Environment and
Water Engineering
ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب
شاپک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی بر پایه شاخص چندمتغیره HDMI

محمد ناظری تهرودی، یوسف رمضانی و فرشاد احمدی

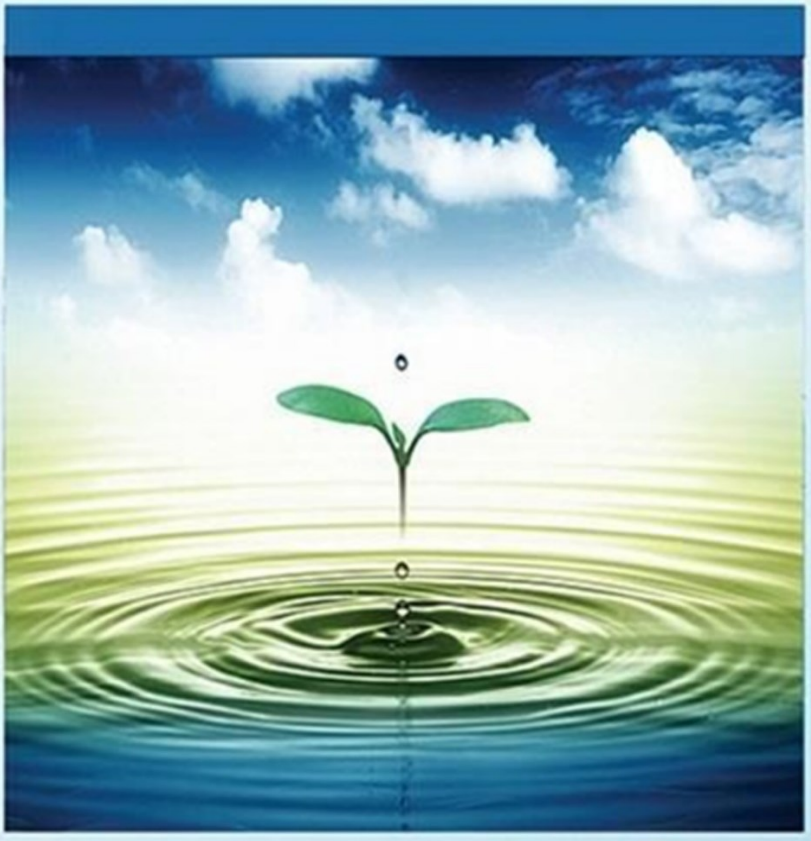
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۴۸۴- ۴۷۳

Vol. 6(4), Winter 2020, 473 – 484

DOI: 10.22034/jewe.2020.242609.1401

Hydrogeological Drought Management Based on HDMI Multivariate Index

Nazeri Tahroudi M. , Ramezani Y. and Ahmadi F.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

ناظری تهرودی م.، رمضانی ی. و احمدی ف. (۱۳۹۹). مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی بر پایه شاخص چندمتغیره HDMI. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۴۸۴-۴۷۳.

Citing this paper: Nazari Tahroudi M., Ramezani Y. and Ahmadi F. (2020). Hydrogeological drought management based on HDMI multivariate index. Environ. Water Eng., 6(4), 473–484. DOI: 10.22034/jewe.2020.242609.1401.

مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی بر پایه شاخص چندمتغیره HDMI

محمد ناظری تهرودی[۱]، یوسف رمضانی[۲*] و فرشاد احمدی[۳]

[۱]دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[۲]دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[۳]استادیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[*]نویسنده مسئول: y.ramezani@birjand.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۵/۱۵] **تاریخ بازنگری:** [۱۳۹۹/۰۶/۲۰] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۹/۰۶/۲۴]

چکیده

در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از مقادیر ماهانه دبی برداشت چاه‌های کشاورزی، تراز سطح ایستابی و مقادیر کیفی هدایت الکتریکی مناطقی از استان خراسان جنوبی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲، محدودیت‌های بهره‌برداری از دشت موردبررسی قرار گیرد. در این راستا، از تلفیق شاخص‌های منبع آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی اصلاح‌شده و دبی برداشت استانداردشده استفاده شد. در نهایت جهت مدیریت خشک‌سالی آب زیرزمینی و بررسی خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی از شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی HDMI استفاده شد. شاخص HDMI یکی از شاخص‌های مفید و کاربردی در این زمینه می‌باشد که کم‌تر موردبررسی قرارگرفته است. نتایج نشان داد که در سطح منطقه موردمطالعه خشک‌سالی آب زیرزمینی در مناطق جنوب شرق محدوده موردمطالعه وجود دارد. شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی در محدوده موردمطالعه نشان داد که بهره‌برداری از آب زیرزمینی در بیش‌تر نواحی منطقه موردمطالعه با مشکل مواجه شده و بهره‌برداری از آب زیرزمینی این مناطق باید با تأمل بیش‌تری انجام شود. با توجه به نتایج شاخص HDMI، حدود ۸۶٪ مناطق موردمطالعه در وضعیت بهره‌برداری محدود، ۱۰٪ در وضعیت بهره‌برداری بدون مشکل و ۴٪ در وضعیت عدم بهره‌برداری قرار دارد. به‌طورکلی نتایج بررسی شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی در سطح منطقه موردمطالعه نشان داد که این شاخص توانایی بالایی در ارائه مدیریت صحیح آبخوان و آبخوان‌داری داشته و کمک شایانی به متصدیان امور آب در کشور دارد. با تکیه بر نتایج حاصله می‌توان بهره‌برداری آب در سطح آبخوان را محدود کرده و تبع آن تحویل آب را مدیریت نمود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی؛ چاه‌های کشاورزی؛ خشک‌سالی؛ دبی برداشت؛ هدایت الکتریکی.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها شده و این تغییر باعث غیریکنواختی توزیع بارش‌ها شده و بر منابع آب تأثیر می گذارد. نظر به اهمیتی که مسئله خشک‌سالی دارد، پژوهشات فروانی برای مطالعه آن صورت گرفته است. در گذشته، بسیاری از مطالعات از زنجیره مارکوف برای شناسایی ویژگی-های خشک‌سالی استفاده می‌کردند (Alam et al. 2013; Habibi et al. 2018; Paulo and Pereira, 2007; Paulo et al. 2005). یکی از شاخص‌های خشک‌سالی پرکاربرد، شاخص بارش استانداردشده (SPI[1]) می‌باشد که توسط McKee et al. (1993) معرفی شد. یکی از بخش‌های متأثر از شرایط بلندمدت خشک‌سالی، منابع آب زیرزمینی هستند که متأسفانه کم‌تر از سایر بخش‌ها موردتوجه قرارگرفته است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به دلیل کمبود بارش موجب افت سطح آب زیرزمینی می‌شود (Mendicino et al. 2008; Yeh, and Hsu, 2019).

