر خواهد بود، جهت شناسایی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط تغییر اقلیم، در این پژوهش اثرات مؤلفه‌های اصلی تغییر اقلیم یعنی دما، تنش خشکی و دی‌اکسیدکربن بر عملکرد و مکانیسم عملکرد فتوسنتزی ارقام گندم دیم بررسی گردید. همچنین یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های سازگاری به اثرات تغییرات اقلیمی، تغییرات تاریخ کاشت و استفاده از ارقام مختلف است لذا در شرایط مزرعه ارقام مختلف تحت سه تاریخ کاشت نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثرات مؤلفه‌های اصلی تغییر اقلیم بر کارایی فتوسنتزی و عملکرد دانه چهار رقم گندم دیم (ارقام سرداری، اوحدی، واران و ایوان)، آزمایشی در دو شرایط محیط کنترل‌شده (گلخانه) و مزرعه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد.

روش تحقیق

آزمایش محیط کنترل‌شده

محیط کنترل‌شده آزمایش در گلخانه دانشگاه مراغه انجام شد. در گلخانه با شرایط نور طبیعی، آزمایش اسپلیت-اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل تیمارهای دما (دمای معمولی 25 ± 3 درجه سانتی‌گراد و دمای افزایش‌یافته 34 ± 3 درجه سانتی‌گراد) در کرت‌های اصلی، دی‌اکسیدکربن (۳۸۰ تا ۴۸۰ و ۸۰۰ تا ۹۰۰ قسمت در میلیون)، در کرت‌های فرعی و تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری نرمال و نرمال (ظرفیت زراعی)) در کرت‌های فرعی-فرعی روی چهار رقم (سرداری، اوحدی، واران و ایوان) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. رقم در بخش کنترل شده بصورت فاکتور جدا در نظر گرفته نشد و اثر مؤلفه‌های تغییر اقلیم به صورت جدا روی هر رقم مورد بررسی قرار گرفت.

کاشت ارقام در گلدان‌های پلاستیکی (250×300 میلی‌متر) در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۴۰۰ صورت گرفت. گلدان‌ها تا مرحله ۳ برگی در شرایط دمایی و رطوبتی نرمال (دمای بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت در حد ظرفیت زراعی) قرار گرفتند. گلدان‌ها در دو

جدول ۱. پارامترهای فلورسانس کلروفیل

ردیف	پارامتر	توضیحات
۱	F	ارزش فلورسانس
۲	Fm	فلورسانس حداکثر
۳	Fo	فلورسانس حداقل
۴	Y (II)	عملکرد تبدیل فتوشیمیایی
۵	Y (NPQ)	عملکرد انرژی پخش حرارتی تنظیم شده
۶	Y(NO)	مجموع پخش حرارتی غیر قابل تنظیم و نشر فلورسانس
۷	NPQ	خاموشی غیر فتوشیمیایی
۸	qN	خاموشی غیر فتوشیمیایی فلورسانس متغیر
۹	qP	خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس
۱۰	qL	خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس با فرض اتصال آنتن های PSII
۱۱	ETR	سرعت انتقال الکترون PSII
۱۲	Ft	عملکرد فلورسانس کلروفیل لحظه ای



شکل ۱. تصاویر از محیط کنترل شده آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه مراغه

Fig 1. Pictures of the controlled environment of the experiment in the research greenhouse of Maragheh University

آزمایش مزرعه

برای بررسی سناریوهای سازگاری به تغییر اقلیم (تاریخ کاشت و رقم)، آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سه تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۰ مهر و ۱۵ آبان) در کرت های اصلی و چهار رقم (سرداری، اوحدی، وارن و ایوان) در کرت های فرعی قرار گرفتند. ارقام در تاریخ های مورد نظر به صورت مکانیزه با بذرکار آزمایشات با تراکم ۳۸۰ بذر در مترمربع و در عمق ۴ سانتی متری کاشته شد. عرض هر کرت آزمایش ۲/۴ متر و طول آن ها ۵ متر بود. فاصله هر کرت آزمایشی ۱/۵ متر

و هر بلوک ۵ متر در نظر گرفته شد. بستر بذر قبل از کاشت با استفاده از گاوآهن قلمی غلتک دار تهیه شده بود. به جهت اطمینان از سطح سبز یکنواخت تاریخ های کاشت اول و دوم به صورت بارانی به میزان ۲۰ میلی متر آبیاری شدند. همزمان با کاشت کود نیتروژن به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل استفاده شد. برای مدیریت علف های هرز از علف کش بروماسیدام قبل از مرحله رشد طولی ساقه در گندم استفاده شد. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بر اساس آمار هواشناسی

که متوسط دمای سال زراعی مورد مطالعه ۵/۲ درجه سانتی‌گراد بود که در مقایسه با میانگین بلندمدت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و نسبت به سال زراعی گذشته ۰/۴ درجه سانتی‌گراد کاهش داشت (جدول ۲).

ایستگاه مراغه (جدول ۲)، میزان بارندگی ۳۲۶/۸ میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین بلندمدت ۸ درصد کاهش داشت. پراکنش بارندگی در پاییز ۵۳/۴ میلی‌متر، در زمستان ۱۵۱/۱ و در بهار ۱۲۲/۳ میلی‌متر بود. داده‌های درجه حرارت نشان می‌دهند

جدول ۲. آمار هواشناسی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه

Table 2. Meteorological statistics of the research site in Maragheh at 2021-2022

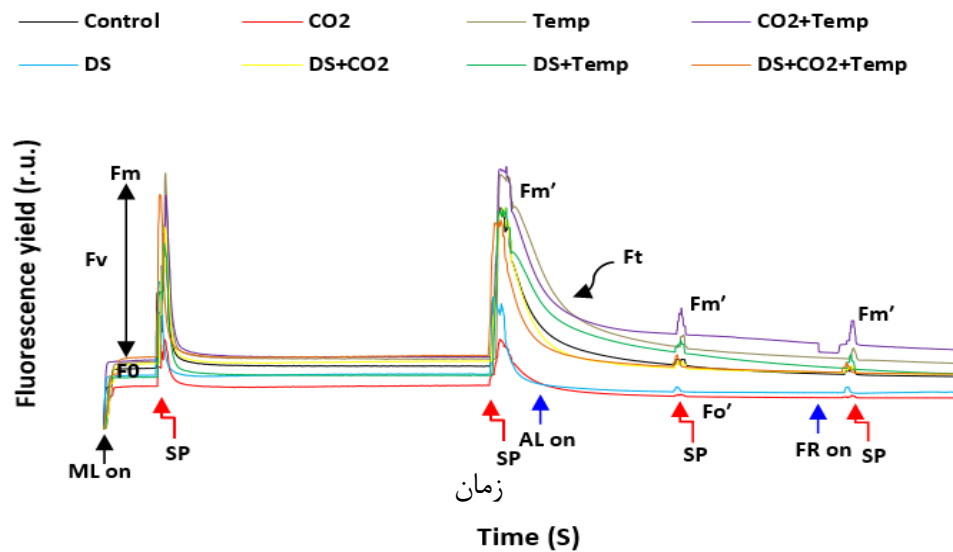
متوسط دما (°C) Mean temperature (°C)	حداکثر دمای مطلق (°C) Maximum absolute temperature (°C)	حداقل دمای مطلق (°C) Minimum absolute temperature (°C)	بارندگی (mm) Rainfall (mm)	ماه Month
13.4	29.0	02.5	21.6	مهر Sept-Oct
04.4	16.4	-10.0	04.0	آبان Oct-Nov
01.0	11.6	-07.0	27.8	آذر Nov-Dec
-03.2	13.0	-17.0	67.6	دی Dec-Jan
-6.19	06.2	-25.0	24.9	بهمن Jan-Feb
02.7	16.4	-09.0	58.9	اسفند Feb-Mar
5.08	19.0	-02.5	80.1	فروردین Mar-Apr
11.4	25.0	01.0	42.0	اردیبهشت Apr-May
18.35	32.6	03.5	00.2	خرداد May-Jun

به سایر تیمارها بر عملکرد فلورسانس Ft (جدول ۱) بیشتر می‌باشد. همچنین سطح فلورسانس حداکثر و حداقل تاریکی در تیمارهای توأم دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا و دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا + تنش خشکی بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد. افزایش فلورسانس حداکثر (Fm) و حداقل (Fo) نوری تحت تیمار توأم دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا به‌طور مشخصی از سایر تیمارها بیشتر است. کمترین سطح فلورسانس حداکثر و حداقل تاریکی و نوری تحت تیمار دی‌اکسیدکربن بالا ثبت شد (شکل ۲). فلورسانس حداقل تاریکی و نوری تحت شرایط نورپایین در سطح کم منجر به حذف سریع الکترون‌های درون سیستم غشای تیلاکوئیدی شده و مراکز واکنشی فتوسیستم II (PSII) را باز می‌کند، در حالیکه فلورسانس حداکثر تاریکی و نوری سطح بیشینه فلورسانس در شرایط پالس نوری زیاد در آن مراکز واکنشی PSII بسته می‌شوند.

به هنگام رسیدگی دانه‌ها (درصد رطوبت بذر حدود ۱۴ درصد) برداشت در نیمه اول مرداد ماه ۱۴۰۱ با اختلاف چند روز برای هر تاریخ کاشت با کمباین انجام و عملکرد دانه برای کل کرت و در هکتار محاسبه گردید. پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها، خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک در تیمار بررسی گردید. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری Genstat انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار R و برنامه Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد فلورسانس گندم دیم با آنالیز پالس اشباع نوری پارامترهای پایه آن تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی، دمای بالا و دی‌اکسیدکربن بالا نشان داد که اثر تیمارهای دمای بالا، دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و دمای بالا + تنش خشکی نسبت



شکل ۲. نمودار عملکرد فلورسانس با پالس اشباع نوری و آنالیز خاموشی گندم دیم تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی، دما و دی اکسید کربن در محیط کنترل شده. ML, SP, AL, FR, control, CO2, Temp, DS به ترتیب نور سطح پایین، پالس اشباع نوری، نور آکتینیک و نور قرمز دور، شاهد، دی اکسید کربن، دما و تنش خشکی.

Fig 2. Fluorescence yield curve with light saturation pulse and quenching analysis of dryland wheat under different treatments of drought stress, temperature and carbon dioxide in a controlled environment. ML, SP, AL, FR, control, CO2, Temp, DS are low level light, saturated light pulse, actinic light and far red light, control, carbon dioxide, temperature, drought stress, respectively.

آکتینیک تشکیل می‌شود. حالت اکسایش - کاهش Qa اثر حیاتی بر رشد و نمو گیاهان دارد (Lodeyro et al., 2021) و به عنوان سنسور تعادل انرژی تحت هرگونه تنش در گیاهان است (Pfannschmidt and Yang, 2012). اگر سطح انرژی بالا تحت شرایط تنش به نحوی تخلیه نشود، احیاء زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی اتفاق افتاده و آن آسیب گونه‌های فعال اکسیژن بر کلروپلاست و سلول‌های گیاهی را در پی دارد (Tsabari et al., 2015). تحت این شرایط بازدارندگی نوری در PSII اتفاق افتاده و تعداد مراکز فعال PSII را کاهش می‌دهد (Serôdio and Campbell, 2021). کاهش سطح فلورسانس حداکثر نوری (Fm) به عنوان پارامتر متأثر از تیمارهای دی اکسید کربن بالا و تنش خشکی در همه ارقام مشخص شد (شکل ۲). گزارش شده است که تحت تنش شدید خشکی میزان فلورسانس حداقل (Fo) افزایش و سطح فلورسانس حداکثر (Fm) کاهش می‌یابد (Lotfi et al., 2018). افزایش سطح فلورسانس حداقل تحت تنش خشکی را می‌توان به عنوان کاهش در نرخ ثابت به دام انداختن انرژی توسط

آنالیز فلورسانس کلروفیل اطلاعاتی از میزان جذب جریان نوری که مستقیماً وارد فعالیت‌های فتوشیمیایی PSII، بصورت پخش انرژی گرما یا پخش انرژی فرآیندهای غیر تابشی فلورسانس فراهم می‌کند. اولین پذیرنده پایدار PSII یعنی Qa در گیاهان عادت کرده به تاریکی به‌طور کامل در حال اکسید است. در شرایط تاریکی سطح نور پایین منجر به سطح فلورسانس حداقل (Fo) می‌شود. با تیمار پالس نوری سطح فلورسانس به حداکثر سطح خود یعنی Fm می‌رسد. اختلاف بین دو سطح Fo و Fm تحت عنوان فلورسانس متغیر است که در محاسبه Fv/Fm به عنوان حداکثر عملکرد کوانتومی PSII بکار می‌رود. تیمار پالس نوری اشباع تحت روشنایی نور آکتینیک منجر به بسته شدن همه مراکز واکنشی PSII شده و منجر به ایجاد سطح بیشینه فلورسانس تحت شرایط نوری می‌گردد (Fm'). سطح پایدار فلورسانس در شرایط نور به صورت Fs مشخص می‌شود و قبل از پایان طیف نوری آکتینیک اتفاق می‌افتد. سطح فلورسانس حداقل شرایط نوری (Fo) بعد از خاموشی طیف نوری

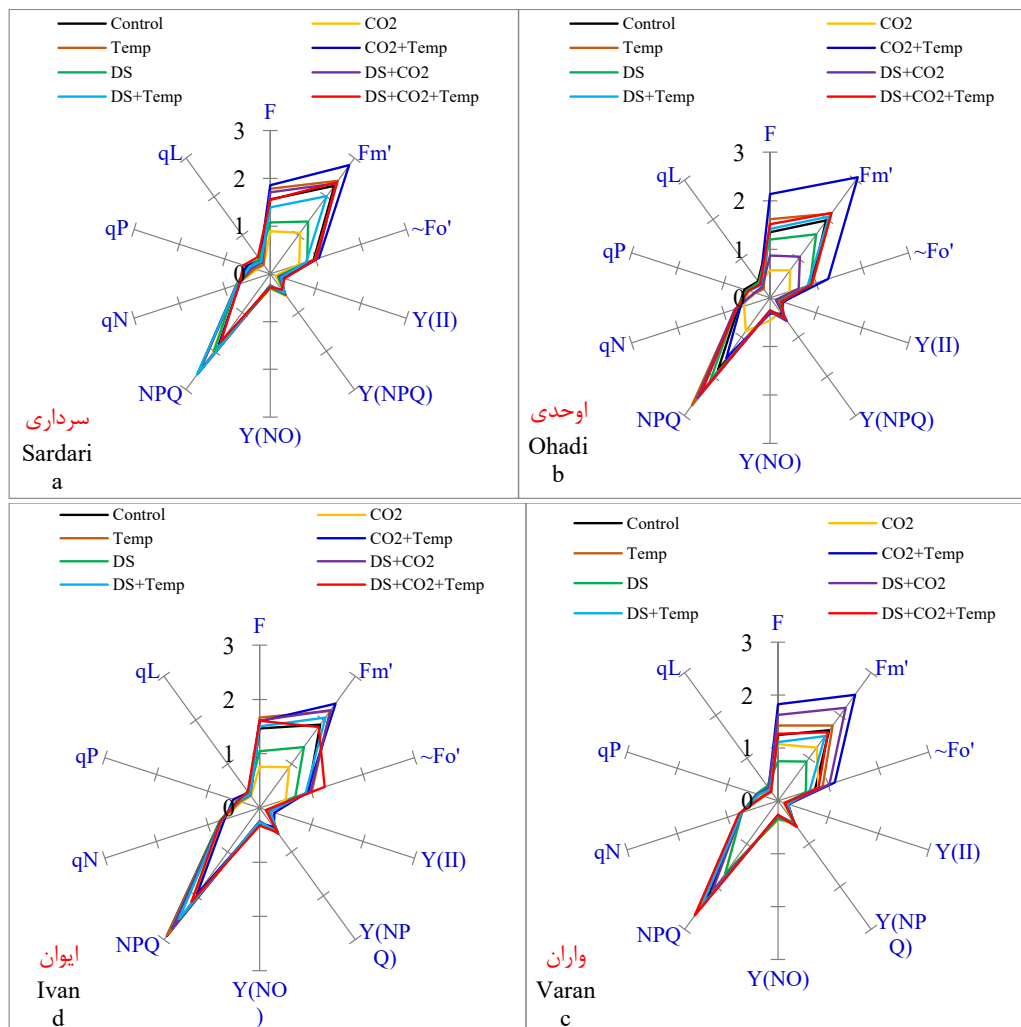
تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش عملکرد تبدیل فتوشیمیایی (Y(II)) شد؛ ولی سایر تیمارها آن را کاهش داد (شکل ۳(a)). در رقم اوحدی تیمارهای دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا، تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا، تنش خشکی و دمای بالا منجر به افزایش Fm، F و Fo و تیمارهای تنش خشکی، تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا و دی‌اکسیدکربن بالا آن‌ها را کاهش دادند. کلیه تیمارهای مورد ارزیابی به‌ویژه دمای بالا و تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به کاهش Y(II) شد؛ در حالیکه تیمارهای تنش خشکی + دمای بالا و دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا + تنش خشکی منجر به افزایش عملکرد انرژی پخش حرارتی تنظیم‌شده (Y(NPQ)) شدند. کلیه تیمارها سطح qP و qL را در این رقم نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۳(b)). در رقم واران تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا، دمای بالا و تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا سطح پارامترهای Fm، F و Fo را افزایش و تیمارهای تنش خشکی، دی‌اکسیدکربن بالا و دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا سطح این پارامترها را نسبت به شاهد کاهش دادند. پارامترهای مختلف qN، Y(II)، Y(N- (PQ و Y(NO) تحت تیمارهای مختلف قرار نگرفتند. تیمارهای تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و دمای بالا منجر به کاهش سطح qN و qL شدند و اثر سایر تیمارها بر روی آن‌ها معنی‌دار نبود. تیمارهای تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا، دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا و تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا سطح NPQ را افزایش دادند؛ ولی تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا و تنش خشکی به‌تنهایی سبب کاهش آن گردیدند (شکل ۳(c)). در رقم ایوان نیز تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا، تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش سطح Fm و F شدند در حالیکه این تیمارها بعلاوه تیمار تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش Fo شدند. تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا و تنش خشکی هر سه پارامتر Fm، F و Fo را کاهش دادند. تیمار

مراکز واکنشی PSII تعبیر کرد (Kalaji et al., 2018) که می‌تواند نتیجه اثرات جدایی فیزیکی کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور در هسته PSII باشد (Lotfi et al., 2020). افزایش سطح فلورسانس حداقل با جدایی کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور از کمپلکس PSII، غیرفعال‌شدن مراکز فتوشیمیایی PSII یا بازدارندگی جریان انتقال الکترون از کینون a به کینون b در ارتباط است (Mathur et al., 2014). در مقابل کاهش فلورسانس حداکثر تحت تنش با بازدارندگی انتقال الکترون از قسمت اهداکننده الکترون PSII یا با دناوره‌شدن پروتئین‌های کلروفیل مرتبط است (Lotfi et al., 2020). ارزیابی نمودار تارنکبوتی پارامترهای فلورسانس کلروفیل تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی، دمای بالا و دی‌اکسیدکربن بالا در ارقام گندم دیم نشان داد که تغییرات کلی پارامترها در ارقام مختلف تحت تیمارهای مورد ارزیابی مشابه هستند. در رقم سرداری اثر تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا، دمای بالا، دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا + تنش خشکی و تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش سطح پارامترهای Fm، F و Fo نسبت به شاهد می‌شود. اثر تیمارهای تنش خشکی و دی‌اکسیدکربن بالا به‌تنهایی منجر به کاهش این پارامترها گردید. خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس با فرض اتصال آنتن‌های PSII (qL) فقط تحت تیمار توأم تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا افزایش یافت؛ ولی خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس (qP) تحت تیمار توأم تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و همچنین دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا افزایش یافت. سطح پارامترهای خاموشی غیر فتوشیمیایی فلورسانس متغیر (qN) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) تحت تیمارهای مختلف به‌ویژه تیمارهای تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا کاهش یافتند. بررسی مجموع پخش حرارتی غیرقابل تنظیم و نشر فلورسانس Y(NO)) نسبت به شاهد نشان داد که این پارامتر تغییرات کمی تحت تیمارهای مختلف دارد و تنها تیمار دی‌اکسیدکربن بالا آن را افزایش داد. تیمارهای

1. Donor side of PSII

تیمار دی‌اکسیدکربن بالا+ دمای بالا آن را افزایش داد. تیمارهای دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا و دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا + تنش خشکی پارامترهای qP و qL را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳(d)).

دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش Y(II) شد؛ ولی اثر سایر تیمارها روی این پارامتر و همچنین پارامترهای Y(NPQ) و Y(NO) معنی‌دار نبود. کلیه تیمارها منجر به کاهش سطح NPQ و qN شدند، اما



شکل ۳. نمودار تار عنکبوتی تغییرات پارامترهای فلورسانس کلروفیل ارقام گندم دیم تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی، دما و دی‌اکسیدکربن. Control، CO₂، Temp و DS: به ترتیب عبارتند از شاهد، دی‌اکسیدکربن، دما و تنش خشکی.

Fig 3. Spider plot of the changes in chlorophyll fluorescence parameters of dryland wheat genotypes under different treatments of drought stress, temperature and carbon dioxide. Control, CO₂, Temp, DS are control, carbon dioxide, temperature, drought stress, respectively.

یافته‌های این پژوهش است. تنش دمای بالا فتوسیستم II را در هر دو بخش گیرنده و دهنده الکترون متأثر می‌سازد و منجر به کاهش سطح فتوسنتز گیاهان می‌شود (Li et al., 2016). روبیسکو اکتیواز مسئول حذف بازدارنده‌ها و تنظیم محل‌های اتصال روبیسکو است. اگرچه دمای مناسب برای روبیسکو (بیشتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از روبیسکو اکتیواز (بین ۳۰ تا ۴۵

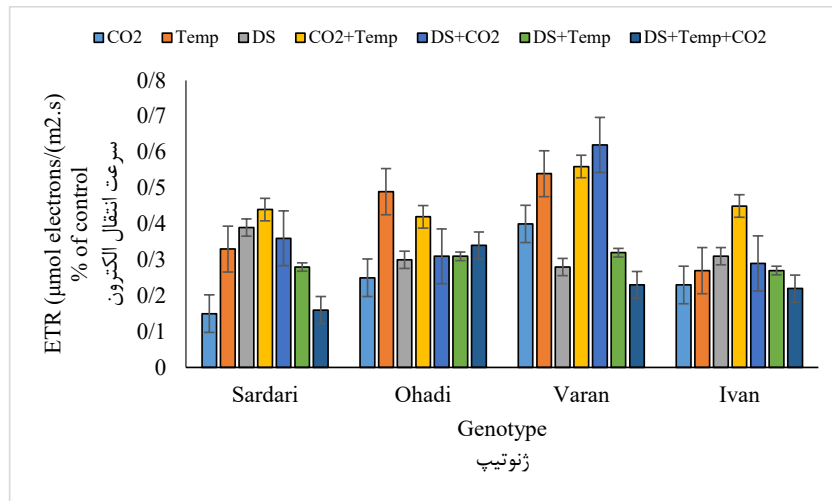
تنش دمای بالا سطح حداکثر فتوشیمیایی PSII را کاهش می‌دهد، تنش دمای بالا همچنین منجر به کاهش YII به میزان ۵۶ درصد گردیده است. تنش دمای بالا منجر به افزایش آسیب PSII شده که با افزایش سطح (YNO) در PSII تأیید می‌شود. پخش انرژی مرتبط با ظرفیت محافظت نوری در گیاهان یعنی (YNPQ) در شرایط تنش دمای بالا افزایش یافت (Pan et al., 2018) که مطابق با

حرارتی، عدم محدودیت آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن و تعادل واکنش‌های فتوشیمیایی در فتوسیستم II بوده و منجر به افزایش عملکرد کوانتومی خاموشی فلورسانس غیرفتوشیمیایی ناشی از نور (YNPQ) به‌عنوان شاخص ارزیابی آسیب‌های اکسیداتیو با تولید گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست (Ruban., 2016) شد.

سرعت انتقال الکترون در ارقام مختلف گندم دیم متفاوت بود و کلیه تیمارهای تنش دمای بالا، خشکی و دی‌اکسیدکربن بالا منجر به کاهش نرخ انتقال الکترون شد. تیمارهای دی‌اکسیدکربن بالا در ارقام سرداری، اوحدی و ایوان و اثر توأم تنش خشکی + دمای بالا + دی‌اکسیدکربن بالا نرخ انتقال الکترون را بیشتر کاهش داد. باین‌وجود اثر متقابل دمای بالا و دی‌اکسیدکربن بالا در همه ارقام و گرما در ارقام سرداری، اوحدی و ایوان نسبت به سایر عوامل از نرخ انتقال الکترون بیشتری برخوردار بودند (شکل ۴). افزایش فرآیند NPQ با پخش انرژی زیاد جذب‌شده تحت تنش منجر به کاهش سرعت انتقال الکترون گردید (شکل ۴) و از تولید گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند (Stamelou et al., 2021). انتقال الکترون تحت تنش خشکی در رقم سرداری و دمای بالا در اوحدی و وارن تغییر زیادی نیافت (شکل ۴) که نشان‌دهنده عدم محدودیت بازتولید RuBP با تأمین انرژی از واکنش‌های فتوشیمیایی است (Tozzi et al., 2013). همبستگی منفی کارایی فتوشیمیایی PSII با پارامترهای خاموشی غیر فتوشیمیایی بیانگر آن است که مصرف انرژی مازاد به‌صورت گرما و حفظ آکسیداسیون پذیرنده‌های الکترون PSII ناکافی بوده (Ort and Baker, 2002) و می‌تواند علت کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی گندم تحت تنش‌های دمای بالا و خشکی باشد.

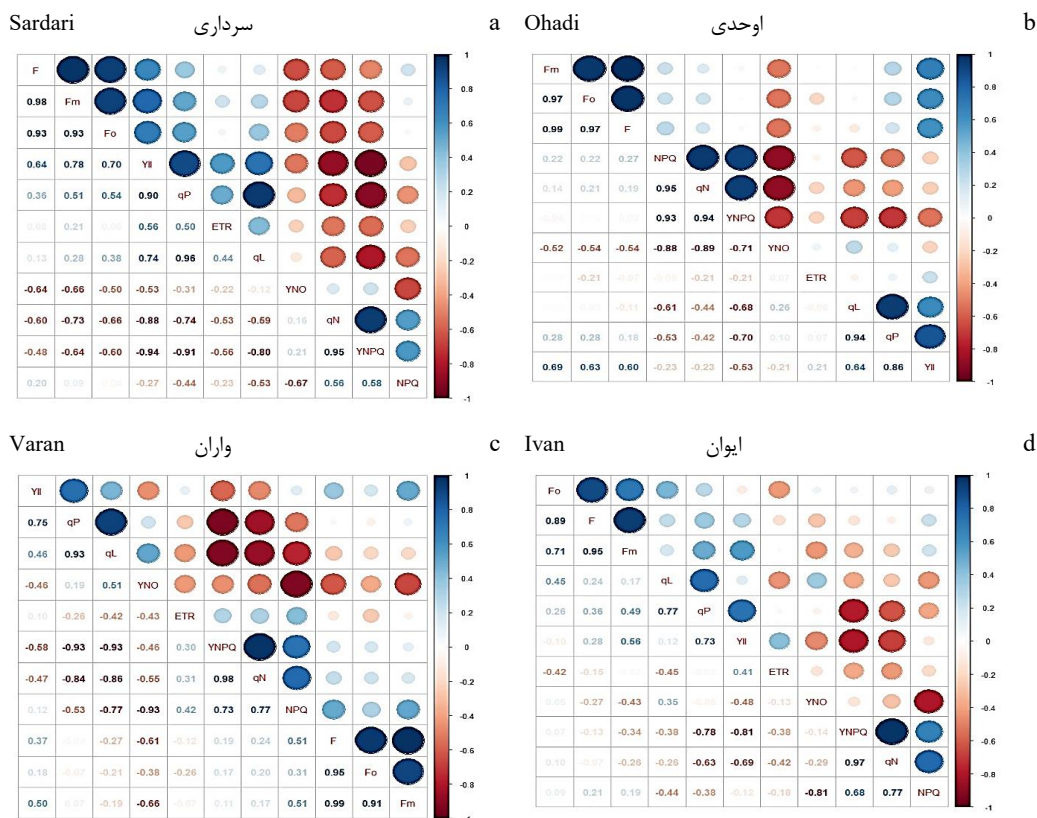
ارزیابی همبستگی بین پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل نشان داد که در تمامی ارقام همبستگی بین F, F_m و F_o و YII مثبت و بیشترین همبستگی منفی در تمامی ارقام بین پارامترهای qL و qP با NPQ و qN بود. سرعت انتقال الکترون (ETR) در رقم سرداری با پارامترهای qP، qL و YII (شکل ۵(a))، در رقم اوحدی و ایوان فقط با YII (شکل ۵(b,d))، در رقم وارن با پارامترهای YNPQ، qN و NPQ همبستگی مثبت داشت (شکل ۵(c)).

درجه سانتی‌گراد) است بطوریکه نرخ روبیسکو غیرفعال از روبیسکو فعال در دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌شود (Salvucci & Crafts-Brandner, 2004). تحت شرایط تنش خشکی یا تنش دمای بالا با افزایش میزان روبیسکو غیرفعال مخازن الکترونی محدودشده و منجر به کندشدن فرآیندهای PSII و افزایش NPQ می‌شود (Tozzi et al., 2013). در رقم وارن تحت تیمار توأم دی‌اکسیدکربن بالا + دمای بالا + تنش خشکی سطح qP کاهش یافت (شکل ۳(c)). کاهش qP در نتیجه بسته‌شدن مراکز واکنشی PSII است. مشارکت رنگدانه‌های محافظت نوری (زاگزانتین و آنتراکسانتین) منجر به تغییر کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور شده و به نظر می‌رسد عامل کاهش انتقال الکترون فتوسنتزی و qP تحت شرایط تنش خشکی باشد (Tozzi et al., 2013). عملکرد کوانتومی اتلاف حرارتی غیرقابل تنظیم (Y(NO)) با مکانیسم‌های محافظت‌کننده نوری دخیل است و با افزایش میزان تنش بیشتر می‌شود (Brestic et al., 2018) که در این پژوهش دی‌اکسیدکربن بالا منجر به افزایش آن گردید (شکل ۳(b)). عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر PSII (Y(II)) شاخص نسبت نور جذب‌شده که درگیر واکنش‌های فتوشیمیایی شده در رقم ایوان تحت تنش دمای بالا + تنش خشکی + دی‌اکسیدکربن بالا بیشتر شد (شکل ۳(d)) که با یافته‌های (Genty et al., 1989) مطابقت دارد. خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس (qP) که نسبت مراکز واکنشی باز و شاخص مشخص‌کننده بازدارنده نوری و سطح خاموشی محافظت‌کننده نوری فلورسانس (Ruban and Murchie, 2012)، خاموشی فتوشیمیایی فلورسانس با فرض اتصال آنتن‌های PSII (qL) شاخص تخمین کسر مراکز واکنشی باز بطور مشخصی تحت تیمارها قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عدم تأثیر تنش‌های مورد مطالعه بر فرآیندهای فتوشیمیایی گیاهان است و با افزایش فلورسانس حداکثر به‌ویژه در تنش‌های توأم تأیید می‌شود (شکل ۳). با این وجود پارامترهای خاموشی غیرفتوشیمیایی NPQ به‌عنوان شاخص افزایش انرژی پخش حرارتی از طریق چرخه زانتوفیل (Pinno et al., 2013) در همه ارقام تحت تنش‌های توأم دمای بالا، تنش خشکی و دی‌اکسیدکربن بالا افزایش یافت (شکل ۳) که نشان‌دهنده افزایش ظرفیت پخش



شکل ۴. تغییرات سرعت انتقال الکترون ارقام مختلف گندم دیم تحت تیمارهای مختلف دی اکسید کربن، دما و تنش خشکی. خطای استاندارد (SE). Control, CO₂, Temp, DS به ترتیب شاهد، دی اکسید کربن، دما و تنش خشکی.

Fig 4. Changes in the electron transfer rate of different dryland wheat genotypes under different treatments of drought stress, temperature and carbon dioxide. Standard error (SE). Control, CO₂, Temp, DS are control, carbon dioxide, temperature, drought stress, respectively.



شکل ۵. همبستگی بین پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل در ارقام مختلف گندم تحت شرایط دیم. Control, CO₂, Temp, DS به ترتیب عبارتند از شاهد، دی اکسید کربن، دما و تنش خشکی.

Fig 5. Correlation between different chlorophyll fluorescence parameters of different wheat genotypes under dryland conditions. Control, CO₂, Temp, DS are control, carbon dioxide, temperature, drought stress, respectively.

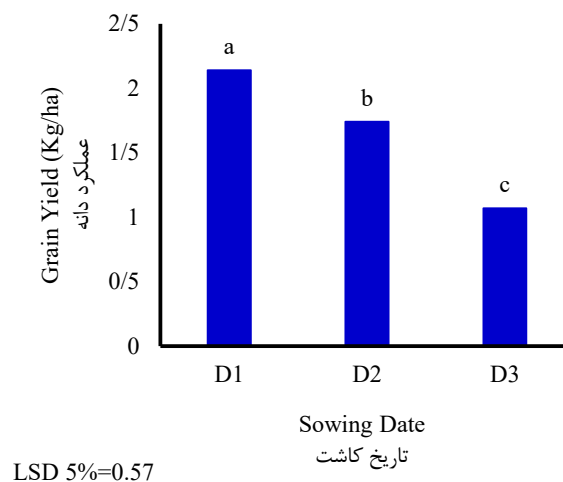
تأثیر تنش دمایی در مرحله رویشی و زایشی بر خورد نکرده است و عملکرد دانه آن افزایش یافت. بطور مشابهی گزارش شده است که در تاریخ کاشت مهرماه در گندم دیم بیشترین میزان جریان انتقال الکترون به‌ازای مراکز واکنشی، عملکرد کوانتومی PSII، کارایی کمپلکس تجزیه آب در PSII بیشتر است (Lotfi et al., 2020).

تجزیه واریانس عملکرد دانه در مزرعه نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده در حالی که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر عملکرد دانه معنی‌دار نبوده است (جدول ۳). در تاریخ کاشت اول گیاهان در مرحله نمو مناسب با دماهای پایین زمستان و دماهای متعادل در مرحله زایشی در بهار برخورد کرده و فرآیندهای فتوسنتزی آن‌ها تحت

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد دانه ارقام گندم دیم تحت تاریخ‌های مختلف کاشت در شرایط دیم

Table 3. Analysis of variance in grain yield of wheat genotypes under different sowing dates under dryland conditions

SOV منبع تغییر	df درجه آزادی	Grain yield عملکرد دانه
Rep تکرار	2	1.29
Sowing date (SD) تاریخ کاشت	2	3.54*
E main plot خطای کرت اصلی	4	0.25
Genotype (G) ژنوتیپ	3	0.07 ^{ns}
SD × G اثر متقابل ژنوتیپ × تاریخ کاشت	6	0.12 ^{ns}
E sub plot خطای کرت فرعی	18	0.14
CV(%) ضریب تغییرات	18	23.2



شکل ۶. تغییرات عملکرد دانه گندم تحت تاریخ‌های مختلف کاشت در شرایط دیم. D1، D2 و D3 (تاریخ‌های کاشت ۱۵ و ۳۰ مهر و ۱۵ آبان)

Fig 6. Changes in wheat grain yield under different sowing dates in dryland conditions. D1, D2 and D3 (sowing dates on 7 and 22 Oct., 6 Nov).

انرژی پخش حرارتی از طریق چرخه زانتوفیل گردید و در نهایت نرخ انتقال الکترون کاهش یافت. بین مؤلفه‌های تغییر اقلیم دمای بالا و دی‌اکسیدکربن بالا روی نرخ انتقال الکترون اثر بیشتری داشت. آزمایش بخش مزرعه نشان داد که در تاریخ کاشت

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بخش محیط کنترل شده، مؤلفه‌های تغییر اقلیم در همه ارقام مورد مطالعه فلورسانس حداکثر را کاهش دادند. کاهش این پارامتر منجر به فعال شدن مسیر خاموشی غیر فتوشیمیایی و

- Brestic, M., Zivcak, M., Hauptvogel, P., Misheva, S., Kocheva, K., Yang, X., Li, X. & Allakhverdiev, S. I. (2018). Wheat plant selection for high yields entailed improvement of leaf anatomical and biochemical traits including tolerance to non-optimal temperature conditions, *Photosynthesis Research*, 136, 245-255.
- Evans, J. R. & Clarke, V. C. (2019). The nitrogen cost of photosynthesis, *Journal of Experimental Botany*, 70(1), 7-15.
- FAO.)2020(. *Quarterly Global Report No. 1*, Rome FAO, Rome, Italy.
- Genty, B., Briantais, J. M. & Baker, N. R. (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 990(1), 87-92.
- IPCC. Climate Change.)2021(. The Physical Science Basis. In Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge University Press*. New York, NY, USA.
- Iqbal, N., Sehar, Z., Fatma, M., Umar, S., Sofo, A. & Khan, N. A. (2022). Nitric oxide and abscisic acid mediate heat stress tolerance through regulation of osmolytes and antioxidants to protect photosynthesis and growth in wheat plants, *Antioxidants*, 11(2), 372.
- Kalaji, H. M., Rastogi, A., Živčák, M., Brestic, M., Daszkowska-Golec, A., Sitko, K., Alsharafa, K.Y., Lotfi, R., Stypiński, P., Samborska, I.A., Cetner, M.D. & Cetner, M. D. (2018). Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: an example of barley landraces exposed to various abiotic stress factors, *Photosynthetica*, 56(3), 953-961.
- Ledvinka, H. D., Toghyani, M., Tan, D. K., Khoddami, اول با توجه به سازگاری گیاهان به شرایط محیطی (ذخیره رطوبتی بیشتر و تطابق بهتر با دما) عملکرد دانه بیشتری داشت. ارقام دیم مورد مطالعه با وجود شرایط تنش خشکی و دمای بالا در مرحله رسیدگی، سازگاری مناسبی به تغییرات اقلیمی با مکانیسم دفع انرژی حرارتی درون سیستم فتوسنتزی از خود نشان دادند.
- منابع**
- Abdelhakim, L. O. A., Palma, C. F. F., Zhou, R., Wollenweber, B., Ottosen, C. O. & Rosenqvist, E. (2021). The effect of individual and combined drought and heat stress under elevated CO₂ on physiological responses in spring wheat genotypes, *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 301-314.
- Aiqing, S., Somayanda, I., Sebastian, S. V., Singh, K., Gill, K., Prasad, P. V. V. & Jagadish, S. K. (2018). Heat stress during flowering affects time of day of flowering, seed set, and grain quality in spring wheat. *Crop Science*, 58(1), 380-392.
- Ali, S., Xu, Y., Jia, Q., Ahmad, I., Wei, T., Ren, X., Zhang, P., Din, R., Cai, T. & Jia, Z. (2018). Cultivation techniques combined with deficit irrigation improves winter wheat photosynthetic characteristics, dry matter translocation and water use efficiency under simulated rainfall conditions, *Agricultural Water Management*, 201, 207-218.
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P. & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production, *Nature climate change*, 5(2), 143-147.
- Balla, K., Rakszegi, M., Li, Z., Bekes, F., Bencze, S. & Veisz, O. (2011). Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis, *Czech Journal of Food Sciences*, 29(2), 117-128.

- Mathur, S., Agrawal, D. & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: response to high temperature stress, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 116-126.
- Ort, D.R. & Baker, N.R. (2002). A photoprotective role for O₂ as an alternative electron sink in photosynthesis?, *Current opinion in plant biology*, 5(3), 193-198.
- Pan, C., Ahammed, G. J., Li, X. & Shi, K. (2018). Elevated CO₂ improves photosynthesis under high temperature by attenuating the functional limitations to energy fluxes, electron transport and redox homeostasis in tomato leaves, *Frontiers in plant science*, 9, 1739.
- Pfannschmidt, T. & Yang, C. (2012). The hidden function of photosynthesis: a sensing system for environmental conditions that regulates plant acclimation responses, *Protoplasma*, 249, 125-136.
- Pinnola, A., Dall'Osto, L., Gerotto, C., Morosinotto, T., Bassi, R. & Alboresi, A. (2013). Zeaxanthin binds to light-harvesting complex stress-related protein to enhance nonphotochemical quenching in *Physcomitrella patens*, *The Plant Cell*, 25(9), 3519-3534.
- Prasad, P. V. & Djanaguiraman, M. (2014). Response of floret fertility and individual grain weight of wheat to high temperature stress: sensitive stages and thresholds for temperature and duration, *Functional Plant Biology*, 41(12), 1261-1269.
- Riaz, M. W., Yang, L., Yousaf, M. I., Sami, A., Mei, X. D., Shah, L., Rehman, S., Xue, L., Si, H. & Ma, C. (2021). Effects of heat stress on growth, physiology of plants, yield and grain quality of different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes, *Sustainability*, 13(5), 2972.
- Ruban, A. V. (2016). Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching: mechanism and A., Godwin, I. D. & Liu, S. Y. (2022). The Impact of Drought, Heat and Elevated Carbon Dioxide Levels on Feed Grain Quality for Poultry Production, *Agriculture*, 12(11), 1913.
- Li, Q. M., Liu, B. B., Wu, Y. & Zou, Z. R. (2008). Interactive effects of drought stresses and elevated CO₂ concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings, *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1307-1317.
- Li, Y., Li, X., Yu, J. & Liu, F. (2017). Effect of the transgenerational exposure to elevated CO₂ on the drought response of winter wheat: stomatal control and water use efficiency, *Environmental and Experimental Botany*, 136, 78-84.
- Lodeyro, A. F., Krapp, A. R. & Carrillo, N. (2021). Photosynthesis and chloroplast redox signaling in the age of global warming: stress tolerance, acclimation, and developmental plasticity, *Journal of Experimental Botany*, 72(16), 5919-5937.
- Lotfi, R., Gharavi-Kouchebagh, P. & Khoshvaghti, H. (2015). Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress, *Russian Journal of Plant Physiology*, 62, 480-486.
- Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K. & Pessarakli, M. (2020). Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101635.
- Lotfi, R. A. M. I. N., Kalaji, H. M., Valizadeh, G. R., Khalilvand Behrozyar, E., Hemati, A. R. A. S. H., Gharavi-Kochebagh, P. O. U. R. I. Y. A. & Ghassemi, A. (2018). Effects of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions, *Photosynthetica*, 56, 962-970.

- ambient or diminished CO₂ and O₂ levels on thylakoid membrane structure in light-stressed plants, *The Plant Journal*, 81(6), 884-894.
- Wang, W., Cai, C., He, J., Gu, J., Zhu, G., Zhang, W., Zhu, J. & Liu, G. (2020). Yield, dry matter distribution and photosynthetic characteristics of rice under elevated CO₂ and increased temperature conditions, *Field Crops Research*, 248, 107605.
- Zinta, G., AbdElgawad, H., Domagalska, M. A., Vergauwen, L., Knapen, D., Nijs, I., Janssens, I.A., Beemster, G.T. & Asard, H. (2014). Physiological, biochemical, and genome-wide transcriptional analysis reveals that elevated CO₂ mitigates the impact of combined heat wave and drought stress in *Arabidopsis thaliana* at multiple organizational levels, *Global Change Biology*, 20(12), 3670-3685.
- effectiveness in protecting plants from photodamage, *Plant physiology*, 170(4), 1903-1916.
- Ruban, A. V. & Murchie, E. H. (2012). Assessing the photoprotective effectiveness of non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching: a new approach, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1817(7), 977-982.
- Salvucci, M. E. & Crafts-Brandner, S. J. (2004). Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis, *Physiologia plantarum*, 120(2), 179-186.
- Sehar, Z., Mir, I. R., Khan, S., Masood, A. & Khan, N. A. (2023). Nitric Oxide and Proline Modulate Redox Homeostasis and Photosynthetic Metabolism in Wheat Plants under High Temperature Stress Acclimation, *Plants*, 12(6), 1256.
- Serôdio, J. & Campbell, D. A. (2021). Photoinhibition in optically thick samples: Effects of light attenuation on chlorophyll fluorescence-based parameters, *Journal of Theoretical Biology*, 513, 110580.
- Shewry, P. R. & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health, *Food and energy security*, 4(3), 178-202.
- Stamelou, M. L., Sperdouli, I., Pyrri, I., Adamakis, I. D. S. & Moustakas, M. (2021). Hormetic responses of photosystem II in tomato to *Botrytis cinerea*, *Plants*, 10(3), 521.
- Tozzi, E. S., Easlon, H. M. & Richards, J. H. (2013). Interactive effects of water, light and heat stress on photosynthesis in F₂ remount cottonwood, *Plant, Cell & Environment*, 36(8), 1423-1434.
- Tsabari, O., Nevo, R., Meir, S., Carrillo, L. R., Kramer, D. M. & Reich, Z. (2015). Differential effects of



Zoning of Drinking Water Quality Using Entropy Method and Its Relationship With the Drought (Case Study: Abdalan Aquifer, Gachsaran)

Akbar Khedri¹, Taleb Moradinejad^{*2}, Majid Dashti Barmaki³, Marzie Eskandari⁴

1. Ph.D. Hydrogeology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
2. Ph.D. Student. Hydrogeology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
3. Ph.D. Hydrogeology, Kharazmi University, Tehran, Iran.
4. MSc. Agricultural, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*Corresponding Author: talebmoradinejad@yahoo.com

Keywords:

Drought index, EWQI index, Groundwater, Magnesium

Extended Abstract

Introduction:

In this research, it has been tried to use entropy theory to evaluate the quality of sixteen water well samples at Abdalan aquifer, April 2018 to September 2019. This has been done to reduce taste judgments. Additionally, SIAP and EWQI indices have been used to investigate the relationship between drought and groundwater quality. The results showed that chlorine has the highest rate of influence on the quality of underground water in the region and is the main factor in water quality reduction. Also, sodium and potassium have the most instability and constant changes. The results showed that 74% of the groundwater samples in the study area have high quality, 13% have average quality, and the other 13% have poor quality. Also, the inverse relationship between the drought index (SIAP) and the groundwater resources quality index (EWQI) in the 18-month period shows the leaching effect of evaporative formations in increased precipitation. Various methods such as fuzzy logic (Nakhaei and Vadiati, 2013), factor analysis (Jalali and Asghari Moghaddam, 2013), gray modeling (Ip et al., 2009), and analytic hierarchical process (Nakhaei and Vadiati, 2013) to evaluate water quality have been used by various researchers. These methods are often qualitative and cannot accurately describe water quality. In this research, an attempt will be made to determine the rank of underground water quality using the weighted entropy index method. This research evaluates the quality groundwater of the Abdalan plain in Gachsaran city in terms of drinking. Also, to reduce expert judgments and obtain more accurate results, Shannon's entropy theory was applied to weight the water quality index. In the second place, an attempt is made to establish and justify a meaningful relationship between the drought index and groundwater quality changes.