در سال‌های گذشته شاخص‌های مختلفی برای پایش خشک‌سالی توسعه‌یافته است. برای مثال SPI که برای پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی به کار می‌رود و از داده‌های بارش استفاده می‌کند. شاخص درصد از نرمال (PN[2]) که مفهوم اساسی آن تقسیم بارش واقعی بر بارش نرمال است (Faryabi and Mozaffarizade 2017). شاخص شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI[3]) که پارامترهای مانند دما، بارش، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق را به‌کار می‌رود. شاخص خشک‌سالی احیایی (RDI[4]) نیز بر اساس فاکتورهای اقلیمی و هواشناسی، سطح آب رودخانه، بارش برف، جریان‌های سطحی، ذخایر آب و همچنین دما محاسبه می‌شود. شاخص بارش مؤثر (ERI[5]) به‌عنوان یکی از شاخص‌های جدید خشک‌سالی در سال‌های اخیر ارائه‌شده است. این شاخص بر اساس تحلیل‌های کمی از بارش مؤثر روزانه استوار است.

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI[6]) نیز شاخصی جدید بوده و برای پایش خشک‌سالی آب زیرزمینی معرفی‌شده و از داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی برای پایش خشک‌سالی آب زیرزمینی استفاده می‌کند. مورد شاخصی که به‌صورت هم‌زمان بخش کیفی و کمی آب زیرزمینی را مدنظر قرار دهد، مطالعات زیادی صورت نگرفته است. Rebetez et al. (2006) نشان دادند اگرچه خشک‌سالی‌های تابستان ۲۰۰۳ در نواحی مرکزی اروپا ناشی از وقوع بارش‌ها به میزان کم‌تر از حد نرمال بود اما افزایش شدید دما (۴ °C نسبت به میانگین درازمدت) طی ماه‌های ژوئن و جولای سبب افزایش خسارت‌ها در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و به‌طور چشمگیرتری سبب افزایش مقدار تبخیر و تعرق و تنش‌های آبی شد. بر اساس نتایج Sheffield and Wood (2008) انتظار می‌رود در نتیجه افزایش مقدار تبخیر و تعرق، تقاضای آب نیز افزایش یابد که خود می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر وضعیت‌های خشک‌سالی تأثیرگذار باشد. بارش و تبخیر و تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی می‌باشند (Blenkinsop and Fowler 2007). Kim et al. (2009)، خشک‌سالی هواشناسی سئول پایتخت کره جنوبی را با شاخص EDI مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که شاخص EDI در شرایط سئول بسیار کارآمدتر از SPI در ارزیابی مقیاس‌های زمانی بلندمدت و یا کوتاه‌مدت خشک‌سالی عمل می‌کند. Duggins et al. (2010)، شاخص بارش استاندارد را به‌منظور بررسی الگوی تغییرات خشک‌سالی در چهار ایستگاه کنیا به‌کار بردند. در مطالعه مذکور نقطه تغییر سری زمانی SPI موردمطالعه قرار گرفت که در آن نقطه تغییر الگوی خشک‌سالی به‌طور محسوسی تغییر کرده است.

روش‌های مدل لگاریتمی-خطی[7] و فواصل اطمینان چندگانه[8] و نسبت‌های فرد[9] برای تخمین نقطه تغییر وضعیت خشک‌سالی به‌کار برده شده است. نقطه تغییر

[1] Standardized Precipitation Index
[2] Percent of Normal
[3] Palmer Drought Severity Index
[4] Reclamation Drought Index
[5] Effecvive Rainfall Index
[6] Groundwater Resource Index
[7] Log-linear
[8] Multiple confidence intervals
[9] Odds ratios

سری زمانی SPI به‌ویژه در ماتریس‌های تغییر حالت از یک کلاس خشک‌سالی به کلاس دیگر، موردنظر پژوهش مذکور بوده است. Seyfi et al. (2012) میزان آسیب‌پذیری خشک‌سالی هواشناسی دشت فسا را با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در طول دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ و وضعیت خشک‌سالی آب و زمین‌شناسی این منطقه طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۲ را با استفاده از شاخص GRI موردمطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که مقدار شاخص GRI در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ روند کاهشی داشته است. Chamanpira et al. (2014) با استفاده از شاخص SPI و شاخص GRI وضعیت خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی دشت الشتر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص GRI دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی است که حاکی از تأثیرگذاری خشک‌سالی بر آب زیرزمینی دشت الشتر می‌باشد. Faryabi and Mozaffarizade (2017) خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی دشت دیر – آبدان استان بوشهر را موردبررسی قراردادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بهره‌برداری از آبخوان دشت موردبررسی توصیه نمی‌شود. Ramezani et al. (2019) خشک‌سالی‌های منطقه جنوب غرب آسیا را با استفاده از شاخص کمبود توأم (JDI[1]) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که شاخص JDI علاوه بر توصیف علمی وضعیت کلی خشک‌سالی، قابلیت مشخص کردن زمان شروع خشک‌سالی‌ها و نیز خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت را دارد و امکان ارزیابی وضعیت خشک‌سالی را به‌صورت ماه‌به‌ماه فراهم می‌سازد. Ramezani et al. (2020) برای بررسی تغییرات الگوی بارش و خشک‌سالی هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از شاخص تراکم استفاده کردند. نتایج نشان داد که تمامی ایستگاه‌های موردمطالعه در وضعیت نسبتاً منظم، تراکم متوسط و نسبتاً نامنظم از نظر توزیع بارش روزانه قرار دارند.