Materials and Methods:

First, descriptive analysis of statistical characteristics of hydrochemical parameters

How to cite this article:

Khedri, A., Moradinejad, T., Dashti Barmaki, M., & Eskandari, M. (2024). Zoning of Drinking Water Quality Using Entropy Method and Its Relationship With the Drought (Case Study: Abdalan Aquifer, Gachsaran). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 17-36. [10.22077/JDCR.2023.6366.1023](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6366.1023)



was used to gain a correct understanding of the hydrogeological and hydrochemical conditions of the aquifer. Then, using the entropy-weighted groundwater quality index (EWQI), the groundwater quality of the alluvial aquifer in the northeast of Gachsaran was analyzed. The Shannon entropy is a concept introduced by Shannon (1948), which measures the uncertainty of an event occurring given partial information about the system. In the first step, the entropy weight of each parameter should be calculated. Considering that groundwater qualitative parameters have different units and also the difference in the quality of the samples, the data is prepared using the normalization function. The second step is calculating the EWQI, determining the quality rating criteria for each parameter. Finally, based on Pei-Yue et al. classification (Pei-Yue et al., 2010), groundwater quality based on EWQI for drinking purposes is placed in 5 categories: very good, good, moderate, bad and very bad. After qualitative studies in the scope of studies in the period of 18 months (April 2017 to September 2018), the examination of the six-month period of dry or wet period compared to the long-term climatic average and its relationship with the EWQI qualitative index will be done using the SIAP index (Khalili, 1991) to check whether the period is dry or wet will be a great help to achieve this goal. The SIAP index has been used in three six-month periods at Dogonbadan rain gauge station. The first period is April 2017 to September 2017, the second period from October 2017 to March 2018 and the third period to April 2018 to September 2018.

Result and discussion:

The average value of all parameters measured in this study (measurement of major ions in 16 wells for 18 months) is lower than the permissible value of the WHO standard for drinking water. Considering the geological characteristics of the studied area and the presence of the Gachsaran formation, it can be expected that the concentration of sulfate ions is slightly higher than other ions. According to the results of the correlation coefficients of the mentioned parameters, the presence of Gachsaran formation and marl and evaporite sediments in the southern and central parts of the region, as well as the feeding role of hard limestone formations in the north and northwest of the aquifer region, have caused high changes in the quality of underground water in the region. The high entropy values of chlorine indicate the higher influence of this ion than other parameters on groundwater quality in the study area. According to the EWQI index, most groundwater samples are ranked second (good quality), followed by two samples ranked third (average quality), and two other samples ranked fourth. Therefore, the results show that the quality of underground water in most wells in the study area is in a good class. The samples with a higher EWQI value are located near the Gachsaran formation, Bakhtiari, and Pabdeh. This has caused groundwater quality degradation in the studied area. Examining the relationship between the water quality index (EWQI) and drought index (SIAP) shows an inverse relationship between the two, as the more climatic conditions move towards wetter and more humid, the more qualitative conditions of groundwater will worsen. In fact, with the increase in precipitation in the study area, more leaching occurs in the region.

Conclusion:

Only parameters such as bicarbonate and potassium have values higher than the permissible limit. The high proportion of bicarbonate can be attributed to geological features and aquifer nutrition from the hard Asmari limestone formations in the study area. The rest of the parameters are below standard. According to the results of using the entropy method, chlorine has the highest influence on the quality of underground water in the study area. It is the main factor in reducing water quality and increasing electrical conductivity. The results of qualitative zoning of underground water in this study area showed that the quality of underground water in most of the wells in the study area is in a high-quality category. The relationship between precipitation amounts and the quality of water resources has been manifested by the increase in dissolution, especially in marl-evaporite formations. As explained by the increase in precipitation and the consequent increase in water discharge, the amount of leaching has increased and the quality of water resources has decreased.



پهنه‌بندی کیفیت آب شرب با استفاده از روش آنتروپی و ارتباط آن با میزان خشکسالی (مطالعه موردی: آبخوان آبدالان، گچساران)

اکبر خدري^۱، طالب مرادی نژاد^{۲*}، مجید دشتی برمکی^۳، مرضیه اسکندری^۴

۱. دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، اهواز، ایران.

۲. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

۴. کارشناس ارشد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

*نویسنده مسئول: talebmoradinejad@yahoo.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی، شاخص خشکسالی، شاخص EWQI، منیزیم

کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در نیم قرن گذشته توجه فزاینده‌ای را از سوی هیدروژئولوژیست‌ها به خود جلب کرده است. از این رو، روش‌های مختلفی تحت عنوان شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی جهت بررسی وضعیت کیفی این منابع حیاتی استفاده شده است. با این همه، استفاده از قضاوت‌های کارشناسانه از جمله نقطه ضعف‌های این مدل‌های کیفی محسوب می‌گردد. در این تحقیق سعی شده است از تئوری آنتروپی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و کاهش اینگونه قضاوت‌های سلیقه‌ای استفاده گردد. برای این منظور، داده‌های ۱۶ نمونه‌ی آب زیرزمینی، جهت ارزیابی فیزیکی - شیمیایی در بازه زمانی ۱۸ ماهه (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸) بررسی شدند. نتایج کاربرد روش آنتروپی نشان داد که کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه را داراست و عامل اصلی کاهش کیفیت آب می‌باشد. همچنین نتایج بررسی روش آنتروپی نشان داد که غلظت سدیم و پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم است که می‌تواند ناشی از وجود سازندهای تبخیری گچساران و پابده باشد. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است و نشان می‌دهد که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برقرار است. به‌طور کلی نتایج نشان داد ۷۴ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت خوب و ۱۳ درصد دارای کیفیت متوسط می‌باشند و ۱۳ درصد دیگر کیفیت مطلوبی ندارند. همچنین، ارتباط معکوس بین شاخص خشکسالی (SIAP) و شاخص کیفی منابع آبی (EWQI) در بازه زمانی ۱۸ ماهه نشان دهنده اثر آبشستگی سازندهای تبخیری در شرایط افزایش بارش است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۶/۱۱

مقدمه

امروزه در تمام نقاط دنیا منابع آبی سطحی و زیرزمینی نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در توسعه اقتصادی، اجتماعی و همچنین کیفیت زندگی ایفا می‌کنند (Amiri et al., 2013). رشد جمعیت و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و همچنین توسعه مناطق صنعتی در نقاط مختلف، موجب افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع مورد استفاده برای کشاورزی و شرب شده است. سلامت و بهداشت زندگی انسان در ارتباط نزدیک با کیفیت آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب مصرفی در بسیاری از نقاط دنیا و به‌خصوص کشورمان است.

آب شرب، آبی است عاری از موجودات بیماری‌زا که ترکیبات سمی یا دارای اثرات دراز مدت خطرناک بر سلامتی انسان در آن ناچیز است. با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین دست و فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به محل تخلیه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (Todd, 2005). انحلال کانی‌های سازنده ساختمان خاک که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، موجب می‌شود کیفیت آب زیرزمینی تغییر کند. آب‌هایی که میزان کلر آن‌ها بیش از حد است، شور و آب‌هایی که مقدار سولفات سدیم و سولفات منیزیم آن‌ها زیاد است، گس و تلخ مزه‌اند. کلسیم و منیزیم نیز از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز بدن هستند. املاح این دو فلز موجب سختی آب می‌شود (Lalehzari, 2010). همچنین مقادیر بالای نیترات در آب زیرزمینی منجر به بروز نارسایی حاد خونی در کودکان و کاهش توانایی انتقال اکسیژن توسط رگ‌ها می‌شود (Comply, 1945). با اندازه‌گیری مقادیر هدایت الکتریکی که رابطه مستقیمی با مقدار مجموع نمک‌های محلول در آب دارد؛ می‌توان به‌طور نسبی آلودگی معدنی آب را مشخص ساخت. کل املاح محلول نقش مستقیمی در ایجاد خطرات بهداشتی ندارد اما زمینه‌ساز ایجاد سنگ کلیه در انسان است. همچنین غلظت بالای کل املاح محلول می‌تواند باعث ایجاد سوزش معده و روده انسان شود.

کیفیت آب زیرزمینی به دلیل عوامل مختلفی همچون

ورود فاضلاب، ورود کودهای شیمیایی، نشت از شبکه فرآورده‌های نفتی، محل‌های دفن زباله در معرض کاهش و تخریب قرار می‌گیرند. همچنین شرایط هیدروژئولوژیکی و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان باعث تغییر کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مختلف می‌شود. از این‌رو کیفیت آب زیرزمینی متأثر از شرایط زیست‌محیطی و هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان است. روش‌های گوناگونی برای ارزیابی کیفیت آب توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال می‌توان به روش‌های منطق فازی (Nakhaei and Vadiati, 2013)، تحلیل عاملی^۱ (Jalali and Asghari Moghaddam, 2013)، مدل‌سازی خاکستری (Ip et al., 2009) و تحلیل سلسله مراتبی^۲ (Nakhaei and Vadiati, 2013) اشاره کرد. این روش‌ها اغلب به‌صورت کیفی هستند و قابلیت توصیف دقیق کیفیت آب را ندارند. در این پژوهش تلاش خواهد شد تا با استفاده از روش شاخص آنتروپی وزن دار، رتبه کیفیت آب زیرزمینی تعیین گردد.

سازمان بهداشت جهانی به‌عنوان بالاترین نهاد بین‌المللی در کنترل کیفیت آب رهنمودهایی برای آلاینده‌های مختلف آب آشامیدنی ارائه کرده است. هدف اصلی تدوین رهنمودهای کیفی برای آب آشامیدنی، حفظ بهداشت عمومی است. مواد شیمیایی که در تعیین مقادیر رهنمودی انتخاب می‌شود، بالقوه برای سلامتی انسان خطرناک است. با استفاده از روش شاخص کیفی آب (WQI) می‌توان از بیان عددی برای مشخص کردن کیفیت آب استفاده کرد. با توجه به توانایی بالای آن در توصیف اطلاعات کیفیت آب و همچنین استفاده از پارامترهای تأثیرگذار در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی، روش‌های مبتنی بر شاخص کیفی آب در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه و استفاده قرار گرفته است (Simos et al., 2008). در زمینه کاربرد شاخص کیفیت آب زیرزمینی مطالعات متنوعی انجام شده است. از جمله این روش‌ها، روش شاخص آنتروپی وزن دار است. این روش، در جهان برای

1. Fuzzy Logic
2. Factor Analysis Method
3. Analytic Hierarchy Process Method
4. Water Quality Index Method

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شاخص کیفیت آب با وزن یکپارچه (IWQI) که در آن از روش آنتروپی وزن‌دار استفاده شده، مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آن‌ها بینش‌هایی را در مورد وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه ارائه کرده است که می‌تواند در توسعه یک استراتژی حفاظت از آب سودمند باشد. در مراحل پیشرفته‌تر، برخی نظیر ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2021)، برای محاسبه وزن نسبی متغیرها و اجتناب از کاستی‌های آنتروپی، از روش همبستگی بین معیاری هرچند اهمیت معیار (CRITIC) به عنوان روش وزن دهی عینی استفاده کردند. در ایران نیز تجربیات موفقی بر اساس روش آنتروپی وزن‌دار انجام شده است. امیری و همکاران (Amiri et al., 2013) پارامتر کیفی آب شامل کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، نیترات، کروم، روی، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، اسیدیته، اکسیژن محلول و میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی را در ۵۹ نمونه آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از آنتروپی وزن‌دار (IWQI یا EWQI) تحلیل نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که کروم و روی به ترتیب دارای کمترین و بیشترین نرخ تأثیرگذاری بر آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. ثنوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب زیرزمینی در دشت میقان (Parsamehr et al., 2018) نشان داد که ۵۸ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت بسیار خوب، ۲۷ درصد دارای کیفیت خوب و مابقی دارای کیفیت متوسط تا ضعیف هستند. این روش در مطالعات آب سطحی نیز انجام شده است که برای مثال می‌توان به مطالعه آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) اشاره کرد. ایشان از روش آنتروپی شانون در تعیین مؤثرترین پارامتر شیمیایی در کیفیت آب‌های سطحی حوضه صوفی چای استفاده نمودند. بر اساس مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی محاسباتی، پارامتر مؤثر در شش ایستگاه تازه‌کنند، خرما زرد، اسفستانج، کهلیکدرسی، مراغه و چکان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اسیدیته و منیزیم در زمره مؤثرترین پارامتر در این ایستگاه‌هاست. همچنین، نتایج محاسبه شاخص کیفیت آب با استفاده از روش آنتروپی بیانگر کیفیت عالی آب‌های سطحی منطقه است (Akhoni

تعیین کیفیت آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده است. پی‌یو و همکاران (Pei-Yue et al., 2010) در منطقه پنگیانگ، در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب^۱ (EWQI) پرداختند. نتایج نشان داد این روش در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل اعتماد است. وو و همکاران (Wu et al., 2011) از آنتروپی وزنی شانون برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی در منطقه نینگوخیا توسط ۱۲ پارامتر کیفی استفاده کردند که از میان آن‌ها، TDS و آهن مهمترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی منطقه بود. همچنین، پی‌یو و همکاران (Yue et al., 2011) جهت تعیین کیفیت آب منطقه دونگ شینگ از روش آنتروپی وزنی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که کیفیت آب این منطقه نسبتاً خوب می‌باشد. به تدریج از روش‌های تلفیقی برای بررسی کیفیت آب استفاده شد. برای مثال، ارزیابی کیفیت منابع آبی با روش آنتروپی و تلفیق آن با ارزیابی ریسک سلامت نیز از جمله روش‌های مورد استفاده در جهان می‌باشد که در این راستا می‌توان به مطالعاتی نظیر ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل شاخص کیفیت وزن آنتروپی (EWQI) و ارزیابی خطر سرطان سلامت انسان در فلزات سنگین در شرق هند توسط ساو و همکاران (Saw et al., 2022) اشاره کرد. در برخی موارد نیز، از ترکیب روش‌های آماری و شاخص آنتروپی وزن‌دار برای بررسی کیفیت منابع آبی استفاده شد. هدف مطالعه احمد و همکاران (Ahmad et al., 2022) شناسایی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد آماری چند متغیره یکپارچه و شاخص کیفیت وزنی آنتروپی (EWQI) در شهر ماتورا در اوتار پرادش بود. به عقیده آن‌ها شاخص کیفیت وزنی آنتروپی (EWQI) با استفاده از مقادیر آنتروپی متشکل از متغیرهای هیدروشیمیایی متعدد استفاده شده است و به دلیل محاسبات گسترده‌تر، از روش WQI عملی‌تر است. ژیانو و همکاران (Giao et al., 2023)، کیفیت آب در دلتای مک دونگ ویتنام را با استفاده از روش‌های مختلف نظیر تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA)، تجزیه و

1. Entropy Weighted Water Quality Index Weighted Water Quality Index

(Pourhosseini and Ghorbani, 2016).

هدف از این پژوهش در وهله اول، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبدالان در شهرستان گچساران از لحاظ شرب است. همچنین، برای کاهش قضاوت‌های کارشناسی و حصول نتایج دقیق‌تر از تئوری آنتروپی شانون برای وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب استفاده شد. در وهله دوم، سعی بر آن است که بین شاخص خشکسالی و تغییرات کیفی آب زیرزمینی ارتباط معناداری برقرار و توجیه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

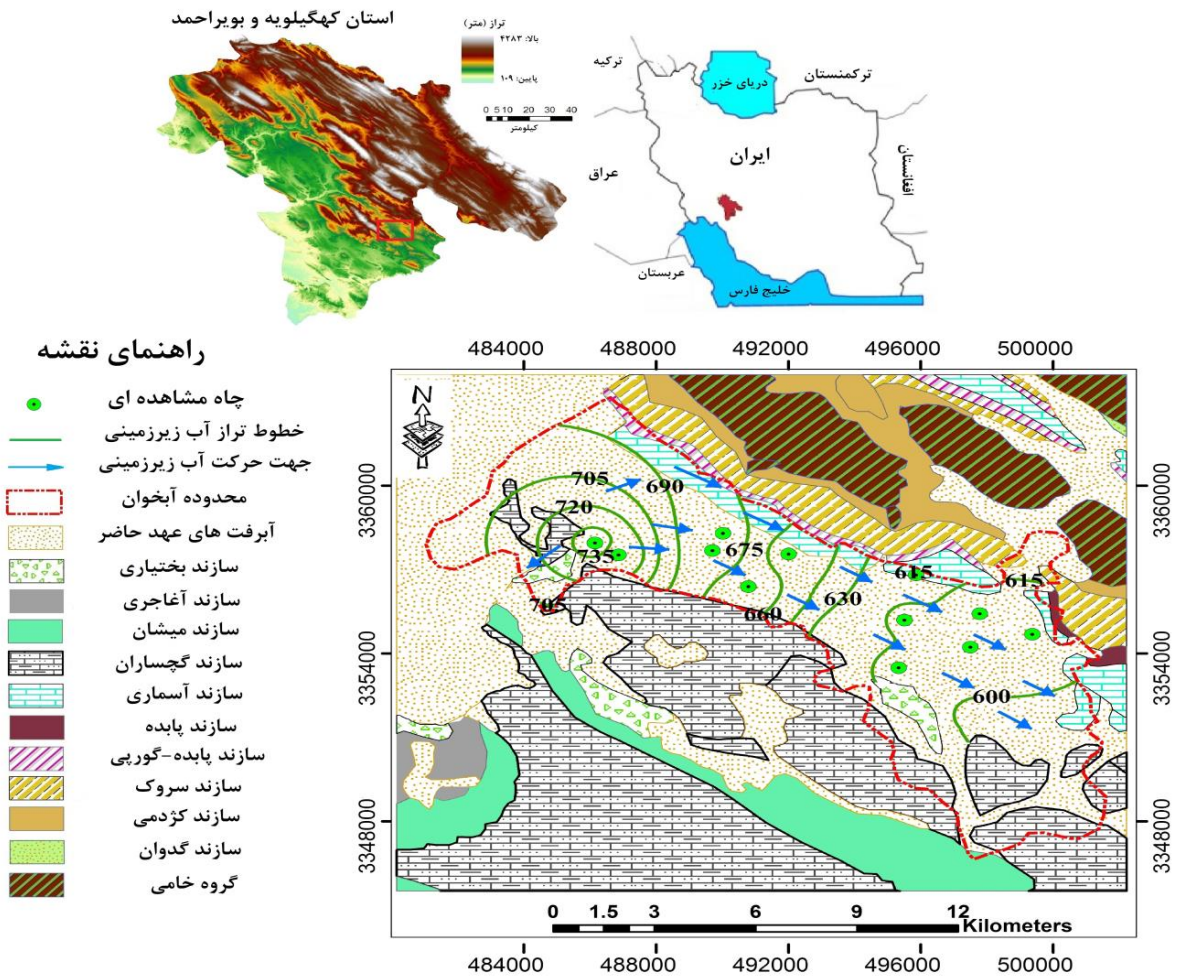
منطقه مورد مطالعه محدوده مطالعاتی، در جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد در ۵ کیلومتری شمال شرق شهر گچساران بین مختصات $50^{\circ}52'$ الی $51^{\circ}09'$ طول شرقی و $30^{\circ}15'$ الی $30^{\circ}28'$ عرض شمالی و ارتفاع متوسط ۷۰۰ متر از سطح دریا واقع گردیده که از شمال به ارتفاعات کوه خامی، از جنوب به مسیل فصلی خربل (خروجی دشت) منتهی به رودخانه زهره، از شرق به دشت کوچک سربیشه و بیدزرد و از غرب به محدوده مطالعاتی دوگنبدان و شهر گچساران محدود می‌شود. از لحاظ چینه‌شناسی حوضه آبریز محدوده مورد مطالعه از نهشته‌های کرتاسه تا کواترنری تشکیل شده است که از قدیم به جدید شامل گروه خامی (فهلپیان، گدوان، داریان)، کژدمی، ایلام-سروک، پابده-گورپی، آسماری، گچساران، میشان، بختیاری و آبرفت‌ها و رسوبات عهد حاضر می‌باشد (Darvishzadeh, 2003). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، آبخوان شمال شرق شهر گچساران دارای اقلیم نیمه خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم نیمه خشک معتدل می‌باشد (khedri and kalantari, 2020). امتداد این آبخوان در جهت شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و جهت جریان آب زیرزمینی نیز با توجه به اطلاعات پیزومترها در همین امتداد می‌باشد. این آبخوان عمدتاً حاصل فرسایش سازندهای آهکی بالادست بوده که مواد متشکله آن در امتداد مخروط‌افکنه‌ها غالباً درشت و از نوع قلوه سنگ، گراول، ماسه و رس و در نواحی مرکزی آبخوان

با دانه‌بندی متوسط و در ناحیه خروجی معمولاً ریزدانه و از جنس رس و سیلت می‌باشد. ضخامت متوسط آبخوان با توجه به اطلاعات ۸۶ سونداژ الکتریکی قائم حدود ۱۳۵ متر و جنس سنگ کف، سازند گچساران و در بخش‌هایی از دشت، آهک‌های نابرجای آسماری و گنگلومرای بختیاری بدست آمده است. در شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آبدالان گچساران مربوط به تغذیه دشت، ناشی از نزولات جوی، جریان‌های زیرزمینی، سیلاب‌ها و آب‌های برگشتی کشاورزی بوده که سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود و تخلیه آب زیرزمینی دشت به دلیل بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است که سبب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در سفره می‌گردد. بنابراین تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه چشمگیر است و در طول سال تغییرات زیادی دارد.

ابتدا، از تحلیل توصیفی خصوصیات آماری پارامترهای هیدروشیمیایی استفاده شد تا بتوان به درک درستی از شرایط هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی آبخوان دست یافت. پس از بررسی‌های مذکور، با استفاده از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب زیرزمینی (EWQI) به تحلیل کیفیت آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی شمال شرق گچساران پرداخته شده است. مفهوم آنتروپی برای اولین بار توسط شانون در سال ۱۹۴۸ ارائه شد (Shannon, 1948). مفهوم اساسی آنتروپی این است که یک رخداد اتفاقی تا چه حد تصادفی است. در واقع میزان تصادفی بودن را به صورت یک سنجح ریاضی گزارش می‌کند (Shyu, 2011). محاسبه EWQI در سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله نخست باید وزن آنتروپی هر پارامتر را محاسبه کرد. مراحل محاسبه آنتروپی، وزن آنتروپی و EWQI است: بر اساس داده‌های کیفیت آب زیرزمینی برای m نمونه و n پارامتر ماتریس مقادیر ویژه X^1 به صورت زیر خواهد بود (Shannon, 1948).

1. Eigenvalue



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور).

Fig 1. Geological map of the studied area (taken from the Geological Organization).

به‌صورت زیر خواهد بود:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - (x_{ij})_{\min}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (2)$$

و این در حالی است که برای نوع هزینه‌ای، تابع نرمال‌سازی داده‌ها به‌صورت رابطه زیر است (Shannon, 1948):

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (3)$$

ماتریس استاندارد داده‌های خام پس از نرمال‌سازی بدین صورت خواهد شد:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

با توجه به اینکه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی واحدهای مختلفی دارند و همچنین اختلاف کیفیت نمونه‌ها، با استفاده از تابع نرمال‌سازی، داده‌ها آماده‌سازی می‌شوند. چهار نوع و حالت را بر اساس خصوصیات هر شاخص می‌توان از هم تفکیک کرد که شامل نوع کارایی^۱، نوع هزینه‌ای^۲، نوع ثابت شده^۳ و نوع بازه‌ای^۴ است. برای نوع کارایی، تابع نرمال‌سازی

1. Efficiency type
2. Cost type
3. Fixed type
4. Interval type

رتبه‌بندی^۱ کیفی (q_j) برای هر پارامتر است. معیار رتبه‌بندی کیفی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$q_j = \frac{C_j}{S_j} \times 100 \quad (۸)$$

C_j و S_j به ترتیب غلظت پارامتر شیمیایی برای هر نمونه و غلظت همان پارامتر بر اساس رهنمودهای کیفیت آب برای مصارف شرب برحسب Mg/l است. در این پژوهش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی استفاده شده است. مرحله پایانی محاسبه $EWQI$ به صورت زیر خواهد بود.

$$EWQI = \sum_{j=1}^n \omega_j q_j \quad (۹)$$

بر اساس تقسیم‌بندی پی و همکاران (Pei-Yue et al., 2010)، کیفیت آب زیرزمینی بر اساس $EWQI$ برای مصارف شرب در ۵ رده بسیار خوب، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف قرار می‌گیرد (جدول ۱).

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

نسبت مقدار شاخص پارامتر i در نمونه i بر اساس معادله زیر محاسبه شده است:

$$P_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (۵)$$

آنتروپی اطلاعات نیز به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (۶)$$

هرچقدر مقدار آنتروپی کمتر باشد؛ تأثیر پارامتر j بیشتر خواهد بود. وزن آنتروپی (ω_j) هر پارامتر (j) با استفاده از معادله زیر محاسبه شده است:

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (۷)$$

مرحله دوم محاسبه میزان $EWQI$ ، تعیین معیار

جدول ۱. رتبه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس $EWQI$ برای مصارف شرب.

Table 1. Groundwater quality ranking based on $EWQI$ for drinking purposes.

کیفیت آب water quality	رتبه rank	مقدار شاخص Index value
excellent بسیار خوب	1	کمتر از 50
well خوب	2	50 تا 100
medium متوسط	3	100 تا 150
weak ضعیف	4	150 تا 200
very weak بسیار ضعیف	5	بیشتر از 200

تر بودن دوره مورد بررسی کمک شایانی جهت نیل به این هدف خواهد بود. فرمول شاخص معیار بدون بعد SIAP (Standard Index of Annual Precipitation) که معرف ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها می‌باشد به صورت زیر است:

$$SIAP = \left(\frac{P - \bar{P}}{SP} \right) \times 100 \quad (۱۰)$$

1. Rating scale

بررسی ارتباط وضعیت اقلیمی و شاخص $EWQI$

در بازه‌های زمانی تر و خشک

پس از مطالعات کیفی در محدوده مطالعاتی در بازه زمانی ۱۸ ماهه (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸)، بررسی دوره شش ماهه دوره خشک یا تر نسبت به متوسط بلند مدت اقلیمی و ارتباط آن در این بازه‌های زمانی با شاخص کیفی $EWQI$ انجام خواهد شد. استفاده از شاخص SIAP (Khalili, 1991) جهت بررسی وضعیت خشک یا

موجود در آبخوان بصورت ماهیانه به مدت ۱۸ ماه متوالی نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس از میان متغیرهای اندازه‌گیری شده در ۲۸۸ نمونه آب زیرزمینی برداشت شده، متغیرهای بی‌کربنات، سولفات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و هدایت الکتریکی استفاده گردیده است. از آنجایی که برای بررسی کیفیت آب از لحاظ شرب اکثراً از تحلیل آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب استفاده می‌شود پارامترهای فوق جهت انجام این پژوهش انتخاب گردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه آب‌شناسی پیشرومردن زیر نظر شرکت آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد انجام شدند. خطای موازنه بار یونی داده‌ها کمتر از ۵٪ است که نشان می‌دهد برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مناسب است. سپس به بررسی آماری پارامترهای مورد نظر پرداخته شد. در جداول (۳) و (۴) مشخصات چاه‌های نمونه‌گیری شده و خصوصیات آماری ۲۸۸ نمونه استفاده شده به همراه استاندارد WHO برای آب شرب ارائه شده است.

همان‌طوری که در جدول (۴) آمده است؛ به جز بی‌کربنات و پتاسیم، مقدار میانگین تمامی پارامترها پایین‌تر از مقدار مجاز استاندارد WHO برای آب شرب است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و وجود سازند گچی گچساران می‌توان انتظار داشت که غلظت یون سولفات اندکی بیشتر از سایر یون‌ها باشد.

برای بهتر مشخص شدن رابطه تغییرات بین پارامترهای مختلف به تحلیل ضرایب همبستگی و مقدار احتمال (p-value) پارامترهای هیدروشیمیایی مورد استفاده در پژوهش حاضر پرداخته شد. در حالتی که ضریب همبستگی (r) بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد و مقدار احتمال (p-value) کمتر از ۰/۰۲ باشد همبستگی بسیار قوی بین دو پارامتر مورد مقایسه برقرار است و همین‌طور، ضریب همبستگی بین ۰/۵ تا ۰/۷ و در سطح معنی‌داری $p < 0/05$ همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد (Shyu, G. S et al., 2011). مقدار ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳ و مقدار احتمال $0/05 > P > 0/1$ به‌عنوان عدم همبستگی بین پارامترها تلقی شده است (جدول ۵ و ۶).

که در آن:

$SLAP$: شاخص معیار بارندگی سالانه

P : بارندگی سالانه (mm)

\bar{P} : متوسط بارندگی سالانه در دوره مطالعاتی (mm)

SP : انحراف معیار بارندگی سالانه (mm)

تقسیم‌بندی ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها بر اساس این شاخص، مطابق با جدول ۲ است. مقادیر منفی مبین خشک‌سالی‌ها و مقادیر مثبت مبین ترسالی‌ها است. نسبت‌ها بر حسب درصد بیان شده‌اند.

جدول ۲. آستانه‌های شاخص معیار SIAP

مفهوم	حدود شاخص (%)
Description	Index Limit (%)
بسیار خشک very dry	کمتر از -100
خشک dry	از -100 تا -50
نرمال (معمولی) normal	از -50 تا +50
مرطوب wet	از +50 تا +100
بسیار مرطوب very wet	بیشتر از +100

ایستگاه هواشناسی دوگنبدان با ۷۷۶ متر ارتفاع از سطح دریا و با کد ۴۰۳-۲۲ در مختصات جغرافیایی $46^{\circ} 50'$ طول شرقی و $22^{\circ} 30'$ درجه عرض شمالی قرار دارد. اطلاعات بارش ماهانه در این ایستگاه از سال ۱۳۷۲ موجود است. در مطالعه حاضر، از این شاخص در سه دوره شش ماهه در ایستگاه باران‌سنجی دوگنبدان استفاده شده است. دوره اول به بازه زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷، دوره دوم به مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ و دوره سوم به فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸ تعلق دارد. در این مطالعه، \bar{P} برابر با متوسط بارش دوره تر (مهر تا اسفند) یا خشک (فروردین تا شهریور) و در بازه زمانی ۱۰ ساله سال آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۸-۹۷ است. P_i نیز مقدار بارندگی در هر یک از سه دوره مورد بررسی است. پس از آن، میزان شاخص EWQI در این سه بازه زمانی بررسی خواهد شد و نتایج آن با میزان شاخص خشک‌سالی SIAP مقایسه می‌گردد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، ابتدا از ۱۶ حلقه چاه بهره‌برداری

جدول ۳. مشخصات چاه‌های نمونه‌گیری.

Table 3. Specifications of sampling wells

شماره چاه well number	مختصات جغرافیایی		نوع چاه type of well
	utm x	utm y	
1	486290	3356030	چاه نیمه عمیق semi deep well
2	487140	3357030	چاه عمیق deep well
3	498460	3352280	چاه عمیق deep well
4	497010	3353350	چاه عمیق deep well
5	495472	3353505	چاه عمیق deep well
6	493501	3353713	چاه عمیق deep well
7	497810	3353870	چاه عمیق deep well
8	496550	3354320	چاه عمیق deep well
9	492006	3354906	چاه عمیق deep well
10	494400	3354980	چاه نیمه عمیق semi deep well
11	493650	3355370	چاه عمیق deep well
12	496801	3351690	چاه عمیق deep well
13	495300	3352100	چاه عمیق deep well
14	492000	3356160	چاه عمیق deep well
15	491200	3356500	چاه عمیق deep well
16	488910	3356910	چاه عمیق deep well

جدول ۴. خلاصه آماری به همراه استاندارد WHO برای هر پارامتر.

Table 4. Statistical summary along with WHO standard for each parameter.

	EC	HCO ₃	CA	MG	CL	NA	K	SO ₄
	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
حداکثر MAX	2340.3	264.5	236.3	79.8	200.8	123.5	46.7	680.4
حداقل MIN	733.4	184.7	53.2	16.5	25.5	18.1	1.6	66.9
میانگین AVERAGE	1160.9	219.7	95.1	38.5	53.1	37.0	14.1	212.2
انحراف معیار STANDARD DEVIATION	404.7	20.1	42.7	15.3	41.0	24.6	14.7	143.9
استاندارد STANDARD	1500	150.0	300.0	300.0	200.0	200.0	12.0	250.0

(به‌جز هدایت الکتریکی که برحسب میکروموس بر سانتی‌متر است تمامی واحدهای پارامترهای مورد استفاده برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد).

جدول ۵. مقدار احتمال (P-value) پارامترهای هیدروشیمیایی.

Table 5. Probability value (P-value) of hydrochemical parameters.

	EC	HCO ₃ (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	SO ₄ (ppm)
	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
EC	0.09							
HCO ₃ (ppm)	0.08	0.04						
Ca (ppm)	0.02	0.04	0.07					
Mg (ppm)	0.02	0.04	0.02	0.06				
Cl (ppm)	0.06	0.01	0.09	0.07	0.09			
Na (ppm)	0.06	0.02	0.07	0.10	0.01	0.02		
K (ppm)	0.09	0.04	0.05	0.07	0.08	0.04	0.06	
SO ₄ (ppm)	0.09	0.01	0.08	0.02	0.09	0.02	0.10	0.05

جدول ۶. ضرایب همبستگی پیرسون پارامترهای هیدروشیمیایی.

Table 6. Pearson correlation coefficients of hydrochemical parameters.

	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
	EC	HCO ₃	Ca	Mg	Cl	Na	K	SO ₄
هدایت الکتریکی	1							
EC								
بی‌کربنات	0.02	1						
HCO ₃								
کلسیم	-0.06	-0.54	1					
Ca								
منیزیم	0.58	-0.08	0.35	1				
Mg								
کلر	0.56	-0.65	0.59	0.57	1			
Cl								
سدیم	0.72	-0.20	0.53	0.73	0.77	1		
Na								
پتاسیم	0.46	-0.75	0.42	0.18	0.18	0.53	1	
K								
سولفات	0.47	-0.13	0.67	0.83	0.61	0.90	0.28	1
SO ₄								

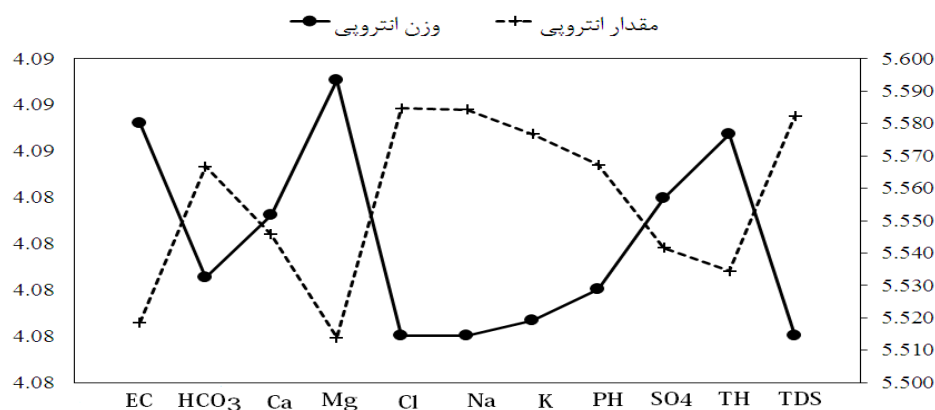
($r=0/9$) وجود دارد. بطور کلی بین اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده همبستگی قوی تا متوسطی برقرار است. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی منشأ اکثر تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه عوامل زمین‌شناسی و محیطی است. وجود

نتایج تحلیل ضرایب همبستگی در جدول (۶) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی مثبت قوی بین سدیم با منیزیم ($r=0/73$)، سولفات ($r=0/9$)، کلر ($r=0/77$) و همچنین بی‌کربنات با پتاسیم ($r=0/75$) و سولفات با منیزیم ($r=0/83$) و سدیم

برای هشت پارامتر مورد بررسی در پژوهش حاضر آورده شده است.

مقادیر بالای آنتروپی یون کلر نشان از تأثیرگذاری بالاتر آن نسبت به سایر پارامترها است (Wu et al., 2011). بنابراین می‌توان دریافت که کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری را بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. اثرگذاری عناصر مورد مطالعه بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه به ترتیب از بیشترین تا کمترین تأثیرگذاری شامل کلر، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلسیم، سولفات، هدایت الکتریکی و منیزیم می‌باشد و بنابراین عامل اصلی کاهش کیفیت آب، کلر در نظر گرفته شده است. در شکل (۲) مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی پارامترهای مورد استفاده آمده است.

سازند گچی گچساران و رسوبات مارنی و تبخیری در بخش جنوبی و مرکزی منطقه و همچنین نقش تغذیه‌کنندگی سازندهای سخت آهکی شمال و شمال غرب منطقه آبخوان باعث تغییرات بالای کیفیت آب زیرزمینی در منطقه شده است. پس از بررسی‌های اولیه، با استفاده از روابط ۲ تا ۹، میزان EWQI و رتبه هر نمونه آب برای مصرف شرب اندازه‌گیری شدند. در معادله ۶ مقدار آنتروپی و معادله ۷ وزن آنتروپی برای هر پارامتر محاسبه شدند. سپس معیار رتبه‌بندی کیفی آب براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تعیین شد و در نهایت با ضرب کردن این مقدار در وزن آنتروپی برای هر پارامتر و جمع این مقادیر برای هر نمونه، مقدار EWQI معرفی گردید. در شکل (۲)، نتایج مربوط به محاسبه مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی



شکل ۲. مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی پارامترهای مورد استفاده.

Fig 2. Entropy value and entropy weight of the used parameters.

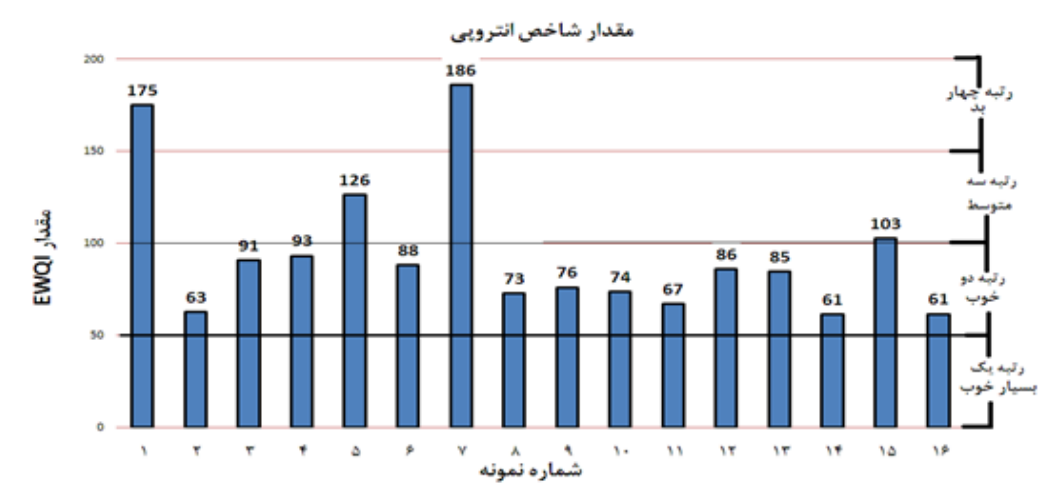
سازندهای تبخیری بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیرگذار خواهند بود و وزن آنتروپی کمتری دارند. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. در نهایت پس از محاسبه مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی، EWQI کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تهیه شد. نتایج برای تمامی ۱۶ نمونه آب زیرزمینی مورد مطالعه در شکل (۳) آمده است.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است؛ اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی در رتبه

مقدار وزن آنتروپی نیز نشان‌دهنده پایداری کیفیت آب زیرزمینی از نظر پارامتر مورد نظر است. مقادیر وزن آنتروپی کمتر نشان‌دهنده تغییرات کیفیتی آب زیرزمینی می‌باشد (Guey-Shin et al., 2011). به عبارت دیگر اگر وزن آنتروپی پارامتری پایین باشد، تغییرات کیفیت آن زیاد بوده و در محیط آبخوان ناپایدار است و برعکس پارامتری با وزن آنتروپی بالا تغییرات کمی داشته و در محیط آبخوان به پایداری رسیده است. بنابراین کلر، سدیم، پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم است. کلر، سدیم و پتاسیم به دلیل وجود ناخالصی‌های نمکی و سایر

چاه‌های منطقه مورد مطالعه در کلاس خوب قرار دارد. در جدول (۷) نیز مقدار EWQI و رتبه کیفی هر یک از نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر شرب و براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی آورده شده است.

دو (کیفیت خوب) و پس از آن دو نمونه در رتبه سه (کیفیت متوسط) و دو نمونه دیگر نیز در رتبه چهار که کیفیت ضعیف است قرار گرفته‌اند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در اغلب



شکل ۳. نتایج ارزیابی مقدار EWQI برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

Fig 3. EWQI value evaluation results for groundwater samples of the study area.

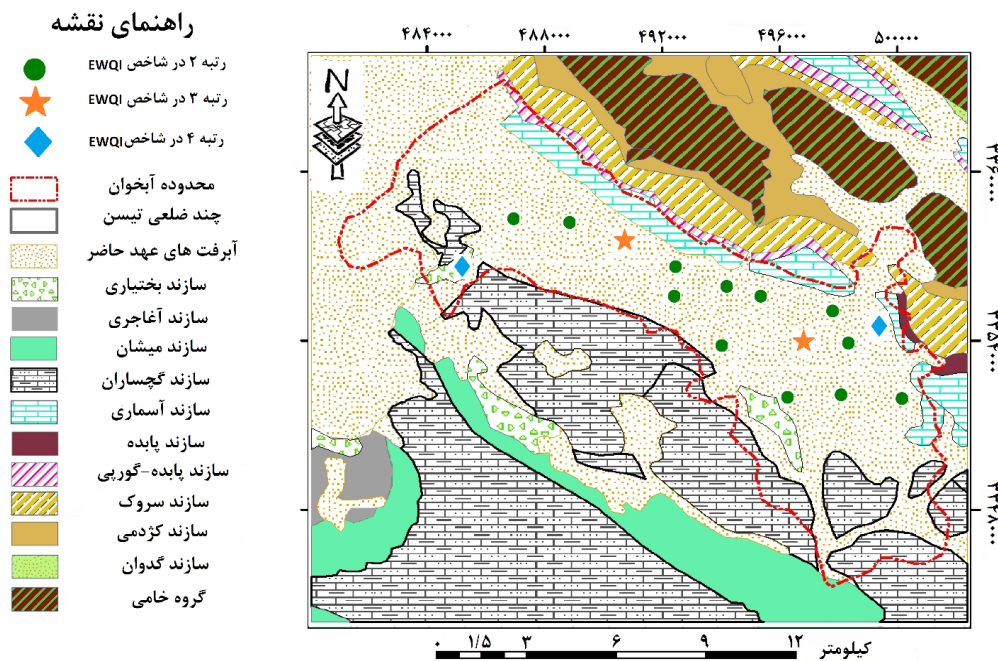
جدول ۷. شاخص EWQI و رتبه کیفی تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر شرب.

Table 7. EWQI index and quality rating of all groundwater samples in terms of potability.

نمونه Sample	1	2	3	4	5	6	7	8
EWQI	175	63	91	93	126	88	186	73
رتبه rank	4	2	2	2	3	2	4	2
کیفیت Quality	ضعیف weak	خوب well	خوب well	خوب well	متوسط medium	خوب well	ضعیف weak	خوب well
نمونه Sample	9	10	11	12	13	14	15	16
EWQI	76	74	67	86	85	61	103	61
رتبه rank	2	2	2	2	2	2	3	2
کیفیت Quality	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	متوسط medium	خوب well

رس) و آسماری می‌باشد و بر کیفیت آب تاثیر گذار است. نمونه ۵ و ۱۵ از لحاظ شاخص EWQI در رتبه ۳ و کیفیت متوسط و بقیه نمونه‌ها در رتبه ۲ و کیفیت خوب قرار دارند. به جهت درک بهتر مکانی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، موقعیت نمونه‌ها و رتبه‌های کیفی تعیین شده در شکل ۴ نمایش داده شده است. بر این اساس، اغلب منابع آبی در گستره مطالعاتی، در رده کیفیت خوب به لحاظ آب شرب (رتبه دوم) قرار دارد که این می‌تواند ناشی از اثر بالقوه سازندهای آهکی تغذیه کننده آبخوان نظیر آسماری باشد.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌هایی که دارای رتبه بالایی هستند؛ به‌عبارت‌دیگر مقدار EWQI بالایی دارند، در نزدیکی سازند گچساران (با میان لایه‌های مارن، ژپیس و نمک)، بختیاری، آسماری و پابده (شیل، مارن و آهک رسی) قرار دارند که باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شده است. نمونه ۱ به دلیل نزدیکی به سازند تبخیری گچساران و بختیاری از لحاظ کیفیت ضعیف می‌باشد و رتبه ۴ را داراست. نمونه ۴ که رتبه ۴ گرفته است از نظر کیفیت آب در رده‌ی ضعیف قرار می‌گیرد که در نزدیکی سازند پابده (شیل، مارن و

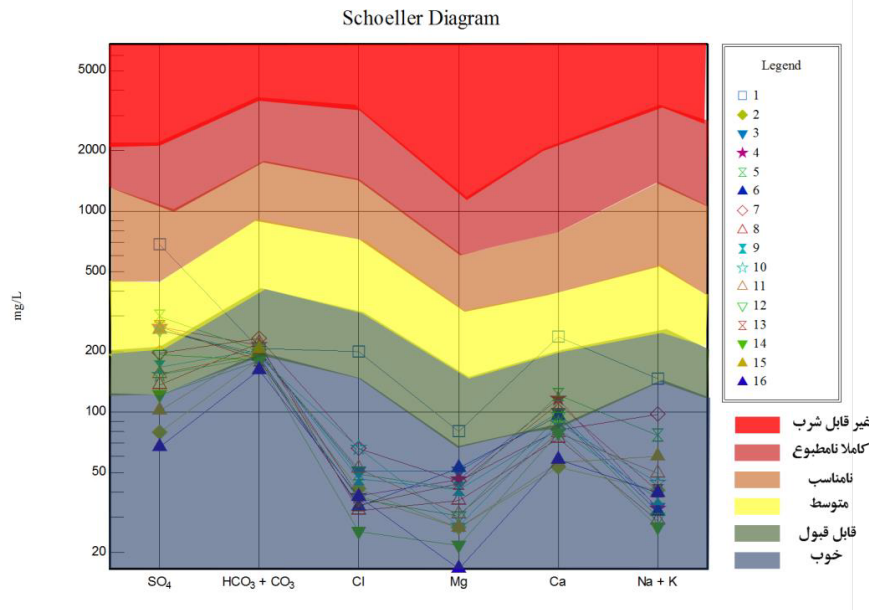


شکل ۴. موقعیت رتبه‌های کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.