با توجه به پژوهش‌های ارائه‌شده و هم‌چنین شرایط تغییرات اقلیمی در ایران و به‌خصوص شهرهای حاشیه کویر، لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری می‌باشد. هم‌چنین در شهرهایی که وابستگی شدیدی به آب زیرزمینی دارند، این ضرورت دوچندان می‌شود. یکی از شاخص‌های مهم در زمینه، شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی (HDMI[2]) است. این شاخص با توجه به تجمیع استاندارد شاخص‌های مختلف، اطلاعات جامعی در مورد نحوه مدیریت آبخوان در اختیار می‌گذارد. هدف از پژوهش حاضر، ضمن تلفیق شاخص‌های خشک‌سالی موجود، بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی و وضعیت برداشت از منابع آب زیرزمینی در محل چاه‌های کشاورزی در محدوده استان خراسان جنوبی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ با استفاده از شاخص HDMI است.

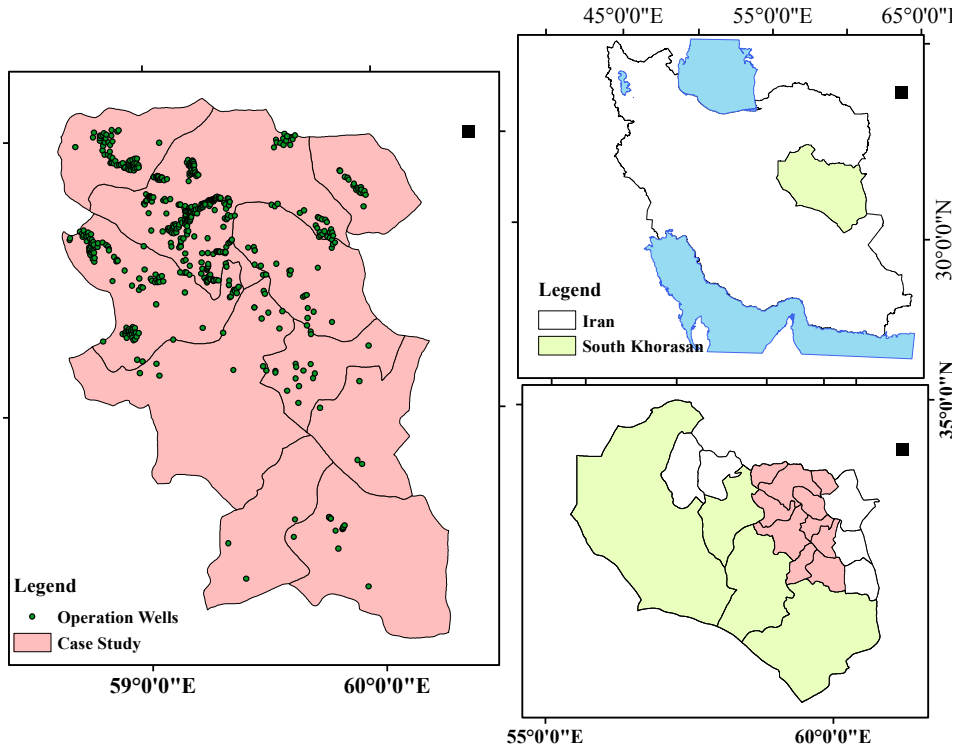
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، استان خراسان جنوبی واقع در شرق کشور شامل آبخوان محدوده شهرهای بشرویه، بیرجند، درمیان، سرایان، سربیشه، طبس، فردوس، قائن و نهبندان می‌باشد (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه استان خراسان جنوبی، mm ۱۳۴ و میانگین دمای سالانه، °C ۱۷/۵ است. ۹۵٪ وسعت این استان را عرصه‌های طبیعی در برمی‌گیرد که از این میزان، ۲۲/۷٪ بیابانی، ۶۳/۳٪ مراتع بیابانی، ۷/۲٪ مراتع خوب و متوسط و ۶/۸٪ جنگلی است. ha ۸۸۰۳۳۴ از مساحت این استان، جزء کانون‌های بحرانی فرسایش بادی است که شهر قاینات با ha ۲۴۲۴۷۲ مساحت کانون‌های بحرانی، دارای بیش‌ترین سطح و شهرستان سرایان با ha ۲۷۷۸۷، دارای کم‌ترین سطح کانون بحران فرسایش بادی است. پس از الحاق شهرستان طبس به این استان، با توجه به وسعت زیاد بیابان‌های طبس، خراسان جنوبی از ششمین استان بیابانی ایران، به دومین استان بیابانی تبدیل شد. در این مطالعه از داده‌های سطح ایستابی (m) هدایت الکتریکی (µmhos/cm) و دبی برداشتی چاه‌های بهره‌برداری در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ جهت بررسی خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی و مدیریت خشک‌سالی هیدرولوژیکی استفاده شد. داده‌های موردبررسی به‌صورت ماهانه استفاده شد. این ناحیه از ایران به لحاظ آب و هوایی از تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً کوتاه، برخوردار است.

[1]Joint Deficit Index

[2]Hydrogeological Drought Management Index



شکل ۱- منطقه موردمطالعه در سطح ایران و خراسان جنوبی

Fig. 1 The studied area in Iran and south Khorasan

روش استفاده در این پژوهش برای به‌کارگیری تصمیمات مدیریتی شامل جنبه‌های مختلفی از جمله وضعیت خشک‌سالی، وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی که خود نتیجه تأثیرات شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی است و قابلیت کمی آبخوان می‌باشد (Faryabi and Mozaffarizade 2017).