Fig 4. Status of groundwater quality ratings in the study area.

نمودار شولر نیز در رده خوب قرار می‌گیرند. برخی دیگر از نمونه‌ها نیز در رده قابل قبول قرار گرفته‌اند. در نمودار شولر تفکیک مناسبی بین کیفیت‌های مختلف وجود ندارد و تنها نمونه‌های آب زیرزمینی در نموداری لگاریتمی و در کنار هم نشان داده می‌شوند. با مقایسه نمودار شولر و روش آنتروپی به‌نظر می‌رسد روش آنتروپی در بیان تاثیر پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی و همچنین رده‌بندی کیفیت آب زیرزمینی توانایی بالاتری دارد.

به منظور بررسی و مقایسه توانایی روش آنتروپی نسبت به دیگر روش‌های مرسوم از نمودار شولر استفاده شد. نمودار شولر (Schoeller, 1959) یکی از نمودارهای مهم و پرکاربرد در بررسی کیفیت آب شرب است. این نمودار با توجه به مقیاس لگاریتمی، از نظر سرعت عمل، سهولت مقایسه و نمایش تعداد زیادی از نمونه‌ها در یک نمودار و نمایش غلظت یون‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در شکل (۵) نمونه‌های کیفیت آب زیرزمینی در نمودار شولر نشان داده شده است. اغلب نمونه‌ها در



شکل ۵. ترسیم نمونه‌های آب زیرزمینی توسط نمودار شولر.

Fig 5. Drawing of groundwater samples by Schuler's diagram.

بین این دو شاخص می‌باشد به طوری که هر چه شرایط اقلیمی به سمت ترسالی و رطوبت بیشتر سیر می‌کند شرایط کیفی آب زیرزمینی بدتر خواهد شد (شکل ۶). در واقع با افزایش بارش در محدوده مطالعاتی، آبشستگی سازندی بیشتری در منطقه رخ می‌دهد. این مهم به خوبی در نمونه آب‌های شماره ۱ و ۷ مشهود است و نمایانگر آبشستگی سازندهای تبخیری گچساران و بختیاری و همچنین بخش رسی سازند پابده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر، با هدف ارزیابی و تحلیل کیفی منابع آب شرب زیرزمینی در دشت آبدالان گچساران انجام شد. علاوه بر این، استفاده از تئوری آنتروپی شانون برای استخراج وزن پارامترهای موجود در دستور کار قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته، تمامی پارامترها نظیر پارامترهای بی‌کربنات و پتاسیم دارای مقادیر بالاتر از حد مجاز هستند که نسبت بالای بی‌کربنات را می‌توان به ویژگی‌های زمین‌شناسی و تغذیه آبخوان از سازندهای سخت آهک آسماری در محدوده مطالعاتی نسبت داد. اما طبق نتایج کاربرد روش آنتروپی، کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را داراست و عامل اصلی کاهش کیفیت آب و افزایش هدایت الکتریکی

بررسی ارتباط وضعیت اقلیمی و شاخص EWQI در بازه‌های زمانی تر و خشک (سه دوره زمانی ۶ ماهه) در این بخش ارائه شده است. بر اساس محاسبات انجام شده (جدول ۷)، متوسط شاخص EWQI در دوره اول (بازه زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷) در عدد ۸۷ (کیفیت خوب) قرار دارد. اعداد شاخص در دوره دوم (مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷) و سوم (فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸) نیز برابر با ۹۵ (رده خوب) و ۱۰۰ (رده خوب - متوسط) می‌باشد.

پس از آن، شاخص خشکسالی دوره‌های سه گانه مورد بررسی قرار گرفته است. لذا، برای تعیین شاخص خشکسالی SIAP، نیاز به متوسط بارش دوره خشک و تر بازه زمانی بلند مدت ده ساله خواهد بود. جدول (۹) متوسط بارش در بازه زمانی ده ساله به تفکیک فصل تر و خشک و شاخص خشکسالی SIAP مربوط به هر دوره را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در سه بازه زمانی مورد بررسی (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷، مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸) به ترتیب دوره‌های نرمال، بسیار مرطوب و بسیار مرطوب رخ داده است. بررسی ارتباط بین شاخص کیفی آب (EWQI) و شاخص خشکسالی (SIAP) بیانگر ارتباط معکوس

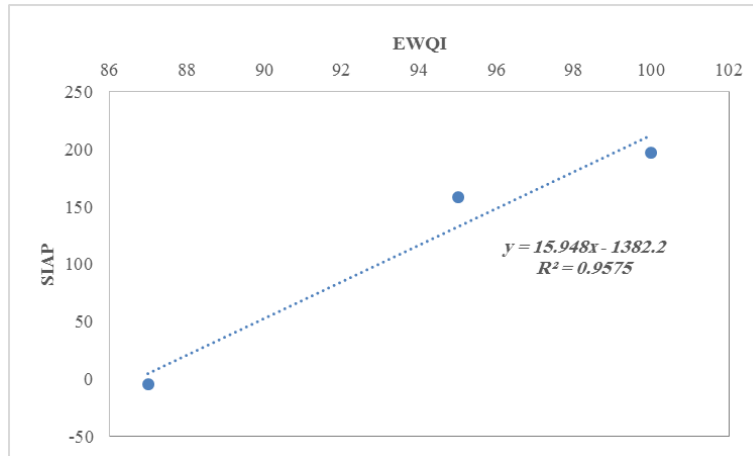
جدول ۸. مقادیر شاخص EWQI در سه دوره زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸

فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸ April 2019-September 2019			مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ October 2018-March 2019			فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷ April 2018-September 2018		
کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index	کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index	کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index
ضعیف weak	4	163	ضعیف weak	4	170	ضعیف weak	4	195
خوب well	2	69	خوب well	2	60	خوب well	2	57
خوب well	2	98	خوب well	2	87	خوب well	2	88
متوسط medium	3	110	خوب well	2	82	خوب well	2	86
متوسط medium	3	133	متوسط medium	3	149	خوب well	2	90
متوسط medium	3	113	خوب well	2	74	خوب well	2	76
ضعیف weak	4	186	ضعیف weak	4	186	ضعیف weak	4	186
خوب well	2	73	خوب well	2	69	خوب well	2	76
خوب well	2	66	خوب well	2	86	خوب well	2	76
خوب well	2	79	خوب well	2	79	خوب well	2	60
خوب well	2	81	خوب well	2	66	خوب well	2	52
متوسط medium	3	112	خوب well	2	71	خوب well	2	73
خوب well	2	85	خوب well	2	71	متوسط medium	3	101
خوب well	2	68	خوب well	2	62	خوب well	2	52
خوب well	2	94	متوسط medium	3	133	خوب well	2	78
خوب well	2	69	خوب well	2	68	بسیار خوب Excellent	1	46

جدول ۹. مقادیر شاخص خشکسالی SIAP در بازه زمانی سال آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۸-۹۷

Table 9. SIAP drought index values in 2009-2010 to 2018-2019

فصل خشک				فصل تر			
وضعیت اقليمی Climate	مقدار SIAP value	بارندگی (میلی متر) Rain (mm)	دوره آبی water period	وضعیت اقليمی Climate	مقدار SIAP value	بارندگی (میلی متر) Rain (mm)	دوره آبی Water period
normal نرمال	23.9	60.5	88-89	normal نرمال	35.7	356	88-89
بسیار خشک very dry	-139.4	3	89-90	wet مرطوب	53.2	377	89-90
خشک dry	-91.1	20	90-91	normal نرمال	1.6	315	90-91
normal نرمال	42.3	67	91-92	بسیار مرطوب very wet	122.6	460.5	91-92
خشک dry	-95.4	18.5	92-93	normal نرمال	17.4	334	92-93
بسیار مرطوب very wet	104.8	89	93-94	خشک dry	-73.2	225	93-94
normal نرمال	-7.4	49.5	94-95	normal نرمال	-42.5	262	94-95
normal نرمال	-30.1	41.5	95-96	بسیار خشک very dry	-114.8	175	95-96
<u>نرمال</u> normal	-4.5	50.5	96-97	<u>بسیار خشک</u> very dry	-158.5	122.5	96-97
بسیار مرطوب very wet	197.1	121.5	97-98	<u>بسیار مرطوب</u> very wet	158.4	503.5	97-98



شکل ۶. نمودار همبستگی بین شاخص کیفی آب (EWQI) و شاخص خشکسالی SIAP

Fig 6. Correlation diagram between water quality index (EWQI) and SIAP drought index

022-02776-8

Akhoni Pourhosseini, F. & Ghorbani, M A. (2016).

Application of Shannon entropy in determining the most effective chemical parameter in surface water quality (Case study: Sofi Chay watershed), *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(4), 322-332. [In Persian].

Amiri, V., Nakhaei, M., & Sohrabi, N. (2013).

Assessment of Groundwater Quality Based on Entropy Weighted Water Quality Index. *Advanced Applied Geology*, 3(1), 31-39. [In Persian].

Comply, HH. (1945). Cyanosis in infants caused

by nitrates in well water. *Journal of American Medicines Association*, 129, 112- 117.

Darvishzadeh, A. (2003). Geology of Iran. 5th Edition,

Amirkabir Publication, Tehran. [In Persian].

Giao, N.T., Nhien, H.T.H., Anh, P.K. & et al.

(2023). Groundwater quality assessment for drinking purposes: a case study in the Mekong Delta, *Vietnam. Sci Rep*, 13, 4380. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>.

Guey-Shin, S., Bai-You, C., Chi, TC., Pei, HY. &

Tsun, KC. (2011). Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy

می‌باشد. همچنین نتایج بررسی روش آنتروپی نشان داد سدیم و پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم هستند که می‌تواند ناشی از وجود سازندهای تبخیری گچساران و پابده باشد. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است و نشان می‌دهد که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برقرار است. نتایج به‌نهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در این محدوده مطالعاتی، نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی اغلب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در رده خوب قرار می‌گیرد. ارتباط بین میزان بارش و کیفیت منابع آبی با افزایش انحلال به ویژه در سازندهای مارنی - تبخیری نمود پیدا کرده است به شرحی که با افزایش بارش و بالتبع آن افزایش آبدهی منابع آبی، میزان آبشستگی افزایش و کیفیت منابع آبی تنزل یافته است. بر این اساس ارتباط معکوس بین شاخص خشکسالی (SIAP) و شاخص کیفی منابع آبی (EWQI) برقرار است.

منابع

Ahmad, S., Umar, R. & Ahmad, I. (2022). Assessment of groundwater quality using Entropy-Weighted Quality Index (EWQI) and multivariate statistical techniques in Central Ganga plain, India. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668->

- Journal*, 6(2), 115-121. [In Persian].
- Parsamehr, A. H., Malekinezhad, H., & Khosravani, Z. (2018). Investigation of Shannon Entropy Theory in Weighting of Water Quality Index (Case Study: Mighan Aquifer). *Iranian Water Researches Journal*, 12(2), 101-110. [In Persian].
- Pei-Yue, L., Hui, Q. & Jian, HW. (2010). Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, North west China. *E-Journal of Chemistry*, 7, 209-216
- Zhang, Q., Qian, H., Xu, P., Hou, K., & Yang, F. (2021). Groundwater quality assessment using a new integrated-weight water quality index (IWQI) and driver analysis in the Jiaokou Irrigation District, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, 111992, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111992>.
- Schoeller, H. (1959). Arid zone hydrology recent developments. *UNESCO Rev.*, Reicardi.
- Shannon Claude, E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Saw, S., Singh, P.k., Mahato, J.K., Patel, R., Dhopte, D.A., & Asenso, E. (2022). Groundwater Suitability Evaluation Using Entropy Weightage Quality Index (EWQI) Model and Human Health Cancer Risk Assessment of Heavy Metal in Eastern India, *BioMed Research International*, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/2476126>.
- Shyu, G. S., Cheng, B. Y., Chiang, C. T., Yao, P. H., & Chang, T. K. (2011). Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. *International journal of environmental research and public health*, 8(4), 1084-1109.
- Simos, FS., Moriera, A.B., Bisinoti, MC., Gimenez, Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan. *International Journal Environmental Resources Public Health*, 8, 1084-1109
- Ip, WC., Hu, BQ., Wong, H. & Xia, J. (2009). Applications of grey relational method to river environment quality evaluation in China. *Journal of Hydrology*, 379, 284-290.
- Jalali, L., & Asghari Moghaddam, A. (2013). Detection of Hydrogeochemical Status and Salinity Trend in Khoy Plain Aquifer by Statistical and hydrochemical Methods. *Journal of Environmental Studies*, 39(2), 113-122. [In Persian].
- Jian-Hua, W., Pei, YL. & Hui, Q. (2011). Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China. *E-Journal of Chemistry*, 8, 787-793
- Khalili, A. (2011). Meteorological basin reports of the country's comprehensive water plan, Ministry of Energy, Jamab, Tehran. [In Persian].
- khedri, A., & kalantari, N. (2020). Estimation of Aquifer Specific Yield Using Different Methods and Extractable Water Volume Estimation (Case Study: Alluvial Aquifer in the Northeast of Gachsaran). *Hydrogeology*, 4(2), 92-107. [In Persian].
- Lalehzari, R., & Tabatabaei, S. H. (2010). Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 36(53), 55-62. [In Persian].
- Nakhaei, M., & Vadiati, M. (2013). Fuzzy Evaluation of groundwater for drinking purpose in Tehran Province, *Iranian Journal of Geology*, 6(23), 37.
- Nakhaie, M., & Vadii, M. (2012). Evaluation of drinking water quality of Dargaz plain using analytical hierarchy process in geographical information system. *Iranian Water Researches*

- SMN. & Yabe, MJS. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies, *Ecological indicators*, 8, 476-484.
- Todd, KD, (2005). *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons.
- WHO. (2008). *Guidelines for drinking water quality recommendation*. Vol. I World Health Organization, Geneva.
- Wu, JP., Li, H. & Qian, M. (2011). Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China. *E-Journal of Chemistry*, 8, 787-793.
- Yue, L.P., Hui, Q. & Jian-Hu, W. (2011). Application of Set Pair Analysis Method Based on Entropy Weight in Groundwater Quality Assessment a Case Study in Dongsheng City, Northwest China. *J. Chem.*, 8(2), 851-858.



Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy

Shahab Eghbali Shahabad^{1*}, Mohammad Hasan Rahimian², Hadi Zare Khormizi³

1. Agricultural Expert, promotion and education of Yazd province, Yazd, Iran.
2. Assistant Professor, Yazd National Center for Salinity Research, Yazd, Iran.
3. Ph.D. student of pastoralism, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: sh_weed@yahoo.com.

Keywords:

Analytic Hierarchy Process, Climate adaptation, Multi-criteria decision making, Tagasaste.

Extended Abstract

Introduction:

In the arid and semi-arid regions of Iran, agriculture and animal husbandry activities have always been next to each other; where providing livestock fodder is one of the main concerns of farmers. Therefore, it seems necessary to introduce suitable fodder plants in these regions. Tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) is one of the fodder plants with the aim of providing the nutritional needs of livestock, which this research aims to evaluate the potential areas of its cultivation in agricultural lands of Yazd province, in Central Iran, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) techniques, as well.

Received:

24 July 2023

Revised:

13 September 2023

Accepted:

14 September 2023

Materials and methods:

First of all, tagasaste species' ecological needs were determined based on the existing literature. For this purpose, the four factors of climate, land use, topography and irrigation water were initially mentioned as the main criteria. Climate, topography and irrigation water criteria consisted of 8, 3 and 3 sub-criteria, respectively. We classified each climatic factor based on the statistics of meteorological stations with the lowest root mean square error. Also, maps of different topographic criteria, including the slope map, the aspect map, and the above-sea level map, were prepared using the Digital Elevation Model (DEM) map. The irrigation water sub-criteria maps, which included the distance from the water source, irrigation water salinity and pH, were prepared according to ground-based data from wells, springs and qanats. Finally, 15 different

How to cite this article:

Eghbali shahabad, Sh., Rahimian, M.H., & Zare Khormizi, H. (2024). Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 37-56. [10.22077/JDCR.2023.6605.1034](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6605.1034)



sub-main criterias were prepared, as the four main categories of climate, topography, land use and irrigation water layers, respectively. According to tagasaste's ecological needs, these geo-referenced layers were then evaluated and classified into the 8 limitation classes, ranged from extremely suitable to extremely non-suitable regions. Further, the Analytic Hierarchy Process (AHP) questionnaire analysis method was used to determine the weight of each criteria and sub-criteria, as well.

Results and discussion:

Based on the AHP analysis, the climate (0.507) and irrigation water (0.312) criteria have the highest relative weights for tagasaste cultivation in Yazd province. Among the investigated sub-criteria, the number of freezing days per year (0.212), the annual average minimum absolute temperature (0.158), the salinity of irrigation water (0.130) and the annual average maximum absolute temperature (0.072), were found as the main important sub-criteria for the cultivation of tagasaste in Yazd province, respectively. With respect to the ecological needs of tagasaste, the final results found no extremely potential or very potential areas for tagasaste cultivation in Yazd province. Potential areas (with a value of 5.5 to 6.2), relatively potential (with a value of 0.5 to 5.5), relatively not suitable areas (with a value of 0.5 to 4.5), not suitable areas (with a value of 4.5 to 4.0) and very non-suitable (having a value less than 4) covered 2.9, 9.4, 15, 62 and 10.7 percent of the Yazd province area, respectively. Non-elevated orchards of Mehriz, Taft and parts of Sadouq city, southern and southwestern areas of Khatam city, western lands of Abarkoh, a small part of southern Bahabad lands and a small part of Yazd agricultural lands have been suitable for cultivation of tagasaste, respectively. The most important limiting factors were the number of frosty days per year and the average absolute minimum temperature, as well. This seems to be necessary to have a compatibility test of this plant in the above-specified potential areas.

Conclusion:

Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS) have been found to be effective in identifying potential tagasaste cultivation areas. In general, the results indicated that some Yazd agricultural lands are suitable for tagasaste cultivation, considering the studied criteria. It was also found that there are no extremely suitable and highly suitable areas for growing tagasaste in Yazd province. This is considering the ecological needs of this plant. Based on the final map of land suitability for tagasaste cultivation in the province, it was revealed that the potential areas of tagasaste cultivation (with the highest values of suitability) are not located in high mountain areas and low land plain areas, as well.



مکان‌یابی مناطق مستعد برای کشت و توسعه یونجه درختی (*Chamaecytisus palmensis* L.) در استان یزد با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی

شهاب اقبالی شاه آباد^{۱*}، محمدحسن رحیمیان^۲، هادی زارع خورمیزی^۳

۱. کارشناس جهاد کشاورزی استان یزد، یزد، ایران.

۲. استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد، ایران.

۳. دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: sh_weed@yahoo.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

کشاورزی و دامپروری در مناطق خشک و نیمه خشک همواره در کنار یکدیگر بوده و تهیه علوفه برای دام‌ها یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزان این مناطق بوده است. بنابراین معرفی گیاهان علوفه‌ای مستعد و مناسب کشت در چنین مناطقی، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از گیاهان علوفه‌ای با هدف تأمین نیاز غذایی دام‌ها، یونجه درختی از خانواده بقولات است که در این پژوهش، جهت ارزیابی توان اراضی زراعی و باغی کل استان یزد برای کشت آن، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای این منظور ابتدا نیازهای بوم شناختی گونه یونجه درختی بر اساس منابع تعیین شد. چهار معیار اصلی اقلیم، کاربری اراضی، توپوگرافی و آب آبیاری در نظر گرفته شد. معیارهای اقلیم، توپوگرافی و آب آبیاری به ترتیب هر کدام دارای ۸، ۳ و ۳ زیر معیار مختلف بودند. در نهایت ۱۵ لایه مختلف اقلیمی، توپوگرافی، کاربری اراضی و آب آبیاری تهیه شد و بر اساس نیازهای بوم شناختی یونجه درختی در ۸ طبقه مختلف، از فوق‌العاده مستعد تا فوق‌العاده نامستعد ارزش‌گذاری شدند. از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها و زیر معیارهای مختلف استفاده شد. بر اساس نتایج نهایی، مناطق فوق‌العاده مستعد و بسیار مستعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد با توجه به نیازهای بوم شناختی این گیاه وجود ندارد. مناطق مستعد، نسبتاً مستعد، نسبتاً نامستعد، نامستعد و بسیار نامستعد به ترتیب ۲/۹، ۹/۴، ۱۵، ۶۲ و ۱۰/۷ درصد از اراضی استان یزد را پوشش می‌دهد. اراضی باغی غیر مرتفع شهرستان‌های مهریز، تفت و بخش‌هایی از اراضی شهرستان صدوق، مناطق جنوبی و جنوب غربی شهرستان خاتم، اراضی غربی ابرکوه، بخش کوچکی از اراضی جنوب بهاباد و بخش کوچکی از اراضی کشاورزی یزد از مناطق مستعد برای کشت یونجه درختی با توجه به عوامل مورد بررسی می‌باشند.

تصمیم‌گیری چند معیاره، درون‌یابی، سازگاری اقلیمی، گیاه علوفه‌ای.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۶/۲۳

مقدمه

چالش فراروی توسعه پایدار در کشاورزی، امنیت غذایی جمعیت رو به رشدی است که به طور روز افزون بر نیاز غذایی آن افزوده می‌شود. استعدادیابی و پهنه‌بندی اراضی و تشویق تولیدکنندگان به تولید محصولات اساسی و با کیفیت، با ارزش افزوده بیشتر موجب تولید بهینه بر اساس عرضه و تقاضا و کاهش وابستگی خواهد شد (Halabian, and Esmaeli, 2018). یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزی و دامپروری در مناطق خشک و نیمه‌خشک تهیه علوفه دام‌های روستایی است. در حال حاضر علوفه اصلی برای تغذیه دام‌ها یونجه (*Medicago sativa L.*) است. با این حال نیاز آبی یونجه نسبت به اکثر گیاهان علوفه‌ای بالاست (Masoumi et al. 2017). یکی از اثرات کمبود علوفه در کشور، فشار بیش از حد دام‌ها بر مراتع و در نهایت تخریب مراتع کشور است. با کاهش تولید علوفه ارزان و با ارزش غذایی بالا، تولید گوشت قرمز کاهش و قیمت آن افزایش می‌یابد. در این زمینه یکی از گیاهان علوفه‌ای که نیازمند بررسی و مطالعات بیشتری می‌باشد، یونجه درختی است. این گیاه در حال حاضر در استرالیا، نیوزیلند و بسیاری از نقاط دیگر جهان به عنوان محصول علوفه‌ای رشد می‌کند. خانواده حبوبات^۱ یک خانواده بزرگ و از لحاظ اقتصادی مهم در گیاهان گلدار است که معمولاً به عنوان خانواده نخود، خانواده لوبیا یا بقولات شناخته می‌شود. یونجه درختی یا *Chamaecytisus palmensis* یک درخت یا درختچه همیشه سبز با ارتفاع ۳-۴ متر (گاهی اوقات تا ۶ متر) می‌باشد. سامانه ریشه آن بسیار وسیع است و می‌تواند تا عمق ۱۰ متر یا بیشتر رشد کند. یونجه درختی بومی لاپالما از مجموعه جزایر قناری و دارای علوفه بسیار با ارزش با خوشخوراکی بالا و محتوای پروتئین بالا می‌باشد (Assefa, 1998; Newcomb, 1999; Cook et al., 2005). این گیاه می‌تواند به صورت مستقیم یا با سامانه‌های قطع و حمل مورد استفاده دام قرار گیرد. قسمت‌های قطع شده می‌تواند به صورت تر توسط دام مصرف شود. همچنین می‌توان آن را به صورت

1. *Leguminosae* یا *Fabaceae*

خشک نیز مورد استفاده دام قرار داد (Cook et al., 2005; Esterhuizen and Esterhuizen, 2016). آنچه که گفته شد، این گیاه می‌تواند در تأمین نیاز غذایی دام‌ها نقش مهمی داشته باشد. علاوه بر این، این گیاه در بهبود باروری خاک و تثبیت نیتروژن، زنبورداری، بادشکن، اتصال دهنده ذرات خاک، جلوگیری از فرسایش، احیای خاک و ایجاد باغ‌های زینتی کاربرد دارد. میزان تولید علوفه یونجه درختی با توجه به نوع منطقه از ۵ تا ۱۸ تن علوفه خشک در هکتار در سال متغیر بوده است (Heuze et al. 2017). یونجه درختی در جزایر قناری از ارتفاع ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متر مشاهده شده و مناسبترین محدوده ارتفاع از سطح دریا برای کشت این گیاه، از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر نسبت به سطح دریا است. این گیاه دارای تحمل متوسطی برای سرما و یخبندان است. گیاه بالغ می‌تواند در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد زنده بماند. اما باید توجه داشت نهال‌های جوان در این دما از بین خواهند رفت. یونجه درختی در نواحی نیمه‌خشک که بارندگی سالانه در محدوده بین ۳۵۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است بخوبی رشد می‌کند و می‌تواند در مناطق با ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه با پراکنش مناسب به حیات خود ادامه دهد. یونجه درختی بر روی خاک اسیدی با pH ۴/۸ تا ۶/۵ و دارای بافت شنی و زه‌کشی شده رشد می‌کند (Stokes, 2008; Newcomb, 1999). خاک‌های قلیایی و شور باعث کاهش رشد یونجه درختی می‌شوند. یونجه درختی به شرایط غرقابی و زمین‌های مرطوب دارای بافت سنگین حساس است (Heuze et al. 2017). این گیاه خاک‌های شنی با زهکشی خوب نظیر دامنه‌ها و شیب‌ها را ترجیح می‌دهد. این گیاه در خاک اسیدی بخوبی رشد می‌کند؛ با این حال بر روی خاک‌های شنی قلیایی با pH ۸/۵ نیز می‌تواند زنده بماند. تحمل شوری خاک را ندارد. یونجه درختی است که به خوبی تا ارتفاع ۳۰۰۰ متر در مناطق گرمسیری رشد می‌کند. یکی از چندین درخت علوفه‌ای است که می‌تواند در دمای بالای ۹- درجه سانتی‌گراد تحمل کند؛ با این حال نهال‌های جوان به شرایط یخبندان طولانی حساس می‌باشند. رشد این گیاه در دمای زیر ۲۰

شود. فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل چندین مرحله است: ایجاد درخت سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن اجزاء ساختار و گزینه‌ها و اندازه‌گیری شاخص سازگاری (Qudsipour, 2016). در این روش کارشناسان و افراد خبره قضاوت‌های مقایسه‌ای زوجی ساده‌ای را از طریق سلسله مراتب ایجاد شده تا رسیدن به اولویت‌هایی برای تمامی گزینه‌ها انجام می‌دهند (Kirti, 2001). هدف از پژوهش حاضر، مطالعه و مکان‌یابی مناطق مساعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش کل سطح استان یزد است. استان یزد در مرکز ایران (شکل ۱)، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴°۲۹' و ۳۳°۲۸' و طول جغرافیایی ۵۲°۴۹' و ۵۶°۳۶' قرار گرفته است. وسعت استان یزد حدود ۷۴۰۰۰ کیلومتر مربع است که دارای ده شهرستان می‌باشد. بلندترین ارتفاع آن قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۳۶ متر و پایین‌ترین نقطه آن کویر سیاه کوه با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر است.

روش تحقیق

در اولین مرحله از پژوهش، اقدام به تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی و نام‌گذاری آن‌ها به لایه‌های اصلی (معیارهای اصلی) و لایه‌های فرعی (زیرمعیار) شد. معیارهای اصلی شامل اقلیم، توپوگرافی، کاربری اراضی و آب آبیاری می‌باشد. معیار اصلی اقلیم خود شامل زیر معیارهای میانگین بارندگی سالانه، میانگین سالانه حداقل دماهای روزانه، میانگین سالانه دماهای روزانه، میانگین سالانه حداقل دمای مطلق، میانگین سالانه حداکثر دمای مطلق، میانگین سالانه درصد رطوبت نسبی، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان می‌باشد. در پژوهش حاضر برای تهیه این زیر معیارها از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک (زیر نظر سازمان هواشناسی) و ایستگاه‌های سنجش باران (باران‌سنجی و تبخیرسنجی: زیر نظر وزارت نیرو) استفاده شد. در مجموع از تعداد ۵۶ ایستگاه برای این منظور استفاده گردید. دوره آماری مشترک بین این ایستگاه‌ها از

درجه در زمستان متوقف می‌شود. حداکثر دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند با این حال در دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد برگ‌های گیاه وارد تنش می‌شوند (Heuze et al. 2017). یونجه درختی در برابر خشکی به علت داشتن ریشه‌های عمیق (۱۰ متر یا بیشتر) مقاوم است (Heuze et al. 2017). اگرچه برای تولید خوب نیاز به بارش بیش از ۶۰۰ میلی‌متر دارد، این گیاه بسیار حساس به زهکشی ضعیف خاک است و نمی‌تواند در خاک‌های با بافت سنگین رشد کند.

امروزه برنامه‌ریزان و محققان برای تعیین عوامل دخیل در توسعه کشت و شناسایی مناطق مستعد کشت گیاهان مختلف از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌کنند. این سامانه توانایی جمع‌آوری، مرتب‌سازی، ادغام و روی هم‌گذاری لایه‌های مختلف، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی و ذخیره‌سازی اطلاعات و تهیه خروجی را دارد (Maram et al., 2016). با این حال این سامانه توانایی ارزیابی اولویت‌بندی معیارهای مختلف در یک پروژه را ندارد (Heywood and Tomlinson, 1995). برای رفع این مشکل می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با توانایی ارزیابی و اولویت‌بندی معیارهای مختلف، استفاده نمود. در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره برای وزن‌دهی به معیارها و اولویت‌بندی معیارها از روش‌های متعددی نظیر فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۱)، روش ارزش‌گذاری چند معیاره^۲ و مجموع ساده وزین^۳ استفاده می‌شود (Maram et al., 2016). فرایند تحلیل سلسله مراتبی اولین بار توسط الساعتی در سال ۱۹۸۰ ابداع شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسأله پیچیده واقعی می‌باشد که در رأس آن هدف کلی مسأله (فقط یک عنصر) و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. در این الگو عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه می‌شوند تا با تلفیق وزن آن‌ها، وزن نهایی هر گزینه مشخص

1. Analytic Hierarchy Process
2. Multiattribute Value Technique
3. Simple Additive Scoring



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

Fig1. Location of case study in the country

دریا، میزان شیب و جهت شیب می‌باشد. این لایه‌ها (زیر معیارها) با توجه به مدل رقومی ارتفاع (DEM) در نرم افزار Arc GIS 10.4 تهیه شدند. معیار آب آبیاری نیز شامل زیر معیارهای فاصله از منبع آب آبیاری، شوری آب آبیاری و اسیدیته آن می‌باشد (Bidadi et al., 2014; Kazemi et al., 2013). در ابتدا لایه نقطه‌ای چاه‌ها و قنات‌ها از مرکز تحقیقات استان یزد (جمعاً ۲۸۰۰ نقطه) تهیه شد. سپس برای تهیه لایه فاصله از منبع آب آبیاری از ابزار Buffer در نرم‌افزار Arc GIS 10.4 استفاده شد (Hatefi Ardakani and Ekhtesasi, 2016). برای تهیه نقشه‌های میزان شوری آب آبیاری و pH آن از روش درون‌یابی تابع شعاعی (RBF) در اطراف نقاط حضور چاه، چشمه و قنات به منظور پهنه‌بندی این متغیرها استفاده شد. نقشه‌های تهیه شده شوری و pH آب آبیاری فقط در محدوده ۴ کیلومتری هر نقطه (چاه، قنات یا چشمه) تهیه شد. زیرا مسلماً در نقاطی که منبع آبی وجود ندارد، نتایج پهنه‌بندی غیر قابل توصیه بوده و منطبق بر هدف پژوهش نخواهد بود.

برای تعیین مناطق مناسب کشت یونجه درختی ابتدا لازم است لایه‌های مختلف اقلیمی، فیزیوگرافی، خاکی و کاربری اراضی بر اساس روش محدودیت ساده^۵ برای کشت این گونه رتبه‌بندی یا درجه‌بندی شود. برای این کار ابتدا نیازهای بوم شناختی گیاه یونجه درختی برای اساس منابع علمی موجود تعیین

سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ (۲۰ ساله) تعیین شد. سپس میانگین این دوره ۲۰ ساله در هر ایستگاه مشخص و با توجه به روش‌های درون‌یابی مختلف، نقشه هر پارامتر با کمترین میزان خطا پهنه‌بندی شد. در پهنه‌بندی زیر معیارهای اقلیمی از پنج روش درون‌یابی کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ ساده و معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و معکوس فاصله وزنی (IDW^۱) با توان ۲ در محیط نرم افزار GS+ V10 و Arc GIS 10.4 استفاده شد. سپس به منظور ارزیابی و تعیین دقت روش‌های درون‌یابی از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE^۲) و ضریب تبیین (R^۲) یا همان توان دوم ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که به ترتیب با استفاده از معادلات ۱ و ۲ قابل محاسبه می‌باشند. در انتها روش مناسب درونی‌یابی بر اساس کمترین میزان RMSE و بالاترین میزان همبستگی انتخاب شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

در این معادلات، x_i و y_i به ترتیب داده‌های واقعی و داده‌های مدل شده می‌باشند.

معیار توپوگرافی شامل زیر معیارهای ارتفاع از سطح

3. Digital Elevation Model
4. Radial Basis Function
5. Simple Limitation Method

1. Inverse Distance Weighted
2. Root Mean Square Error

نرمال شده نهایی بر اساس تحلیل سلسله مراتبی ضرب گردید. جدول (۱) درجات ۸ تایی محدودیت ساده برای کشت یونجه درختی را نشان می‌دهد.

(Milthorpe and Dann, 1991; Dann and Trimmer, 1986; Fernández-Francisco-Ortega et al., 1994; Jafari, 1993; Tadesse, 2016; Palacios and de Nicolás, 1995) و سپس درجه‌بندی شد. در نهایت این ارزش‌ها در وزن‌های

جدول ۱. نحوه تعریف درجه محدودیت و ارزش مربوطه برای انجام طبقه‌بندی لایه‌های مختلف اطلاعاتی

Table 1. The way of limitation degrees definition and their values for the classification of different information layers

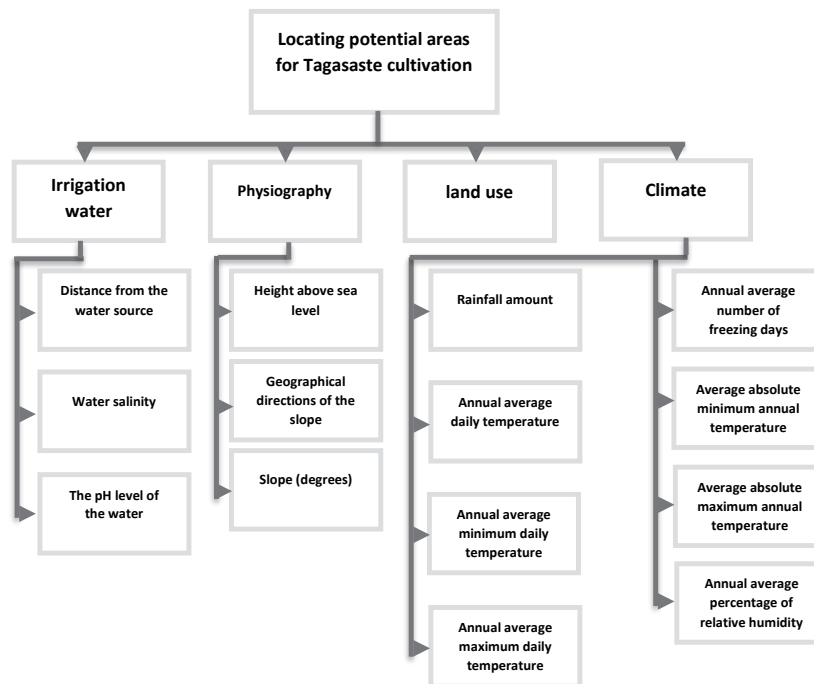
ارزش Value	درجه محدودیت Degree of limitation
8	فوق العاده مستعد Quite desirability
7	بسیار مستعد Very strong desirability
6	مستعد Desirability
5	نیمه مستعد Semi desirability
4	نیمه نامستعد Semi undesirable
3	نامستعد Undesirable
2	بسیار نامستعد Very strong undesirable
1	فوق العاده نامستعد Quite undesirable

به علت سهولت کاربرد، دقت زیاد و دارا بودن مبانی تئوری قوی استفاده شد (Ghodsipor, 2008; Chen et al. 2010). سیستم نمره‌دهی بر اساس طیف نه‌تایی ساعتی صورت گرفت (جدول ۲).

جهت جلوگیری از اعمال سلیقه و قضاوت‌های تصادفی از شاخص ناسازگاری استفاده شد (Valikhani et al., 2011). برای تعیین وزن هر معیار و زیر معیارها نظرات متخصصان مختلف بر اساس مقایسات زوجی وارد نرم‌افزار Expert choice V11.1 شد. پس از بدست آمدن ضریب ناسازگاری مطلوب، وزن نرمال شده نهایی هر یک از معیارها بدست آمد. برای این کار وزن نسبی هر معیار در زیر معیار یا زیر عوامل مربوط به خود ضرب گردید و سپس مجموع این اعداد محاسبه و در نهایت تک تک این اعداد بر مجموع آن‌ها تقسیم گردید (Cimren, 2007; Maram et al. 2016). وزن نرمال

سپس به منظور تعیین مناطق مستعد کشت گیاه یونجه درختی ابتدا درخت سلسله مراتبی با توجه به لایه‌ها و اطلاعات در دسترس تشکیل شد. هدف در بالاترین سطح درخت سلسله مراتبی قرار دارد. چهار معیار اصلی شامل عوامل اقلیمی، کاربری اراضی، فیزیوگرافی منطقه و آب آبیاری می‌باشد. عوامل اقلیمی خود شامل ۸ زیر معیار، فیزیوگرافی منطقه شامل ۳ زیر معیار و آب آبیاری دارای ۳ زیر معیار می‌باشد (شکل ۲).

در مرحله بعد پرسش‌نامه‌هایی جهت وزن‌دهی به هر یک از معیارها و زیر معیارهای مختلف طراحی و در اختیار ۱۰ متخصص آشنا در زمینه هدف مورد مطالعه که در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و همچنین جهاد کشاورزی استان یزد شاغل بودند قرار داده شد. در این روش از مقایسات زوجی



شکل ۲. درخت سلسله مراتبی عوامل مختلف تعیین کننده مناطق مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 2. Hierarchical tree of detirministic factors for the potential areas of tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۲. مقادیر عددی مقایسات برای قضاوت‌های زوجی (Ghodsipor, 2008)

Table 2. Numerical values of pairwise comparisons (Ghodsipor, 2008)

توضیح Description	اولویت‌ها Priorities	ارزش Value
گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص j اهمیت برابر دارد یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند Index i has equal importance to index j	مطلوبیت یکسان Equal desirability	1
گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص j کمی با اهمیت تر می باشد Index i is slightly more important than index j	کمی مطلوب low desirability	3
گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص j مهم تر است Index i is more important than index j	خیلی مطلوب Desirability	5
گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص j ارجحیت خیلی بیشتری دارد Index i is much more preferable than index j	خیلی زیاد مطلوب Very strong desirability	7
گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص j مطلقا یا به طور کامل مهم تر است و قابل مقایسه نیست Index i is absolutely more important than index j and cannot be compared	کاملا مطلوب Quite desirability	9
ارزش‌های بین ترجیحی: برای مثال ۸ اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین تر از ۹ برای i دارد Inter-priority values: for example, 8 is more important than 7 and 9 is lower	مطلوبیت بین فواصل Preferences between these intervals	2,4,6,8

جدول ۳. مقادیر خطا در روش‌های مختلف پهنه‌بندی زیر معیارهای اقلیمی

Table 3. Error values in different methods of Sub-criteria climate zoning

متغیر	مدل-Model	RMSE	R ²	متغیر	مدل-Model	RMSE	R ²
میانگین	IDW-Power 2	42.1	0.43	میانگین	IDW-Power 2	1.66	0.38
بارندگی	Kriging-Ordinary	32.4	0.65	حداقل مطلق	Kriging-Ordinary	1.83	0.32
سالانه	Kriging-Simple	34.8	0.65	دما	Kriging-Simple	1.83	0.25
Rainfall	Cokriging-Ordinary	27.2	0.76	Average Minimum Absolute	Cokriging-Ordinary	1.79	0.3
	Cokriging-Simple	25.4	0.79	Temperatur e	Cokriging-Simple	1.5	0.5
میانگین	IDW-Power 2	1.82	0.47	میانگین	IDW-Power 2	2.3	0.6
حداقل دمای	Kriging-Ordinary	2.14	0.23	حداکثر مطلق	Kriging-Ordinary	2.05	0.69
روزانه	Kriging-Simple	2.09	0.26	دما	Kriging-Simple	2.03	0.72
Average minimum daily	Cokriging-Ordinary	1.74	0.49	Average Maximum Absolute	Cokriging-Ordinary	2.05	0.69
temperature	Cokriging-Simple	1.69	0.51	Temperatur e	Cokriging-Simple	1.58	0.86
میانگین	IDW-Power 2	1.9	0.58	میانگین	IDW-Power 2	3.12	0.05
حداکثر دمای	Kriging-Ordinary	1.57	0.7	درصد رطوبت	Kriging-Ordinary	3.06	0.06
روزانه	Kriging-Simple	1.66	0.68	نسبی	Kriging-Simple	3.08	0.06
Average maximum daily	Cokriging-Ordinary	1.57	0.7	Average Percentage of relative Humidity	Cokriging-Ordinary	3.1	0.12
temperature	Cokriging-Simple	1.1	0.89		Cokriging-Simple	3.05	0.6
میانگین دمای	IDW-Power 2	1.66	0.52	میانگین تعداد	IDW-Power 2	20.6	0.25
روزانه	Kriging-Ordinary	1.7	0.47	روزهای	Kriging-Ordinary	21.2	0.21
Average daily	Kriging-Simple	1.82	0.43	یخبندان	Kriging-Simple	22.8	0.13
temperature	Cokriging-Ordinary	1.72	0.48	The average number of frosty days	Cokriging-Ordinary	21.4	0.2
	Cokriging-Simple	1.17	0.79		Cokriging-Simple	18.6	0.39

$$S = W_1 S_1 + W_2 S_2 + W_3 S_3 + \dots + W_n S_n \quad (3)$$

در این معادله W_i وزن هر لایه است که با استفاده از تکنیک سلسله مراتبی بدست می‌آید و S_i لایه

شده نهایی هر یک از معیارها با توجه به معادله ۳ در لایه مربوطه ضرب و با هم جمع شد تا نقشه نهایی مناطق مستعد کشت یونجه درختی بدست آید.

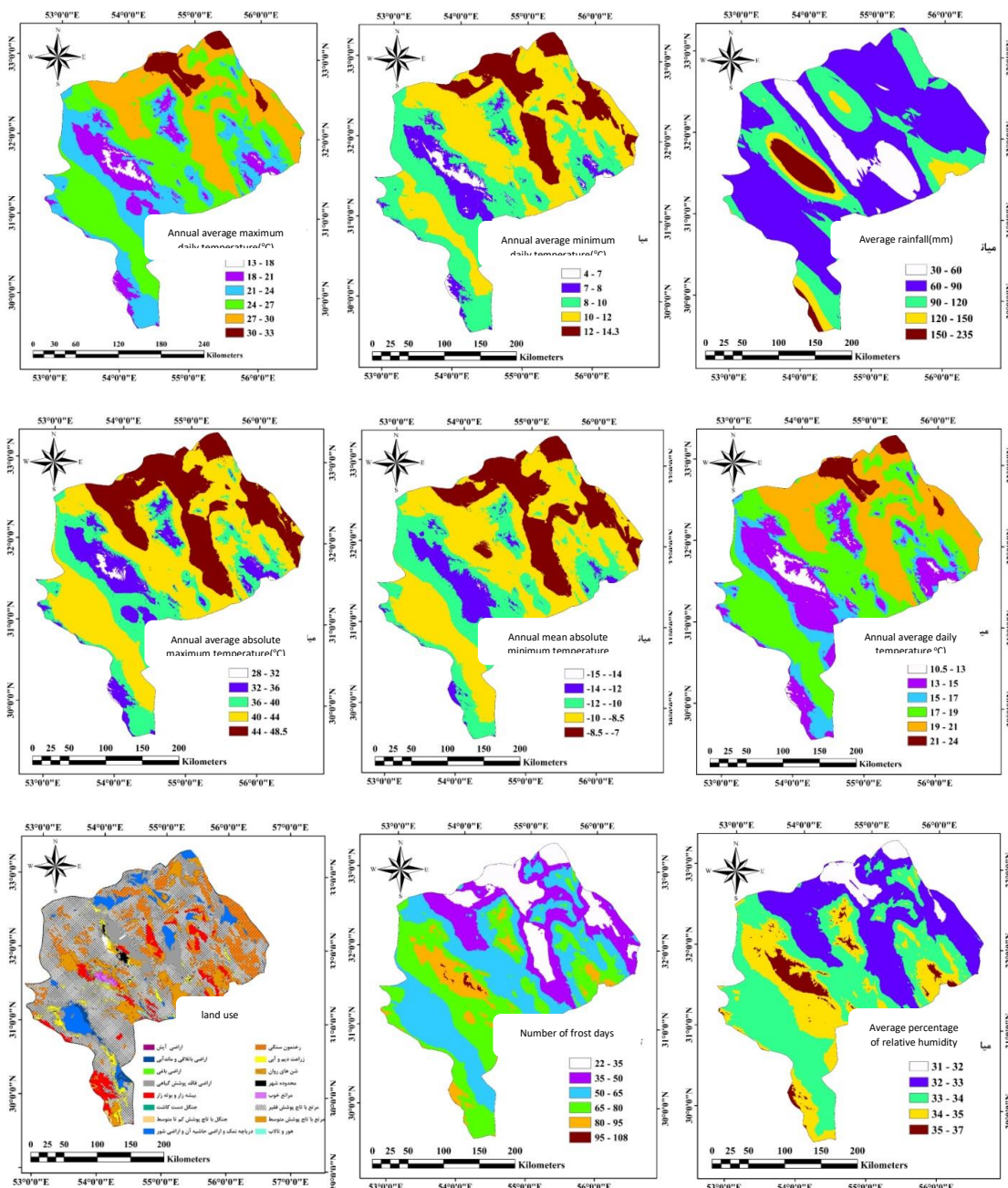
ارزیابی پنج روش مختلف درون‌یابی برای زیر معیارهای مختلف اقلیمی در جدول (۳) نشان داده شده است. روش درون‌یابی مورد استفاده برای پهنه‌بندی متغیرهای مختلف با کمترین میزان خطا در این جدول مشخص شده است. نقشه‌های ۸ زیر معیار مختلف اقلیمی، ۳ زیر معیار توپوگرافی و ۳ زیر معیار آب‌آبیاری به همراه نقشه‌ی کاربری اراضی (پوشش اراضی) در شکل (۳) نشان داده شده است. جدول (۴) درجه‌های محدودیت در نظر گرفته شده برای زیر معیارهای مختلف بر اساس نیازهای بوم‌شناختی یونجه درختی را نشان می‌دهد.

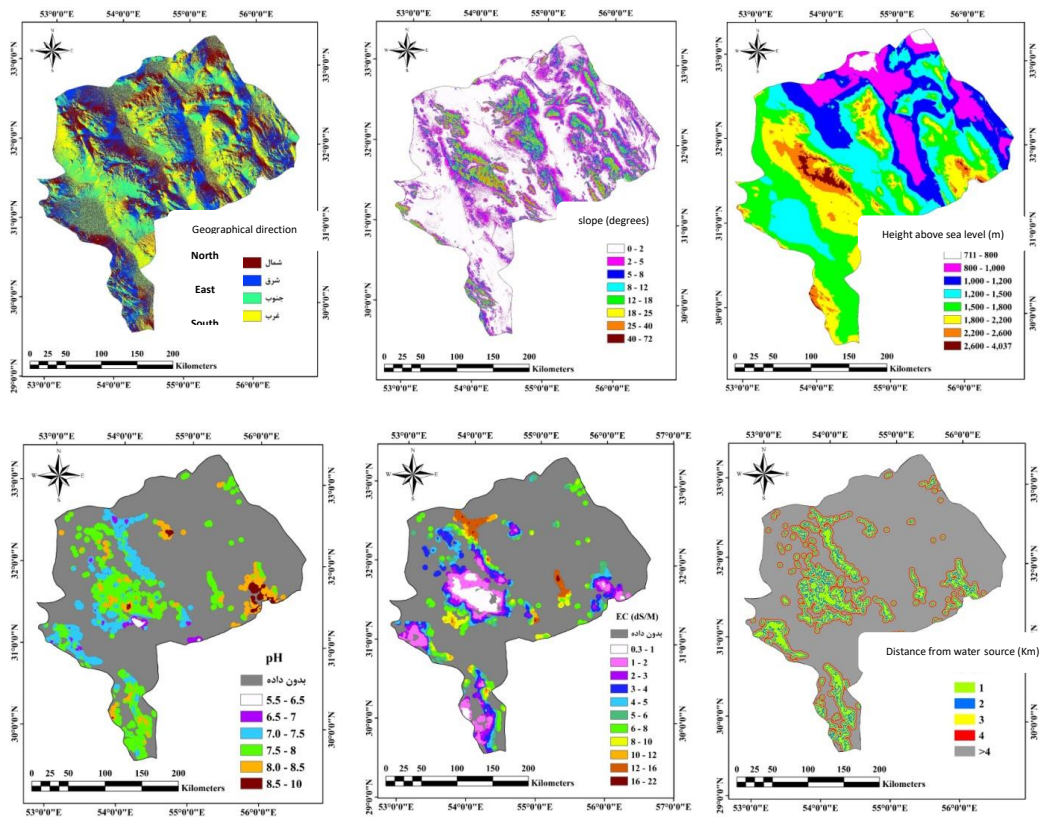
اطلاعاتی مربوط به آن و S لایه نهایی می‌باشد. ادغام و ضرب وزن لایه‌ها در نرم افزار ARC GIS 10.4 صورت گرفت تا سطح گزینه‌ها در تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شود. در نهایت نقشه قابلیت کشت یونجه درختی (همان سطح گزینه در تحلیل سلسله مراتبی) بدست آمد.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی و طبقه‌بندی زیر معیارهای مختلف

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تعیین مشخصات نیم تغییر نمای^۱ بهینه، اقدام به پهنه‌بندی معیارها شد. نتایج





شکل ۳. نقشه‌های طبقه‌بندی شده معیارهای اصلی و فرعی تعیین کننده مناطق مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 3. Classification maps of primary and secondary criteria for determination of the potential areas of tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۴. نتایج طبقه‌بندی معیارهای اصلی و فرعی مورد استفاده در این پژوهش

Table 4. Classification results of the Primary and secondary criteria used in this research

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میانگین حداقل دمای روزانه Average minimum daily temperature	ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میزان بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4-7	8	Quite desirability فوق العاده مستعد	150-235
6	Desirability مستعد	7-8	7	Very strong desirability بسیار مستعد	120-150
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	8-10	7	Very strong desirability بسیار مستعد	90-120
6	Desirability مستعد	10-12	6	Desirability مستعد	60-90
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	12-14.3	5	Semi desirability نیمه مستعد	30-60

B- Annual average minimum temperature

A- Rainfall amount

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	میانگین دمای روزانه Average daily temperature
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	10.5-13
6	Desirability مستعد	13-15
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	15-17
6	Desirability مستعد	17-19
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	19-21
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	21-24

D- Annual average temperature

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	میانگین حداکثر مطلق دمای Average maximum absolute temperature
3	Undesirable نامستعد	28-32
6	Desirability مستعد	32-36
7	Very strong desirability بسیار مستعد	36-40
6	Desirability مستعد	40-44
4	Semi desirability نیمه مستعد	44-48.5

F- Annual Average absolute maximum temperature

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میانگین تعداد روزهای یخبندان The average number of frosty days
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	22-35
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	35-50
3	Undesirable نامستعد	50-65
3	Undesirable نامستعد	65-80
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	80-95
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	95-108

H- Annual average number of freezing days

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	میانگین حداکثر دمای روزانه Average maximum daily temperature
3	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	13-18
6	Desirability مستعد	18-21
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	21-24
6	Desirability مستعد	24-27
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	27-30
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	30-33

C- Annual average maximum temperature

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	میانگین حداقل دمای مطلق Average minimum absolute temperature
6	Desirability مستعد	-7- -8.5
5	Semi desirability نیمه مستعد	-8.5- -10
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	-10- -12
3	Very strong desirability بسیار مستعد	-12- -14
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	-14- -15

E- Annual Average absolute minimum temperature

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میانگین درصد رطوبت نسبی Average percentage of relative humidity
5	Semi desirability نیمه مستعد	31-32
5	Semi desirability نیمه مستعد	32-33
6	Desirability مستعد	33-34
6	Desirability مستعد	34-35
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	35-37

G- Annual average of relative humidity(percentage)

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	طبقات شیب (درجه) Slope floors (degrees)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	0-2
7	Very strong desirability بسیار مستعد	2-5
6	Desirability مستعد	5-8
5	Semi desirability نیمه مستعد	8-12
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	12-18
3	Undesirable نامستعد	18-25
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	25-40
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	40-72

J- Slope (degrees)

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	فاصله از منبع آب (کیلومتر) Distance from water source (km)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	1
6	Desirability مستعد	2
5	Semi desirability نیمه مستعد	3
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	More than 4

L- Distance from the water source (km)

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میزان pH pH
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	5.5-6.5
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	6.5-7
7	Very strong desirability بسیار مستعد	7-7.5
6	Desirability مستعد	7.5-8
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	8-8.5
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	8.5-10

N- pH level

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	طبقات ارتفاع از سطح دریا Height floors above sea level
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	711-800
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	800-1000
7	Very strong desirability بسیار مستعد	1000-1200
7	Very strong desirability بسیار مستعد	1200-1500
6	Desirability مستعد	1500-1800
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	1800-2200
3	Undesirable نامستعد	2200-2600
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	2600-4037

I- elevation above sea level

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	جهت جغرافیایی Geographical directions
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	North
7	Very strong desirability بسیار مستعد	East
7	Very strong desirability بسیار مستعد	West
6	Desirability مستعد	South

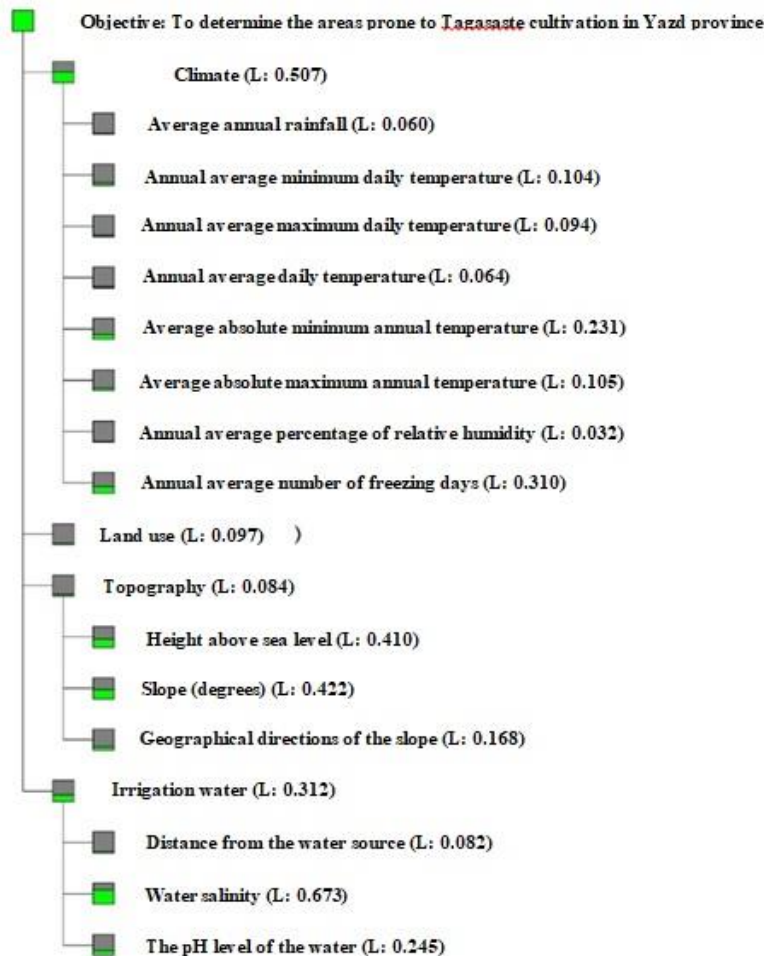
K- Geographical directions of the slope

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میزان شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds/m)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	0.3-1
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	1-2
7	Very strong desirability بسیار مستعد	2-3
6	Desirability مستعد	3-4
5	Semi desirability نیمه مستعد	4-5
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	5-6
3	Undesirable	6-8

در این پژوهش کشت یونجه درختی در باغات و اراضی زراعی مد نظر می‌باشد، عامل فیزیوگرافی یا توپوگرافی کمترین میزان وزن را به خود اختصاص داده است. زیرا در باغات عوامل شیب، جهت شیب و ارتفاع تقریباً به صورت بهینه وجود دارد. به عبارت دیگر شیب و جهت شیب مناسب است. از بین زیر معیارهای مختلف اقلیمی، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان (۰/۳۱۰) و میانگین سالانه حداقل دمای مطلق (۰/۲۳۱) بیشترین وزن نسبی را بخود اختصاص داده‌اند. در معیار اصلی توپوگرافی یا فیزیوگرافی، زیر معیارهای ارتفاع از سطح دریا (۰/۴۱۰) و میزان شیب (۰/۴۲۲) بیشترین میزان وزن و جهت شیب (۰/۱۶۸) کمترین میزان وزن نسبی را به خود اختصاص داده است. همچنین در معیار آب آبیاری میزان شوری آب بیشترین وزن (۰/۶۷۳) و فاصله از منبع آب کمترین (۰/۰۸۲) میزان وزن نسبی را به خود اختصاص داده‌اند.

تحلیل سلسله مراتبی AHP و نقشه نهایی مناطق مستعد کشت یونجه درختی

شکل (۴) درخت سلسله مراتبی تشکیل شده را به همراه وزن نسبی هر یک از معیارهای اصلی و زیر معیارهای آن نشان می‌دهد. یافته‌های بدست آمده از تعیین وزن معیارها توسط کارشناسان حاکی از آن است که اولویت هر کدام از معیارهای اصلی برای تعیین مناطق مستعد کشت یونجه درختی به ترتیب عبارتند از: اقلیم (۰/۵۰۷)، آب آبیاری (۰/۳۱۲)، کاربری اراضی (۰/۰۹۷) و فیزیوگرافی (۰/۰۸۴). همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین وزن به معیارهای اقلیم و آب آبیاری اختصاص یافته است. این نتایج کاملاً منطقی می‌باشد. زیرا برای کشت یک گونه گیاهی در یک منطقه اولین عامل محدود کننده برای کشت سازگاری اقلیمی گیاه می‌باشد و سپس وجود آب آبیاری با کیفیت دارای اهمیت است. از طرفی چون

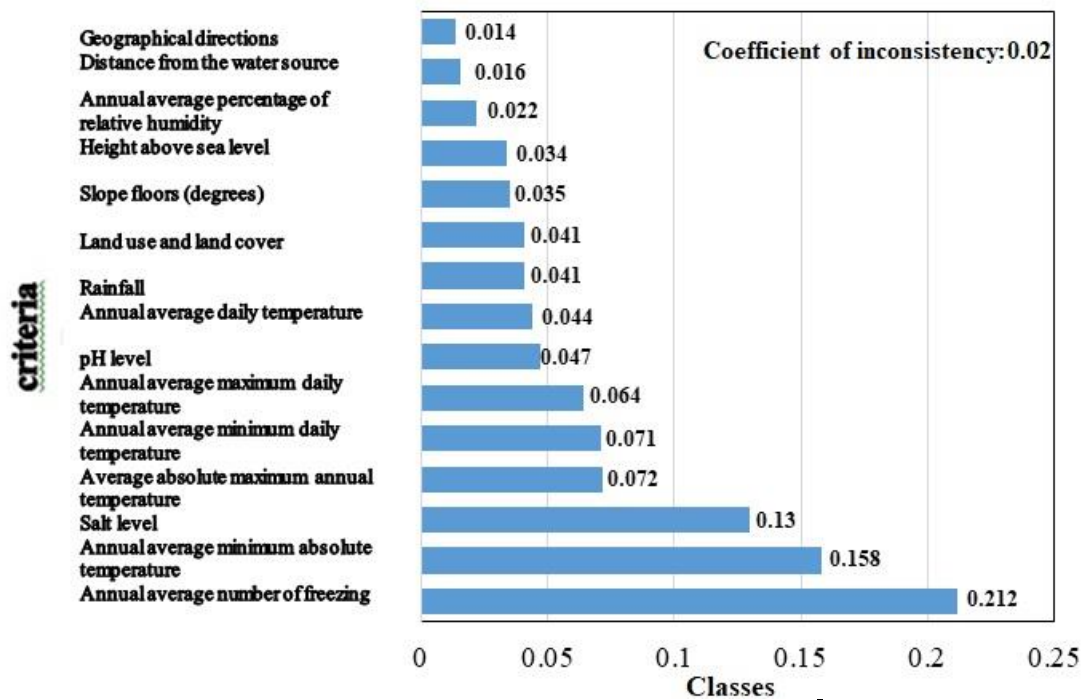


شکل ۴. درخت سلسله مراتبی به همراه وزن‌های نسبی هر معیار اصلی و زیر معیارهای آن

Fig 4. Hierarchical tree along with the relative weights of each primary and secondary criteria

جهت شیب، فاصله از منبع آب و میانگین سالانه درصد رطوبت نسبی کمترین میزان وزن نرمال شده نهایی را به خود اختصاص داده‌اند. ضریب ناسازگاری نهایی ۰/۰۲ بدست آمده است؛ که نسبت به ضریب ناسازگاری معقول ۰/۱ این میزان ناسازگاری کاملاً قابل قبول می‌باشد.

وزن نرمال شده نهایی هر یک از معیارها در شکل (۵) نشان داده شده است. میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان، میانگین سالانه حداقل دمای مطلق و میزان شوری آب آبیاری بیشترین میزان وزن نرمال شده نهایی را به ترتیب به خود اختصاص داده‌اند که معادل نیمی از وزن نرمال شده نهایی می‌باشد. معیارهای



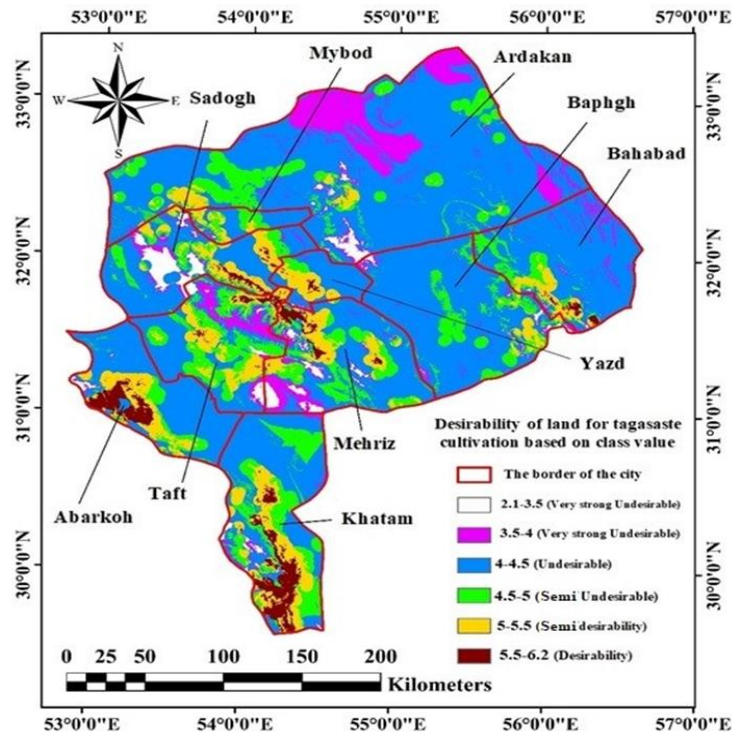
شکل ۵. وزن نرمال شده نهایی زیر معیارها بر اساس هدف اصلی

Fig 5. The final normalized weight of the sub-criteria based on the main objective

تا ۵/۰)، نامستعد (دارای ارزش ۴ تا ۴/۵) و بسیار نامستعد (دارای ارزش کمتر از ۴) به ترتیب ۲/۹، ۹/۴، ۱۵، ۶۲ و ۱۰/۷ درصد از اراضی استان یزد را پوشش می‌دهد (جدول ۵). اراضی باغی غیر مرتفع شهرستان‌های مهریز، تفت و بخش‌هایی از اراضی شهرستان صدوق، مناطق جنوبی و جنوب غربی شهرستان خاتم، اراضی غربی ابرکوه، بخش کوچکی از اراضی جنوب بهاباد و بخش کوچکی از اراضی کشاورزی استان یزد از مناطق مستعد برای کشت یونجه درختی با توجه به عوامل مورد بررسی می‌باشند.

سایر پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه روش استفاده شده در این تحقیق را تأیید می‌نمایند. بعنوان مثال در پژوهشی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل‌های مکانی سامانه

نقشه نهایی پتانسیل اراضی استان یزد برای کشت یونجه درختی در شکل (۶) نشان داده شده است. حداکثر ارزش اراضی بدست آمده برای کشت یونجه درختی در استان یزد، معادل با ۶ (مستعد) بدست آمد که نسبت به ارزش ۸ (فوق العاده مستعد) پایین‌تر می‌باشد. به عبارت دیگر مناطق فوق‌العاده مستعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد با توجه به نیازهای بوم‌شناختی این گیاه وجود ندارد. مناطق فوق‌العاده برای کشت، مناطقی می‌باشند که از پتانسیل ۱۰۰ درصدی برای کشت یونجه درختی برخوردار می‌باشند. نقشه نهایی پتانسیل اراضی برای کشت یونجه درختی به ۶ طبقه تقسیم شده است. مناطق مستعد (دارای ارزش ۵/۵ تا ۶/۲)، نسبتاً مستعد (دارای ارزش ۵/۰ تا ۵/۵)، نسبتاً نامستعد (دارای ارزش ۴/۵



شکل ۶. نقشه نهایی استعداد اراضی برای کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 6. The final map of land suitability for tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۵. مساحت و درصد پوشش طبقات کلاس‌های مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Table 5. The coverage area and percentage of each suitability class for tagasaste cultivation in Yazd province

مساحت (Km ²) Area (Km ²)	درصد پوشش Coverage percentage	میزان محدودیت The amount of limitation	ارزش طبقه Class value
1835.7	2.5	Very strong desirability بسیار مستعد	2.1-3.5
6015.7	8.2	Very strong desirability بسیار مستعد	3.5-4
45580.2	62	Undesirable نامستعد	4-4.5
11040.5	15	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4-5-5
6938.3	9.4	Semi desirability نیمه مستعد	5-5.5
2154.4	2.9	Desirability مستعد	5.5-6.2

در مطالعه‌های دیگر به کمک مدل فازی و AHP (2017)، در استان کردستان تناسب اراضی بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این بررسی نشان داد که استان کردستان

اطلاعات جغرافیایی (GIS) نشان داده شد که ۳۵/۷۹ و ۲۴/۱۰ درصد از زمین‌های کشاورزی شهرستان گنبد کاووس به ترتیب جهت تولید جو در پهنه‌های بسیار مستعد و مستعد قرار دارند (Farhadian Azizi et al.,)

دارای بالاترین ارزش) هستند که در مناطق مرتفع کوهستانی و در مناطق پست دشتی قرار نداشته باشند. زیرا یخبندان طولانی و دمای پایین مناطق مرتفع و شوری آب و خاک و همچنین گرمای شدید در تابستان در مناطق پست دشتی از عوامل محدود کننده کشت یونجه درختی خواهند بود. همچنین، معیار خاک یکی از معیارهای اصلی برای کشت یونجه درختی می‌باشد. بهترین بافت خاک برای کشت یونجه درختی بافت سبک شنی است. بنابراین در مناطق مستعد نام برده، یونجه درختی را در مناطقی می‌توان کشت نمود که خاک این اراضی دارای بافت سبک شنی و بدون شوری و قلیائیت باشد. در نهایت، نتایج حاصله نشان داد که استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی به طور مؤثری می‌تواند در تعیین مناطق مستعد و ارزیابی قابلیت اراضی برای کشت گیاهان مختلف موثر باشد و احتمال موفقیت در کشت را افزایش دهد و همچنین در افزایش بهره‌وری از پتانسیل اراضی مختلف مؤثر باشد. با این حال، به منظور افزایش احتمال موفقیت کشت این گیاه در استان یزد، پیشنهاد می‌شود نهال‌ها یک سال یا حتی بیشتر در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شوند تا به اندازه کافی رشد نمایند و نسبت به شرایط محیطی مقاوم‌تر شوند. با این حال، این مورد بستگی به میزان رشد نهال‌ها دارد. نهال‌ها در اواخر زمستان زمانی که احتمال یخبندان پایین است به اراضی و باغات برای آزمایش سازگاری منتقل شوند.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با کد طرح ۱۶۹۱۹۱۰-۱۵۸۰۹ و کد نهایی ۵۸۴۲۷-۶۴۶۸۱۱ با استفاده از اعتبارات پژوهشی سازمان جهاد کشاورزی استان یزد انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Ahmadi, M., Fallahi Khoshji, M. & Khaledil, Sh. (2016). Agtoclimate zoning of barley cultivation in Lorestan province using analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy models, *Journal of Agroecology agriculture*, 6(1), 11-27. [In Persian].
- Assefa, G. (1998). Biomass yield, botanical fractions and quality of tagasaste, (*Chamaecytisus*

قابلیت کشت مناسبی جهت گیاه روغنی کلزا دارد (Halabian and Esmaeli., 2018). در پژوهشی تناسب اراضی جهت کشت توتون و تنباکو در استان شادونگ چین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از ۲۰ متغیر اقلیمی، خاکی و توپوگرافی مشخص شد (Zhang et al., 2015).

از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی در تعیین مناطق مستعد کشت سویا در استان گلستان (Kazemi et al., 2017)، کشت سویا در حوزه قره سو (Bidadi et al., 2014)، کشت پسته در شهرستان بیرجند (Fal Suleiman et al., 2014)، کشت زیتون در غرب مازندران (Mohammadpourzidi et al., 2016)، کشت جو دیم در استان لرستان (Ahmadi et al., 2016)، کشت کهور ایرانی (Pakzad and Eslami., 2017)، کشت کلزا در استان گلستان، تعیین کاربری‌های مختلف کشاورزی، جنگل، مرتع (Cengiz and Cengiz, 2009)، کشت غلات (Bhagat et al., 2009) و محصولات مختلف زراعی (Bobade et al., 2010; Samanta et al., 2011;) به (Martin and Saha, 2009; Boix and Zinck, 2008) به طور مؤثری بهره گرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به طور ویژه‌ای می‌تواند در تعیین مناطق مستعد کشت یونجه درختی و ارزیابی قابلیت اراضی مؤثر باشد. به طور کلی، نتایج حاکی از این است که برخی از اراضی زراعی و باغی استان یزد قابلیت کشت یونجه درختی را با توجه به معیارهای مورد بررسی دارا می‌باشند. همچنین مشخص شد که با توجه به نیازهای بوم‌شناختی این گیاه مناطق فوق‌العاده مستعد و بسیار مستعد بر این اساس برای کشت یونجه درختی در استان یزد وجود ندارد. یکی از مهمترین عوامل موفقیت در کشت یونجه درختی در استان یزد این است که گیاه یونجه درختی بتواند زمستان‌های استان یزد را تحمل نماید. بر اساس نقشه نهایی استعداد اراضی برای کشت یونجه درختی در استان مشخص می‌شود که در اکثر موارد مناطقی (اراضی زراعی و باغی) مستعد کشت یونجه درختی

- for fodder and other uses. *New Zealand Journal of Agricultural Science*, 20, 142-145.
- Esterhuizen, M. & Esterhuizen, N. (2016). Lucerne tree farm. www.lucernetreefarm.wordpress.com.
- Fal Suleiman, M., Hajipour, M. & Sadeghi H. (2014). Comparison of the efficiency of multi-indicator decision making methods AHP and TOPSIS in order to determine the areas prone to pistachio crop cultivation in Mokhtaran plain of Birjand city in the environment of geographic information system. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 13(31), 133-155.
- Farhadian Azizi, Sh., Kazemi, H. & Soltani, A. (2017). Assessing the land suitability of Gonbad Kavos city for rainfed barley cultivation using hierarchical analysis. *Cereal Research*, 7(3), 437-450. DOI: 10.22124/C.2018.3732.1135 [In Persian].
- Fernández-Palacios, J. M., & de Nicolás, J. P. (1995). Altitudinal pattern of vegetation variation on Tenerife. *Journal of Vegetation Science*, 6(2), 183-190.
- Francisco-Ortega, J., Jackson, M. T., Santos-Guerra, A., Fernández-Galván, M., & Ford-Lloyd, B. V. (1994). The phylogeography of the *Chamaecytisus proliferus* (L. fil.) Link (Fabaceae: Genisteae) complex in the Canary Islands: a multivariate analysis, *Vegetatio*, 110(1), 1-17.
- Qudsipour, H. (2018). Hierarchical analysis process, *Amir Kabir Publications of Tehran*. [In Persian].
- Halabian, A. M., & Esmaeli, N. (2018). Land Suitability Evaluation Based on the Climatic Elements for Canola Cultivation Using Fuzzy and AHP model in Kordestan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(4), 133-150.
- Hatefi Ardakani, A. H., & Ekhtesasi, M. R. (2016). Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process (AHP) using remote sensing and Geographic Information System (GIS). *Geopersia*, 6(1), 75-88. [In Persian].
- Heuze V., Thiollot H., Tran G., Hassoun P., Bastianelli D., & Lebas F. (2017). Tagasaste (*Cytisus proliferus*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/310> last updated on February, 28, 2017. <https://www.feedipedia.org/node/310>
- Heywood, J., & Tomlinson, S. (1995). Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support, In P. Fisher (Ed.) *Innovations in GIS*, 2(1), 127-136.
- palmensis) as affected by harvesting interval in the highlands of Ethiopia, *Agrofor. Syst*, 42(1), 13-23. DOI: 10.1023/A:1006099521986.
- Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradash, S., Immerzeel, W. & Shrestha, B. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using Geographical Information System, *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 37(2), 233-240. DOI: 10.1007/s12524-009-0018-6
- Bidadi, M.J., Kamkar, B. & Abdi, O. (2014). Suitable areas zoning of soybean cropping in Qaresoo basin by geographical information systems (GIS). *Crop production journal*, 7(2), 175-187. DOI: 20.1001.1.2008739.1393.7.2.10.5 [In Persian].
- Bobade, S.V., Bhaskar, B.P., Gaikwad, M.S., Raja, P., Gaikwad, S.S., Anantwar, S.G., Patil, S.V., Singh, S.R., & Maji, A.K. (2010). A GIS-based Land use Suitability Assessment in Seoni District, Madhya Pradesh, India. *TE*. 51(1), 41-45.
- Boix, L.R. & Zinck, J.A. (2008). Land-use planning in the Chaco plain (Burruyacu, Argentina). Part 1: Evaluating land-use options to support crop diversification in an agricultural frontier area using pPhysical land evaluation. *Environ Manage*, 42(6), 1043-1063. DOI: 10.1007/s00267-008-9208-1
- Cengiz, T., & Cengiz, E. (2009). Application of analytical hierarchy process and geographic information systems in land-use suitability evaluation: a case study of Dümrek village (Canakkale, Turkey). *I.J.S.D.W.E*. 16(4), 286-294. <https://doi.org/10.1080/13504500903106634>
- Chen Y-C, Lien H-P, & Tzeng G-H. (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 926-938. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.068>
- Cimren, E., Catay, B., & Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection system using AHP, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3), 363-376. DOI: 10.1007/s00170-006-0714-0
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., Hanson, J., Mullen, B. F., Partridge, I. J., Peters, M. & Schultze-Kraft, R. (2005). Tropical forages. CSIRO, DPIandF(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.
- Dann, P & Trimmer, B. (1986). Tagasaste: a tree legume

- system (case study: west of Mazandaran). *Journal of Human Settlements Planning Studies*, 11(35), 101-115. [In Persian].
- Newcomb, G. (1999). Tagasaste. Tree Crops, New Zealand Tree Crops Association. <https://www.feedipedia.org/node/22020>
- Pakzad, M., & Eslami, A. (2017). Site selection of suitable land for plantation development of *Prosopis cineraria* species using GIS (Case study: Rahmatabad watershed, Kerman province). *RS and GIS for Natural Resources*, 8(2), 48-61. <http://girs.iaubushehr.ac.ir>[In Persian].
- Qudspour, H. (2016). Analysis Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University of Technology (Tehran Polytechnic). [In Persian].
- Samanta, S., Pal, B. & Pal, DK. (2011). Land suitability analysis for rice cultivation based on multicriteria decision approach through GIS. *Inter. Sci. Emerging Technol*, 2(1), 12-21.
- Stokes, Z. (2008). Tagasaste - a fodder shrub. Fact Sheet 64/00, Government of South Australia, *Primary Industries and Resources SA*.
- Sys, I., Van Ranst, E. & Debveve, J. (1991). Land evaluation. Part1: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications. Brussels, Belgium.
- Tadesse, F. (2016). Growth performance and nutritive quality of tree Lucerne (*Chamaecytisus palmensis*) fodder under different management conditions in the Highlands of Ethiopia. MSc thesis in Animal and Range Sciences (Specialization: Animal Production). Hawassa, Ethiopia: Hawassa University.
- Valikhani, N., Charkabi, A. H., Khairkhan Zaraksh M. & Soltani. M. J. (2011). The application of geographic information system and multi-criteria decision-making of MCDM in zoning the appropriateness degree of urban physical development (case study: North of Karaj), *Remote sensing and geographic information system in natural resources*, 2(2), 1-15. [In Persian].
- Zhang, J., Yirong, S., Jinshui, W. & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China, *Computers and Electronics in Agriculture*, 114(1), 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04.004>
- Jafari, A. (1993). study of adaptation and ecology of tree alfalfa in tropical areas of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces. Final report of the research project, Organization of Research, Education and Promotion of Agriculture, Tehran, Iran. <http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18760693> [In Persian].
- Kazemi Pusht-Mesari, H., Tahmasabi Sarostani, Z., Kamkar B., Shatai Joibari, Sh. & Sadeghi S. (2012). Agro-ecological zoning of agricultural lands in Golestan province for rapeseed cultivation using Geographical Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP), *crop production (Electronic Journal of Crop Production)*, 5(1), 123-139. [In Persian].
- Kazemi, H., Tahmasabi Sarostani, Z., Kamkar, B., Shatai, Sh. & Sadeghi, S. (2013). Agro-ecological zoning of lands in Golestan province for soybean cultivation using geographic information system, *knowledge of agriculture and sustainable production*, 23(4), 4-21. [In Persian].
- Kirti, H.S. (2001). Evaluation of group decision making methods. Available online at: www.expertchoice.com.
- Maram, F., Zarafshani, K., Mirekzadeh, A. A. & Maliki, A. (2016). Evaluation and ranking of villages prone to agricultural development (case: Kermanshah city). *Geography and Environmental Planning*, 27(1), 131-146. DOI: 10.22108/GEP.2016.21363
- Martin D & Saha SK. (2009). Land evaluation by integrating remote sensing for cropping system analysis in a watershed. *Current Sci*, 96(4), 569-575.
- Masoumi, A., Nabati, J., Kafi, M. & Zare Mehrjardi, M. (2017). Investigating the possibility of fodder production in two stands of *Kochia* (*Kochia scoparia* L.) by reducing water consumption in saline conditions, *Crop Production Journal*, 10(1), 1-19. DOI: 10.22069/EJCP.2017.10053.1791 [In Persian].
- Milthorpe, P. L., & Dann, P. R. (1991). Production from tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) at four contrasting sites in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31(5), 639-644.
- Mohammadpourzidi, A., Bozur Mehr, K. & Hakim Dost, S. Y. (2016). Feasibility measurement of olive cultivation using the analysis hierarchy process (AHP) in the geographic information



Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level, Flow Direction and Unit Hydrograph of the Kahorestan Plain Aquifer

Tanan Dastandaz¹, Adnan Sadeghi-Lari^{2*}, Mehdi Bahrami³

1. MSc, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture. Fasa University, Fasa, Iran.

*Corresponding Author: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir

Keywords:

Aquifer, Kendall rank correlation test, Groundwater time variables.

Extended Abstract

In the ecosystem of dry and semi-dry areas such as Iran, groundwater is considered the main source of water supply. Currently, excessive exploitation has put these vital resources at risk of destruction. In these areas, it seems necessary to investigate quantitative changes in groundwater resources. For this reason, Kahorestan plain located in the northwest of Hormozgan province was selected to investigate the long-term unit hydrograph of Kahorestan aquifer, zoning of groundwater level and determination of groundwater flow direction. In this study, measured precipitation data and groundwater level during three five-year periods and one four-year period were used. The unit hydrograph of this aquifer showed a downward trend in the study area. The zoning map of groundwater levels indicated that the highest and lowest groundwater levels belong to the first and fourth periods, respectively. In each of the four periods, the highest and lowest groundwater levels were observed in the northwestern and southeastern parts of the aquifer, respectively. The flow direction maps showed that the dominant flow direction in this plain is from the northwestern area towards the southeastern part of the aquifer.

Introduction:

Water scarcity is a serious concern in many countries. Governments are still trying to access more water resources and meet the needs household, agriculture and industry needs. The imbalance between water supply and demand leads to a reduction in groundwater resource. Accordingly, the present study was conducted to better understand the quantitative status of groundwater in Kahorstan aquifer located in the northwest of Hormozgan province.

Materials and Methods:

In this study, precipitation data and groundwater level were used to analyze the unit hydrograph of the Kahorestan plain. They were also used to delineate groundwater level and flow direction maps during three five-year periods and one four-year period. In addition, the Kendall rank correlation coefficient was applied to determine the sta-

Received:

11 August 2023

Revised:

08 September 2023

Accepted:

28 October 2023

How to cite this article:

Dastandaz, T., Sadeghi-Lari, A., & Bahrami, M. (2024). Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level, Flow Direction and Unit Hydrograph of the Kahorestan Plain Aquifer. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 57-70. [10.22077/JDCR.2023.6680.1038](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6680.1038)



tistical correlation between time variables and groundwater level measured at each observation well.

Results and Discussion:

The unit hydrograph of the Kehoristan Plain showed that the overall trend of groundwater level during a 20-year period (2002-2021) is downward. The decreasing trend groundwater level indicates excessive extraction of groundwater and improper recharge of the aquifer. The significant negative correlation coefficient (at 99% confidence level) with the time variable also confirms its decreasing trend during the 20 years of the study period. The zoning map of groundwater levels showed that the highest and lowest groundwater levels belong to the first and fourth periods, respectively. In each of the four periods, the highest and lowest groundwater levels were observed in the northwestern and southeastern parts of the aquifer, respectively. The flow direction maps showed that the dominant flow direction in this plain is from the northwestern area towards the southeastern part of the aquifer.

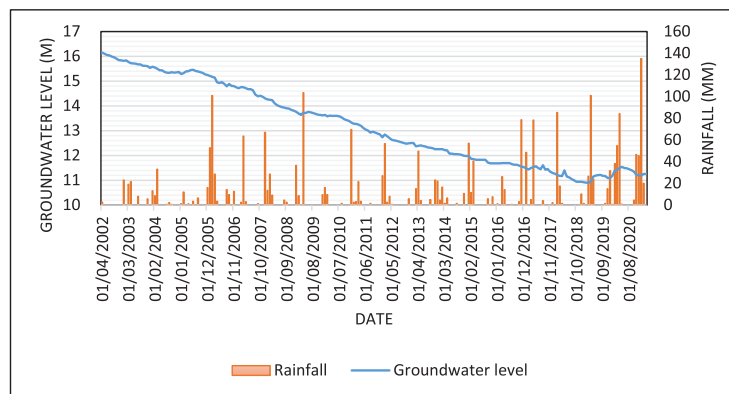


Fig 1. The hydrograph of the Kahorestan plain during the statistical period of 2002-2020

Conclusion:

The unit hydrograph of the Kahorestan plain had a downward trend during the 20-year period. Groundwater level showed a drop of more than 5 meters during this period. The groundwater level in all observation wells demonstrated a strong positive correlation with time. The investigation of the zoning maps of the groundwater level indicated a significant drop in the last ten years of the studied period. This drop was attributed to the uncontrolled withdrawals from the aquifer. The general direction of the groundwater flow in the studied area was from the northwest to the south and southeast, which in the first two periods of the study, the flow direction was aligned with the direction of the dominant slope of the plain, but in the last two periods, the flow direction was reversed, which was attributed to the high density of production wells, excessive withdrawals and inappropriate recharge.



تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی، جهت جریان و هیدروگراف واحد آبخوان دشت کهورستان

طنان دست انداز، عدنان صادقی لاری^{۱*}، مهدی بهرامی^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فسا، فسا، ایران.

*نویسنده مسئول: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

در اکوسیستم مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین آب محسوب می‌شود. در حال حاضر برداشت بیش‌ازحد، این منابع حیاتی را در معرض نابودی قرار داده است. لذا بررسی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی در این نواحی ضروری به نظر می‌رسد. از اینرو دشت کهورستان واقع در شمال غرب استان هرمزگان با هدف بررسی هیدروگراف واحد بلند مدت آبخوان کهورستان، پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی و تعیین جهت آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. در این مطالعه از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی بارش و تراز آب زیرزمینی در سه دوره زمانی پنج‌ساله و یک دوره زمانی چهارساله جهت تحقق اهداف ذکر شده استفاده گردید. ترسیم هیدروگراف واحد بلندمدت این آبخوان، حاکی از وجود یک‌روند نزولی در ناحیه مورد مطالعه بود. ترسیم نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی نشان داد که بیشترین و کم‌ترین تراز آب زیرزمینی به ترتیب مربوطه به دوره پنج‌ساله اول و چهارم می‌باشد. در هر چهار دوره بالاترین و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی به ترتیب در قسمت‌های شمال غربی و جنوب شرقی آبخوان مشاهده گردید. ترسیم نقشه‌های جهت جریان نشان داد که جهت غالب جریان در این دشت از محدوده‌ی ارتفاعات شمال غربی به سمت جنوب شرقی آبخوان می‌باشد.

آبخوان، آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال، متغیر زمان آب زیرزمینی.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۲۰

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۸/۰۶

مقدمه

کمبود آب از نگرانی‌های جدی در بسیاری از کشورها بوده و دولت‌ها همچنان در تلاش جهت اکتساب منابع آبی بیشتر و تأمین نیاز بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی هستند. عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب، استفاده بی‌رویه از آن و افزایش آلودگی جهانی منجر به فشار زیاد و کاهش کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. آب‌های زیرزمینی به تنهایی می‌توانند نیازهای آبی را برای دو سوم جمعیت جهان برآورده کنند. از طرفی بیش از ۱٫۵ میلیارد نفر در سراسر جهان به طور مستقیم یا غیرمستقیم به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده، لذا تقاضا برای منابع آب زیرزمینی در دهه گذشته به شدت افزایش یافته است (Aravinthasamy et al., 2020). آب‌های زیرزمینی بخش قابل توجهی از آب مورد نیاز آبیاری، شرب و صنعتی را تأمین می‌کند (Khoramabadi Shams et al., 2014). اراضی تحت آبیاری در ایران، که بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص داده است، بخش زیادی از نیازهای این بخش از طریق منابع آب زیرزمین تأمین می‌شود (Jalili et al., 2018)؛ از سوی دیگر، تغییرات آب و هوایی تأثیرات بسزایی بر کمیت آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل کاهش قابل توجه تغذیه منابع آب زیرزمینی از خود به جای گذاشته است (DeNicola et al., 2015; Karunanidhi et al., 2020; Taylor et al., 2013). در حال حاضر قنات‌های ایرانی که هزاران سال توسعه و تولید کشاورزی را در ایران تسهیل کرده بودند، عمدتاً با پیشرفت‌های فناوری و نوسازی کشاورزی خشک شدند (Mirzaei et al., 2019). هم‌چنین حفر چاه‌های عمیق، بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی را امکان‌پذیر نمود، درحالی‌که افزایش سدسازی و انحراف آب‌های سطحی باعث کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی گردید (Ashraf et al., 2019; Maghrebi et al., 2020). تشدید کمبود آب ناشی از خشک‌سالی‌های مکرر و تغییرات اقلیمی، ایران را در کنار کشورهایمانند هند، ایالات‌متحده، عربستان سعودی و چین با بالاترین نرخ کاهش آب زیرزمینی در قرن بیست و یکم قرار داده است (Bahrami et al., Madani, 2014).

(2020; Madani et al., 2016). علاوه بر این، به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر که منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی شده است، کاهش کیفیت منابع آب در جنوب ایران نگرانی‌های قابل توجهی را ایجاد کرده است (Bahrami et al., 2022). کاهش کمی سطح سفره‌های زیرزمینی در برخی از نقاط ایران به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افزایش سطح شوری تقریباً در همه زیر حوضه‌ها ثبت شده است، که نشان‌دهنده افزایش خطرات امنیتی آب در کشور است.

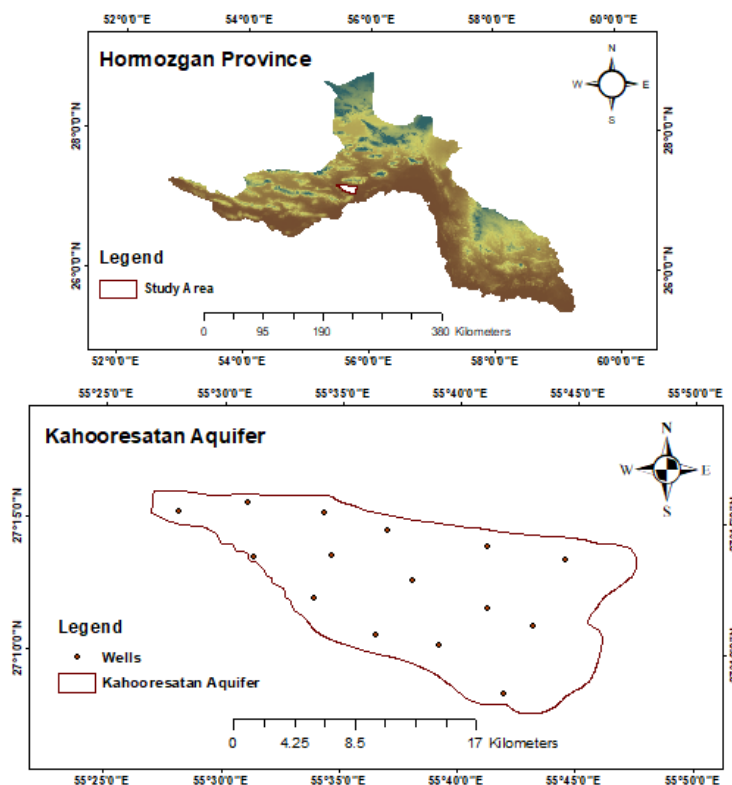
مطالعاتی در خصوص تحقیق حاضر در داخل و خارج از کشور انجام گردیده است. خواجه و همکاران (Kha-jeh et al., 2015) روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت تبریز را با استفاده از روش ناپارامتری من کندانال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان حاکی از آن بود که تراز آب زیرزمینی در اکثر چاه‌های مورد بررسی روند نزولی معنی‌داری را طی نموده و ماه‌های فروردین، اردیبهشت و بهمن در مقایسه با سایر ماه‌ها از روند نزولی بیشتری برخوردار بودند. عدلی و همکاران در دشت سرخون استان هرمزگان از داده‌های بارندگی و داده‌های مربوط به کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی به منظور تعیین روند و طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمین با استفاده از شاخص WQI و آزمون من-کندانال استفاده نمودند نتایج آن‌ها حاکی از کاهش معنادار کیفیت و افت تراز آب زیرزمینی در دشت سرخون بود. مقادیر گزارش شده برای شیب خط به دست آمده و افت تراز بیان‌کننده افت ۳۳ سانتی‌متری و افزایش ۴/۳ واحدی WQI به ازای هر سال بود (Adeli et al., 2018). نورکی و همکاران (Nouraki et al., 2020) در مطالعه‌ای در دشت همدان-بهار به این نتیجه رسیدند که افزایش بهره‌برداری بی‌رویه از چاه‌های برداشت در اثر تغییر الگوی کشت از محصولات با نیاز آبی کمتر به بیشتر، موجب افت چشم‌گیر سفره آب زیرزمینی شده است. ازجمله اهداف این تحقیق، تهیه نقشه‌های پایه، نقشه‌های کمی و کیفی و هیدروگراف واحد آبخوان بوده است تا به جستجوی مناطق بحرانی از لحاظ افت آب

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت کهورستان در استان هرمزگان، شمال غربی خلیج فارس، واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای این منطقه گرم و خشک با میانگین دمای سالانه حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰٪، بارندگی سالانه ۱۰۱/۵ میلی‌متر و تبخیر ۱۴۱/۹ میلی‌متر و همراه با تابستان‌های بدون باران و زمستان‌های با بارندگی‌های کوتاه‌مدت می‌باشد.