۲-۲- شاخص GRI

شاخص GRI با توجه به رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \qquad (۱)$$

که، پارامتر $D_{y,m}$ در این رابطه برابر با تراز سطح ایستابی در ماه m از سال y و پارامتر $\mu_{D,m}$ و $\delta_{D,m}$ به‌ترتیب برابر با میانگین و انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال هستند (Azimi et al. 2019). بعد از محاسبه شاخص GRI، وضعیت خشک‌سالی آب زیرزمینی بر اساس جدول (۱) تعیین می‌شود.

جدول ۱- تعیین وضعیت خشک‌سالی با توجه به شاخص GRI (McKee et al. 1993)

Table 1 Determination of drought condition based on GRI (McKee et al. 1993)

Drought classification	Index value
Extreme wet	Index ≥ 2.0
Very wet	1.5 ≤ Index < 2.0
Slight wet	1.0 ≤ Index <1.5
Normal	−0.99 ≤ Index ≤ 0.99
Slight dry	−1.5 < Index ≤1.0
Very dry	−2.0 < Index ≤ −1.5
Extreme dry	Index ≤ −2.0

۲-۳- شاخص هدایت الکتریکی استاندارد اصلاح‌شده

هدایت الکتریکی آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین وضعیت کیفی آب زیرزمینی است؛ زیرا تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی مانند اقلیم، زمین‌شناسی، وضعیت بهره‌برداری از آبخوان و همین‌طور پارامترهای کیفی آبخوان مانند میزان بی‌کربنات، کلراید و سولفات محلول در آب قرار می‌گیرد. برای تعیین وضعیت کیفی آبخوان که تأثیر زیادی در مدیریت منابع آب زیرزمینی دارد، از شاخص هدایت الکتریکی استاندارد (SECI[1]) استفاده‌شده است. این شاخص

[1]Standard Electrical Conductivity Index

توسط Seyf et al. (2012) ارائه‌شده و به‌صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Faryabi and Mozaffarizade 2017).

$$SECI = \frac{EC_i - EC_{Ave}}{\sigma} \quad (۲)$$

که، EC_i هدایت الکتریکی منبع آب زیرزمینی مدنظر، EC_{Ave} و σ به‌ترتیب میانگین و انحراف معیار هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ می‌باشد. از آنجا که روند نزولی سطح آب زیرزمینی مشخص‌کننده خشک‌سالی است، اما در مورد هدایت الکتریکی این روند به‌صورت صعودی می‌باشد زیرا بر اثر خشک‌سالی و افت سطح آب، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. برای هماهنگ شدن دو شاخص منبع آب زیرزمینی و تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بر اثر خشک‌سالی و در نهایت ارزیابی اثر ترکیبی آن‌ها در این مطالعه، شاخص اصلاحی به‌صورت رابطه (۳) می‌باشد (Faryabi and Mozaffarizade 2017):

$$MSECI = -\left(\frac{EC_i - EC_{Ave}}{\sigma}\right) \quad (۳)$$

که، MSECI[1]شاخص هدایت الکتریکی استاندارد اصلاح‌شده می‌باشد.

۲-۴- شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری

برای ارزیابی وضعیت کمی آبخوان‌ها معمولاً از ضرایب قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آن‌ها استفاده می‌شود؛ اما از آنجا که دبی بیش‌تر نشان‌دهنده قابلیت انتقال بیش‌تر آبخوان و وضعیت هیدرولوژیکی مناسب‌تر است، از چگونگی پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری و دبی آن‌ها برای ارزیابی پتانسیل کمی آبخوان استفاده شد. برای اینکه مقدار دبی چاه‌ها را نیز بتوان در این مطالعه استفاده کرد و درواقع مقادیر دبی نیز با دو شاخص قبلی، قابل‌مقایسه و ترکیب باشند، دبی چاه‌های بهره‌برداری طبق رابطه (۴) به‌صورت استاندارد محاسبه می‌شود.

$$SWDI = \frac{Q_i - Q_{Ave}}{\sigma} \quad (۴)$$

که، SWDI[2]شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری، Q_{Ave} و σ به‌ترتیب میانگین و انحراف معیار هدایت دبی چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

۲-۵- شاخص HDMI

در این مطالعه با ترکیب سه شاخص GRI، شاخص MSECI و شاخص SWDI، شاخص جدیدی به نام شاخص HDMI به‌دست آمد. محاسبه این شاخص به‌شرح رابطه (۵) می‌باشد.

$$HDMI = GRI + MSECI + SWDI \quad (۵)$$

با توجه به دامنه تغییرات این شاخص، طبقه‌بندی آن به‌صورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۱- میزان تأثیر خشک‌سالی و پیشنهادهای مدیریتی با توجه به شاخص HDMI

Table 2 Drought effect and management suggestions according to the HDMI Index (Faryabi and Mozaffarizade 2017)

How to Manage	Drought Effect	Index Value
Operation without problems	No effect	HDMI ≥ 6.0
Operation without problems	Low	3.0 ≤ HDMI < 6.0
Operation with limited constraints	Average	0.0 ≤ HDMI <3.0
Limited exploitation	Average	−3.0 ≤ HDMI ≤ 0.0
No operation	Very	−6.0 < HDMI ≤ −3.0
No operation	Extreme	HDMI ≤ −6.0

۳- یافته‌ها و بحث

در این پژوهش جهت بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی و مدیریت آن در بخش‌های از استان خراسان جنوبی از شاخص چندمتغیره HDMI و داده‌های سطح ایستابی (m)، هدایت الکتریکی (µmhos/cm) و دبی برداشتی چاه‌های بهره‌برداری موجود در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ موردبررسی قرار گرفت.

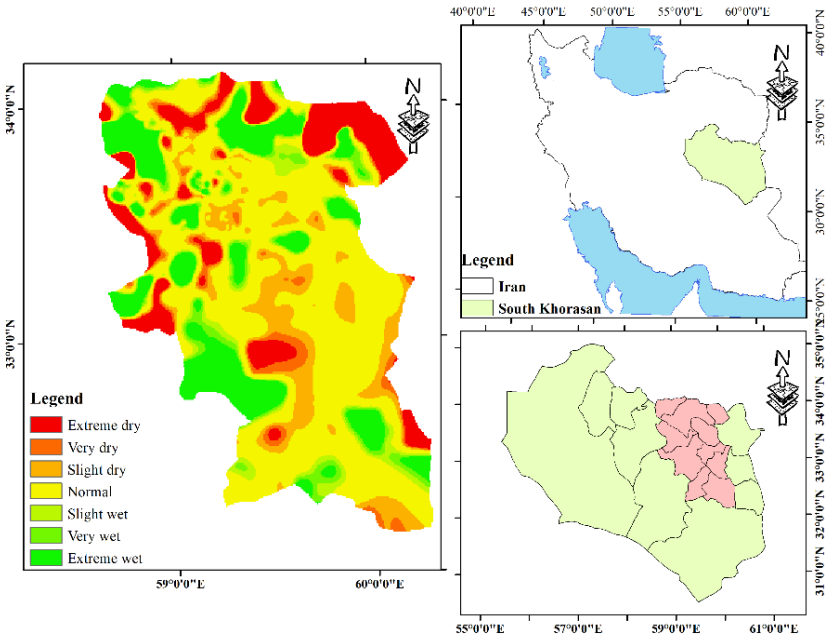
۳-۱- نتایج بررسی شاخص GRI

در مرحله اول با استفاده از داده‌های سطح ایستابی در منطقه موردمطالعه شاخص GRI محاسبه شد. نتایج بررسی و پهنه‌بندی متوسط مقادیر GRI به‌صورت شکل‌های (۲) و (۳) پهنه‌بندی و ارائه شد. تحلیل بررسی تغییرات شاخص GRI نشان داد که بیش‌تر مساحت منطقه موردمطالعه با خشک‌سالی آب زیرزمینی در دوره آماری موردبررسی (سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲) مواجه شده است. در این بین مناطق شمال شرقی شاسکوه، مناطق غربی سده و نواحی شرقی بیرجند با خشک‌سالی شدید در آب زیرزمینی مواجه شده‌اند. مناطق جنوبی بیرجند شرایط بهتری نسبت به سایر نواحی شهرستان دارد. به‌طورکلی نیز نتایج بررسی شاخص GRI

[1]Modified Standad Electrical Conductivity Index

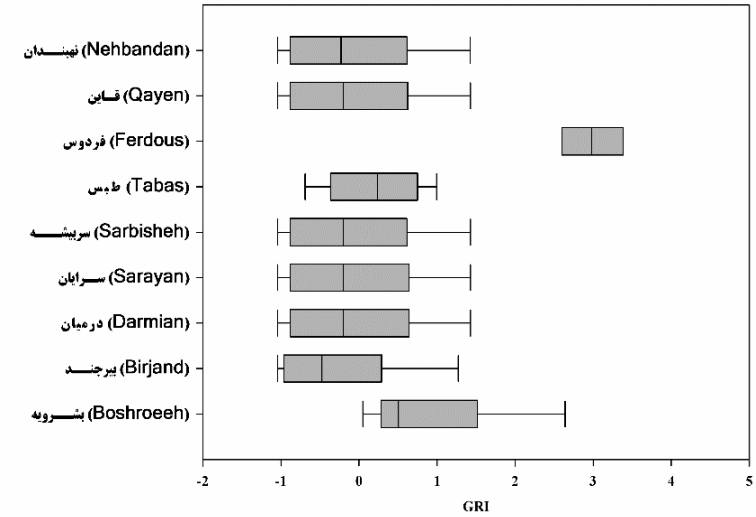
[2]Standardized Well Discharge Index

نشان داد که نواحی شرقی منطقه موردمطالعه نسبت به سایر نقاط، خشک‌سالی آب زیرزمینی شدیدتری را تجربه کرده‌اند. بر اساس شکل (۳) نیز می‌توان مشاهده کرد که عمده تغییرات مقادیر شاخص GRI در محدوده کم‌تر از صفر می‌باشد. شاخص GRI تغییرات مخازن آب زیرزمینی را به‌خوبی نشان می‌دهد که این موضوع نیز به‌نوبه خود معرف خشک‌سالی آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه می‌باشد. توانایی این شاخص در بررسی و نمایش تغییرات مخازن آب زیرزمینی در مطالعات مختلف همچون Azimi et al. (2019) نیز تائید شده است.



شکل ۲- پهنه‌بندی مقادیر GRI در سطح منطقه موردمطالعه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲

Fig. 2 Zoning the GRI values in the studied area in 2014-2015



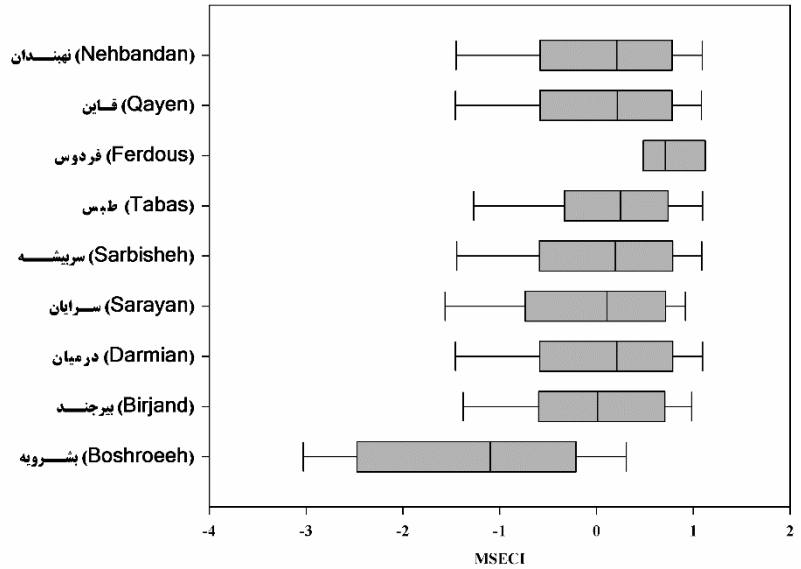
شکل ۳- محاسبه شاخص GRI در منطقه موردمطالعه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲

Fig. 3 Calculation the GRI index in the study area in 2014-2015

۳-۲- شاخص SECI

پس از بررسی مقادیر شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI، از داده‌های هدایت الکتریکی چاه‌های بهره‌برداری استفاده و شاخص MSECI محاسبه شد. شکل (۴) نشان‌دهنده نتایج می‌باشد. نتایج بررسی شاخص MSECI نشان داد که تغییرات این شاخص عمدتاً بین ۱ تا ۱- در حال تغییر می‌باشد که نشان‌دهنده تغییرات افزایشی مقادیر هدایت الکتریکی چاه‌های بهره‌برداری

می‌باشد. در این بین وضعیت چاه‌های بهره‌برداری بشرویه وضعیت بدتری نسبت به سایر نواحی دارند. با توجه به اینکه تغییرات کاهشی سطح آب زیرزمینی موجب افزایش غلظت پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی می‌شود، این شاخص به‌طور غیرمستقیم می‌تواند زنگ خطری برای کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش محدودیت‌های برداشت باشد.

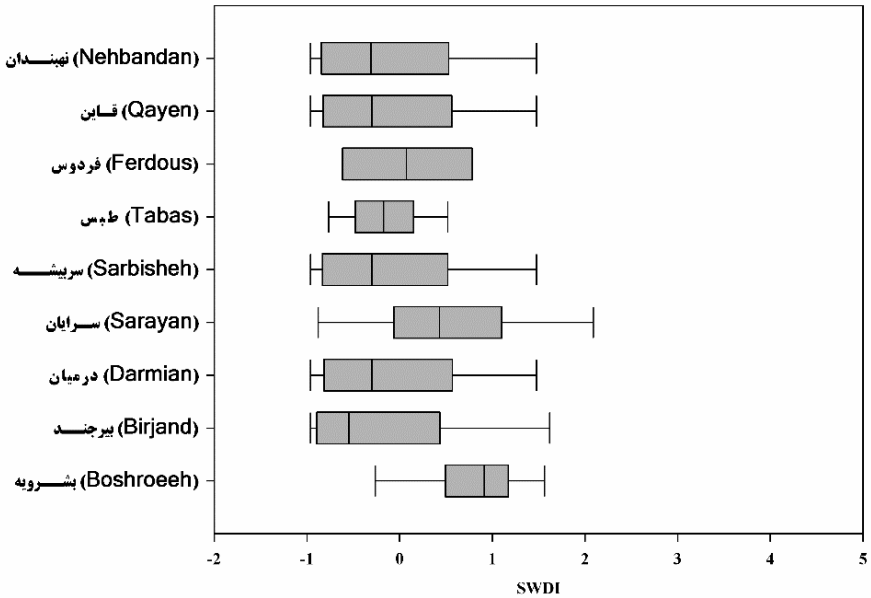


شکل ۴- نتایج محاسبه شاخص MSECI در منطقه موردمطالعه در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲

Fig. 4 Results of calculation the MSECI index in the study area in 2014-2015

۳-۳- شاخص SWDI

سومین شاخص موردبررسی در این پژوهش، شاخص SWDI می‌باشد. پس از بررسی مقادیر شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی و شاخص هدایت الکتریکی استانداردشده با استفاده از شاخص‌های GRI و MSECI، از داده‌های دبی برداشت چاه‌های بهره‌برداری استفاده‌شده و شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری محاسبه و نتایج به‌شرح شکل (۵) ارائه گردید. در واقع بررسی دو شاخص استاندارد هدایت الکتریکی و شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری لازمه محاسبه شاخص HDMI در منطقه می‌باشد. بعد از برآورد مقادیر GRI، MSECI و SWDI، شاخص HDMI در سطح منطقه موردمطالعه محاسبه شد. لازمه محاسبه شاخص HDMI، برآورد مقادیر شاخص‌های استانداردشده فوق می‌باشد. پایین بودن شاخص SWDI در مناطق موردمطالعه (منفی بودن) نشان‌دهنده عدم وجود پتانسیل مناسب آب زیرزمینی می‌باشد که هر چه این اعداد منفی‌تر باشد، ناچیز بودن پتانسیل آب زیرزمینی در آن منطقه را می‌توان نتیجه گرفت.