زیرزمینی و آلودگی آب پرداخته شود در این تحقیق باهدف درک بهتر از وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت کهورستان، هیدروگراف واحد دشت، روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی و جهت جریان در سه دوره زمانی پنج‌ساله و یک دوره زمانی چهارساله شامل سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۸۵)، (۱۳۸۶-۱۳۹۰)، (۱۳۹۱-۱۳۹۵) و (۱۳۹۶-۱۳۹۹) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان

Fig 1. The Geographical Position of the Study Area in Hormozgan Province

بوده و به سمت شرق از ضخامت آن کاسته می‌شود. گنبد‌های نمکی، که از قدیمی‌ترین رسوبات رخنمون یافته در منطقه هستند، در بخش جنوب شرقی دشت کهورستان بیرون‌زدگی داشته و مهم‌ترین عامل افزایش املاح در منابع آب و خاک این بخش از دشت است. رسوبات عصر حاضر که تمامی سطح دشت را پوشانده و توده نفوذپذیر را تشکیل می‌دهند، به دلیل نزدیکی به اراضی پست سواحلی، مقادیر زیادی از املاح را در خود ذخیره کرده و شورزارهای وسیعی را تشکیل

زمین‌شناسی منطقه:

رسوبات آبرفتی که با بافت ریز و درشت و وسعت‌های متفاوتی آن‌ها را پوشانده‌اند، از تخریب و فرسایش سازندهای ارتفاعات شمال و جنوب آن حاصل شده است، که عمدتاً از جنس مارن، ماسه‌سنگ و گچ تشکیل شده‌اند. مجموع این رسوبات بر روی کنگلومرای بختیاری قرار می‌گیرد، که خود نیز بر روی تشکیلات گروه فارس مستقر هستند. در آبخوان کهورستان ضخامت آبرفت در قسمت غربی دشت زیاد

در سطح اعتماد ۹۹ درصد جهت سنجش همبستگی آماری متغیرهای زمان و تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در هر یک از چاه‌های مشاهداتی واقع در محدوده‌ی آبخوان کهورستان استفاده گردید.

در این مطالعه از روش IDW^۱ در محیط GIS برای درون‌یابی تراز آب زیرزمینی و تولید نقشه‌های پهنه‌بندی و جهت جریان آب زیرزمینی در ۳ دوره‌ی پنج‌ساله شامل سال‌های آبی (۱۳۸۵-۱۳۸۱)، (۱۳۹۰-۱۳۸۶)، (۱۳۹۵-۱۳۹۱) و یک دوره چهارساله (۱۳۹۹-۱۳۹۶) استفاده گردید.

نتایج و بحث

هیدروگراف واحد دشت کهورستان

به‌منظور درک بهتر افت تراز آب زیرزمینی هیدروگراف واحد سالیانه دشت کهورستان ترسیم شد. همان‌طور که در (شکل ۲) مشاهده می‌شود، روند کلی تراز سطح آب زیرزمینی در طول دوره ۱۹ ساله (از سال ۹۹-۸۱) به‌صورت نزولی است. حداکثر ارتفاع مطلق سطح آب در فروردین‌ماه ۱۳۸۱، برابر ۱۶/۱۵ متر و حداقل ارتفاع مطلق سطح آب در اسفند و بهمن‌ماه ۱۳۹۸، برابر ۱۰/۹۱ متر است. در طی این دوره ۱۹ ساله، تراز آب زیرزمینی ۵/۲۴ متر افت داشته است. اگرچه میزان بارندگی در ۵ سال آخر بیشتر از سال‌های اول است، اما آبخوان با کاهش سطح تراز ایستایی مواجه بوده است، عوامل زیادی می‌تواند در این موضوع دخیل باشد که یکی از آن‌ها وجود چاه‌های غیرمجاز و بهره‌برداری بیش از حد در منطقه است. بهره‌برداری بیش از حد، یکی از عوامل اصلی کاهش سطح تراز آب زیرزمینی دشت کهورستان است. نزولی بودن هیدروگراف اشاره مستقیمی به برداشت بیش از حد (تخلیه زیاد) از آبخوان و عدم تغذیه کافی دارد، لذا تعادل بین ورودی و خروجی (تغذیه و تخلیه) از آبخوان از بین رفته است، که این امر منجر به افت مداوم تراز آب زیرزمینی در طول دوره شده است. از دلایل دیگر کاهش تراز آب زیرزمینی می‌توان به خشکسالی‌های پایپی، عدم بهره‌برداری اصولی و بهینه از آبخوان نسبت داد.

دوست محمدیان و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی دشت سمنان نتایجی مشابه را گزارش کردند. تراز آب

داده‌اند (Yekom consulting engineers, 2011).

در این مطالعه به‌منظور بررسی تغییرات آب زیرزمینی در دشت کهورستان، از داده‌های مربوط به ۱۵ حلقه چاه مشاهداتی طی سال آبی ۸۱-۸۰ لغایت سال آبی ۹۹-۹۸، جهت ترسیم و بررسی هیدروگراف استفاده گردید. موقعیت مکانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در آبخوان مورد مطالعه در (شکل ۱)) نشان داده شده است. جهت شناسایی همبستگی بین متغیر تراز آب زیرزمینی و زمان، از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال استفاده گردید. نقشه پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی در سه دوره‌ی پنج‌ساله شامل سال‌های آبی (۱۳۸۵-۱۳۸۱)، (۱۳۹۰-۱۳۸۶)، (۱۳۹۵-۱۳۹۱) و یک دوره چهار ساله (۱۳۹۹-۱۳۹۶) با استفاده از روش درون‌یابی وزن معکوس فاصله IDW در محیط ArcMap10.8 تولید و به صورت مکانی مورد آنالیز قرار گرفت. جهت جریان آب زیرزمینی نیز در دوره‌های ذکر شده تجزیه و تحلیل گردید.

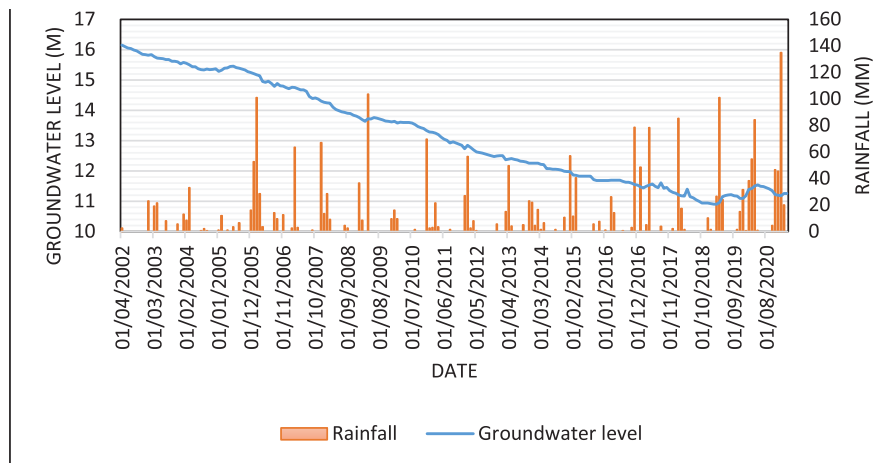
هیدروگراف واحد دشت کهورستان

میانگین بلندمدت تراز آب زیرزمینی در دشت با استفاده از داده‌های تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در یک دوره ۱۹ ساله (از سال آبی ۸۱-۸۰ لغایت ۹۹-۹۸) از ۱۵ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت با روش پلیگون بندی تیسن محاسبه و سپس اقدام به رسم هیدروگراف آبخوان گردید.

آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال

همبستگی به مفهوم ارتباط میان دو یا چند کمیت با یکدیگر است و ضریب همبستگی مقدار عددی این ارتباط را بیان می‌کند. هرچه قدر قدر مطلق ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد (در جهت مثبت یا در جهت منفی) ارتباط بین کمیت‌ها بیشتر و کامل‌تر است. وقتی اندازه عددی ضریب همبستگی به مقادیر مثبت یک نزدیک است به معنای وجود ارتباط قوی و مستقیم است، به‌نحوی که افزایش یک کمیت افزایش کمیت دیگر را در پی دارد و یا کاهش آن سبب کاهش کمیت دیگر می‌شود. ضریب همبستگی نزدیک به منفی یک نیز حاکی از وجود یک رابطه مستحکم و معکوس بین دو پارامتر است (Mann, 1945). در این پژوهش از آزمون ناپارامتریک همبستگی رتبه‌ای

1. Inverse Distance Weighting



شکل ۲. هیدروگراف واحد دشت کهورستان در طول دوره آماری سال ۹۹-۱۳۸۱

Fig 2 . The hydrograph of Kahorestan plain during the statistical period of 2002-2020

منطقه از حساسیت دوچندانی برخوردار شده است. نتایج این تحقیق نشان داد بارندگی حوضه آبخیز سرخون که در ابتدای مسیر در روند کاهشی قرار دارد، این واقعیت را بیان می‌کند که سایر متغیرهای هیدرولوژیکی که از بارندگی‌ها اثرپذیری دارند، حتی در صورت تداوم وضع حاکم بر بارندگی منطقه می‌توانند در وضعیتی بدتر از وضع موجود قرار گیرند. چرا که بارندگی در حوضه‌های آبخیز به‌عنوان نیروی محرکه هیدرولوژیکی شناخته شده است و هر تغییر مثبت و منفی در این متغیر می‌تواند بازخوردی هم‌جهت در سایر متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه به همراه داشته باشد. (Adeli et al., 2018)

نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال بین متغیرهای زمان و تراز آب زیرزمینی

همبستگی بین متغیر تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در دشت کهورستان و متغیر زمان در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون همبستگی کندال تراز ایستابی اندازه‌گیری شده در هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای و نیز میانگین تراز آب زیرزمینی در کل ناحیه، دارای یک همبستگی معنی‌دار منفی (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) با متغیر زمان بوده، که حاکی از روند کاهشی آن در طول ۱۹ سال دوره مطالعاتی است.

عادلای و همکاران (۱۳۹۷) در دشت سرخون با بررسی تراز آب زیرزمینی گزارش کردند نتایج بیان‌کننده روند

زیرزمینی در دشت سمنان نشان داد سطح تراز چاه‌ها افت محسوسی داشته‌اند. به‌طوری‌که در سال ۱۳۷۳ در بالاترین سطح خود بوده است. سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۹۲ به‌طور متوسط حدود ۸/۶ متر افت داشته است که این امر حاکی از برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع زیرزمینی و همچنین افزایش خشک‌سالی و کاهش بارندگی و تغذیه چاه‌ها در منطقه است. به دلیل حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی افت سطح آب زیرزمینی در دشت کماکان ادامه دارد. افزایش جمعیت در طول زمان و نیاز به آب و همچنین افزایش کارخانه‌ها و مراکز صنعتی و برداشت این مراکز از آب‌های زیرزمینی برای مصارف خود باعث افت سطح این آب‌ها شده است (Dustmohammadian et al., 2021). عادلای و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند هیدروگراف ترسیم شده برای ارزیابی ارتباط تراز آب زیرزمینی دشت سرخون با بارندگی سالانه ایستگاه دشت سرخون نشان‌دهنده تأثیرپذیری تغییرات تراز آب زیرزمینی از میزان بارش این ایستگاه است. از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ که میزان بارش در منطقه با کاهش محسوس روبه‌رو شده است، تراز آب نیز از تغییر نوسانات سالانه به وضعیت روند کاهشی تغییر وضعیت داده است. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی حوضه سبب وارد شدن فشار زیادی به منابع طبیعی در این حوضه شده است. به‌طوری‌که برنامه‌ریزی برای مدیریت و بهره‌برداری از منابع در این

جدول ۱. نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال بین متغیرهای زمان و تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای

Table 1. The result of the Kendall rank correlation test for the measured groundwater level and time variables in observation wells

چاه مشاهده‌ای Well Observation	ضریب همبستگی Correlation Coefficient
1	-0.624**
2	-0.877**
3	-0.871**
4	-0.680**
5	-0.982**
6	-0.981**
7	-0.979**
8	-0.660**
9	-0.932**
10	-0.765**
11	-0.881**
12	-0.772**
13	-0.515**
14	-0.621**
15	-0.145**
میانگین تراز ایستابی Average Groundwater Level	-0.944**

**سطح معنی‌داری ۵ درصد

لذا افزایش بهره‌برداری از چاه‌های عمیق شرب در بخش جنوبی و توسعه بهره‌برداری چاه‌های کشاورزی عمیق در نواحی میانی و شمالی آبخوان، موجب کاهش سطح تراز آبخوان عمیق شده است (Kia et al, 2019).

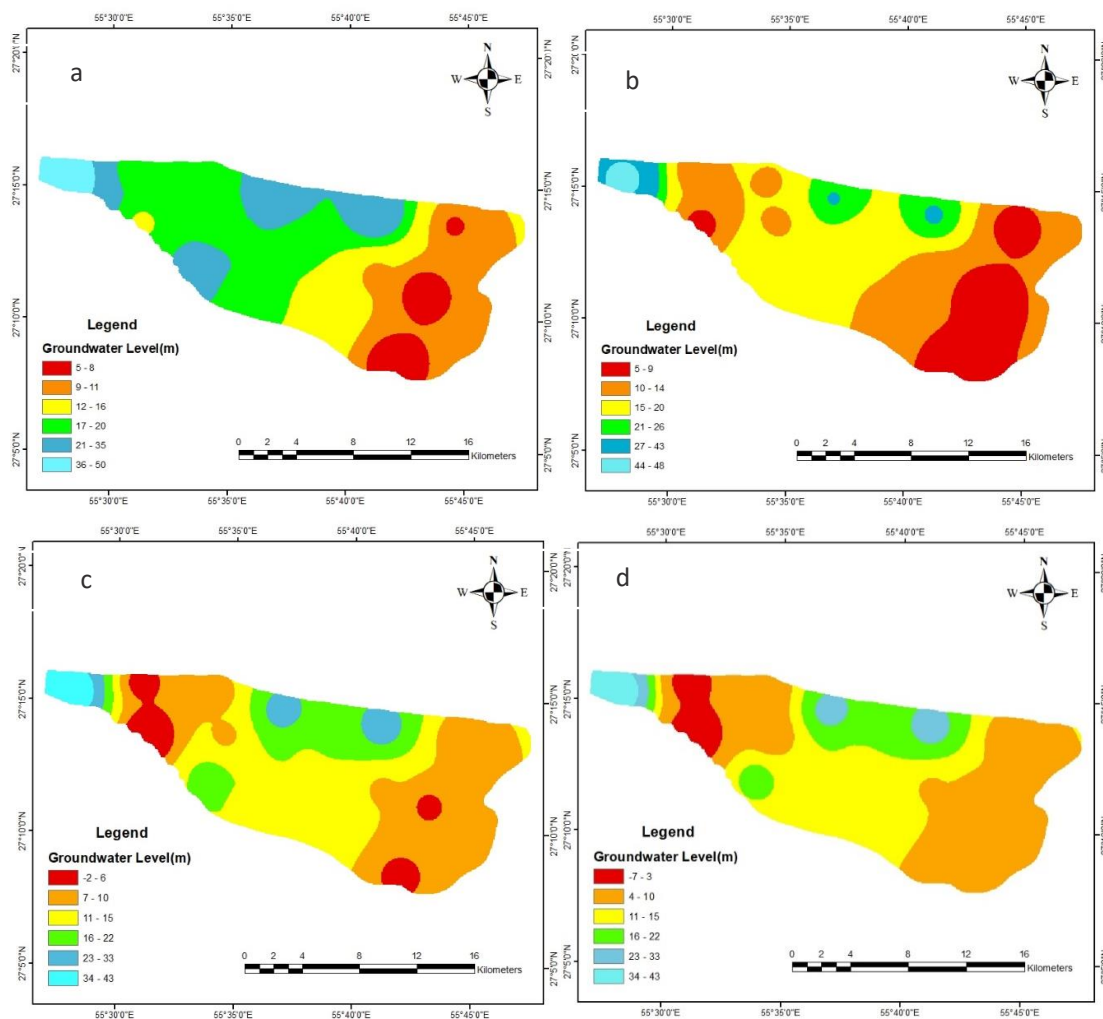
نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی در دوره‌های زمانی مختلف

همان‌طور که در شکل ۳(a) ملاحظه می‌شود سطح آب زیرزمینی طی اولین دوره مورد مطالعه بین ۵ الی ۵۰ متر متغیر می‌باشد. با توجه به این نقشه بخش‌های شمال شرقی و شرق آبخوان بیشترین تراز آب زیرزمینی و قسمت‌های غرب و شمال غربی بیشترین تراز آب زیرزمینی را در طی این دوره پنج ساله دارا می‌باشند. با توجه شکل ۳(b) سطح آب زیرزمینی طی دومین دوره مورد مطالعه بین ۵ الی ۴۸ متر در نوسان بوده است. در این دوره تراز آب زیرزمینی در بخش‌های شمال شرقی و شرق دشت، که تراکم چاه‌های بهره‌برداری در این قسمت بیشتر

کاهشی در تراز آب زیرزمینی این منطقه است. این محققین وجود روند کاهشی تراز آب‌های زیرزمینی در بیشتر دشت‌ها را ناشی از اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌های اخیر دانستند (Adeli et al., 2018). کیا و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که آبخوان‌های استان گلستان دارای هر دو روند افزایشی و کاهشی تراز آب زیرزمینی می‌باشد. بخش‌های شمالی این آبخوان که در پایین‌دست و در امتداد شیب غالب منطقه می‌باشد، روند افزایشی و برعکس بخش‌های جنوبی و بالادست آبخوان روند کاهشی را نشان دادند. به نظر می‌رسد افزایش بهره‌برداری از منابع آب موجب افزایش تغذیه آبخوان نیمه عمیق ناشی از پساب مصارف مختلف و در نتیجه افزایش تراز آب زیرزمینی آبخوان نیمه عمیق شده است. با توجه به اینکه تغذیه سفره عمیق تنها به‌صورت جریان زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان صورت می‌پذیرد و پساب مصارف در تغذیه آبخوان عمیق تأثیری ندارد،

بوده است. با توجه به شکل (۱) در این دوره زمانی نزولات جوی کاهش چشمگیری داشته و برداشت آب زیرزمینی نیز به دلیل حفر چاه‌های بیشتر نسبت به دوره قبل افزایش یافته است لذا کاهش قابل توجهی در تراز آب زیرزمینی صورت گرفته است.

بوده است، از ۵۰ متر به ۴۸ متر رسیده و معادل دو متر افت را در طی یک دوره پنج سال تجربه نموده است. وقوع بارش‌های بیشتر (شکل ۱) مانع از افت بیشتر تراز آب زیرزمینی در این دوره نسبت به دوره قبلی گردیده است. مطابق شکل (c) سطح آب زیرزمینی از ۲- الی ۴۳ متر در دوره سوم مطالعه متغیر

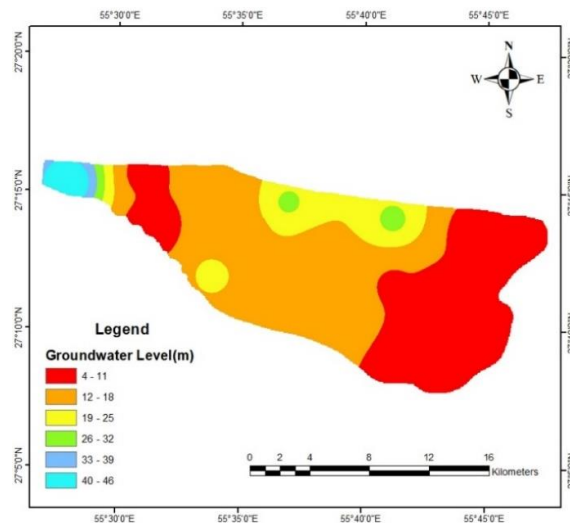


شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی دوره‌های زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (a)، ۱۳۸۶-۱۳۹۰ (b)، ۱۳۹۱-۱۳۹۵ (c) و چهارساله ۱۳۹۶-۱۳۹۹ (d)

Fig 3. Zoning map of the groundwater level in the time period 2002-2006 (a), 2007-2011 (b), 2012-2016 (c) and 2017-2020 (d)

در این دوره می‌باشد. با بررسی نقشه پهنه‌بندی میانگین تراز آب زیرزمینی در کل دوره مطالعاتی (شکل ۴)، بالاترین تراز آب زیرزمینی در قسمت شمال غربی به میزان ۴۶/۳ متر و پایین‌ترین تراز در بخش جنوب شرقی به میزان ۴/۸۱ متر مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در شکل (d) مشاهده می‌شود تراز آب زیرزمینی در دوره چهارم، از ۷- الی ۴۳ متر متغیر بوده است. تراز آب زیرزمینی در بخش غربی دشت از ۲- به ۷ رسیده و کاهش محسوسی را تجربه نموده است، که علت آن افزایش چشمگیر تعداد چاه‌های بهره‌برداری



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی میانگین تراز آب زیرزمینی در دوره مطالعاتی (۱۳۸۱-۱۳۹۹)

Fig 4. Zoning map of the average groundwater level in the study period (2002-2020)

دشت و تراکم زیاد چاه‌های پمپاژ در این ناحیه بوده، که منجر به پایین رفتن تراز سطح آب زیرزمینی به زیر سطح دریا (تراز منفی) در نواحی شمال غربی دشت گشته است.

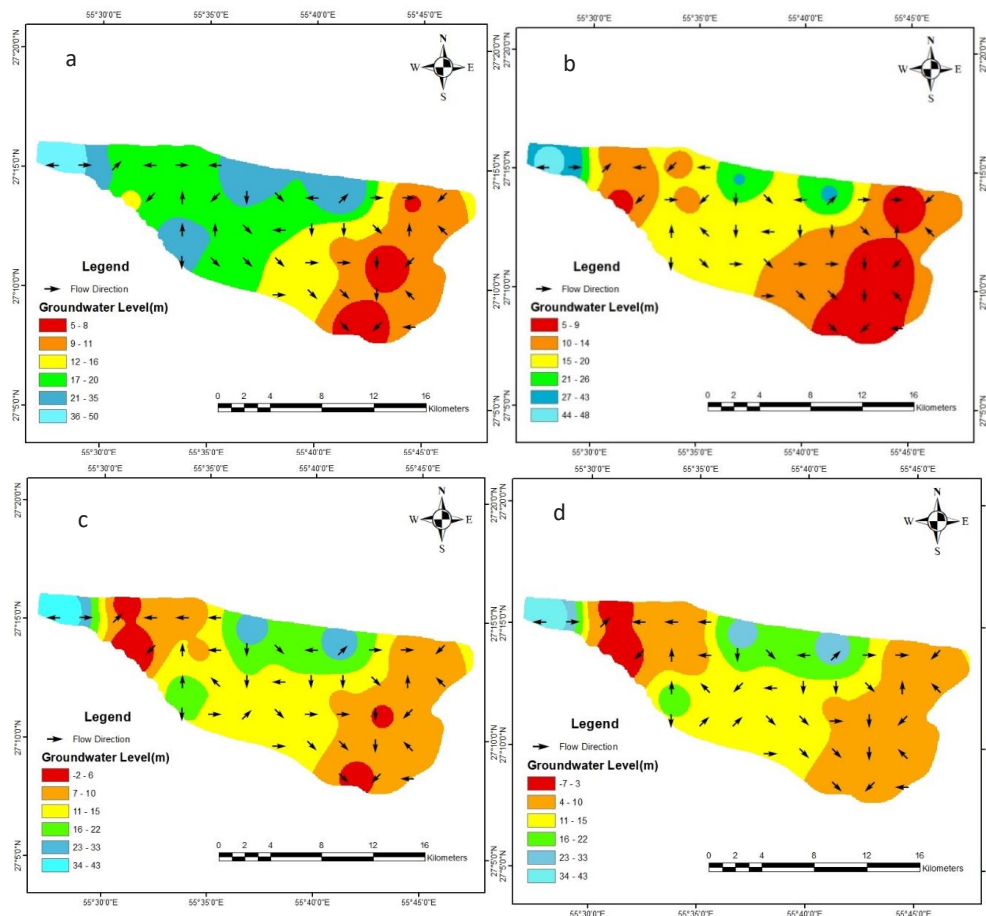
نتیجه‌گیری

هیدروگراف واحد دشت در طی دوره ۱۹ ساله (سال آبی ۸۱-۸۰ لغایت ۹۹-۹۸) از یک روند نزولی برخوردار بود و در طی این دوره افت بیش از ۵ متری را نشان داد. آزمون آماری همبستگی رتبه‌ای کندال نیز مؤید این مطلب بود، چراکه تراز آب زیرزمینی در تمامی چاه‌های مشاهداتی یک همبستگی مثبت قوی با زمان از خود نشان داد. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی حاکی از افت معنادار آن در ده سال انتهایی دوره مورد مطالعه بود که دلیل اصلی این امر به برداشت‌های بی‌رویه و کنترل نشده از آبخوان نسبت داده شد. با توجه به نقشه‌های جهت جریان آب زیرزمینی، جهت کلی جریان از بخش‌های شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی منطقه است، که در دو دوره ابتدایی مطالعه جهت جریان همسو با جهت شیب غالب دشت بود، اما در دو دوره انتهایی جهت جریان معکوس گردید، که دلیل این امر به تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری در بالادست ناحیه مورد مطالعه، برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان و عدم تغذیه نسبت داده شد.

مقایسه هر چهار دوره با یکدیگر نشان داد که بالاترین تراز آب زیرزمینی مشاهده شده مربوط به دوره پنج‌ساله اول و پایین‌ترین آن مربوط به دوره چهارساله چهارم است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که با فرض اینکه میزان تخلیه و تغذیه دشت همانند سال‌های قبل باشد، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای با تشدید شیب افت سطح آب مواجه خواهند شد. چنانچه وضعیت برداشت آب زیرزمینی به همین صورت ادامه یابد، علاوه بر کاسته شدن از ذخایر آب زیرزمینی دشت، کیفیت ذخایر آب زیرزمینی باقیمانده نیز کمتر خواهد شد. این امر موجب بروز مشکلات جدی‌تر در وضعیت کشاورزی و معیشت ساکنان این منطقه می‌شود.

جهت جریان آب زیرزمینی دشت کهورستان

با توجه به شکل ۵، جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت کهورستان در دوره‌های ابتدایی مطالعه (دوره‌ی پنج‌ساله اول و دوم) از نواحی شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی دشت بوده، که از شیب غالب سطح زمین در این ناحیه نیز تبعیت می‌نماید (شکل ۵(a, b)). اما در دوره‌های انتهایی مطالعه (بین سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۱) روند کلی جریان آب زیرزمینی تغییر می‌نماید و از سمت مرکز به سمت نواحی شمال غربی دشت تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۵(c, d)). علت این امر بهره‌برداری بیش‌ازحد از آبخوان این



شکل ۵. نقشه جهت جریان آب زیرزمینی دوره‌های زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (a)، ۱۳۸۶-۱۳۹۰ (b)، ۱۳۹۱-۱۳۹۵ (c) و چهارساله ۱۳۹۶-۱۳۹۹ (d)

Fig 5. flow direction map of groundwater in the time period 2002-2006 (a), 2007-2011 (b), 2012-2016 (c) and 2017-2020 (d)

Environmental Geochemistry and Health, 42(7), 1937–1963. doi: 10.1007/s10653-019-00452-x

Ashraf, S., AghaKouchak, A., Nazemi, A., Mirchi, A., Sadegh, M., Moftakhari, H. R., Hassanzadeh, E., Miao, C. Y., Madani, K., Mousavi Baygi, M., Anjileli, H., Arab, D. R., Norouzi, H., Mazdiyasni, O., Azarderakhsh, M., Alborzi, A., Tourian, M. J., Mehran, A., Farahmand, A. & Mallakpour, I. (2019). Compounding effects of human activities and climatic changes on surface water availability in Iran. *Climatic Change*, 152(3-4), 379–391. doi: 10.1007/s10584-018-2336-6

Bahrami, M., Amiri, M. J., & Badkubi, M. (2020). Application of horizontal series filtration in greywa-

منابع

- Adeli, B., Kangarani, H., Sadodin, A., Bazrafshan, O. & Armin, M. (2018). Using the WQI method and the Man-Kendall test to assess the qualitative and quantitative status of groundwater aquifers (case study: Sarkhoon plain, Hormozgan province). *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 5(3), 801–811. Available from: <https://www.magiran.com/paper/1877666>. [In Persian].
- Aravinthasamy, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., Srinivasamoorthy, K., & Anand, B. (2020). Geochemical evaluation of fluoride contamination in groundwater from Shanmuganadhi River basin, South India: implication on human health. *En-*

- Persian].
- Khoramabadi, S., G., Yusefzadeh, A., Godini, H., Ho-seinzadeh, E. & Khoshgoftar, M. (2014). Water Quality Zoning Based on Water Quality Index and Wilcox Index Using Geographic Information System. *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 6(3), 1-8. doi: 10.5812/jjhs.21724
- Kia, F., Ghorbani, K. & Salarijazi, M. (2019). Assessment of Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Using WQI during Two Decades in Aquifer of Golestan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), 39-51.
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315–328. doi: 10.1007/s13412-014-0182-z
- Madani, K., AghaKouchak, A. & Mirchi, A. (2016). Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. *Iranian Studies*, 49(6), 997–1016. doi: 10.1080/00210862.2016.1259286
- Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., Danandeh Mehr, A., Karbassi, A., Omidvar, J., Farnoush, H., Torabi Haghighi, A., Kløve, B. & Madani, K. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earth's Future*, 8(9), 1-15. doi: 10.1029/2020EF001547
- Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A. & Madani, K. (2019). The groundwater-energy-food nexus in Iran's agricultural sector: Implications for water security. *Water (Switzerland)*, 11(9), 1-15. doi: 10.3390/w11091835
- Nouraki, A., & hooshmand, AR. (2020). Evaluation of Trend and Spatial Distribution Pattern of Groundwater Quality Using Water Quality Indices (Case study: Hamedan-Bahar plain). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 415–28. Available from: <https://jest.srbiau.ac.ir/>
- ter treatment: a semi-industrial study. *Australian Journal of Water Resources*, 24(2), 236–247. doi: 10.1080/13241583.2020.1824610
- Bahrami, M., Khaksar, E. & Bahrami, A. (2022). Groundwater quality evaluation for potable and irrigation uses in the semi-arid region of southern Iran. *Irrigation and Drainage*, 71(3), 749–765. doi: 10.1002/ird.2671
- Denicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H. & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. In *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. doi: 10.1016/j.aogh.2015.08.005
- Dustmohammadian, A.H., Mohammady, M., Amiri, M. & Kianian, M.K.. (2021). Investigating Temporal Changes of Groundwater Quality in Semnan Plain Using Geostatistical Method. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(51), 59-62. SID. <https://sid.ir/paper/402865/en>
- Jalili, D., RadFard, M., Soleimani, H., Nabavi, S., Akbari, H., Akbari, H., Kavosi, A., Abasnia, A. & Adibzadeh, A. (2018). Data on Nitrate–Nitrite pollution in the groundwater resources a Sonqor plain in Iran. *Data in Brief*, 20, 394–401. doi: 10.1016/j.dib.2018.08.023
- Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Subramani, T., Roy, P. D. & Srinivasamoorthy, K. (2020). Risk of Fluoride-Rich Groundwater on Human Health: Remediation Through Managed Aquifer Recharge in a Hard Rock Terrain, South India. *Natural Resources Research*, 29(4), 2369–2395. doi: 10.1007/s11053-019-09592-4
- Khajeh, M., bazrafshan, O., vagharfard, H. & Esmaeelpoor, Y. (2015). An Investigation on the Quantity and Quality of Groundwater in the Parishan Plain. *MJSP*, 18(4), 71-96. URL: <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-116-fa.html>. [In

article_17420.html [In Persian].

Taylor, R. G., Todd, M. C., Kongola, L., Maurice, L., Nahozya, E., Sanga, H. & Macdonald, A. M. (2013). Evidence of the dependence of groundwater resources on extreme rainfall in East Africa. *Nature Climate Change*, 3(4), 374–378. doi: 10.1038/nclimate1731



Evaluation of Different Drought Indices to Find the Most Applicable Index (Case Study: Aleshtar Plain)

Atefe Amiri¹, Siamak Baharvand^{2*}, Mozhgan Rad³

1. PhD. Student, Watershed Engineering (water and soil conservation), Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2. Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University of Khorramabad, Khorramabad, Iran.

3. MSc. Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran.

*Corresponding Author: S.baharvand@khoiau.ac.ir

Keywords:

CZI index, DIP software, Drought, Minimum rainfall, Steinman method.

Extended Abstract

Introduction:

Many researchers considered drought to be the first dangerous natural phenomenon due to its significant impact. Drought is one of the most important natural disasters that affects various aspects of human life with its slow and creeping occurrence. This calamity, as an unfortunate climate phenomenon that directly affects communities through water resource restriction, brings economic, social and environmental costs. In general, drought is divided into four categories, including meteorological, agricultural, socio-economic and hydrological droughts. Due to being located in the geographical dry belt and the desert strip located in the latitudes of 20 to 40 degrees in the northern hemisphere with an average annual rainfall of about 250 millimeters, also due to the disproportionate distribution of rainfall, Iran is considered one of the dry and semi-arid regions of the world. River and for this reason drought is one of the main climatic characteristics that should be studied. In this research, meteorological drought was studied using ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI drought indices in the Aleshtar Plain. Daily precipitation values from three stations, Aleshtar, KakaReza and Sarabsead-Ali, were collected for 2001-2021. After analyzing the annual precipitation trend at each station, the duration and maximum severity of drought were determined using meteorological drought indices. Considering that in previous studies, only one or two drought indicators have been used to investigate meteorological drought, the purpose of this research is to investigate the duration and maximum of meteorological drought using different drought indices (ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI) and rainfall statistics of three stations to find the most suitable index in Aleshtar Plain. In determining the performance of these indices and selecting the most suitable index, four methods of minimum and maximum precipitation, Steinman and Spearman have been used.

Received:

13 September 2023

Revised:

09 October 2023

Accepted:

14 October 2023

How to cite this article:

Amiri, A., Baharvand, S., & Rad, M. (2024). Evaluation of Different Drought Indices to Find the Most Applicable Index (Case Study: Aleshtar Plain). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 71-86. [10.22077/JDCR.2023.6775.1043](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6775.1043)



Materials and methods:

In this research, to investigate the annual drought and drought periods in Aleshtar Plain, the daily rainfall data of Aleshtar, KakaReza and Sarabsead-Ali stations during the statistical period from 2001 to 2021 were used and drought indicators were employed. DIP software was used and analyzed. Then, to find the most versatile drought index, minimum and maximum precipitation, Spearman and Steinman methods have been used.

Results and discussion:**Investigating drought trend using SPI index**

In order to investigate the drought trend in different stations for the time windows of 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months in terms of the intensity and duration of the drought period, the SPI index output values have been used. According to the drought analysis results, it was observed that the standardized precipitation index values have many fluctuations in the short-term time windows. While the longer time periods of 12, 24 and 48 months show slower reactions to the changes in precipitation, according to the results, the maximum duration of drought for the time period studied in the stations of Sarabsead-Ali and KakaReza has occurred with an amount of 11 months, and the least continuity occurred in Aleshtar station with an amount of 2 months. Also, the highest mean length of the dry period was at KakaReza station with a value of 8.25 and the lowest was at Aleshtar station with a value of 1.25. The most severe dry month in the studied period in terms of SPI drought index was at Aleshtar station with a value of -3.2 and the lowest at KakaReza station with a value of -1.05.

Comparison of drought indices to find the most suitable index**Examining the minimum theory**

According to the obtained results, according to the minimum theory assumptions, the CZI index has been selected as the most suitable index. This is done by estimating one correct case out of four, SPI, ZSI and PN indices at most stations. There has been a severe drought and MCZI and DI indices could not predict any of the cases correctly and the status of the cases has returned to normal in all stations. In comparison with wet conditions, SPI, ZSI and CZI indices have been selected as the most suitable indicators of wet. This is done by estimating three correct cases out of four. However, MCZI, DI and PN indices have reached normal status in all stations and never had reliable predictions.

Investigating Spearman's correlation between indices and rainfall values

The results obtained from the comparison of Spearman's correlation between drought indices and precipitation parameters show that there is a favorable correlation between the two at all stations. Also, the MCZI index obtained weaker results than other drought indices.

Choosing the right index based on normal distribution

The index that was chosen as the best index in the largest number of stations by the Steinman method is the CZI index. This index was selected as the highest index in three stations, and the ZSI index was selected as the second rank index. DI index with the weakest performance out of three stations did not get a rank in two stations.

Selecting the top index

In this research, with respect to the criterion of all four tests for choosing the best drought index, for each of the tests, according to the number of indicators that are compared, the highest score is given to the best index, and in the same way until the index. Finally, points are given, and finally, the index that has obtained the most points in total (Table 1) is selected as the most suitable index for the conditions of the region. According to Table (1), the CZI index that has got the most points from all the tests is selected as the most effective index. SPI and ZSI indices have also obtained favorable and accurate results in this region.

Table 1. Scoring indicators in four tests

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	test/index
4	2	1	6	3	5	Minimal
2	4	3	5	5	6	Maximum
5	3	2	4	6	4	Spearman
3	1	2	6	5	4	Steinman
14	10	8	21	19	19	Total points

Conclusion:

ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI drought indices were used to investigate meteorological drought in the Aleshtar Plain. Then, to find the most versatile drought index, minimum and maximum precipitation, Spearman and Steinman methods were used. The results of this research showed that CZI, ZSI and SPI indices are the most important indicators for studying and investigating meteorological drought situation in the Aleshtar Plain. It is suggested to examine the meteorological drought situation in the region for longer periods. These indicators are also evaluated. In the phenomenon of drought, due to the fact that different definitions have been expressed for it from different points of view, and also that numerical values of this phenomenon cannot be measured directly, it seems difficult to compare various indicators and choose the best indicator. Determining the monitoring target is one of the most important processes of choosing the appropriate drought index. This target must be specified in the first step. It is important to know for what purposes (meteorological, agricultural, and hydrological) drought monitoring is conducted.



ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص (مطالعه موردی: دشت الشتر)

عاطفه امیری^۱، سیامک بهاروند^{۲*}، مژگان راد^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری (حفاظت آب و خاک)، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران.

*نویسنده مسئول: S.baharvand@khoiau.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی، تعیین شاخصی است که بر اساس هدف پایش، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. بررسی و پایش خشکسالی مهمترین ابزار مدیریت خشکسالی محسوب می‌شود که می‌توان با استفاده از روش‌هایی، شروع و پایان، محدوده مکانی و شدت اثر آن را مشخص و در صورت وجود برنامه‌های مقابله با خشکسالی، زمان تشکیل کارگروه بررسی و مقابله را معین نمود. در این پژوهش، به بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی CZI, MCZI, ZSI, DI, PN و SPI در دشت الشتر پرداخته شد. برای این منظور، مقادیر بارش روزانه سه ایستگاه الشتر، کاکارضا و سراب‌صیدعلی در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۱ گردآوری و پس از بررسی روند بارش سالانه در هر ایستگاه، تداوم و بیشینه خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی تعیین گردید. برای بررسی عملکرد این شاخص‌ها و انتخاب تطبیق‌پذیرترین شاخص برای منطقه از فرضیه کمینه استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص CZI با برآورد یک مورد صحیح از چهار مورد نسبت به بقیه شاخص‌ها عملکرد مطلوب‌تری داشت. همچنین در ادامه، به بررسی همبستگی اسپیرمن بین پارامتر بارش و شاخص‌های خشکسالی پرداخته شد که نتایج نشان می‌دهد همبستگی مطلوبی بین تمامی شاخص‌ها در تمامی ایستگاه‌ها برقرار است و تنها شاخص MCZI عملکرد ضعیفی دارد. در نهایت با توجه به مجموع امتیازات، شاخص CZI که توانسته ۲۱ امتیاز از مجموع آزمون‌ها را کسب کند، به عنوان شاخص برتر منطقه انتخاب گردید. شاخص‌های SPI و ZSI نیز نتایج مطلوب و دقیقی را در این منطقه به دست آورده‌اند.

روش استینمن، همبستگی اسپیرمن، شاخص CZI، کمینه بارش، نرم افزار DIP.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۷/۲۲

مقدمه

هیدرولوژیک رودخانه‌های استان مازندران ارزیابی شد و نتایج حاصل، به وضوح مستقل بودن طبقه‌بندی شدت و ضعف خشکسالی‌های هیدرولوژیک در رودخانه‌های مختلف را تأیید کرد. ولی‌پور و همکاران (Valipour et al., 2022) در حوضه جنوبی رودخانه کرخه به بررسی ارتباط خشکسالی هیدرولوژیکی و میزان هدایت الکتریکی رودخانه پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که هدایت الکتریکی در رودخانه کرخه روند افزایشی داشته است که این افزایش با کاهش شدید دبی ناشی از خشکسالی‌های متوالی در رودخانه و افزایش مصارف در بالادست، همراه بوده است. مشهدی حیدر و همکاران (Mashhadi Heydar et al., 2023)، زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک را در زیرحوضه نازلوچای در غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند که برای این منظور از سه شاخص sdi ، spi و gri استفاده شد. نتایج حاصل نشان از همبستگی معنی‌دار بین خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک و خشکسالی‌های هواشناسی داشت. طبق بررسی‌های انجام شده زمان لازم برای انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیک ۶ ماه و زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک ۱۷ ماه می‌باشد. گزری و همکاران (Gazori et al., 2022) به بررسی شاخص‌های مختلف خشکسالی برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص در شهرستان دامغان پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص DI در برآورد خشکسالی شدید و برآورد ترسالی شدید، نسبت به بقیه‌ی شاخص‌ها عملکرد مطلوب‌تری داشت. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از همبستگی اسپیرمن بین پارامتر بارش و شاخص‌های خشکسالی، شاخص PN بهترین عملکرد را نشان داد. برای مقایسه‌ی شاخص‌ها در زمینه‌ی برآورد تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی، از میانگین‌های متحرک زمانی در دوره‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد که در نهایت شاخص SPI به عنوان تطبیق‌پذیرترین شاخص در برآورد تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی دامغان تعیین شد. هاگو موندل و همکاران (Haque Mondol et al., 2021) با بررسی داده‌های

زندگی بشر در طول تاریخ همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته که برخی از آن‌ها ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشد. محققان زیادی پدیده‌ی خشکسالی را به علت تأثیر زیاد آن، در رده‌ی نخست فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی به شمار آوردند. خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد. این بلا به عنوان یک پدیده‌ی ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (Seidi and Delfari, 2016). به طور کلی با توجه به حیطة‌ی مورد مطالعه، خشکسالی به چهار دسته تقسیم می‌شود که شامل خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، اقتصادی-اجتماعی و هیدرولوژیکی است (Wilhite and Glantz, 1985). کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی واقع در عرض‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه نیمکره شمالی با متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر، همچنین به دلیل توزیع نامتناسب مقدار بارندگی، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به شمار می‌رود و به همین دلیل خشکسالی از مشخصه‌های اصلی اقلیمی در آن است که می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد (Keshavarz et al., 2012). به همین دلیل مطالعات متعددی در این زمینه توسط محققان انجام شده است. آذرخش و فرزادمه‌ر (Azarakhshi and Farzadmehr, 2022)، ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در استان خراسان رضوی بررسی نمودند. در این پژوهش از شاخص‌های sdi و spi استفاده شد و طبق نتایج به دست آمده در بیشتر حوضه‌ها رابطه‌ی بین این دو خشکسالی معنی‌دار نگردید که این مورد را می‌توان با وضعیت بدون روند بارش و روند کاهش دبی، قابل توجیه دانست. هادیانی (Hadiani, 2022)، به طبقه‌بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در استان مازندران با استفاده از شاخص $smmd$ اقدام نمود. طبق نتایج به دست آمده، شاخص مذکور منطبق بر رفتار

تحقیق حاضر، بررسی تداوم و بیشینه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی (ZSI، MCZI، CZI، PN، DI و SPI) و آمار بارش سه ایستگاه برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص در دشت الشتر است. در تعیین عملکرد این شاخص‌ها و انتخاب تطبیق‌پذیرترین شاخص، از چهار روش کمینه و بیشینه بارش، استینمن و اسپیرمن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

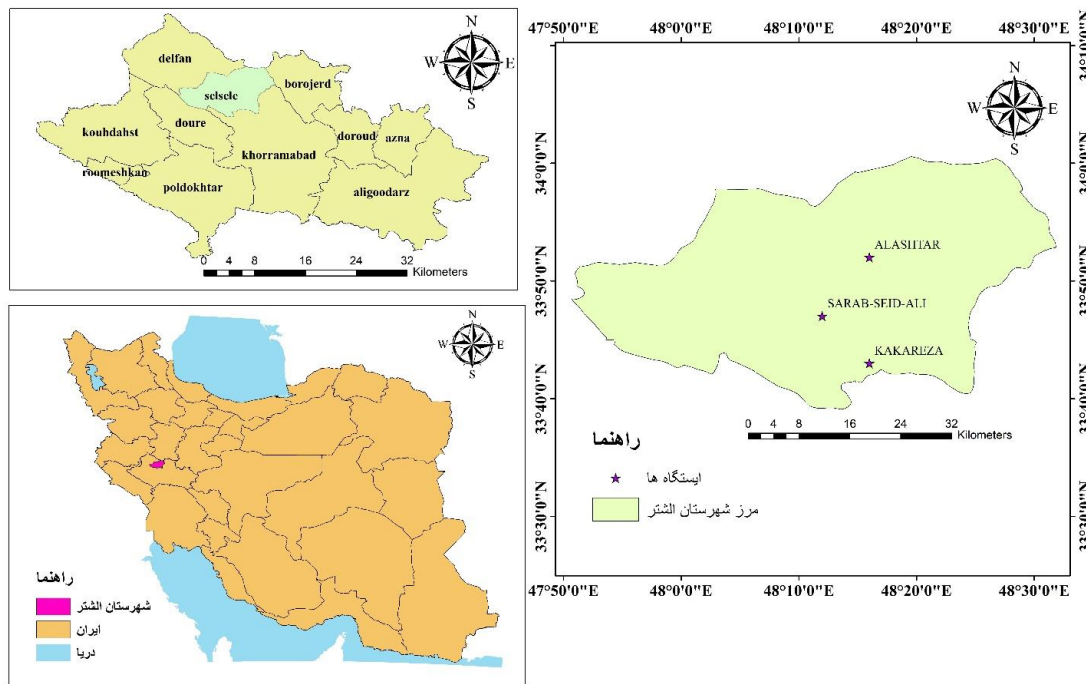
منطقه مورد مطالعه

شهرستان الشتر با مساحت ۱۲۱۲ و جمعیت ۲۸۳۰۶ نفر (مطابق با آمار سرشماری سال ۱۳۸۵)، در ۲۷ دقیقه ۴۸ درجه شرقی و ۳۲ دقیقه و ۳۳ درجه شمالی و در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این شهر در ۴۸ کیلومتری شمال خرم‌آباد (مرکز استان) و ۱۱ کیلومتری راه خرم‌آباد به نورآباد واقع شده که ادامه این راه پس از عبور از هرسین، به کرمانشاه منتهی می‌شود. شهر الشتر در دشتی به همین نام قرار گرفته است و کوه‌های گرین و خرگوش‌ناب از رشته کوه‌های زاگرس میانی از دو سوی شمال و شرق آن را در بر گرفته‌اند. همچنین کوه بازگیران، نثار پهن و سیاهدل در فاصله‌ی کمتری در شمال شرقی، شرق و جنوب شرقی آن قرار دارند. آب و هوای این ناحیه از لرستان، دارای آب و هوای معتدل و کوهستانی است و حداکثر دمای آن در تابستان به ۳۹ و حداقل آن در زمستان به ۷- درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. روده‌های فصلی متعددی از ارتفاعات شمالی و شرقی به سوی دشت الشتر جاری است. میزان بارندگی سالانه نیز حدود ۴۵۰ میلی‌متر است (شکل ۱).