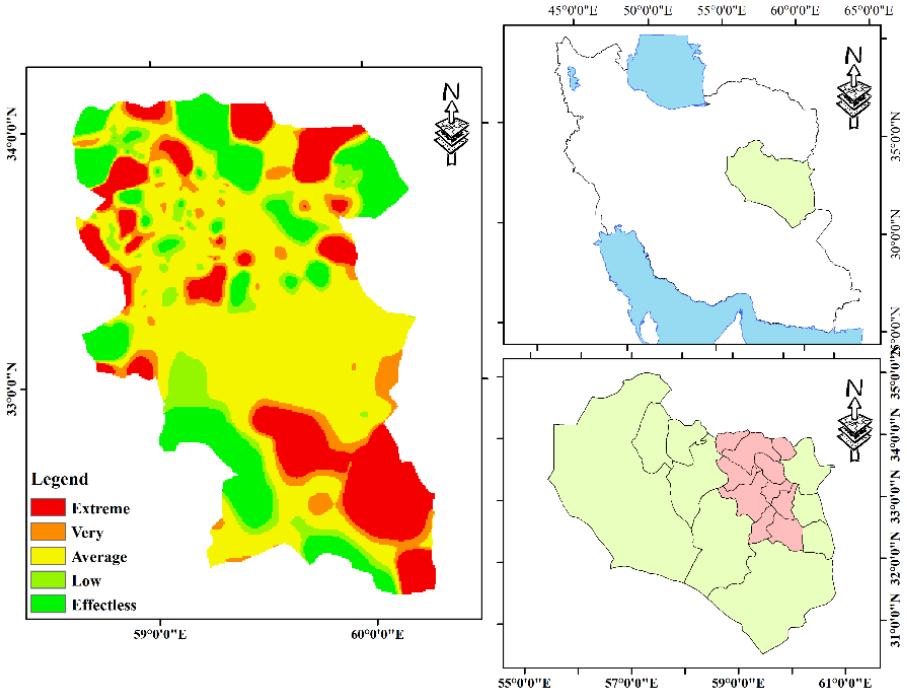


شکل ۵- نتایج محاسبه شاخص SWDI در منطقه موردمطالعه در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲

Fig. 5 Results of calculation the SWDI index in the study area in 2014-2015

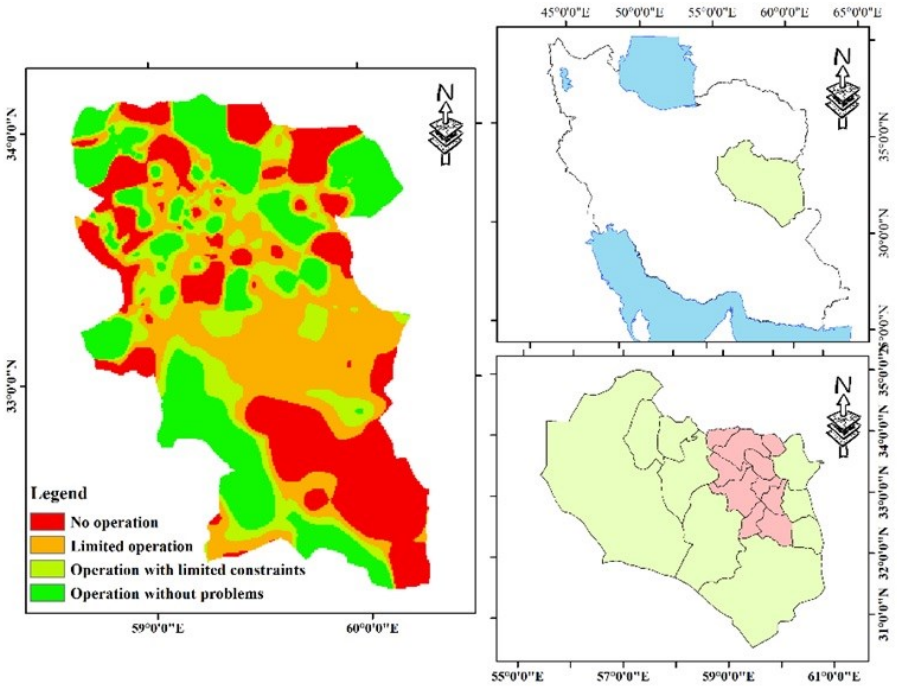
۳-۴- شاخص HDMI

روش استفاده‌شده در این مطالعه برای به‌کارگیری تصمیمات مدیریتی شامل جنبه‌های مختلفی از جمله وضعیت خشک‌سالی، وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی که خود نتیجه تأثیر شرایط اقلیمی و هیدروژئولوژیکی است و قابلیت کمی آبخوان می‌شود. بعد از برآورد مقادیر شاخص‌های GRI، SWDI و MSECI، مقادیر شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدرولوژیکی با جمع مقادیر شاخص‌های ذکرشده حاصل گردید. نتایج پهنه‌بندی و محاسبه شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدرولوژیکی به‌شرح شکل‌های (۶) تا (۸) ارائه گردید.



شکل ۶- نتایج پهنه‌بندی مقادیر HDMI در سطح منطقه موردمطالعه بر اساس تأثیر خشک‌سالی

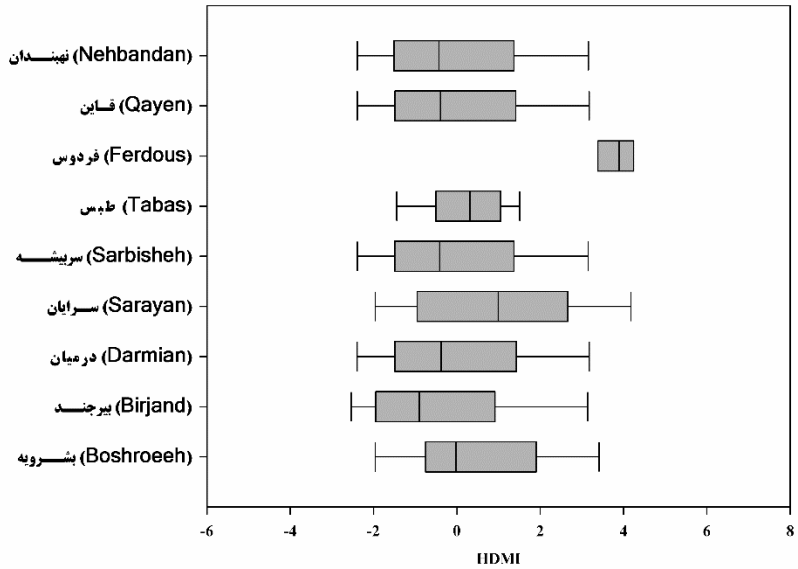
Fig. 6 Distribution of HDMI values at the study area based on the effect of drought



شکل ۷- نتایج پهنه‌بندی مقادیر HDMI در سطح منطقه موردمطالعه بر اساس محدودیت بهره‌برداری

Fig. 7 Distribution of HDMI values at the study area based on operating restrictions