روش پژوهش

در این تحقیق به منظور بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی سالانه در دشت الشتر از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های الشتر، سراب‌صیدعلی و کاکارضا طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ استفاده و شاخص‌های خشکسالی با استفاده از نرم افزار DIP محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس به منظور یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی از روش‌های کمینه و بیشینه بارش، اسپیرمن و استینمن استفاده شده است.

بارندگی و دما مربوط به ایستگاه اداره هواشناسی منطقه‌ی بنگلادش در طول سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۱۸ با استفاده از شاخص‌های EDI و SPI ویژگی‌ها و تقویم زمانی شروع و پایان و فراوانی خشکسالی را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که فرکانس خشکسالی در منطقه‌ی بنگال شمالی طی دوره مورد بررسی حداقل افزایش ۱۰ درصدی داشته است. پژنیویلان و همکاران (Pazhanivelan et al., 2023) به ارزیابی شاخص SPI و خروج بارندگی بر اساس محصولات بارشی چند ماهواره برای پایش خشکسالی هواشناسی در Tamil Nadu هند پرداختند. مطالعه حاضر در مورد پایش و ارزیابی قابلیت اطمینان خشکسالی مبتنی بر ماهواره با استفاده از چهار محصول بارش با وضوح بالا، یعنی CHIRPS، TRMM، IMERGH و PERSIANN در ایالت تامیل انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد، داده‌های CHIRPS درصد بیشتری از توافق (بیش از ۸۵٪) را در مقایسه با داده‌های AWS نسبت به سایر محصولات بارش در همه‌ی مناطق کشاورزی-اقليمی تامیل نادو ثبت کرده‌اند. گاموز و همکاران (Gumus et al., 2023) به مطالعه تجزیه و تحلیل ویژگی‌ها و روند خشکسالی طی سال‌های ۱۹۶۵-۲۰۲۰ در حوضه‌ی رودخانه دجله، ترکیه پرداختند. در این مطالعه، خشکسالی‌های هشت ایستگاه هواشناسی در حوضه‌ی دجله ترکیه بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۰ ارزیابی شده است. مقیاس‌های زمانی به منظور بررسی تغییر خشکسالی‌ها از گذشته تا کنون، سه دوره‌ی مختلف به عنوان دوره اول (FP)، دوره دوم (SP) و دوره سوم (TP) تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین شاخص‌های اوج خشکسالی در حوضه از FP به TP برای تمام مقیاس‌های زمانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. درصد وقوع خشکسالی شدید در SPI-3 و SPI-6 از گذشته تا به امروز افزایش یافته است. در SPI-12، اگرچه کاهش معنی‌داری در میانگین درصد وقوع خشکسالی شدید در FP و SP وجود دارد، اما در TP به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با توجه به اینکه در پژوهش‌های قبلی تنها از یک یا دو مورد از شاخص‌های خشکسالی به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی استفاده شده است هدف از



شکل ۱. محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig 1. The study area and the location of the stations

اغلب از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند؛ بنابراین باید قانون احتمالی حاکم بر آن را پس از مشخص کردن به نرمال استاندارد تبدیل نمود (Mckee et al., 1993). براساس جدول این شاخص، اگر SPI بیشتر از ۲ باشد شرایط فوق‌العاده مرطوب و اگر کمتر از -۲ باشد، فوق‌العاده خشک است.

شاخص درصد از نرمال بارش

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط وریک و همکاران (Werike et al., 1994) ارائه شد و مفهوم اساسی آن نسبت بارندگی واقعی به مقدار نرمال، در یک دوره‌ی زمانی مشخص است که به صورت درصد بیان می‌شود و در مقیاس‌های زمانی هفتگی، ماهانه و سالانه قابل محاسبه است:

$$PN = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، P مجموع بارندگی در زمان مفروض (میلی‌متر) و میانگین بارش درازمدت (میلی‌متر) است. این شاخص در صورتی کاربرد دارد که میانگین بارندگی بر میانه منطبق بوده یا توزیع بارندگی نرمال باشد. استفاده از این شاخص ساده می‌باشد و قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی نسبت به سایر شاخص‌ها

شاخص‌های مورد استفاده

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI براساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و سپس تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش توسط مکی و همکاران (Mckee et al., 1993) و ادواردز و مکی (Edwards and Mckee, 1997) پیشنهاد شده است. SPI به اطلاعات توپوگرافیک و رطوبت خاک وابستگی ندارد. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابلیت دسترس بارندگی و قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی، به عنوان شاخص مناسبی شناخته می‌شود. این شاخص برای محاسبه‌ی خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳، ۶ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) به کار می‌رود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (1)$$

که P و P_i به ترتیب مقدار بارش و میانگین درازمدت در دوره‌ی مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش در کل دوره است. البته باید توجه داشت که SPI توزیع نرمال را برای بارش در نظر می‌گیرد. چون بارندگی‌ها

MCZI به دست می‌آید.

شاخص Z-Score (ZSI): معادلات مربوط به محاسبه CZI برای محاسبه ZSI قابل استفاده هستند؛ اما ZSI نیاز به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع گاما یا پیرسون نوع III مطابق آنچه در SPI و CZI انجام می‌شود، ندارد. طبق جدول این شاخص، CZI بزرگتر از ۲ نشانگر ترسالی بسیار شدید و CZI کمتر از -۲ نشان دهنده‌ی شرایط خشکسالی بسیار شدید است.

نتایج و بحث

بررسی آماری بارش منطقه

برای مشاهده و بررسی بهتر تغییرات پارامتر بارش در طول دوره‌ی مورد بررسی برای ایستگاه‌های مختلف و کل منطقه، شکل (۲) ترسیم گردید. لازم به توضیح است که بارش میانگین وزنی کل منطقه در هر سال به روش تیسن محاسبه شده است. با توجه به روند کلی بارش سالانه در شکل (۲) و با توجه به خط روند کشیده شده در هر یک از بخش‌های این شکل، ملاحظه می‌شود که به صورت کلی، روند تغییرات بارش سالانه در هر ایستگاه در طول دوره‌ی آماری مورد بررسی چگونه بوده است. مثلاً برای ایستگاه‌های کاکارضا و سراب صیدعلی مقادیر بارش سالانه به صورت افزایشی و در ایستگاه الشتر روند بارش به صورت تقریباً افزایشی بود. در مجموع، در کل منطقه‌ی الشتر نیز روند بارش سالانه به صورت صعودی به دست آمده که این خود به معنی وضعیت مناسب مقادیر منابع آب در منطقه و در نتیجه اهمیت بررسی منابع آب و برنامه‌ریزی برای استفاده درست از منابع آبی منطقه است.

بررسی روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPI

برای بررسی روند خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف برای پنجره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه از لحاظ شدت و مدت دوره‌ی خشکسالی، از مقادیر خروجی شاخص SPI استفاده شده است. برای هر یک از ایستگاه‌ها و همچنین کل منطقه جدولی مانند جدول (۱) تنظیم شده است.

با توجه به نتایج این جداول در راستای تحلیل خشکسالی، ملاحظه شد که در پنجره‌های زمانی کوتاه‌مدت مقادیر شاخص بارش استاندارد شده دارای نوسانات زیادی است. به عبارتی، دوره‌های خشک و

دارد. مطابق با جدول این شاخص، PN کمتر از ۴۰ نشانگر خشکسالی بسیار شدید و PN بزرگتر از ۱۶۰ نشان‌دهنده‌ی شرایط بسیار مرطوب است.

شاخص دهک‌ها

این شاخص توسط گیبز و ماهر (Gibbs and Maher, 1967) ارائه شده است. این روش بر مبنای کاربرد توزیع فراوانی تجمعی یک ایستگاه بنا گردیده است. شاخص دهک‌ها (DI) وقوع بارندگی‌های طولانی مدت را در کلاس‌هایی ده درصدی از توزیع نرمال تقسیم کرده که هر یک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه‌ی این شاخص، بارش می‌باشد و مقیاس زمانی که در این شاخص استفاده شده است نیز مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه است. فرمول کلی محاسبه‌ی شاخص دهک‌ها به صورت زیر است.

$$P_i = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، P_i احتمال وقوع بارندگی در ردیف i ام و N تعداد داده‌های بارندگی است. پس از محاسبه مقدار مشخصه P_i در فاصله‌ی دهک (فواصل ۱۰ درصدی) یکی از کلاس‌های رطوبتی به آن نسبت داده می‌شود. طبق جدول این شاخص، DI برابر ۱۰-۰ نشانگر خشکسالی خیلی شدید و DI برابر ۱۰۰-۹۰ نشان‌دهنده‌ی شرایط فوق‌العاده مرطوب است.

شاخص‌های CZI، ZSI و MCZI

شاخص CZI: این شاخص براساس تبدیل ریشه سوم رابطه‌ی ویلسون هیلفرتی است، با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع III تبعیت می‌کنند CZI مطابق با معادله‌ی (۴) برآورد می‌شود:

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (4)$$

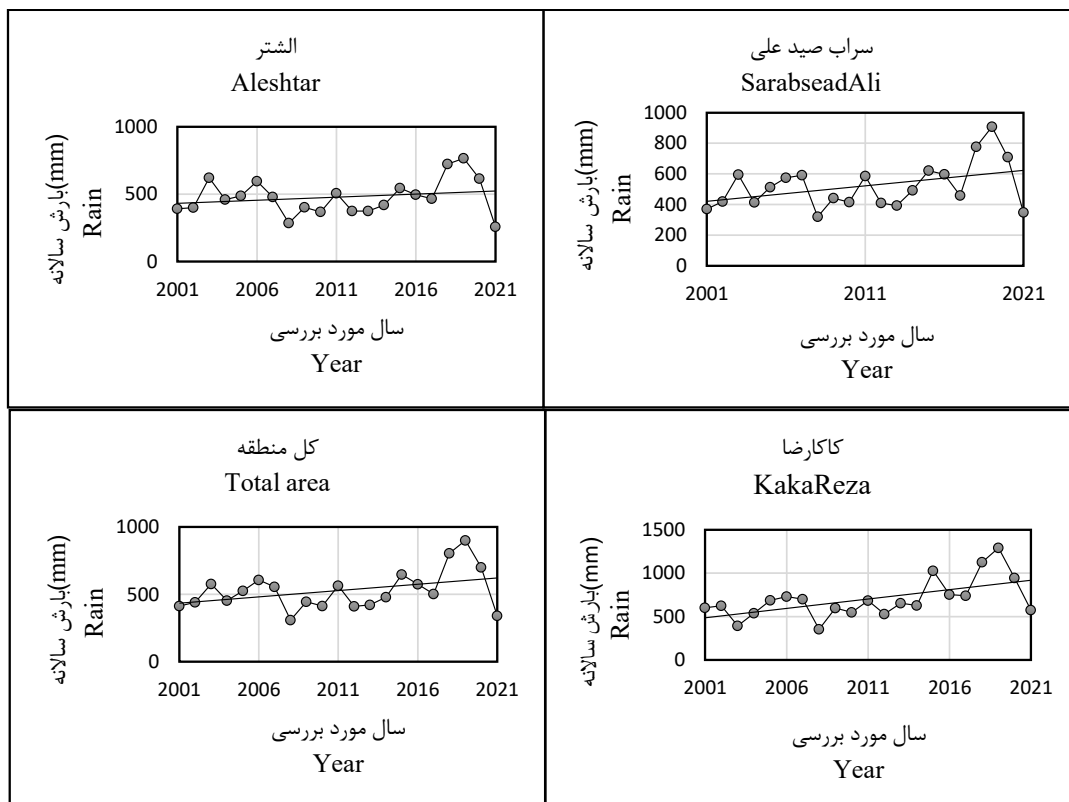
که در آن Z شاخص CZI، i مقیاس زمانی مورد نظر و Z سال مورد نظر است. همچنین:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad (5)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (6)$$

که \bar{x}_i میانگین، σ_i انحراف معیار بارندگی و همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده در هر مقیاس زمانی است.

شاخص MCZI: اگر در معادله (۶) به جای میانگین از میانه استفاده شود، شاخص CZI اصلاح شده یا



شکل ۲. روند سالانه بارش برای همه ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig 2. The annual trend of precipitation for all the investigated stations

جدول ۱. روند خشکسالی ایستگاه الشتر

Table 1. Drought trend in Aleshtar station

48	24	12	9	6	3	1	عناوین مورد بررسی/SPI Subjects
-	-	-	-	4	10	12	تعداد دوره‌های خشک Number of dry periods
-	-	-	-	2	2	2	بیشینه تداوم Maximum continuity
-	-	-	-	1.25	1.5	1.33	میانگین طول دوره‌های خشک Average length of dry periods
-	-	-	-	-1.29	-2.3	-3.2	شدیدترین ماه خشک The most dry month

(هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی) متفاوت است. با توجه به نتایج این جداول، حداکثر بیشینه تداوم خشکسالی برای دوره‌ی زمانی مورد بررسی در ایستگاه‌های سراب صیدعلی و کاکارضا با مقدار ۱۱ ماه رخ داده است و کمترین تداوم نیز در ایستگاه الشتر به میزان ۲ ماه به وقوع پیوست. همچنین، بیشترین میانگین طول دوره‌ی خشک در ایستگاه کاکارضا با مقدار ۸/۲۵ و کمترین آن در ایستگاه الشتر با مقدار ۱/۲۵

مرطوب در بازه‌ی زمانی کوتاه‌مدت از تداوم زیادی برخوردار نبوده و شدیداً تحت تأثیر بارش‌های ماهانه هستند. درحالی‌که دوره‌های زمانی طولانی‌تر ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه واکنش‌های کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند. همچنین، فراوانی وقوع دوره‌های خشک در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بسیار کمتر از بازه‌ی کوتاه‌مدت است. در نتیجه، زمان بازگشت به اوضاع نرمال در هر یک از انواع خشکسالی‌ها

مقایسه شاخص‌های خشکسالی برای یافتن مناسب‌ترین شاخص بررسی نظریه کمینه

یکی از راه‌هایی که برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی در منطقه مورد استفاده قرار گرفته است، نظریه کمینه می‌باشد. با توجه به این نظریه، کمینه بارش سالانه در دوره بلندمدت زمانی مورد بررسی در هر ایستگاه مشخص شده و شاخصی که بتواند به بهترین وجه آن سال را به عنوان خشکسالی خیلی شدید تشخیص دهد، به عنوان شاخص بهینه برای آن ایستگاه در نظر گرفته می‌شود (Kalili and Bazrafshan, 2003). نتایج این کار در جدول (۲) ارائه شده است.

بود. شدیدترین ماه خشک در دوره‌ی مورد بررسی از نظر شاخص خشکسالی SPI در ایستگاه الشتر با مقدار $-۳/۲$ و کمترین در ایستگاه کاکارضا با مقدار $-۱/۰۵$ بود. در پژوهشی مشابه، گازری و همکاران (Gazori et al., 2022) با بررسی خشکسالی در پنجره‌های زمانی مختلف بیان کردند که خشکسالی‌های کوتاه‌مدت همراه با نوسانات زیاد حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات میزان رطوبت و بارش هستند؛ اما در بررسی پنجره‌های زمانی بلندمدت، خشکسالی‌های شدید دارای دوره‌های پایدار طولانی‌تری بوده و در نتیجه می‌توانند پدیده خشکسالی را بهتر منعکس کنند که کاملاً مطابق با نتایج به دست آمده در این پژوهش است.

جدول ۲. نتایج برآورد شدت خشکسالی توسط شاخص‌های مختلف در سال با کمترین میزان بارندگی

Table 2. The estimation results of drought severity by different indicators in the year with the lowest amount of rainfall

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	سال Year	ایستگاه Station
SD	VBN	NN	NN	NN	NN	2021	Aleshtar
MD	VBN	NN	SD	MD	SD	2008	SarabseadAli
SD	VBN	NN	ED	SD	SD	2008	KakaReza
MD	VBN	NN	SD	MD	SD	2008	Total area

نمادهای NN و VBN به ترتیب نشان‌دهنده طبقه‌بندی‌های نزدیک به نرمال و خیلی زیر نرمال می‌باشد. تعریف سایر نمادها در جدول (۵) آورده شده است.

نیز بررسی و پیش‌بینی ترسالی توسط این شاخص‌ها نیز انجام و نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

به منظور بررسی کامل‌تر مسئله تطبیق‌پذیرترین شاخص در منطقه الشتر، مقادیر بیشینه بارش سالانه

جدول ۳. نتایج برآورد شدت ترسالی توسط شاخص‌های مختلف در سال با بیشترین میزان بارندگی

Table 3. The estimation results of drought severity by different indicators in the year with the highest amount of rainfall

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	سال Year	ایستگاه Station
N	VAN	NN	MW	MW	VW	2019	Aleshtar
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	SatabseadAli
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	KakaReza
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	Total area

را به صورت صحیح برآورد کنند و در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت نرمال را به دست آورده‌اند. در قیاس با شرایط ترسالی نیز شاخص‌های SPI، ZSI و CZI با برآورد سه مورد صحیح از چهار مورد به عنوان منطبق‌ترین شاخص‌های برآوردکننده‌ی ترسالی انتخاب شده‌اند. اما، شاخص‌های MCZI، DI و PN در تمامی ایستگاه‌ها

بنابر نتایج کسب شده در جداول (۲) و (۳)، با توجه به فرضیات نظریه کمینه، شاخص CZI با برآورد یک مورد صحیح از چهار مورد به عنوان منطبق‌ترین شاخص انتخاب گردید. شاخص‌های SPI، ZSI و PN در بیشتر ایستگاه‌ها خشکسالی شدید را برآورده کرده‌اند و شاخص‌های MCZI و DI نتوانستند هیچکدام از موارد

ایستگاه‌ها تأیید می‌کند. نتایج به دست آمده از مقایسه همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های خشکسالی با پارامتر بارش نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها همبستگی مطلوبی بین این دو برقرار است. همچنین شاخص MCZI نسبت به بقیه شاخص‌های خشکسالی نتایج ضعیف‌تری را ارائه نمود.

وضعیت نرمال را به دست آورده‌اند و در هیچ مورد پیش‌بینی صحیحی نداشته‌اند.

بررسی همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌ها و مقادیر بارش

نتایج آزمون ضریب همبستگی رتبه‌های اسپیرمن (جدول ۴)، معنی‌دار بودن همبستگی شاخص‌های خشکسالی با بارش را در سطح یک درصد در تمامی

جدول ۴. مقایسه همبستگی اسپیرمن شاخص‌های خشکسالی با بارش در هر ایستگاه

Table 4. Comparison of Spearman's correlation of drought indices with precipitation in each station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	ایستگاه Station
0.992	0.977	0.646	0.991	0.99	0.991	Aleshtar
0.999	0.983	0.472	0.999	1	1	SarabseadAli
1	0.983	0.586	0.999	1	0.999	KakaReza
1	0.989	0.486	1	1	0.999	Total area

نتایج انتخاب شاخص مناسب برای هر یک از ایستگاه‌ها با به دست آمدن کمترین مقدار برای هر دو پارامتر معین شد. در نهایت، شاخصی که بتواند برای تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها به عنوان شاخص برتر انتخاب شود، برای کل منطقه نیز برگزیده می‌شود. این روند برای شاخص‌های مختلف خشکسالی در جداول (۶) الی (۹) صورت گرفته است.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس توزیع نرمال

استینمن (Steinman, 2003) بیان می‌دارد که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند. برای این مقایسه، ابتدا اختلاف درصد هر یک از شاخص‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال همان کلاس رطوبتی (جدول ۵) مقایسه شد و سپس مجموع اختلافات و حداکثر اختلاف موجود برای هر شاخص محاسبه گردید.

جدول ۵. درصد احتمال کلاس‌های رطوبتی مختلف در توزیع نرمال استاندارد

Table 5. Probability percentage of different humidity classes in standard normal distribution

احتمال (درصد) Probability (%)	علامت اختصاری Symbol	Drought severity classes	طبقات شدت خشکسالی
2.275	EW	Extremely wet	ترسالی بسیار شدید
4.406	SW	Sever wet	ترسالی شدید
9.185	MW	Moderately wet	ترسالی متوسط
68.268	N	Normal	نرمال
9.185	MD	Moderately drought	خشکسالی متوسط
4.406	SD	Severe drought	خشکسالی شدید
2.275	ED	Extremely drought	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۶. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه الشتر

Table 6. The percentage of moisture classes of each index for Aleshtar station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	12.01	0.0	2.49	2.49	4.76	Extremely wet
0.0	9.88	0.0	0.0	0.0	9.52	Severe wet
0.0	0.0	0.0	0.34	0.34	0.0	Moderately wet
53.98	39.70	26.97	17.45	17.45	85.71	Normal
5.10	5.10	0.0	0.0	0.0	0.0	Moderately drought
43.21	14.64	0.0	0.0	0.0	0.0	Severe drought
21.53	7.25	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
123.83	88.58	29.46	20.27	20.27	24.85	Summation of differences of all situations
53.98	39.70	26.97	17.45	17.45	17.45	maximum difference

جدول ۷. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه سراب صیدعلی

Table 7. Percentage of moisture classes of each index for Sarab Saed Ali station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	7.25	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	0.36	0.0	0.36	0.36	0.36	Sever wet
0.0	19.39	0.0	4.42	4.42	4.42	Moderately wet
1.60	53.98	26.97	3.16	3.16	3.16	Normal
0.34	9.86	0.0	0.34	5.10	0.34	Moderately drought
19.40	0.36	0.0	0.36	0.0	0.36	Severe drought
0.0	16.77	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
21.34	107.96	29.46	11.12	15.53	11.12	Summation of the differences of all situations
19.40	53.98	26.97	4.42	5.10	4.42	maximum difference

جدول ۸. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه کاکا رضا

Table 8. Percentage of moisture classes of each index for KakaReza station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	12.01	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	9.88	0.0	0.36	0.36	0.36	Severe wet
0.0	4.42	0.0	0.34	0.34	0.34	Moderately wet
7.92	39.70	26.97	3.16	3.16	3.16	Normal
4.42	5.10	0.0	0.0	4.42	0.0	Moderately drought
9.88	14.64	0.0	0.36	0.36	5.12	Severe drought
2.49	2.49	2.49	2.49	0.0	0.0	Extremely drought
24.71	88.24	29.46	9.19	11.12	11.46	Summation of the differences of all situations
9.88	39.70	26.97	3.16	4.42	5.12	maximum difference

جدول ۹. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای کل منطقه

Table 9. The percentage of humidity classes of each index for the Total area

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	16.77	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	0.36	0.0	0.36	0.36	0.36	Severe wet
0.0	9.86	0.0	4.42	4.42	4.42	Moderately wet
3.16	53.98	26.97	7.92	7.92	7.92	Normal
0.34	5.10	0.0	4.42	0.34	4.42	Moderately drought
14.64	14.64	0.0	0.36	0.0	0.36	Severe drought
0.0	7.25	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
18.14	107.96	29.46	19.97	15.53	19.97	Summation of the differences of all situations
14.64	53.98	26.97	7.92	7.92	7.92	maximum difference

پیچیده است، بررسی و تعیین شاخص مناسب آن در یک منطقه، نیازمند بررسی روش‌های بیشتر است و استفاده از تنها دو روش توزیع نرمال و کمینه‌ی بارش قطعاً نتیجه دقیقی را در پی نخواهد داشت. خلیلی و بذرافشان (۲۰۰۳، Khalili and Bazrafshan) و انصافی مقدم (Ensaifi Moghadam, 2007) نیز به منظور انتخاب شاخص مناسب، وقوع خشکسالی شدید و بسیار شدید را با کمینه مقدار بارندگی در آن ایستگاه منظور نمودند که به نظر می‌رسد استفاده از یک متغیر هواشناسی جهت توصیف پدیده‌ی پیچیده‌ی خشکسالی به تنهایی کافی نباشد. به طور کلی انتخاب شاخص مناسب استفاده از یک متغیر هواشناسی (کمینه مقدار بارش) با نتایج کریمی نظر و همکاران (Kariminazar et al., 2010) که بیان می‌دارند همیشه کم بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی‌تواند باشد و نقش عوامل دیگر نیز در این میان موثر خواهد بود در تناقض است.

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی در دشت الشتر از شاخص‌های خشکسالی ZSI, MCZI, CZI, PN, DI و SPI استفاده شد. سپس به منظور یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی از روش‌های کمینه و بیشینه بارش، اسپیرمن و استینمن استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی دشت الشتر شاخص‌های CZI, ZSI و SPI در اولویت هستند و پیشنهاد می‌شود در بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی

بنابراین، شاخصی که توانست در بیشترین تعداد ایستگاه به عنوان شاخص انتخابی به روش استینمن برگزیده شود، شاخص CZI است که در سه ایستگاه به عنوان شاخص برتر انتخاب شده است. همچنین شاخص ZSI به عنوان شاخص رتبه دوم انتخاب شد. شاخص DI با ضعیف‌ترین عملکرد از سه ایستگاه در دو ایستگاه رتبه‌ای کسب نکرد.

انتخاب شاخص برتر

در تحقیق حاضر با توجه به ملاک قراردادن هر چهار آزمون برای گزینش شاخص خشکسالی برتر، برای هر یک از آزمون‌ها با توجه به تعداد شاخص‌هایی که با هم مقایسه می‌شوند به شاخص برتر بیشترین امتیاز داده شده و به همین ترتیب تا شاخص آخر امتیازدهی می‌شود و در نهایت شاخصی که بیشترین مقادیر امتیاز را در کل کسب کرده باشد (جدول ۱۰) به عنوان منطبق‌ترین شاخص با شرایط منطقه انتخاب می‌شود. با توجه به مجموع امتیازات در جدول (۱۰)، شاخص CZI که توانسته از مجموع آزمون‌ها بیشترین امتیاز را کسب کند، به عنوان شاخص برتر انتخاب می‌شود. شاخص‌های SPI و ZSI نیز نتایج مطلوب و دقیقی را در این منطقه به دست آورده‌اند. سیدی و دلفاری (Seidi and Delfardi, 2016) جهت واسنجی روش‌های مختلف انتخاب شاخص خشکسالی در ایستگاه‌های همدید جیرفت و کهنوج از دو روش کمینه بارش و توزیع نرمال استفاده کردند. در این بررسی ۶ شاخص خشکسالی با روش‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه خشکسالی یک پدیده‌ی

جدول ۱۰. امتیازدهی به شاخص‌ها در آزمون‌های چهارگانه

Table 10. Ranking the indicators in quadruple tests

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	آزمون / شاخص test/index
4	2	1	6	3	5	کمینه Minimal
2	4	3	5	5	6	بیشینه Maximum
5	3	2	4	6	4	اسپیرمن Spearman
3	1	2	6	5	4	استینمن Steinman
14	10	8	21	19	19	جمع امتیازات Total points

drought in Khorasan Razavi province, *Journal of Range and Watershed Management*, 74(4), 689-702. [In Persian].

Delfardi, S. & Sidi, M. (2015). Evaluation of different methods of choosing the appropriate drought index using data from Jiroft and Kohnuj stations, *Newar*, 40(94-95), 59-68. doi:10.30467/nivar.2016.42660. [In Persian].

Edwards, D. C. & McKee, T.B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. May 1997. <https://mountainscholar.org/items/842b69e8-a465-4aeb-b7ec-021703baa6af>. <http://hdl.handle.net/10217/170176>

Ensafi Moghadam, T. (2007). Evaluating several climate drought indicators and determining the most suitable indicator in the Salt Lake basin, *Quarterly Scientific Research Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 14(2), 271-288. [In Persian].

Gazori, H.M., Mousavi, S. F. & Hosseini, K.h. (2022). Investigating different drought indices to find the most applicable index (case study: Damghan city), *Iranian Water Research Journal*, 16(2), 45-33. [In Persian].

Gibbs, W. J. & Maher, J. V. (1967). *Rainfall deciles*

منطقه در بازه‌های زمانی طولانی‌تر این شاخص‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین، ممکن است سالی با مقدار بارندگی کمینه اما با توزیع یکنواخت در طول سال سبب ایجاد خشکسالی نگردد و سالی با مقدار بارش زیاد ولی تمرکز در محدوده‌ی کوتاهی از زمان سبب خشکسالی گردد. بنابراین انتخاب شاخص مناسب از روی داده‌های بارش و آن هم کمینه مقدار بارش می‌تواند در برخی از سال‌ها سبب ایجاد نتایجی غیرواقعی گردد. در پدیده‌ی خشکسالی به علت آنکه تعاریف مختلفی از دیدگاه‌های گوناگون برای آن بیان شده است و همچنین مقادیر عددی از این پدیده مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست، مقایسه شاخص‌های مختلف و انتخاب شاخص برتر دشوار به نظر می‌رسد. تعیین هدف پایش یکی از مهمترین فرآیندهای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی است و در گام نخست باید این هدف مشخص گردد. یعنی اینکه به چه منظوری (هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی) پایش خشکسالی صورت می‌گیرد. به طور مثال اگر هدف از پایش، خشکسالی کشاورزی است، علاوه بر بارندگی می‌بایست نوع محصول مورد بررسی مشخص بوده و متناسب با نیاز آبی آن گیاه در مراحل مختلف رشد، وضعیت خشکسالی (بر اساس تأمین نیاز آبی گیاه) مورد پایش قرار گیرد.

منابع

Azarakhshi, M. & Farzadmehr, J. (2022). Assessment the relation of meteorological and hydrological

- the Nazlochai sub-basin, *Journal of New Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 127-117. [In Persian].
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). *Drought monitoring with multiple timescales*. pp. 179- 184. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January, American Meteorological Society, Anaheim, California.
- Pazhanivelan, S., Geethalakshmi, V., Samykanu, V., Kumaraperumal, R., Kancheti, M., Kaliaperumal, R., Raju, M. & Yadav, M.K. (2023). Evaluation of SPI and Rainfall Departure Based on Multi-Satellite Precipitation Products for Meteorological Drought Monitoring in Tamil Nadu, *Water*, 15(7), 1435. <https://doi.org/10.3390/w15071435>
- Steinmann, A. (2003). Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation, *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1217-1233.
- Valipour, L., Naserin, A. & Jalili, S. (2022). Investigating the relationship between hydrological drought and electrical conductivity of the river in the downstream stations of the Karkheh River, *Journal of Ecohydrology*, 9(4), 815-831. [In Persian].
- Werike, W. J., Willeke, G. E., Guttman, N.B., Hosking, R. M. & Wallis, J. R. (1994). The national drought atlas, *Advancing Earth and Space Sciences*, 8(75), 89-90. <https://doi.org/10.1029/94EO00706>
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. (1985). Understanding: The drought phenomenon the role of definitions, *Water International*, 3(10), 111-20
- as drought indicators. Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Gumus, V., Dinsever, L.D. & Avsaroglu, Y. (2023). Analysis of drought characteristics and trends during 1965-2020 in the Tigris River basin, Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 151(3-4), 1871-1887. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04363-x>
- Hadiani, M.A. (2022). Hydrological drought severity classification with SMMD index 30 (case study of rivers with glacial snow flow regime in Mazandaran province), *Renewable Natural Resources Research Journal*, 12(2), 36-47. [In Persian].
- Haque Mondol, M. A., Zhu, X., Dunkerley, D. & Henley, B. (2021). Observed meteorological drought trends in Bangladesh identified with the Effective Drought Index (EDI), *Agricultural Water Management*, 255, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107001>
- Kariminazar, M., Moghadamnia, A.R. & Mosaedi, A. (2010). Investigating climatic factors affecting the occurrence of drought (case study: Zabol), *Journal of Water and Soil Protection Research*, 17(1), 145-158. [In Persian].
- Keshavarz, M., Vazife dost, M., Fatahi, A. & Bahayar, M. (2013). The distribution pattern of the direction and severity of drought changes in Iran with the help of Palmer's drought severity distribution index, *Applied Research of Science Geography*, 12(27), 11-97. [In Persian].
- Khalili, A. & Bazre afshan, J. (2003). Evaluating the efficiency of several meteorological drought indices in different climatic samples of Iran, *Newar*, 28(48-49), 93-79. [In Persian].
- Mashhadi Heydar, S., Muntsari, M. & Hijabi, S. (2023). The propagation time of meteorological droughts to hydrological and hydrogeological droughts in



Effect of Drought Stress on Morphological Characteristics of Tehran Pine (*Pinus eldarica* Medw.) and Chinaberry (*Melia azedarach* L.) at Various Ages

Mohammad Asgari¹, Mohsen Javanmiri Pour^{2*}, Vahid Etemad³, Khaled Ahmadaali⁴

1. Late PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Ph.D Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Revitalization and Dry and Desert Areas, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding Author: mjavanmiri@ut.ac.ir

Keywords:

Canopy area, Collar diameter,
Canopy height, Water stress.

Extended abstract

Introduction:

Drought significantly affects plant growth and causes delay in growth, disturbance in physiology and damage to reproduction. This study analyzes the effect of drought stress on *Pi.el* and *Me.az* morphological characteristics at different ages.

Material and methods:

To conduct this study, Robat Karim in the arid region in the southwest of Tehran province was selected. This research was conducted in a greenhouse environment. This study was included the factor of diverse ages of tree species and different drought stresses in the form of a randomized complete block design with 10 replications. The considered factors include the age factor of different plant species (1, 3 and 5-year-old tree species), the drought stress factor at three levels 0.3, 0.5, 0.7, the percentage of the permissible limit of moisture reduction and the plant factor is in two levels (*Pi.el* and *Me.az*) and each in ten repetitions, which results in a total of 180 treatments. 10 stems were selected from each seedling at each age and collar diameter, height and canopy size were noted as the mean of the zero condition of the examined seedlings. The evaluated parameters were measured at the beginning and end of the studied period each year. With the increase of drought stress and decrease of humidity at a certain age, the growth rate of each of the studied factors including collar diameter, height and crown area decreases in *Pi.el* and *Me.az*.

Results:

The results showed that the value of collar diameter, height and crown area in drought stress of 0.3 compared to drought stress of 0.5 and 0.7 at the ages of 1, 3 and 5 years in 2021 and 2022 in *Pi.el* and *Me.az* species with the highest level of drought stress. The

Received:

04 November 2023

Revised:

25 November 2023

Accepted:

25 November 2023

How to cite this article:

Asgari, M., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., & Ahmadaali, Kh. (2024). Effect of Drought Stress on Morphological Characteristics of Tehran Pine (*Pinus eldarica* Medw.) and Chinaberry (*Melia azedarach* L.) at Various Ages. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(4), 87-104. [10.22077/JDCR.2023.6925.1047](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6925.1047)



mean comparison results showed that water stress on the characteristics of seedlings is not significant in all cases. Water deficiency has a significant effect on collar diameter and canopy surface in Pi.el and on collar diameter and height of Me.az. The mutual effect of seedling age and drought stress on the crown area of Pi.el and on collar diameter and height of Me.az has a significant effect.

Conclusion:

According to the set of technical and non-technical limiting factors among the examined drought stresses, it is better to use 0.7 drought stress so that Pi.el and Me.az seedlings can withstand adverse environmental conditions.



تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریختی کاج تهران (*Pinus eldarica Medw.*) و زیتون تلخ (*Melia azedarach L.*) در سن‌های مختلف

محمد عسگری^۱، محسن جوانمیری پور^{۲*}، وحید اعتماد^۳، خالد احمد آلی^۴

۱. دانشجوی فقیه دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانش‌آموخته دکتری جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴. استادیار، گروه احیا و مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

*نویسنده مسئول: mjavanmiri@ut.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

ارتفاع پوشش، تنش آبی، سطح تاج پوشش، قطر یقه.

خشکی به‌طور قابل توجهی بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و باعث تأخیر در رشد، اختلال در فیزیولوژی و آسیب به تولید مثل می‌شود. بر همین اساس، هدف این مطالعه بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریختی کاج تهران و زیتون تلخ در سن‌های مختلف است. این پژوهش به صورت کاشت گلخانه‌ای و فاکتوریل به اجرا درآمد. عامل‌های در نظر گرفته شده شامل سن‌های مختلف گونه‌های گیاهی (گونه‌های درختی ۱ ساله، ۳ ساله و ۵ ساله)، عامل تنش خشکی در سه سطح ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ درصد از حد مجاز تقلیل رطوبت و عامل گیاهی در دو سطح (گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ) و هر کدام در ده تکرار است که در مجموع ۱۸۰ تیمار حاصل می‌گردد. قطر یقه، ارتفاع و اندازه تاج پوشش به عنوان میانگین وضعیت صفر نهال‌های مورد مطالعه یادداشت گردید و پارامترهای مورد ارزیابی در ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه در هر سال اندازه‌گیری شد. با افزایش تنش خشکی و کاهش رطوبت در یک سن خاص مقدار رشد هر یک از عامل‌های مورد مطالعه شامل قطر یقه، ارتفاع و سطح تاج پوشش در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ کاهش یافت. نتایج نشان داد مقدار قطر یقه، ارتفاع و سطح تاج پوشش در تنش خشکی ۰/۳ نسبت به تنش‌های خشکی ۰/۵ و ۰/۷ در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سالگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ دارای بیشترین مقدار می‌باشد. نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد که تنش آبی بر ویژگی‌های نهال‌ها با احتمال ($p < 0.01$) در همه‌ی موارد معنی‌دار نیست. کمبود آب بر قطر یقه و سطح تاج پوشش در گونه‌ی کاج تهران و بر قطر یقه و ارتفاع زیتون تلخ با احتمال ($p < 0.01$) دارای تأثیر معنی‌دار می‌باشد. همچنین تأثیر متقابل سن نهال و تنش خشکی بر سطح تاج پوشش کاج تهران و بر قطر یقه و ارتفاع زیتون تلخ با احتمال ($p < 0.01$) دارای تأثیر معنی‌دار است. با توجه به مجموعه عوامل محدود کننده از قبیل شرایط اکولوژیک و محدودیت منابع مالی در میان تنش‌های خشکی بررسی شده بهتر است از تنش خشکی ۰/۷ استفاده نمود تا نهال‌های کاج تهران و زیتون تلخ مورد استفاده توان مقاومت در مقابل شرایط نامساعد محیطی را داشته باشند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۸/۱۳

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۹/۰۴

مقدمه

خشکی، یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم، زمانی اتفاق می‌افتد که پتانسیل آب و آماسیدگی به حدی کاهش یابد که عملکرد متابولیک طبیعی و ظرفیت تولیدمثلی گیاه را مختل کند (Kamali et al., 2023). خشکی یکی از شدیدترین تهدیدات محیط‌زیستی است که امروزه جمعیت جهان با آن مواجه است و پیش‌بینی می‌شود به دلیل کاهش بارندگی و تبخیر بیشتر ناشی از تغییرات اقلیمی در بسیاری از مناطق شیوع و شدت بیشتری پیدا کند. علاوه بر این، گرم شدن کره‌ی زمین با ایجاد الگوهای بارش غیرقابل پیش‌بینی، منجر به تکرار دوره‌های طولانی خشکی در جهان شده است (Diatta et al., 2020). خشکی به‌طور قابل توجهی بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و باعث تأخیر در رشد، اختلال در فیزیولوژی و آسیب به تولید مثل می‌شود (Okorie et al., 2019).

زمانی که تلفات آب از گیاه بیش از مقدار جذب آن می‌شود، کمبود آب حادث شده و گیاه دچار تنش خشکی می‌گردد (Boor et al., 2022). تنش آب می‌تواند ساختار و ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و شیمی زیستی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تقریباً بر کلیه‌ی جنبه‌های رشد و نمو آن‌ها اثر بگذارد (Ah-madlo et al., 2012). گیاه ممکن است در دوره‌ی رشد و یا در مراحل خاصی از نمو خود مثل سبز شدن، رشد رویشی، گلدهی، بذردهی و رسیدگی در معرض تنش آبی باشد ولی به‌طور کلی در اکثر گیاهان زمان گرده‌افشانی، لقاح و تشکیل اندام‌های زایشی حساس‌ترین مراحل نسبت به کمبود آب هستند (Mohammadi et al., 2015).

مطالعه‌ی جمعیت‌های گیاهی حاکی از آن است که گیاهان در شرایط اکولوژیکی مختلف در صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی خود تنوع ایجاد می‌کنند (Moradi et al., 2016). خصوصیات مختلف مورفولوژیکی برگ به کاهش سرعت تعرق کمک کرده و ممکن است بر رشد، عملکرد و بقای گیاه در شرایط خشکی تأثیر بگذارد (Ghabooli and Hosseini, 2021). در این ارتباط، وجود برگ‌های دارای کوتیکول ضخیم، سطوح موم‌دار، روزنه‌های فرورفته در حفره‌های سطح برگ و

وجود کرک می‌تواند مؤثر باشد (Amini et al., 2016). در بعضی از گونه‌های گیاهی، خشکی می‌تواند تولید کرک‌های اپیدرمی را تحریک کند، که این کرک‌ها از طریق افزایش آلبدوی سطح برگ (افزایش انعکاس نور از سطح برگ) سبب کاهش تعرق می‌شوند (Mir-zaei and Ghadami Firuzabadi, 2022).

گیاهان چوبی را از نظر مقاومت به خشکی می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل درختانی که در اثر خشکی به آن‌ها آسیب شدید وارد می‌شود. گروه دوم شامل درختانی که قدرت ذخیره‌ی آب کمتری دارند. سطح برگ این درختان کمتر بوده و لایه‌ی کوتیکول برگ‌ها ضخیم است. گروه سوم، درختان مقاوم و متحمل به خشکی هستند. در گروه چهارم درختانی قرار دارند که سیتوپلاسم سلول آن‌ها کمبود آب را تحمل می‌کند و این نوع درختان ویژگی‌های آناتومیکی و مورفولوژیکی سازگار با خشکی دارند. در شرایط خشک، لایه‌ی کوتیکول آن‌ها ضخیم شده و تعداد کرک‌ها افزایش می‌یابد. ریشز برگ‌ها و بسته شدن روزنه‌ها برای کاهش تعرق از مکانیسم‌های دیگر گیاهان گروه چهارم است (Jalili-marandi, 2005)؛ با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که زیتون تلخ جزء گروه دوم و کاج تهران جزء گروه سوم باشند.

نتایج ارزیابی اثر پوترسین بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق (*Calot-ropis procera Ait*) تحت شرایط خشکی نشان داد که افزایش دور آبیاری تا ۱۲ روز سبب کاهش سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و محتوای کلروفیل می‌شود (Dolatkordestani et al., 2017).

تأثیر تنش خشکی روی مورفولوژی نهال گیاه دارویی سنجد تلخ نشان داد، در تیمارهای مورد مطالعه تنها وزن خشک ریشه به عنوان شاخص مناسب نشان‌دهنده‌ی تنش خشکی روی این گیاه معنی‌دار نیست و صفت تعداد برگ در سطح ۵٪ و مابقی صفات در سطح ۱٪ تیمارهای آبیاری معنی‌دار می‌باشند (Ah-ani et al., 2018).

نتایج اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های

با توجه به اثرات خشکی بر گونه‌های درختی، محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیاز به گسترش جنگل‌کاری و ایجاد فضای سبز، مطالعه‌ی کنونی به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریختی نهال‌های کاج تهران (*Pinus eldar-* *ica* Medw. و *ziton* تلخ (*Melia azedarach L.*) در سن‌های مختلف انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان رباط‌کریم در جنوب غربی استان تهران واقع شده و با وسعتی معادل ۲۷۵ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۵۱°۴' و عرض جغرافیایی ۳۵°۲۸' قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می‌باشد و از شمال به شهرستان‌های شهریار و شهر کرج (استان البرز)، از جنوب به شهرستان‌های ری و اسلامشهر، از شرق به شهرستان بهارستان و از غرب به شهرستان ساوه (استان مرکزی) محدود گردیده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن گسترش یافته دارای تیپ اقلیم خشک با میانگین بارش ۱۴۷/۶ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. تاکنون پژوهشی در ارتباط با پوشش گیاهی در رباط کریم صورت نگرفته است اما با مشاهدات میدانی، از پوشش گیاهی شامل سنجد، توت، انجیر، انگور، زبان‌گنجشک، عناب و سماق می‌توان نام برد.

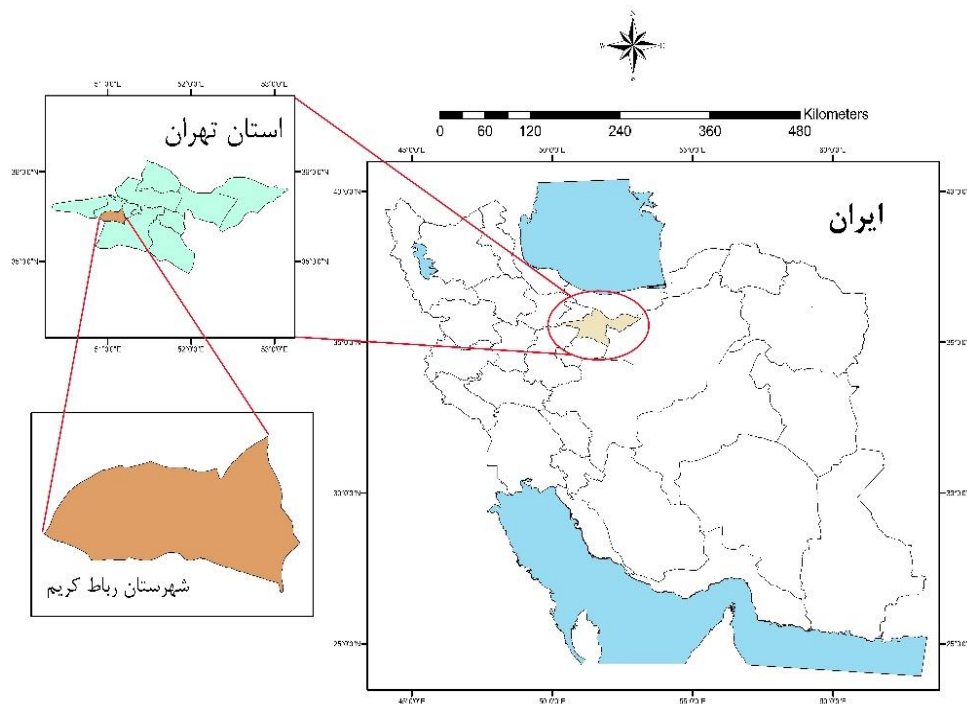
روش انجام تحقیق

این پژوهش در شهرستان رباط کریم به صورت کاشت گلخانه‌ای به اجرا درآمد. این مطالعه به صورت فاکتوریل با عامل سن‌های مختلف گونه‌های درختی و تنش‌های مختلف خشکی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۰ تکرار انجام گرفت. این آزمایش برای دو گونه‌ی مورد نظر به صورت مستقل و مجزا انجام شد. عامل‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل عامل سن‌های مختلف گونه‌های گیاهی (گونه‌های درختی ۱ ساله، ۳ ساله و ۵ ساله)، عامل تنش خشکی (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷) درصد از حد مجاز تقلیل رطوبت

مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های ارغوان نشان داد که تنش خشکی شدید به‌طور معنی‌داری سبب کاهش در ویژگی‌های ارتفاع نهال، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ و افزایش در طول ریشه، نشأت الکترولیت و غلظت مالون‌دی‌آلدئید در مقایسه با گیاهان شاهد شد (Saeidi Aboeshaghi et al., 2021). در تحقیقی در نهالستان ایلام بین تیمارهای مختلف آبیاری نهال‌های کیکم اختلاف معنی‌داری از نظر خصوصیات مورفولوژیک سطح برگ، رشد طولی ساقه و قطر یقه وجود داشت که بیشترین میانگین صفات مربوط به تیمار آبیاری چهار روز یک بار گزارش شد (Haidari and Attarrosan, 2010). نتایج بررسی اثرات تنش خشکی بر نهال‌های اکالیپتوس در یزد، نشان داد که رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری بر کاهش تولید زیست‌توده، اجزاء زیست‌توده (شاخه، برگ و ریشه) و نسبت ریشه به شاخه داشت (Rad et al., 2011). در تحقیقی، نهال‌های سفید پلت تحت آزمایش رطوبتی بین مبدأ بذرهای مختلف قرار گرفتند. رویش قطری و ارتفاعی در مبدأ گلستان و اندازه‌ی سطح برگ، بیوماس ریشه و بیوماس کل در مبدأ گیلان بیش از دو مبدأ دیگر هیرکانی بوده است (Sadati et al., 2011). دوره‌های مختلف آبیاری ۲ و ۱ روزه روی عامل‌های رویشی نهال‌های سرو نقره‌ای در لرستان، اثر معنی‌داری نداشته است (Soofizadeh et al., 2011). تأثیر تنش خشکی روی مورفولوژی نهال داغداغان در مشهد بین آبیاری یک روز در میان و چهار روز یک بار نشان داد که صفات ارتفاع، تعداد برگ، وزن خشک و نسبت سطح برگ کاهش معنی‌داری وجود دارد در حالی که در قطر یقه اختلاف معنی‌داری بین شاهد و خشکی مشاهده نشد (Tabatabaei et al., 2014). در بررسی تأثیر تنش آبی بر ویژگی‌های رویش نهال‌های جوان زیتون، ارقام زرد و باغملک نتیجه گرفته شد که با افزایش تنش آبی، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه، سطح برگ و سطح ریشه کاهش یافتند (Sadrzadeh and Moalemi, 2006). تنش باعث افزایش نسبت ریشه به شاخه و افزایش غلظت آبسزیک اسید در جوانه‌ی انتهایی اکالیپتوس گردید (Li and Wang, 2003).

1. Pi. el

2. Me. az



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1. Location of the study area

رطوبتی (MAD^1) یک برنامه آبیاری برای هر یک از تیمارهای مختلف تهیه و آبیاری و جبران کمبود رطوبتی (SMD^2) بر اساس آن انجام گردید.

با توجه به حداکثر عمق ریشه‌ی نهال‌های مختلف یک، سه و پنج ساله‌ی کاج تهران و زیتون تلخ، کاشت نهال‌ها در میکرولاسیمترهایی به قطر و ارتفاع متناسب با نوع گونه و سن آن‌ها انجام شد. بدین صورت که گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ در سن ۱ سالگی در میکرولاسیمتر کوچک، در سن ۳ سالگی در میکرولاسیمتر متوسط و در سن ۵ سالگی در میکرولاسیمتر بزرگ کاشته شدند. تمام میکرولاسیمترها، هم‌اندازه، هم‌شکل، کاملاً سالم و بدون لب پدیدگی بودند. حجم میکرولاسیمتر بزرگ، متوسط و کوچک به ترتیب معادل $0/016$ ، $0/099$ و $0/004$ مترمکعب می‌باشد (شکل ۲).

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از کاشت نهال‌ها نیز اندازه‌گیری شد. نسبت ماسه، رس و سیلت آن به ترتیب شامل 62% ، $18/2\%$ و $19/8\%$ است. وزن مخصوص ظاهری آن $1/42$ می‌باشد.

1. Management Allowable Depletion
2. Soil Moisture Deficit

(MAD) و هر کدام در ده تکرار است که در مجموع ۱۸۰ تیمار حاصل می‌گردد. در این مطالعه بافت خاک ثابت و برابر با لومی-ماسه‌ای در نظر گرفته شد. این پژوهش به مدت دو سال و در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام گردید.

برای اینکه گیاه به نقطه‌ی پژمردگی دائم نرسد ضریب اطمینانی در نظر گرفته می‌شود و اینقدر آب از خاک گرفته می‌شود که قبل از آبیاری بعدی گیاه به مرحله پژمردگی نرسیده باشد که آن را مدیریت مجاز نقصان یا تقلیل رطوبت گویند و بصورت MAD نمایش می‌دهند. در حقیقت درصدی از آب قابل استفاده در خاک می‌باشد که بین دو راندمان آبیاری، گیاه بدون آنکه صدمه‌ای ببیند از خاک دریافت می‌کند و معمولاً آن را به صورت درصدی از ظرفیت آب قابل استفاده در منطقه ریشه‌ی بیان می‌کنند. برای پایش رطوبت خاک در عمق توسعه‌ی ریشه از دستگاه رطوبت سنج TDR مدل HH2، در چند نقطه از گلدان و در اعماق مختلف استفاده شد. پس از اندازه‌گیری نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه‌ی پژمردگی و لحاظ نمودن درصد مناسب تخلیه‌ی مجاز



شکل ۲. تصاویری از نهال‌های مورد استفاده در مطالعه

Fig. 2. Images of applied seedlings in the study

شدند.

برای محاسبه‌ی سطح تاج پوشش نهال‌ها در سن‌های مختلف با توجه به شبه دایره‌ای بودن شکل تاج به اندازه‌گیری شعاع قطرهای بزرگ و کوچک تاج اقدام و سپس میانگین شعاع تاج در هر نهال محاسبه گردید (Javanmiri Pour et al., 2022). در نهایت مساحت تاج از رابطه مساحت دایره محاسبه شد. در مراحل مختلف رشد، وضعیت نهال‌های هر یک از سطوح مختلف تنش خشکی مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار گرفت. پارامترهای مورد ارزیابی شامل ارتفاع نهال با دقت سانتی‌متر، قطر بن نهال با دقت میلی‌متر، مساحت تاج پوشش در ابتدا و انتهای بازه‌ی مورد مطالعه در هر سال اندازه‌گیری گردید.

pH آن ۷/۱۲ و هدایت الکتریکی آن ۵/۶۲ دسی زیمنس بر متر است.

از هر نهال در هر سن به تعداد ۱۰ اصله انتخاب و قطر یقه، ارتفاع و اندازه‌ی تاج پوشش به عنوان میانگین وضعیت اولیه‌ی نهال‌های مورد مطالعه یادداشت گردید. همواره سعی بر آن بود تا نهال‌های تهیه شده از نهالستان بزرگ کرج از نظر قطر و ارتفاع هم‌اندازه باشند. قبل از کاشت، خصوصیات ریختی اولیه‌ی تیمارهای ۱۸ گانه نظیر قطر یقه (با کولیس بر حسب میلی‌متر)، ارتفاع ساقه (با متر نواری بر حسب سانتی‌متر)، ابعاد تاج پوشش (با متر نواری بر حسب سانتی‌متر مربع) اندازه‌گیری شد و در اواسط و انتهای دوره آزمایش نیز این خصوصیات اندازه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه و تنش خشکی بر قطر یقه گونه‌ی کاج تهران در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد اثر سن و تنش خشکی در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید اما تأثیر متقابل سن گونه و تنش خشکی بر قطر یقه معنی‌دار نمی‌باشد.

اطلاعات جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل (Excel) ذخیره و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS و R مقایسه میانگین‌ها از روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون توکی و t جفتی در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثرات منفرد و متقابل تیمارهای مورد استفاده در کاج تهران

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر قطر یقه گیاه کاج تهران

Table 1. Variance analysis of the effect of drought stress and age on collar diameter of Pi.e1

پارامتر parameter	مقدار Value	مقدار F F	فرض df Hypothesis df	خطای df Error df	معنی‌داری Sig.	
قطر یقه Collar diameter	پیلای ترایس Pillai's Trace	.965	1285.735 ^b	2.000	94.000	.000**
	لامبدا ویلکس Wilks' Lambda	.035	1285.735 ^b	2.000	94.000	.000**
	هتلینگ ترایس Hotelling's Trace	27.356	1285.735 ^b	2.000	94.000	.000**
	بزرگترین ریشه روی Roy's Largest Root	27.356	1285.735 ^b	2.000	94.000	.000**

***، **، * : معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد و عدم معنی‌داری

است. اثر سن در سطح ۱ درصد ($p=0.01$) معنی‌دار گردید درحالی‌که اثر تنش خشکی و تأثیر متقابل سن گونه در تنش خشکی معنی‌دار نمی‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه و تنش خشکی بر ارتفاع گونه‌ی کاج تهران در جدول (۲) نشان داده شده

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر ارتفاع گیاه کاج تهران

Table 2. Variance analysis of the effect of drought stress and age on Pi.e1 height

پارامتر parameter	مقدار Value	مقدار F F	فرض df Hypothesis df	خطای df Error df	معنی‌داری Sig.	
ارتفاع Height	پیلای ترایس Pillai's Trace	.533	53.718 ^b	2.000	94.000	.000**
	لامبدا ویلکس Wilks' Lambda	.467	53.718 ^b	2.000	94.000	.000**
	هتلینگ ترایس Hotelling's Trace	1.143	53.718 ^b	2.000	94.000	.000**
	بزرگترین ریشه روی Roy's Largest Root	1.143	53.718 ^b	2.000	94.000	.000**

***، **، * : معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد و عدم معنی‌داری

درصد معنی‌دار گردید.
تجزیه واریانس اثرات منفرد و متقابل تیمارهای مورد استفاده در زیتون تلخ
نتایج تجزیه واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه در تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه در تنش خشکی بر مساحت تاج پوشش گونه‌ی کاج تهران در جدول (۳) نشان داده شده است. اثر سن، اثر تنش خشکی و تأثیر متقابل سن گونه در تنش خشکی در سطح ۱

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر مساحت تاج پوشش گونه‌ی کاج تهران

Table 3. Variance analysis of the effect of drought stress and age on canopy area of Pi.e1

پارامتر	مقدار	مقدار F	فرض df	خطای df	معنی‌داری
Parameter	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
پیلای تریاس سطح تاج پوشش	.538	54.665 ^b	2.000	94.000	.000**
لامبدا ویلکس Canopy area	.462	54.665 ^b	2.000	94.000	.000**
هتلینگ تریاس Hotelling's Trace	1.163	54.665 ^b	2.000	94.000	.000**
بزرگترین ریشه روی Roy's Largest Root	1.163	54.665 ^b	2.000	94.000	.000**

***، NS: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد و عدم معنی‌داری

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر قطر یقه زیتون تلخ

Table 4. Variance analysis of the effect of drought stress and age on collar diameter of Me.az

پارامتر	مقدار	مقدار F	فرض df	خطای df	معنی‌داری
Parameter	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
پیلای تریاس Collar diameter	.986	3385.947 ^b	2.000	94.000	.000**
لامبدا ویلکس Wilks' Lambda	.014	3385.947 ^b	2.000	94.000	.000**
هتلینگ تریاس Hotelling's Trace	72.041	3385.947 ^b	2.000	94.000	.000**
بزرگترین ریشه روی Roy's Largest Root	72.041	3385.947 ^b	2.000	94.000	.000**

***، NS: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد و عدم معنی‌داری

تنش خشکی در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیست.

اثر تنش خشکی بر قطر یقه

مقدار قطر یقه در تنش خشکی ۰/۳ نسبت به تنش‌های خشکی ۰/۵ و ۰/۷ در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سالگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که مقدار آن در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ دارای بیشترین مقدار می‌باشد (شکل ۳). برای کاج تهران در سن ۵ سالگی، مقدار قطر یقه برای تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۲۳/۳، ۱۳/۴ و ۱۴/۵ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۲۸/۳، ۲۵/۴ و ۲۶/۴ میلی‌متر می‌باشد. همچنین، برای زیتون تلخ در سن ۵ سالگی، در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۳۱/۷۳، ۲۶/۸ و ۲۸/۹ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۳۷/۳، ۳۰/۷ و ۲۹/۹

بر قطر یقه گونه‌ی زیتون تلخ در جدول (۴) نشان داده شده است. اثر سن، تنش خشکی و تأثیر متقابل سن گونه در تنش خشکی بر قطر یقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید.

نتایج تجزیه‌ی واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه در تنش خشکی بر ارتفاع گونه‌ی زیتون تلخ در جدول (۵) نشان داده شده است. اثر سن، تنش خشکی و تأثیر متقابل سن گونه در تنش خشکی بر قطر یقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید.

نتایج تجزیه‌ی واریانس تیمارها، گونه‌ی گیاهی، تنش خشکی، اثرات متقابل تیمار در گیاه در تنش خشکی بر سطح تاج پوشش گونه‌ی زیتون تلخ در جدول (۶) نشان داده شده است. اثر سن معنی‌دار گردیده است اما تنش خشکی و تأثیر متقابل سن گونه در

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر ارتفاع گونه‌ی زیتون تلخ

Table 5. Variance analysis of the effect of drought stress and age on Me.az height

پارامتر	مقدار	مقدار F	df فرض	خطای df	معنی‌داری	
Parameter	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	
ارتفاع	پیلائی ترایس	.988	3920.254 ^b	2.000	94.000	.000**
Height	Pillai's Trace					
	لامبدا ویلکس	.012	3920.254 ^b	2.000	94.000	.000**
Hotelling's Trace	Hotelling's Trace	83.410	3920.254 ^b	2.000	94.000	.000**
	بزرگترین ریشه روی	83.410	3920.254 ^b	2.000	94.000	.000**
Roy's Largest Root						

***, NS: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد، و عدم معنی‌داری

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سن بر سطح تاج پوشش گونه‌ی زیتون تلخ

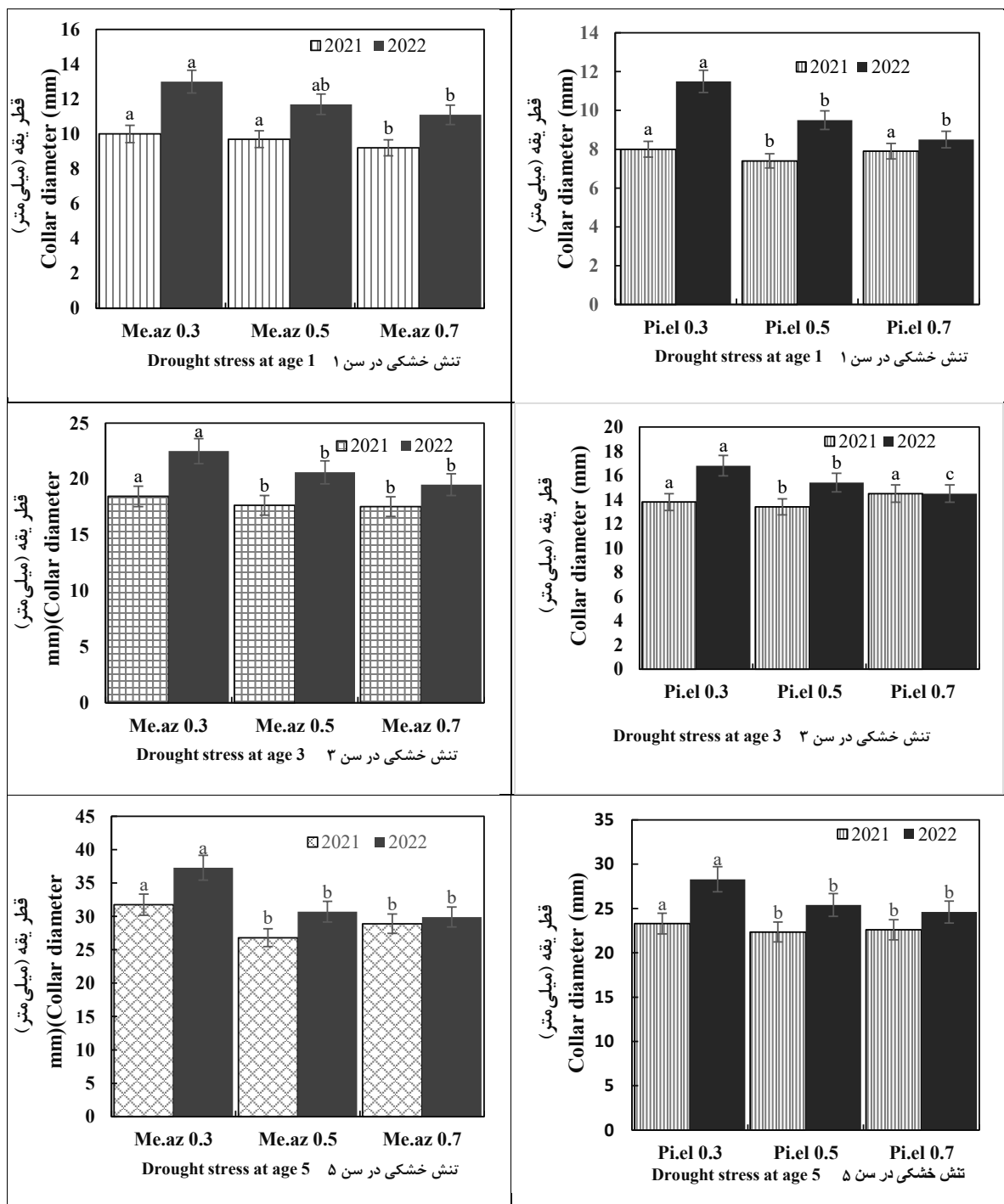
Table 6. Variance analysis of the effect of drought stress and age on the crown area of Me.az

پارامتر	مقدار	مقدار F	df فرض	خطای df	معنی‌داری	
Parameter	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	
سطح تاج	پیلائی ترایس	.628	79.266 ^b	2.000	94.000	.000**
Canopy area	Pillai's Trace					
	لامبدا ویلکس	.372	79.266 ^b	2.000	94.000	.000**
Hotelling's Trace	Hotelling's Trace	1.687	79.266 ^b	2.000	94.000	.000**
	بزرگترین ریشه روی	1.687	79.266 ^b	2.000	94.000	.000**
Roy's Largest Root						

***, NS: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ درصد، و عدم معنی‌داری

مطالعه Bouno و همکاران (2020) مبنی بر نیاز آبی و شاخص‌های رشد نهال گونه‌های درختان جنگلی با مدیریت آبیاری نشان‌دهنده‌ی مقادیر عامل‌های رشد گیاهی زیر ۰/۵ برای همه‌ی گونه‌ها می‌باشد که این امر حساسیت کم به رشد، هم از نظر ارتفاع و هم از نظر قطر، در پاسخ به کمبود آب را نشان می‌دهد. در راستای تأثیر تنش‌های خشکی بر صفات مورفولوژیک گونه‌های مورد بررسی، نتایج Boor و همکاران (2022) همسو با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر است. بر این اساس، نتایج این مطالعه نشان داد که با طولانی‌تر شدن دوره‌های آبیاری از هفت روز یک‌بار به ۲۸ روز یک‌بار، درصد زنده‌مانی گونه‌ها و صفات ریختی مانند رویش ارتفاعی، قطری، تاجی (تاج پوشش) و سطح برگ گونه‌ها تحت تأثیر تنش

میلی‌متر است (شکل ۳). نتایج مقایسه‌ی قطر یقه‌ی نهال‌ها در گروه‌ها و سال‌های مختلف تحت تنش‌های مختلف خشکی نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها به احتمال ۰/۰۱ است (شکل ۳). تنش خشکی بر قطر نهال‌ها تأثیر معنی‌داری داشته است، که این امر با مطالعه Asri و همکاران (2008) سازگار می‌باشد. آنان طی تحقیقاتی بر روی نهال‌های بلند مازو در سواحل نوشهر دریافتند که هر چه خشکی بیشتر باشد، قطر نهال‌ها کمتر می‌شود. Miller (2008) در مطالعه‌ی اشاره نمود که تنش رطوبتی سبب کاهش قطر یقه‌ی نهال‌ها می‌شود که این احتمالاً به دلیل طولانی بودن مدت زمان مطالعه بر روی نهال‌ها بوده است. همچنین، نتایج



شکل ۳. قطر یقه‌ی نهال‌ها در گونه‌های زیتون تلخ و کاج تهران در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سال و در تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Fig 3. Collar diameter of Me.az and Pi.el seedlings at the ages of 1, 3 and 5-years and in stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

ویژگی‌های نهال‌های بنه توسط Mirzaei و Karam-shahi (2015) نیز با نتایج پژوهش جاری همسو می‌باشد. زیرا نتایج نشان داد که تنش خشکی بر اکثر ویژگی‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه تأثیر معنی‌داری دارد به طوری که تنش خشکی سبب

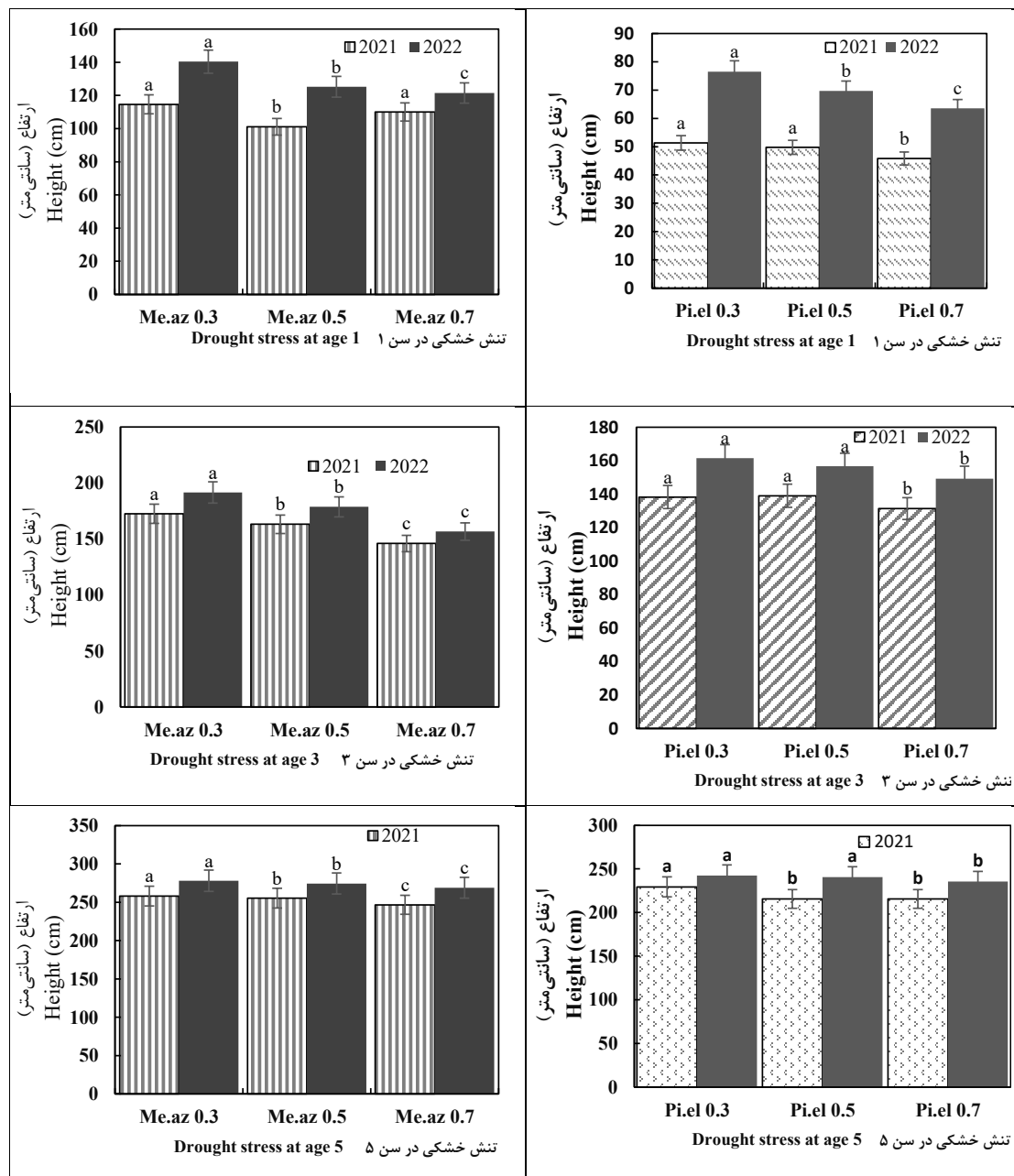
کم‌آبیاری کاهش می‌یابد. برآیند نتایج نشان داد که گونه‌های داغداغان، زیتون تلخ و افاقیا عملکرد مناسبی در دوره‌های آبیاری مختلف در برخی مشخصه‌های مورد بررسی از خود نشان دادند. مطالعه‌ی اثر تنش خشکی بر رشد و برخی

تهران در سن ۳ سالگی، مقدار ارتفاع برای تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۱۳۸/۳، ۱۳۹/۱ و ۱۳۴/۳۵ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۶۱/۵، ۱۵۶/۷ و ۱۴۹/۳۵ میلی‌متر می‌باشد. همچنین، برای زیتون تلخ در سن ۳ سالگی، در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۱۷۲/۵، ۱۶۳/۱ و ۱۴۶ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۹۱/۶، ۱۷۸/۷ و ۱۵۶/۶ میلی‌متر است (شکل ۴).

کاهش رشد ارتفاعی، قطری و سطح برگ نهال‌های بنه گردیده است.

اثر تنش خشکی بر ارتفاع نهال

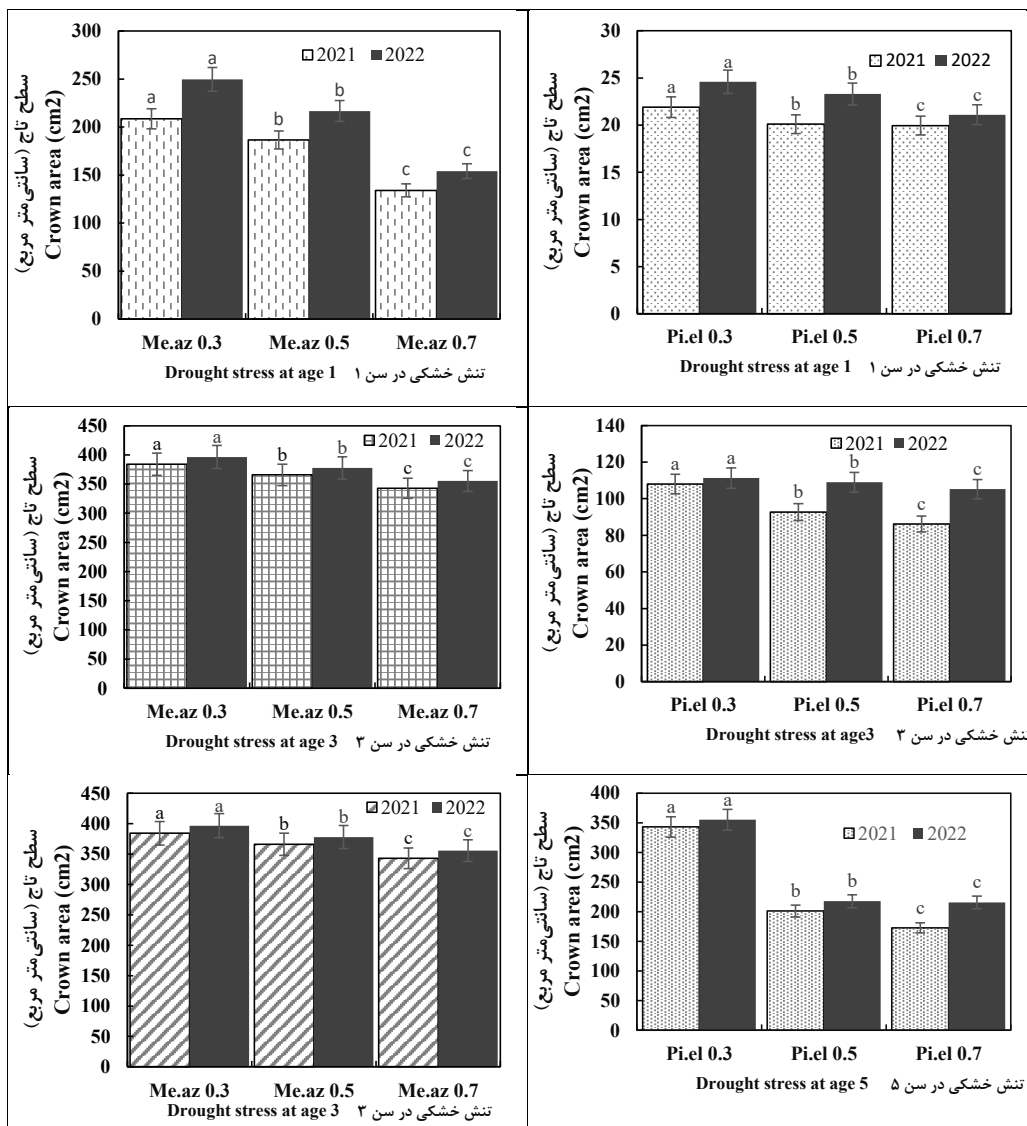
ارتفاع نهال در تنش خشکی ۰/۳ نسبت به تنش‌های خشکی ۰/۵ و ۰/۷ در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سالگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که مقدار آن در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ به طور معمول دارای بیشترین مقدار می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. ارتفاع نهال‌ها در گونه‌های زیتون تلخ و کاج تهران در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سال و در تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱
 Fig. 4. The height of Me.az and Pi.el seedlings at the ages of 1, 3 and 5-years and in stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

منظم و کوددهی سبب افزایش ارتفاع می‌گردد و حتی کوددهی بدون آبیاری تأثیری روی رویش نهال ندارد. اثر تنش خشکی بر مساحت تاج پوشش مساحت تاج پوشش در تنش خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سالگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که مقدار آن‌ها در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ با نوساناتی همراه می‌باشد (شکل ۵). برای کاج تهران در سن ۱ سالگی، مقدار سطح تاج پوشش برای تنش‌های خشکی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۲۰/۱، ۲۱/۹ و ۱۹/۹۵ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۲۴/۶

نتایج مقایسه‌ی ارتفاع نهال‌ها در گروه‌ها و سال‌های مختلف تحت تنش‌های مختلف خشکی نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها به احتمال ۰/۰۱ در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ است (شکل ۴). کاهش آبیاری موجب گردیده تا ارتفاع نهال‌ها کاسته شده و این نتیجه با مطالعات Hassanvand و همکاران (2010)، Rahimi و همکاران (2021)، Dichio و همکاران (2002) و Hoff و Rambal (2003) در یک راستا می‌باشد. سبب کاهش رشد اندام هوایی نهال می‌شود. همچنین Lin و همکاران (2023) نشان دادند که تأثیر توام آبیاری



شکل ۵. مساحت تاج پوشش نهال‌های زیتون تلخ و کاج تهران در سن‌های ۱، ۳ و ۵ سال و در تنش‌های ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Fig. 5. Canopy area of Me.az and Pi.el seedlings at the ages of 1, 3 and 5-years and at stresses of 0.3, 0.5 and 0.7 in 2021 and 2022

مناطق خشک امیدوار بود. با توجه به مجموعه عوامل محدود کننده فنی و غیرفنی از قبیل شرایط ادا فیک و اکولوژیک و منابع مالی موجود در میان تنش‌های خشکی بررسی شده بهتر است از تنش خشکی ۰/۷ استفاده نمود تا نهال‌های کاج تهران و زیتون تلخ مورد استفاده توان مقاومت در مقابل شرایط نامساعد محیطی را داشته باشند. زیرا استفاده از چنین تنشی باعث مقاوم‌تر شدن گونه‌های مورد استفاده در جنگل کاری در شرایط واقعی طبیعی و بقای آن‌ها در بلندمدت می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با اعتبارات شهرداری تهران، سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهر تهران به انجام رسیده است.

منابع

- Ahani, H., Jalilvand, H., Vaezi, J. & Sadati, S. E. (2018). Drought stress on *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson seedlings morphology, *Plant ecosystem protection*, 5(11), 191-204. [In Persian].
- Ahmadlo, F., Tabari, M. & Behtari, B. (2012). Effect of water stress and accelerated ageing on some physiological characteristics of *Pinus brutia* Ten. seeds, *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(2), 345-358. [In Persian].
- Amini, F., Fatah Ravandi, N. & Asgari, M. (2016). Anatomical Study of the Air Pollution Effect on *Robinia pseudoacacia* and *Ailanthus altissima* leaves near to Iran Aluminum Co. (IRALCO), *Cell and Tissue Journal*, 6(4), 501-511. [In Persian].
- Asri, M., Tabari, M., Alavipanah, S.K. & Mahdavi, R. (2008). Growth and development of *Quercus castaneifolia* seedlings at different irrigation treatments, *Research and development in Natural Resources*, 21(1), 167-176. [In Persian].
- Barshan, M., Tabari Kouchaksaraei, M., Sadati, S. E. & Shahhoseini, R. (2016). Growth and Survival

۲۳/۳ و ۲۱/۱ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین، برای زیتون تلخ در سن ۱ سالگی، در سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۱۵۴/۱، ۲۱۶/۶۵ و ۲۴۹/۷ سانتی‌متر مربع و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۲۴۹/۷، ۲۱۶/۶۵ و ۱۵۴/۱ سانتی‌متر مربع است (شکل ۵).

نتایج مقایسه‌ی سطح تاج پوشش در گروه‌ها و سال‌های مختلف تحت تنش‌های مختلف خشکی نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها به احتمال ۰/۰۱ در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ است (شکل ۵).

با افزایش تنش خشکی و کاهش رطوبت در یک سن خاص مقدار سطح تاج پوشش در گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه‌ی میانگین انجام شده در این تحقیق نیز نشان داد که تنش آبی بر مورفولوژی اندام نهال‌های مورد مطالعه در همه‌ی موارد معنی‌دار نیست، به طوری که می‌توان گفت کمبود آب بر قطر یقه و سطح تاج پوشش در گونه‌ی کاج تهران و بر قطر یقه و ارتفاع زیتون تلخ معنی‌دار به دست آمد. تأثیر متقابل سن نهال و تنش خشکی بر سطح تاج پوشش کاج تهران و بر قطر یقه و ارتفاع زیتون تلخ معنی‌دار است. این نتایج با مطالعه‌ی رحیمی و همکاران (Rahim et al., 2021) هم‌راستا نیست که این امر احتمالاً به تفاوت گونه‌های مورد آزمایش و شرایط محیطی مربوط است. با این تفاوت که در مطالعه‌ی مورد مقایسه از گونه‌ی ارغوان استفاده شده است و شرایط محیطی انجام آزمایش نیمه‌خشک می‌باشد.

رویش نهال بید سفید (*S. alba*) تحت تنش کم‌آبی در شهرستان نور توسط Barshan و همکاران (2016) با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. زیرا نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش تنش خشکی از رویش طولی و قطری، از توده‌ی اندام هوایی و زمینی، تعداد برگ و حجم ریشه‌ی نهال‌ها کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، با توجه به آشنایی با سرشت مقاومت به خشکی گونه‌های کاج تهران و زیتون تلخ، رعایت رژیم آبیاری و انتخاب تنش خشکی مناسب می‌تواند به موفقیت پروژه‌های جنگل کاری در

- Ghabooli, M. & Hosseini, A. (2021). Piriformospora indica promotes some morphophysiological traits, yield and ion homeostasis of barley (*Hordeum Vulgare* L.) under drought stress, *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(1), 1-18. [In Persian].
- Hassanvand, Sh., Etemad, V., Nemiranyan, M. & Atarod, P. (2010). *The effect of irrigation levels on root length and survival of seedlings and comparison of drought resistance of production seedlings. (Case study: Kentia nursery in north of Tehran)*. Complete articles of the first conference of the National Botanical Garden of Iran, November. [In Persian].
- Heidari, M., & Attaroshan, S. (2010). Determining the appropriate irrigation period for Kikum seedlings (*Acer monspessulanum*) in Dareh Shahr Nursery - Ilam Province. *Renewable Natural Resources Research*, 1(2), 59-71. [In Persian].
- Heidari, M. Abdollahzadeh, p. & Attar Roshan, S. (2013). Determining the appropriate irrigation period for Maple seedlings (*Acer monspessulanum*) in Dareh Shahr Nursery, Ilam Province, *Renewable Natural Resources Research*, 1(2), 59-71. [In Persian].
- Hoff, C., & Rambal, S. (2003). An examination of the interaction between climate, soil and leaf area index in a *Quercus ilex* ecosystem, *Annals of Forest Science*, 60(2), 153-161.
- Jalilimarandi, R. (2005). *Physiology of environmental stresses and resistance mechanisms in garden plants*, The first volume, University Jihad Publications, Urmia branch. [In Persian].
- Javanmiri Pour, M., Hassanzadeh, A., Parvaneh, R. & Mashayekhi, Z. (2022). Quantification of the destruction of structural characteristics in the areas of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) slash and burn agricultural areas in Zagros ecosystems, *Iranian Journal of Forest and*
- of Willow Seedling (*Salix alba* L.) Under Water Deficit Stress, *Forest and Wood Products*, 69(2), 249-257.
- Boor, Z., Hosseini, S. M., Soleimani, A. & Taheri Abkenar, K. (2022). Investigation of survival, growth and physiology of six afforested species under different irrigation regimes, *Forest Research and Development*, 8(1), 97-111. [In Persian].
- Bouno, MM, dos Santos Leles PS, Gonçalves Abreu JF, dos Santos JJS. & de Carvalho DF. (2020). Water requirement and growth indicators of forest tree species seedlings produced with automated irrigation management, *PLoS ONE* 15(11), e0238677.
- Delafan Azari, N., Rostami Shahraji, T., Gholami, V. & Hashemi Garmdareh, S. E. (2018). An assessment of water requirement and investigation of different irrigation levels on growth parameters of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw) seedlings (case study: Tehran), *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 237-250. [In Persian].
- Diatta, A. A. , Fike, J. H. , Battaglia, M. L., Galbraith, J. & Baig, M. B. (2020). Effects of biochar on soil fertility and crop productivity in arid regions: A review, *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 595.
- Dichio, B., Romano, M., Nuzzo, V. & Xiloyannis, C. (2002). Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees (cv Coratina), *Acta Horticulturae*, 586, 419-422.
- Dolatkordestani, M., Taghvaei, M. & Barkhori, S. (2017). Evaluation of the effect of putrescine on morphological and physiological indices of Giant Milkweed Seedlings (*Calotropis procera* Ait.) under drought conditions, *Journal of Plant Environmental Physiology*, 12(45), 1-13. [In Persian].

- layer diversity and some morphological traits and nutrient of leaves of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) trees in Hyrcanian forests (Case study: Asalam forest, Guilan), *Plant ecosystem protection*, 4(9), 49-60. [In Persian].
- Nakagawa, A.C., Itoyama, H., Ariyoshi, Y., Ario, N., Tomita, Y., Kondo, Y., Iwaya-Inoue, M. & Ishibashi, Y. (2018). Drought stress during soybean seed filling affects storage compounds through regulation of lipid and protein metabolism, *Acta Physiology Plant*, 40, 1-8.
- Okorie, V. O., Mphambukeli, T. N. & Amusan, S. O. (2019). Exploring the political economy of water and food security nexus in BRICS, *Africa Insight*, 48, 21-38.
- Rad, M. H., asareh, M., meshkat, M. A. & soltani, M. (2011). Effects of drought stress on biomass, several growth parameters and water use efficiency of eucalyptus (*Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh) in response to drought stress, *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(1), 13-27. [In Persian].
- Rahimi, H., Ahmadaali, K. & tion levels, *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(6), 2100-2111. [In Persian].
- Sadati, S. E., Tabari, M., Assareh, M. H., Heidari Sharifabad, H. & Fayaz, P. (2011). Response of *Populus caspica* Bornm. Seedlings to flooding, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(3), 355-340. [In Persian].
- Sadrzadeh, M., & Moalemi, N. (2006). The effect of water and potassium stress on the vegetative characteristics of young olive seedlings, Zard and Baghmolek cultivars. *Agricultural Research*, 6(4), 1-10.
- Saeidi abueshaghi, Z., Pilehvar, B. & Sayedena, S. (2021). Effect of drought stress on morphophysiological and biochemical traits of *Poplar Research*, 30(2), 164-179. [In Persian].
- Kamali M, Samsampour D, Bagheri A, Mehrafarin A. & Homaei A. (2023). Influence of Wate Stress on the Morphophysiological and Biochemical Traits of the Medicinal Plant *Teucrium stocksianum* Boiss, *Plant Process and Function*, 12(54), 307-324. [In Persian].
- Li, C. & Wang, K. (2003). Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations, *Forest Ecology and Management*, 179, 377-385.
- Lin, S., Wang, C., Lei, Q., Wei, K., Wang, Q., Deng, M., Su, L., Liu, S. & Duan, X. (2023). Effects of Combined Application of Organic Fertilizer on the Growth and Yield of Pakchoi under Different Irrigation Water Types, *Agronomy*, 13, 2468.
- Miller, J. & Curtin, D. (2008). Electrical conductivity and soluble ions. Section 15 in MR Carter and EG Gregorich, eds. *Soil sampling and methods of analysis*: CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.
- Mirzaei, J. & Karamshahi, A. (2015). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Pistacia atlantica* seedlings, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 22(1), 31-43. [In Persian].
- Mirzaei, M. R. & Ghadami Firouzabadi, A. (2022). Evaluation of the Effective Drought Stress Level for Drought Tolerance of Sugar Beet Genotypes, *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(5), 1055-1065. [In Persian].
- Mohammadi, S., Nahvi, M. & Mohadesi, A. (2015). The effect of irrigation interval on vegetative different stage on yield and yield component in rice line and varieties, *Applied Field Crops Research*, 28(107), 108-114. [In Persian].
- Moradi, S., Abrari vajari, K., Pilehvar, B. & Shabaniyan, N. (2017). Interactions between tree

purple (*Cercis siliquastrum* L.) seedlings, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(1), 91-100. [In Persian].

Soofizadeh, N., Hosseini, S. M., & Tabari, M. (2010). Effect of seed sowing date, irrigation and weed control on some quantitative and qualitative characteristics of *Pinus brutia* seedlings in nursery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(1), 89-77. [In Persian].

Tabatabaei, S.A.H., Jalilvand, H. & Ahani, H. (2014). Drought stress response in Caucasian hackberry: growth and morphology, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(3), 158-169.



Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN Methods in Downscaling of Temperature and Precipitation for Two Different Climates

Mahtab Helmi^{1*}, Sepideh Zeraati Neyshabouri¹, Mahdi Amirabadizadeh^{2&3}, Mostafa Yaghoobzadeh^{2&3}

1. PhD Student in Water Resources, Department of Sciences and Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author: mahtabhelmi@birjand.ac.ir

Keywords:

Artificial intelligence, Climate change, Qouchan, Model, Taybad

Extended abstract

Introduction:

Meteorology is affected by climate change in many ways. Climate changes are a topic of great importance and long-term forecasting of climatic variables is crucial to understanding their changes. As a result, General Circulation Models have been developed to simulate climate parameters on a large scale. However, to perform these simulations on smaller scales, the output of these models needs to be downscaled using various techniques, commonly referred to as downscaling. Some of the most widely used downscaling models include: SDSM, CLIMGEN, LARS-WG and USCLIMATE. These models have been extensively employed for the downscaling of General Circulation Models in Iran and other the world. The current study was aimed to evaluate the performance of SDSM, LARS-WG, and ANN methods in downscaling temperature and precipitation data in Qouchan and Taybad.

Materials and Methods:

The study areas were meteorological stations at Taybad and Qouchan in Khorasan Razavi province. To conduct this research, daily data on precipitation and minimum and maximum temperature were analyzed. The data used were obtained from the Iranian Meteorological Organization. In order to perform calibration and validation, the data were divided into two categories (70% for calibration and 30% for validation). The LARS-WG model is a weather generator. This model simulates climate data by using semi-empirical distributions and uses statistical techniques to generate climate data. This model consists of three parts: calibration, evaluation, and generation of future data. SDSM model is a combination of two non-deterministic weather data generation methods and the linear regression method developed. The artificial neural network model (ANN) is a model of the natural nervous system and, like the brain, it can to learn by processing experimental data. This method is able finds the relationship between the set of inputs and outputs without prior knowledge of the relationships between the studied parameters. It predicts the output corresponding to the desired

Received:

28 November 2023

Revised:

19 December 2023

Accepted:

28 December 2023

How to cite this article:

Helmi, M., Zeraati Neyshabouri, S., Amirabadizadeh, M., & Yaghoobzadeh, M. (2024). Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN Methods in Downscaling of Temperature and Precipitation for Two Different Climates. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 105-118. [10.22077/JDCR.2023.6996.1049](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6996.1049)



input.

Results and Discussion:

Comparing of climatic parameters in observed data and model data by SDSM model showed that the accuracy of the model in estimating the maximum and minimum temperature in both Taybad and Qouchan stations is higher than precipitation. The highest coefficient of the model was for the smallest temperature parameter, which had values of 0.59 and 0.53 in Taybad and Qouchan stations, respectively. The LARS-WG model estimated the maximum and minimum temperatures in Taybad station better than Qouchan station. The ANN model was less accurate than the other two models. The current results revealed that the accuracy of SDSM and LARS-WG methods is similar to each other and both methods can be used for climate change studies. According to the obtained results and statistical criteria in this research, the ANN model has a lower performance than other models in forecasting. The results of this research are consistent with the results of similar studies by other researchers in the field of downscaling.

Conclusions:

Precipitation and temperature are the most important parameters in climate change. In this regard, the use of General Circulation Models is very effective. However, these models cannot simulate climate parameters at local scales. Therefore, different downscaling methods should be used. For this purpose, in the current study, three downscaling models namely SDSM, LARS-WG, and ANN were compared in estimating the climatic parameters of daily precipitation as well as minimum and maximum temperatures at two stations Taybad and Qouchan. By comparing all three investigated models, the results showed that the LARS-WG and SDSM models have the least amount of error in simulating the minimum and maximum temperature and the efficiency of these two models is higher than the ANN method in climate simulation. According to the obtained results and statistical criteria, the ANN model has a lower performance than other models in forecasting. Finally, the present study showed that the presented methods can be used to predict other climate parameters in future studies. It is suggested that future research evaluates the statistical downscaling methods based on the combination of artificial intelligence models. Also, the presented downscaling methods can be compared with other downscaling methods.



ارزیابی روش‌های MSDS، GW-SRAL و NNA در ریزمقیاس‌سازی دما و بارش برای دو اقلیم متفاوت در استان خراسان رضوی

مهتاب حلمی^{۱*}، سپیده زراعتی نیشابوری^۱، مهدی امیرآبادی‌زاده^۲، مصطفی یعقوب‌زاده^۳

۱. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*نویسنده مسئول: mahtabhelmi@birjand.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

مدل‌های گردش عمومی جو، یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین مدل‌ها در مطالعات تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای هستند. از آنجا که شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در این مدل‌ها، در مقیاس بزرگ مکانی و زمانی انجام می‌شود، خروجی آن‌ها با استفاده از روش‌های مختلف، کوچک‌مقیاس می‌گردد. در این پژوهش، نتایج سه مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و ANN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش روزانه و کمینه و بیشینه دمای روزانه در دو ایستگاه تابیاد (با آب و هوای گرم و خشک) و قوچان (با آب و هوای سرد و معتدل) در استان خراسان رضوی مقایسه شده است. بدین منظور از دوره بیست ساله داده‌های بارش و کمینه و بیشینه دمای روزانه ایستگاه‌ها بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ استفاده گردید. برای مقایسه دقت مدل‌ها، از شاخص‌های ضریب تبیین، ریشه‌ی مجموع مربعات خطا و میانگین مطلق خطا استفاده شد. نتایج نشان داد مدل‌های LARS-WG و SDSM کم‌ترین میزان خطا را در شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای روزانه دارند. مقدار میانگین مطلق خطای مدل SDSM برای پارامتر کمینه دما در دو ایستگاه تابیاد و قوچان به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۷۱ می‌باشد. مقدار خطای پارامتر مذکور در مدل LARS-WG در دو ایستگاه تابیاد و قوچان به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۴۳ است. از سوی دیگر، در مدل ANN، میانگین مطلق خطای کمینه دما در ایستگاه تابیاد ۱/۷۸ و در ایستگاه قوچان ۱/۷۳ بدست آمده است. در نهایت می‌توان بیان کرد؛ مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG از دقت بالاتری در شبیه‌سازی مقادیر پارامترهای اقلیمی دمای روزانه و بخصوص پارامتر کمینه دما در ایستگاه‌های تابیاد و قوچان نسبت به مدل ANN برخوردار می‌باشند.

تابیاد، تغییر اقلیم، قوچان، مدل، هوش مصنوعی.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۰/۰۷

مقدمه

تغییر اقلیم به تغییرات درازمدت در توزیع آماری الگوهای آب و هوایی اشاره دارد. با آغاز انقلاب صنعتی و رشد کارخانه‌های صنعتی و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، همچنین جنگل‌زدایی و تغییر در کاربری اراضی، گازهای گلخانه‌ای افزایش پیدا کردند. این افزایش گازها منجر به افزایش میانگین دمای کره زمین شده است. (Yoosefdoost et al., 2021). تغییرات اقلیمی اثرات قابل توجهی بر روی بسیاری از مؤلفه‌های چرخه آب، به خصوص در بارش، پوشش برف، رطوبت خاک، رواناب سطحی، فشار آب جوی و تبخیر و تعرق دارند. بطور کلی افزایش دما و تغییر اقلیم باعث تغییر در مقدار و شکل بارش و بروز خشکسالی‌ها می‌شود (Helmi and Shahidi, 2023). همچنین پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، به دلیل آثار زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی اهمیت بسیار زیادی دارد. بنابراین انتظار می‌رود با پیشرفت‌های اخیر در جوامع علمی، اقدامات متناسب در شرایط افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بکار گرفته شود (Refsgaard et al., 2013).

پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت آگاهی از میزان تغییرات آن‌ها و فراهم نمودن آمادگی لازم، مورد توجه بسیاری از مجامع علمی در جهان قرار گرفته است. بر همین اساس، مدل‌های گردش عمومی جو توسعه یافته‌اند. در حال حاضر، مدل‌های جفت‌شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو یکی از بهترین ابزارها جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم می‌باشند (Delghandi et al., 2023). شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در این مدل‌ها، در مقیاس بزرگ مکانی و زمانی انجام می‌گردد. از این‌رو جهت استفاده از این عناصر شبیه‌سازی شده در مقیاس‌های کوچک‌تر، می‌بایست خروجی این مدل‌ها با تکنیک‌های مختلف کوچک مقیاس شوند که به این فرآیند ریزمقیاس‌نمایی یا کوچک‌مقیاس‌سازی می‌گویند (Samadi et al., 2011). ریزمقیاس‌نمایی به دو روش دینامیکی و آماری انجام می‌گردد. مدل‌های دینامیکی از دقت مناسبی برخوردار هستند، اما به دلیل هزینه زیاد و زمان‌بر بودن، از آن‌ها صرف‌نظر می‌شود. در روش آماری، بطور

کلی ارتباطی بین رفتار واقعی ایستگاه و برون‌داد مدل گردش عمومی ایجاد می‌گردد. در این روش می‌توان در مدت زمان بسیار کوتاه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک ایستگاه در چندین دوره آینده انجام داد. در حالی‌که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌شوند. بنابراین روش آماری به دلیل نیاز به محاسبات کم، اقتصادی بودن و سرعت بالا در فرآیند ریزمقیاس‌نمایی، در کاربردهای علوم آب بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (Wilks and Wilby, 1999). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری که مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به مدل‌های USCLIMATE، LARS-WG، CLIMGEN، SDSM اشاره کرد. این مدل‌ها برای کوچک‌مقیاس‌گردانی مدل‌های گردش عمومی جو در ایران و سایر نقاط جهان کاربرد زیادی داشته‌اند (Kundu et al., 2017; Ar-tlert et al., 2013; Tao et al., 2015; Ashraf et al., 2011; Ramezani Moghadam et al., 2018).

به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در اقلیم حاره‌ای در کشور مالزی، زولکارنین و همکاران (Zulkarnian et al., 2014) از دو مدل LARS-WG و SDSM استفاده نمودند. نتایج نشان داد که خروجی مدل SDSM عملکرد بالاتری نسبت به مدل LARS-WG دارد. بطور کلی روند تغییرات بارش روزانه در SDSM بیشتر از LARS-WG می‌باشد و در هر دو مدل در مقادیر دمای متوسط روزانه، روند افزایشی مشاهده گردیده است. در ارزیابی دما و بارندگی حوضه آبریز تانزانیا با استفاده از GCM و ریزمقیاس‌نمایی SDSM، گولاچا و مولانگو (Gulacha and Mulungu, 2017) نتیجه گرفتند که میانگین حداکثر و حداقل دما، روندی افزایشی خواهد داشت. در مطالعه‌ای دیگر نتایج عملکرد مدل SDSM در مقایسه با مدل LARS-WG توسط حسن و همکاران (Hassan et al., 1998) نشان داد که عملکرد مدل SDSM نسبت به مدل LARS-WG بهتر است. همچنین، هر چند که نتایج یکسانی در دو مدل ارائه نشد، اما روند افزایشی میانگین درجه حرارت روزانه در خروجی هر دو مدل مشاهده گردید. بوچینانی و همکاران (Bucchignani et al., 2018) وضعیت آب و هوای آینده در خاورمیانه

و بارش در ایستگاه قوچان با اقلیم سرد معتدل و ایستگاه تایباد با اقلیم گرم و خشک بر اساس عملکرد مدل‌های SDSM، LARS-WG و ANN صورت گرفته است. در این تحقیق سعی بر این است که کارایی سه مدل با در نظر گرفتن معیارهای خطا در شبیه‌سازی متغیرهای کمینه و بیشینه دما و بارش روزانه در دو اقلیم مختلف، بررسی و مقایسه گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

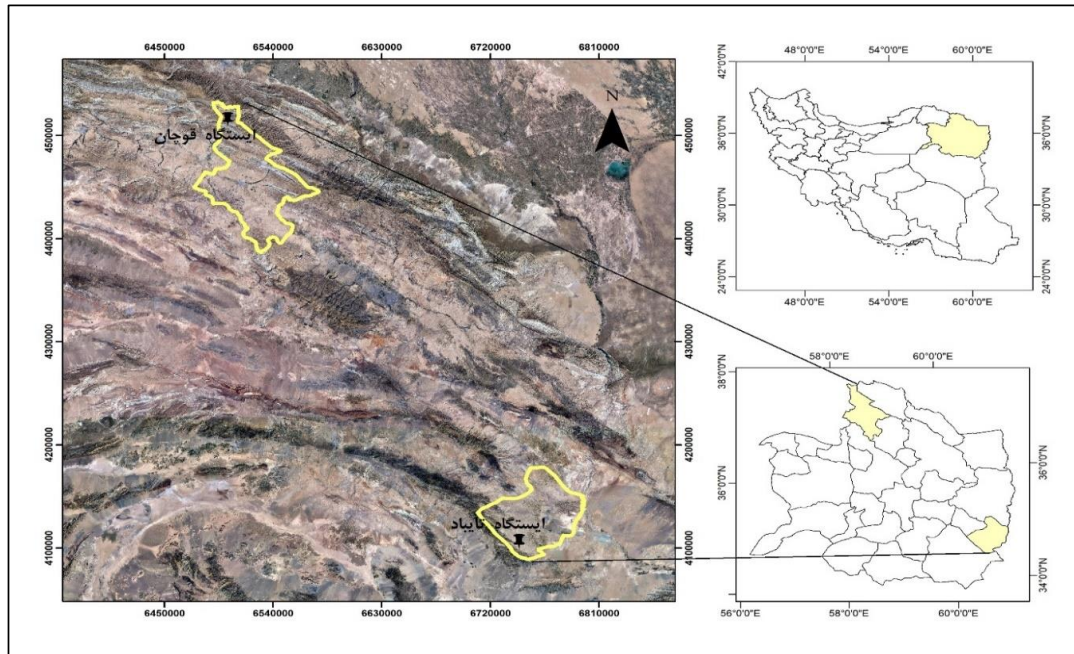
محدوده‌ی مطالعاتی، شامل ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان‌های تایباد و قوچان در استان خراسان رضوی می‌باشد. تایباد، مرکز شهرستان تایباد و در نزدیک مرز ایران و افغانستان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی آن بین مدار ۶۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۸۰۶ متر است. بطور کلی اقلیم گرم و خشک بر آن حاکم است. قوچان مرکز شهرستان قوچان، در شمال خراسان رضوی و در مدار جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی تا ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. با توجه به شرایط کوهستانی قوچان، اقلیم این شهر سرد و معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است و ارتفاع قوچان از سطح دریا ۱۳۵۰ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت این دو ایستگاه را در سطح ایران و استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر، به‌منظور استفاده از مؤلفه‌های هواشناسی بارش و کمینه و بیشینه دمای روزانه، جهت به‌کارگیری در مدل‌های اقلیمی ریزمقیاس‌نمایی SDSM و ANN، پارامترهای مذکور برای ایستگاه‌های همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی تایباد و قوچان تهیه و دریافت شد. مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در محدوده زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ انتخاب و مقایسه میانگین بلندمدت ماهانه مؤلفه‌های اقلیمی (بارش، دمای بیشینه و کمینه) مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه‌های همدیدی تایباد و قوچان طی دوره‌های واسنجی (۱۹۹۹) - (۱۹۸۶) و دوره اعتبار سنجی (۲۰۰۵) - (۲۰۰۰) با استفاده از مدل‌های مقیاس‌کاهی مذکور

و شمال آفریقا را با مدل Cosmo-Clim شبیه‌سازی نمودند. نتایج بر افزایش دما و کاهش بارش دلالت دارد. در پژوهشی جهت کوچک‌سازی دما و بارش، کارایی سه روش کوچک‌سازی آماری LARS-WG، SDSM و ANN در شمال غربی ایران توسط حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2020) مقایسه شد. نتایج نشان داد برای پیش‌بینی بارش، مدل SDSM بهترین کارایی را در بین مدل‌ها دارد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی متغیرهای اقلیمی حوضه سیمره، نادری و همکاران (Naderi et al., 2017) از مدل SDSM بهره گرفتند. نتایج شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دمای میانگین نشانگر عملکرد مناسب این مدل بود. رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2014) کارایی مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای دما در دو اقلیم خشک و فراخشک بررسی نمودند. نتایج نشان داد که این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از عملکرد بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. استفاده از مدل LARS-WG به‌منظور بررسی پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی در شهرستان کرمان توسط جعفری گدنه و همکاران (Jafari Godeneh et al., 2019) انجام گردید. نتایج نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل LARS-WG در پیش‌بینی دما و کارایی متوسط آن برای بارندگی است. در پژوهش‌های علیزاده و زهرایی (Alizadeh and Zahraei, 2014) و گودرزی و همکاران (Goudarzi et al., 2016) عملکرد مدل‌های SDSM و LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای هواشناسی بررسی گردید. یافته‌ها در اقلیم سرد و نیمه‌خشک بیانگر دقت بیشتر هر دو مدل در شبیه‌سازی پارامتر دما می‌باشد.

در مجموع با بررسی منابع و نتایج بدست آمده، هیچ یک از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی برتری مطلق بر مدل دیگر ندارد و با توجه به نوع متغیر و اقلیم موردنظر، می‌توانند در بررسی‌های تغییرات اقلیمی مفید واقع شوند. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی مبنی بر مقایسه دو اقلیم متفاوت در سطح استان خراسان رضوی با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی انجام نشده است. بنابراین مطالعه پیش‌رو با هدف کوچک‌مقیاس‌سازی پارامترهای دما



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران

Fig 1. Location of study area in Iran

آینده را شبیه‌سازی می‌کند. این سناریوهای انتشار و خروجی مدل‌های اقلیمی در داخل مدل تعریف شده است و عملاً نیازی به پایگاه داده نمی‌باشد.

مدل SDSM

این مدل ترکیبی از دو روش تولید داده‌های آب و هوایی غیرقطعی و روش رگرسیونی خطی می‌باشد که توسط ویلیبی و همکاران توسعه داده شد (Wilby et al., 2002). مدل SDSM از چهار بخش تشکیل شده است. ۱- تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده، ۲- واسنجی مدل، ۳- صحت‌سنجی مدل و ۴- شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی. داده‌های ورودی این مدل شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاهی و داده‌های بزرگ‌مقیاس مراکز ملی پیش‌بینی محیطی^۱ (NCEP) و خروجی مدل‌های اقلیمی که از نزدیک‌ترین شبکه جهانی به دست آمده است. مدل SDSM در مرحله غربال‌سازی و واسنجی، با اعمال آزمون‌های همبستگی، همبستگی جزئی و همبستگی متقابل بین متغیر اقلیمی (پیش‌بینی شونده) و داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP (پیش‌بینی کننده)، بهترین متغیر پیش‌بینی کننده را برای محل و متغیر اقلیمی مورد نظر انتخاب می‌نماید. سپس

استخراج گردید.

مدل LARS-WG

مدل LARS-WG مولد تصادفی آب و هوا است که با بهره‌گیری از توزیع نیمه تجربی به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی می‌پردازد. این مدل، به منظور تولید داده‌های آب و هوایی، از تکنیک‌های آماری استفاده می‌کند و به دلیل تکرار محاسبات، نیاز به داده‌های ورودی کم و سادگی، کاربرد بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (Wilks, 1992). LARS-WG از سه قسمت واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های آینده تشکیل شده است. برای این منظور ابتدا، ویژگی‌های آماری داده‌های دیده‌بانی تعیین و تحلیل می‌شود؛ سپس، مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی، اقدام به بازتولید آن‌ها کرده و خصوصیات آماری این داده‌های مصنوعی را تعیین می‌نماید. در این مرحله، مدل از یک توزیع نیمه تجربی برای نمایش توزیع تجربی داده‌های مشاهداتی استفاده می‌کند. گام بعدی، مدل داده‌های مشاهداتی و بازتولید شده را از نظر آماری آنالیز کرده و در راستای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده محدوده مطالعاتی، با وارد کردن سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، به همراه خروجی مدل‌های اقلیمی به داده‌های دوره پایه باز تولید شده، تغییرات اقلیمی

1. National Centers for Environmental Prediction

که در این رابطه، N داده‌های استاندارد شده؛ X_i داده‌های مشاهده شده؛ X_{\min} حداقل داده‌های مشاهده شده و X_{\max} حداکثر داده‌های مشاهده شده می‌باشد. در شبکه‌های عصبی، برای انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه بعدی، از یک تابع محرک استفاده می‌شود (Maan et al., 2016). در پژوهش حاضر از توابع لوگ سیگموئید، تانژانت سیگموئید و خطی استفاده گردید. همچنین، به منظور ساخت شبکه از کدنویسی در محیط نرم‌افزار R-studio استفاده و پس از استاندارد نمودن داده‌ها، مقدار ۷۰ درصد آن برای آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده برای آزمون در نظر گرفته شد.

ارزیابی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی

به‌منظور مقایسه عملکرد روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مورد ارزیابی در این مطالعه، از پارامترهای ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۲)، میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۳)، و خطای مطلق میانگین (MAE) (رابطه ۴) استفاده شد.

ضریب تبیین عددی بین صفر و یک بوده و معمولاً با درصد عنوان می‌گردد. در خصوص میانگین مربعات خطا و خطای مطلق میانگین، واحد اندازه‌گیری با توجه به پارامتر موردنظر عنوان شده و هر چه این اعداد کمتر بوده و به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل می‌باشد.

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{N} \quad (4)$$

نتایج و بحث

ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل SDSM

نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی مدل SDSM در خصوص ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در داده‌های مشاهداتی و داده‌های ریزمقیاس شده توسط مدل SDSM نشان داد که دقت مدل در برآورد بیشینه و کمینه‌ی دما در هر

آن را برای پیش‌بینی اقلیم آینده در نظر می‌گیرد. در نهایت، با برقراری ارتباط بین خروجی مدل‌های اقلیمی و داده‌های مصنوعی ایجادشده توسط پیش‌بینی کننده‌های NCEP، داده‌های ریزمقیاس شده برای متغیرهای اقلیمی در محدوده مطالعاتی ایجاد می‌گردد (Kilsby et al., 2007).

مدل ANN

مدل شبکه عصبی مصنوعی مدل ساده‌شده‌ای از سیستم عصبی طبیعی بوده و همانند مغز با پردازش روی داده‌های تجربی، قابلیت یادگیری دارد. برتری شبکه عصبی، یادگیری مستقیم از روی داده‌ها بدون نیاز به برآورد مشخصات آماری آن‌ها است. این روش بدون دانش قبلی از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به پیدا کردن رابطه بین مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی خروجی متناظر با ورودی دلخواه می‌باشد (Erfanian et al., 2012). شبکه عصبی انتخاب شده برای تحلیل داده‌ها و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، متشکل از لایه ورودی، میانی و خروجی است که معماری آن بر مبنای ارتباطات بین نرون‌ها در لایه‌های مختلف می‌باشد. در تخمین تعداد نرون‌ها، شبکه مورد نظر با تعداد نرون‌های مختلف آزمایش شد و سرانجام شبکه با تعداد ۲ نرون انتخاب گردید. روش و قانون خاصی برای انتخاب و تعبیه تعداد مناسب نرون‌های لایه‌ها وجود ندارد و این کار بسته به تجربه و مهارت کاربر شبکه عصبی و از طریق آزمون و خطا انجام می‌شود.

در پژوهش حاضر به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های هواشناسی از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده گردید که یک شبکه پیش‌خور چندلایه، شامل یک ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشد. اولین مرحله قبل از ورود داده‌ها به شبکه عصبی مصنوعی، استاندارد نمودن آن‌ها است. از آنجایی که داده‌های ورودی خام، سرعت و دقت شبکه را کاهش می‌دهد، بایستی داده‌های ورودی به شبکه استاندارد گردند. در این پژوهش، به‌منظور نرمال کردن، داده‌ها بین ۰/۱ و ۰/۹ از رابطه (۱) استفاده گردید.

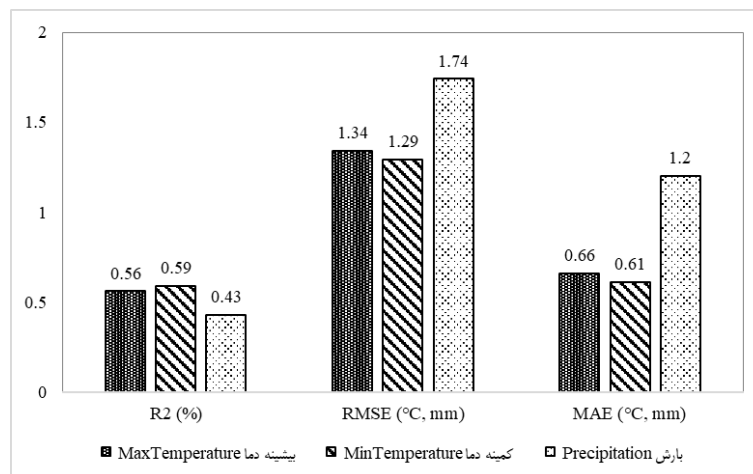
$$N = 0.8 \times \left[\frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right] + 0.1 \quad (1)$$

و ۰/۵۳ حاصل گردیده است و میزان خطای مدل نیز برای این پارامتر کمینه می‌باشد. دو ایستگاه تایباد و قوچان بالاتر از بارش است. بالاترین ضریب تبیین مدل برای پارامتر کمینه‌ی دما بوده که در ایستگاه‌های تایباد و قوچان به ترتیب مقادیر ۰/۵۹

جدول ۱. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

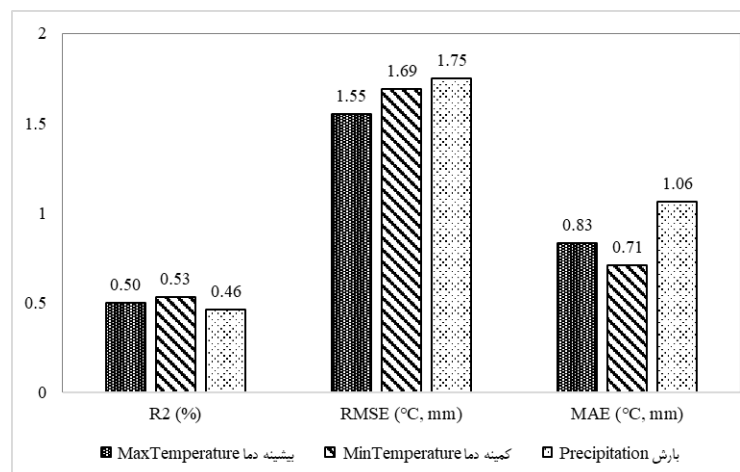
Table 1. Results of SDSM downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R ²)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.56	1.34	0.66
	کمینه دما Min Temperature	0.59	1.29	0.61
	بارش Precipitation	0.43	1.74	1.20
قوچان Ghouchan	بیشینه دما Max Temperature	0.50	1.55	0.83
	کمینه دما Min Temperature	0.53	1.69	0.71
	بارش Precipitation	0.46	1.75	1.06



شکل ۲. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در ایستگاه تایباد

Fig 2. Results of SDSM downscaling model in Taybad station



شکل ۳. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در ایستگاه قوچان

Fig 3. Results of SDSM downscaling model in Ghouchan station

نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل

LARS-WG

جدول (۲) و اشکال (۴) و (۵)، نشان‌دهنده شاخص‌های ضریب تبیین، ریشه مجذور مربعات خطا و میانگین مطلق خطا برای داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های تایباد و قوچان با استفاده از مدل LARS-WG می‌باشد. دقت مدل در برآورد بیشینه و کمینه‌ی دما در ایستگاه تایباد بالاتر از ایستگاه قوچان است. در رابطه با پارامتر بارش نیز دقت مدل LARS-WG در هر دو ایستگاه تقریباً مشابه بود و خطای قابل قبولی نیز داشت. اما در مقایسه با مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی بارش نتایج مدل LARS-WG ضعیف‌تر می‌باشد. همسو با نتایج این تحقیق، هاشمی و همکاران (Hashemi et al., 2011) به منظور ارزیابی دقت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در حوضه کلوسا واقع در جنوب نیوزیلند، دو روش SDSM و LARS-WG را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که دقت دو روش مشابه یکدیگر بوده و می‌توان از هر دو روش برای مطالعات تغییر اقلیم بهره‌گرفت.

همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج پژوهش عساکره و مطلبی‌زاده (Asakare and Motalebizad, 2017) نشان داد خروجی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما در ایستگاه سسینوپتیک ارومیه هرچند در بعضی ماه‌ها با واقعیت تفاوت کمی داشته، اما نتایج شبیه‌سازی آن نزدیک به داده‌های واقعی می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای، دقت سه روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG، SDSM-DC و SVM مورد ارزیابی قرار گرفت (Duan and Mei, 2014). نتایج گویای این واقعیت بود که دقت مدل‌های SDSM و LARS در تعیین شاخص‌های حدی اقلیمی از مدل SVM بالاتر است. یافته‌های این تحقیق، با نتایج مطالعات مشابه سایر پژوهشگران در زمینه ریزمقیاس‌نمایی با مدل SDSM هم‌خوانی دارد. در این راستا، مطالعات گودرزی و همکاران (Goudarzi et al., 2016) و قاسمی‌فر و همکاران (Ghasemifar et al., 2016) نشان داد که مدل SDSM دارای توانایی مناسبی در شبیه‌سازی دمای حداقل بوده و بالاترین ضریب تبیین و پایین‌ترین خطای مدل نیز مربوط به کمینه‌ی دما می‌باشد.

جدول ۲. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

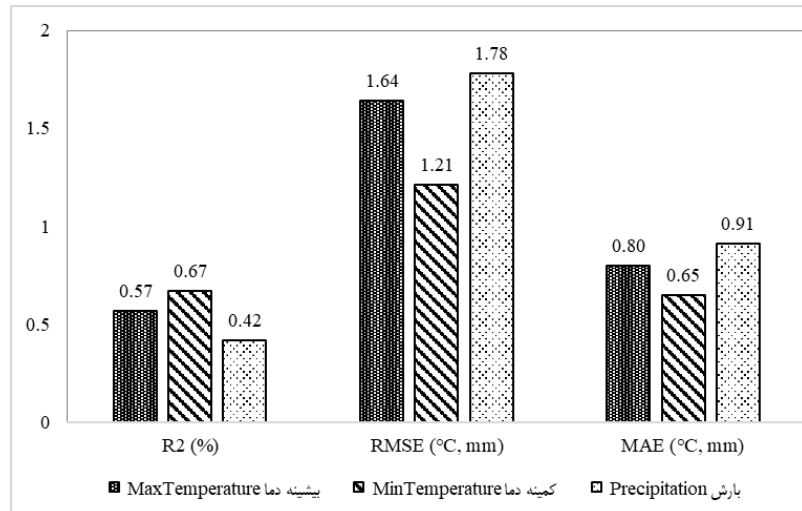
Table 2. Results of LARS-WG downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R ²)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.57	1.64	0.80
	کمینه دما Min Temperature	0.67	1.21	0.65
قوچان Ghouchan	بارش Precipitation	0.42	1.78	0.91
	بیشینه دما Max Temperature	0.52	1.59	0.95
	کمینه دما Min Temperature	0.66	0.94	0.43
	بارش Precipitation	0.43	1.70	0.91

به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر تشابه بیشتر بین رفتار داده‌های تولیدشده و رفتار داده‌های مشاهداتی است. همسو با یافته‌های این پژوهش، زرفشانی و جهانگیر (Zarfeshani and Jahangir, 2021) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی مقادیر دما و بارش استان اصفهان بر اساس دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS و SDSM

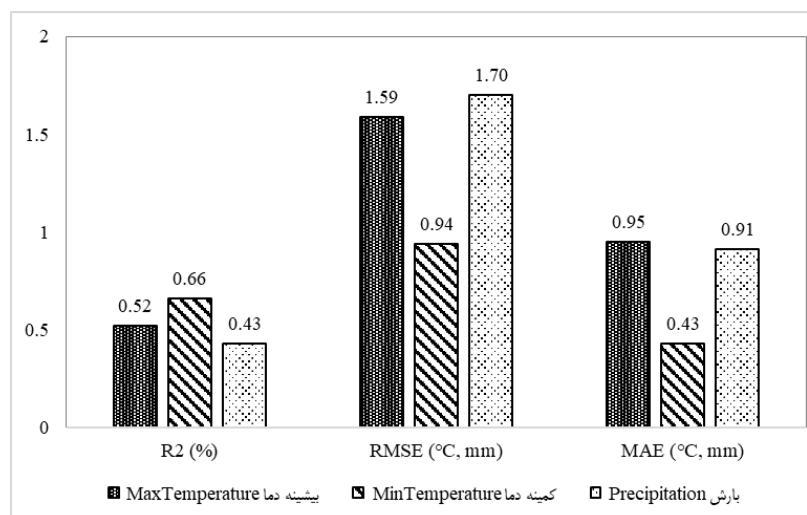
ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از ANN

ضریب تبیین، ریشه مجذور مربعات خطا و میانگین مطلق خطا داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های سسینوپتیک تایباد و قوچان در جدول (۳) و شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، مقدار ضریب تبیین هرچه



شکل ۴. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در ایستگاه تایباد

Fig 4. Results of LARS-WG downscaling model in Taybad station



شکل ۵. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در ایستگاه قوچان

Fig 5. Results of LARS-WG downscaling model in Ghouchan station

مقادیر متوسط دمای روزانه ایستگاه همدیدی ارومیه معرفی نمود. در واقع مدل ANN کمترین میزان دقت و بیشترین میزان خطا را به خود اختصاص داده است. نظیف و همکاران (Nazif et al., 2009) نیز دقت مدل ANN را در ریزمقیاس‌نمایی مقادیر بیشینه دمای روزانه ضعیف معرفی نمودند. همسو با پژوهش حاضر، سلاجقه و همکاران، (Salajegheh et al., 2017) اعلام داشتند که در دو ایستگاه کرمانشاه و روانسر، در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دماهای حداقل و حداکثر روزانه، عملکرد دو الگوی SDSM و LARS-WG قابل توجه و مناسب است. این نتایج با مطالعه سبحانی و همکاران (Sobhani et al., 2017) که به منظور ارزیابی الگوهای ریزمقیاس‌نمایی

و روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی گزارش نمودند که میزان دقت مدل ریزمقیاس‌نمایی شبکه‌ی عصبی کمتر از دو مدل دیگر می‌باشد. در تأیید یافته‌های صحت‌سنجی مدل شبکه عصبی مصنوعی در این تحقیق، می‌توان به نتایج مطالعه امیرآبادی و همکاران (Amirabadizadeh et al., 2018) اشاره کرد. آن‌ها در بررسی روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیونی جهت ریزمقیاس‌نمایی مقادیر دمای روزانه گزارش نمودند که می‌توان شش مدل رگرسیون بردار پشتیبان، رگرسیون چند متغیره، برنامه‌ریزی ژنتیک، سیستم‌های استنتاج فازی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را به ترتیب بر اساس میزان دقت و کارایی مدل در جهت برآورد و شبیه‌سازی

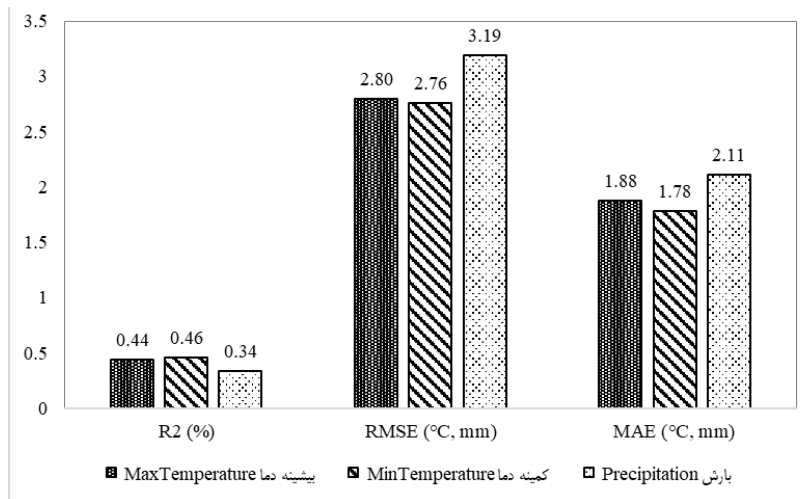
جعفرزاده و همکاران (Jafarzadehet al., 2016)، دو روش یادشده را در دشت بیرجند، بررسی نمودند و در نهایت اذعان به عملکرد مطلوب آن‌ها داشتند.

آمارای SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی حوضه آبریز دریاچه ارومیه صورت گرفته است، هم‌راستا می‌باشد. همچنین در بررسی دیگری،

جدول ۳. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

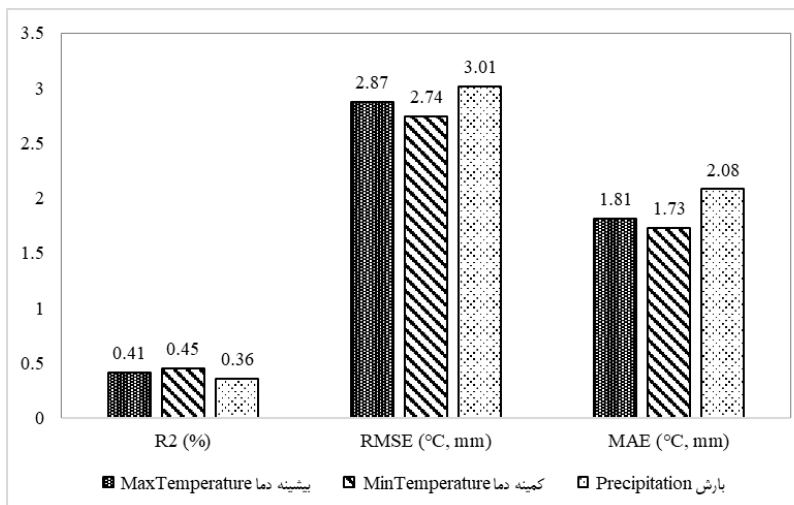
Table 3. Results of ANN downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R ²)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.44	2.80	1.88
	کمینه دما Min Temperature	0.46	2.76	1.78
	بارش Precipitation	0.34	3.19	2.11
قوچان Ghouchan	بیشینه دما Max Temperature	0.41	2.87	1.81
	کمینه دما Min Temperature	0.45	2.74	1.73
	بارش Precipitation	0.36	3.01	2.08



شکل ۶. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در ایستگاه تایباد

Fig 6. Results of ANN downscaling model in Taybad station



شکل ۷. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در ایستگاه قوچان

Fig 7. Results of ANN downscaling model in Ghouchan station

- the Daily Rainfall. The Sixteenth Conference of Iran Geophysics, Tehran, Iran. [In Persian]
- Amirabadizadeh, M., Nazeri Tahroudi, M. & Zeynali, M.J. (2018). Evaluation of the Accuracy of Artificial Intelligence and Regression Models for the Simulation of Daily Temperature, *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 1(1), 65-76. [In Persian]
- Artlert, K., Chaleeraktragoon, Ch. & Nguyen, V. (2013). Modeling and Analysis of Rainfall Processes in the Context of Climate Change for Mekong, Chi and Mun River Basins (Thailand), *Hydro- environment Research*, 7(1), 2-17.
- Asakare, H. & Motalebizad, S. (2017). Comparing the performance of the SDSM models and those based on artificial neural networks in predicting the changes in minimum temperatures (station in case: Urmia), *The Journal of Spatial Planning*, 21(4), 140-160. [In Persian]
- Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, G.A. & Davari, K. (2011). Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Water and Soil*, 25(4), 940-952. [In Persian]
- Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H. & Montesarchio, M. (2018). Climate Change Projections for the Middle East-North Africa Domain with COSMO-CLM at Different Spatial Resolutions, *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66-80.
- Delghandi, M., Joorablou, S. & Ganji Nowroozi, Z. (2023). The impact of climate change on severity, duration and magnitude of drought using SPI and RDI in the Semnan region, *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 1-18.
- Duan, K. & Mei, Y. (2014). A comparison study of three

نتیجه‌گیری

بارش، دما و بررسی تغییرات این پارامترها از مهم‌ترین عوامل در تعیین تغییرات اقلیمی می‌باشند. در این راستا استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو کارایی زیادی دارد. اما این مدل‌ها به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن آن‌ها قادر به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در مقیاس محلی نمی‌باشند و لازم است که از روش‌های مختلف کوچک‌مقیاس‌سازی استفاده گردد. از بین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، روش‌های آماری در مدت زمان بسیار کوتاه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک ایستگاه در چندین دوره آینده انجام می‌دهند. از این رو کاربرد فراوانی دارند. بدین منظور در مطالعه‌ی حاضر، سه مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری شامل LARS-SDSM، WG و ANN در برآورد پارامترهای اقلیمی بارش روزانه و کمینه و بیشینه‌ی دمای روزانه در دو ایستگاه تایباد و قوچان مقایسه شدند. با مقایسه هر سه مدل مورد بررسی، نتایج نشان داد که مدل‌های LARS-WG و SDSM کم‌ترین میزان خطا را در شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای روزانه دارند و کارایی این دو مدل نسبت به روش ANN در شبیه‌سازی اقلیمی بیشتر است. با توجه به نتایج بدست آمده و معیارهای آماری مورد بررسی، مدل ANN دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به سایر مدل‌ها در پیش‌بینی است. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل‌های SDSM و LARS از دقت بالاتری در شبیه‌سازی مقادیر پارامترهای اقلیمی دمای روزانه در ایستگاه‌های تایباد و قوچان نسبت به مدل ANN برخوردار می‌باشند. در نهایت یافته‌های پژوهش نشان داد که روش‌های ارائه شده می‌تواند در پیش‌بینی سایر پارامترهای اقلیمی در مطالعات آتی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در انتها پیشنهاد می‌شود محققان در تحقیقات آینده، روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مبتنی بر ترکیب مدل‌های هوش مصنوعی را مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ارائه شده می‌تواند با روش‌های دیگر ریزمقیاس‌نمایی آماری و دینامیکی مورد مقایسه قرار گیرند.

منابع

- Alizadeh, H. & Zahraei, B. (2014). Comparison of Statistical Downscaling Models in Simulation of

- (2020). Assessing the Impact of Climate Change over the Northwest of Iran: An Overview of Statistical Downscaling Methods, *Theoretical and Applied Climatology*, 141(1), 1-16.
- Helmi, M. & Shahidi, A. (2023). The using of SPI and SPEI indices in evaluating the effect of drought on quality of surface water resources (Case study: Kashafroud river), *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 83-96.
- Jafari Godeneh, M., Salajegh, A. & Haghighi, P. (2019). Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models, *EcoHydrology*, 7(2), 529-538. [In Persian]
- Jafarzadeh, A., Khashei-Siuki, A. & Shahidi, A. (2016). assessment of statistical downscaling methods LARS-WG & SDSM in forecast of climate parameter variation, *Journal of Water and Soil conservation*, 23(4), 309-322. [In Persian]
- Kilsby, C., Jones, P., Burton, A. & Ford, A. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies, *Environmental Modelling & Software*, 22, 1705-1719.
- Kundu, S., Khare, D. & Mondal, A. (2017). Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance, *Ecological Engineering*, 105, 42-57.
- Maan, A. K., Jayadevi, D. A. & James, A. P. (2016). A survey of memristive threshold logic circuits, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 28(8), 1734-1746
- Naderi, S., Goodarzi, M. & Ghadmi Dehno, M. (2017). The Effect of Climate Change on Climatic Parameters in Seymareh Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(39), 69-76. [In Persian]
- Nazif, S., Karamouz, M., Falahi, M. & Rahimi Farahani, M. (2009). Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network statistical downscaling methods and their model-averaging ensemble for precipitation downscaling in China, *Theoretical and Applied Climatology*, 116, 707-719.
- Erfanian, M., Ansari, H. & Alizadeh, A. (2012). Forecasting Precipitation and Temperature Using Artificial Neural Networks (Case Study: Mashhad Station), *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 3(11), 53-73. [In Persian]
- Ghasemifar, E., Alijani, B. & Salighe, M. (2016). Investigating the temperature changes of the southern shores of the Caspian Sea using three models, LARSWG, SDSM and Artificial Neural Network, *Journal of Natural Geography*, 9(4), 23-41. [In Persian]
- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hosseini, S. A. (2016). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9(31), 11-22. [In Persian]
- Gulacha Metekiya, M. & Mulungu Deogratias, M.M. (2017) Generation of Climate Change Scenarios for Precipitation and Temperature at Local Scales Using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania, *Physics and Chemistry of The Earth*, 100, 62-72.
- Hashemi, M.Z., Shamsedin, A.Y. & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484.
- Hassan, H., Aramaki, T., Hanaki, K., Matsu, T. & Wilby, R.L. (1998). Lake Stratification and Temperature Profiles Simulated Using Downscaled GCM Output, *Water Science and Technology*, 38(11), 217-226.
- Hosseini, A., Eslahi, M., Sheikhabaei, A. & Seifi, A. J.

- (2015). Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin, China, *Water Science and Engineering*, 4, 273-281.
- Wilby, R. L., Dawson, C.W. & Barrow, E.M. (2002). SDSM-A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts, *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17(2), 145-157.
- Wilks, D. (1992). Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies, *Climate Change*, 22, 67-84.
- Wilks, D.S. & Wilby, R.L. (1999). The Weather Generation game: a review of Stochastic Weather Models, *Progress in Physical Geography*, 23(3), 329-357.
- Yoosefdoost, I., Khashei-Siuki, A., Mohammadrezapour, O. & Tabari, H. (2021). Evaluating Performance of Four Statistical Downscaling Models (SDSM) of Precipitation and Temperature Data under the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Scenario, *Journal of Climate Research*, 12(45), 43-66. [In Persian]
- Zarfeshani, A. & Jahangir, M.H., (2021). The Isfahan values of Temperature and Precipitation Forecast Based on Two Fine scale models LARS-WG and SDSM and Artificial Neural Network Method, *Iranian journal of Irrigation and Drainage*, 15(1), 23-49. [In Persian]
- Zulkarnian, H., Shamsudin, S. & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, 116(1-2), 243-257.
- modeling, *International Journal of Science & Technology*, 16(2), 166-172.
- Ramezani Moghadam, J., Yaghoobzadeh, M. & Jafarzadeh, A. (2018). Examination of Feature Selection Methods for Downscaling of Daily Precipitation in Two Different Climates, *Journal of Water and Soil*, 32(4), 831-848. [In Persian]
- Refsgaard, J.C., Atnbjerg-Nielsen, K., Drews, M., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Markandya, A., Olesen, J.E., Porter, J.R. & Christensen, J.H. (2013). The Role of Uncertainty in Climate Change Adaptation Strategies – A Danish Water Management Example, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3), 337-359.
- Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M. & Mirkazehi Rigi, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam), *Journal of Watershed Management Research*, 5(10), 117-131. [In Persian]
- Salajegheh, A., Rafiei Sardoi, E., Moghadamnia, A., Malekian, Ar., Araghinejad, S., Khalighi Sigarodii, Sh. & Saleh Pourjam, A. (2017). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Precipitation and Temperature, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), 253-262. [In Persian]
- Samadi, S., Ehteramian, K. & Sarraf, B.S. (2011). SDSM Ability in Simulate Predictors for Climate Detecting over Khorasan Province, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 3, 741-749.
- Sobhani, B., Eslahi, M. & Babaeian, I. (2017). Comparison Of Statistical Downscaling in Climate Change Models to Simulate Climate Elements in Northwest Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 49(2), 301-325. [In Persian]
- Tao, X.E., Chen, H., Xu, C.Y., Hou, Y.K. & Jie, M.X.

Journal of Drought and Climate change Research JDCR



Winter, 2024, Vol. 1, No.4

- The Effect of Main Components of Climate Change on Photosynthetic Efficiency and Grain Yield of Wheat Genotypes under Rainfed Conditions** 1
Farzaneh Eslami Senoukesh, Leila Zarandi-Miandoab, Ramin Lotfi, Amin Abbasi, Nader Chaparzadeh
- Zoning of Drinking Water Quality Using Entropy Method and Its Relationship With the Drought (Case Study: Abdalan Aquifer, Gachsaran)** 17
Akbar Khedri, Taleb Moradinejad, Majid Dashti Barmaki, Marzie Eskandari
- Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (Chamaecytisus palmensis) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy** 37
Shahab Eghbali Shahabad, Mohammad Hasan Rahimian, Hadi Zare Khormizi
- Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level, Flow Direction and Unit Hydrograph of the Kahorestan Plain Aquifer** 57
Tanan Dastandaz, Adnan Sadeghi-Lari, Mehdi Bahrami
- Evaluation of Different Drought Indices to Find the Most Applicable Index (Case Study: Aleshtar Plain)** 71
Atefe Amiri, Siamak Baharvand, Mozhgan Rad
- Effect of Drought Stress on Morphological Characteristics of Tehran Pine (Pinus eldarica Medw.) and Chinaberry (Melia azedarach L.) at Various Ages** 87
Mohammad Asgari, Mohsen Javanmiri Pour, Vahid Etemad, Khaled Ahmadaali
- Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN Methods in Downscaling of Temperature and Precipitation for Two Different Climates** 105
Mahtab Helmi, Sepideh Zeraati Neyshabouri, Mahdi Amirabadizadeh, Mostafa Yaghoobzadeh