نتایج بررسی شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی به دو صورت تأثیر خشک‌سالی و محدودیت بهره‌برداری اراده شده است. نتایج بررسی تأثیرات خشک‌سالی در سطح منطقه موردمطالعه نشان داد که در طی دوره آماری موردبررسی تأثیر خشک‌سالی در مناطق جنوب شرقی محدوده موردمطالعه، نواحی شمالی مود، نوار مرزی شمالی محدوده موردمطالعه و نوار مرزی غرب کشور بسیار زیاد بوده و تغییرات پارامترهای موردبررسی تأثیرات زیاد خشک‌سالی را در این نواحی ایجاد کرده است. بیش‌تر نواحی منطقه موردمطالعه از نظر تأثیر خشک‌سالی در محدوده تأثیر متوسط و تأثیر زیاد واقع‌شده است. نواحی جنوبی بیرجند، نواحی شرقی شاسکوه، نواحی غربی نیمبلوک و قسمت‌هایی از مود با توجه به شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی تأثیرپذیری کم‌تری نسبت به خشک‌سالی داشته‌اند. بیش‌ترین تأثیر خشک‌سالی‌ها در نواحی جنوب شرقی محدوده موردمطالعه بوده است.



شکل ۸- نتایج محاسبه شاخص HDMI در منطقه موردمطالعه

Fig. 8 Results of HDMI index calculation in the studied area

برای مدیریت آبخوان در شرایط خشک‌سالی، شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی از ترکیب شاخص منبع آب زیرزمینی، شاخص اصلاح‌شده هدایت الکتریکی استاندارد و شاخص دبی استاندارد چاه‌های بهره‌برداری محاسبه‌شده است. کمترین میزان این شاخص، بحرانی‌ترین مناطق را نشان می‌دهد. این نقاط بحرانی در واقع کمیت و کیفیت نامناسب آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار شاخص HDMI نشان‌دهنده وضعیت بهتر خشک‌سالی و کمیت و کیفیت مناسب آب زیرزمینی در منطقه می‌باشد. هم‌چنین نتایج این شاخص وضعیت بهره‌برداری را در سطح آبخوان نشان می‌دهد که جهت مدیریت آبخوان می‌توان بهره‌برداری چاه‌هایی که در محدوده بحرانی قرار دارند کاهش داده و یا متوقف کرد. هم‌چنین در صورت نیاز به چاه شرب جدید، می‌توان در محدوده غیر بحرانی حفر شود. همان‌طور که ذکر گردید، شاخص HDMI به دو صورت معرفی می‌گردد. یکی بررسی تأثیرات خشک‌سالی و دیگری محدودیت‌های بهره‌برداری می‌باشد. محدودیت‌های بهره‌برداری بیانگر مدیریت بهره‌برداری با توجه به شرایط فعلی می‌باشد. این شاخص کمک شایانی به مدیریت آبخوان در زمان فعلی که اثرات خشک‌سالی و تغییر اقلیم قابل‌مشاهده می‌باشد، خواهد داشت. Faryabi and Mozaffarizade (2017) نیز در مطالعات خود بر کارایی و مؤثر بودن این شاخص در بحث مدیریت منابع آب زیرزمینی اذعان داشتند. در صورت اعتماد به نتایج این شاخص، می‌توان به احیای آبخوان کمک کرده و وضعیت آبخوان را بهبود بخشید. همان‌طور که از شکل (۸) نیز مشخص می‌باشد، تغییرات شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی در سطح منطقه موردمطالعه در محدوده ۲- تا ۲+ متغیر می‌باشد. اعداد منفی بیانگر محدودیت

بهره‌برداری و اعداد مثبت بیانگر عدم وجود محدودیت در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه موردمطالعه می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

ایران کشوری پهناور و با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد که پراکندگی بارش در نقاط مختلف آن تغییرات شدیدی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که مناطق شرقی کشور با قرار گرفتن در نواحی کویری و خشک، سهم کم‌تری از بارش‌ها را دریافت می‌نمایند. به‌همین ترتیب تداوم و میزان خشک‌سالی هواشناسی نیز در این نواحی با شدت بیشتری قابل‌مشاهده می‌باشد؛ بنابراین شاخصی که بتواند خشک‌سالی را به‌طور دقیق و از دیدگاه‌های مختلف بررسی کند، در شناخت اثرات این پدیده بسیار مؤثر خواهد بود. در این پژوهش سعی شد با تلفیق شاخص‌های مهم خشک‌سالی، رهنمودهایی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت موردبررسی در شرایط خشک‌سالی ارائه شود. در این مطالعه شاخص مدیریت خشک‌سالی هیدرولوژیکی معرفی شد. این شاخص از ترکیب سه شاخص منبع آب زیرزمینی، شاخص تصحیح‌شده هدایت الکتریکی استاندارد و شاخص دبی استاندارد چاه‌های بهره‌برداری به‌دست‌آمده است. نتایج کلی پژوهش حاضر به شرح زیر ارائه شد:

۱- بر اساس شاخص HDMI بحرانی‌ترین بخش‌های منطقه در بخش جنوب شرقی قرارگرفته است. یکی از مهم‌ترین راهبردها در مدیریت آبخوان منطقه موردمطالعه در شرایط خشک‌سالی، عدم بهره‌برداری از آبخوان در مناطق بحرانی است.

۲- شاخص HDMI می‌تواند به‌عنوان روش مفید و منطبق بر شرایط واقعی برای کمک به تصمیم‌گیری بهتر و مدیریت منابع آب زیرزمینی در شرایط خشک‌سالی به‌کار رود.

۳- بهترین وضعیت موجود از نظر خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی و تأثیر خشک‌سالی در نواحی جنوبی بیرجند قرار دارد. در واقع محدودیتی برای ادامه بهره‌برداری از آب زیرزمینی در این نواحی وجود ندارد.

۴- با توجه به نرمال و استاندارد کردن مقادیر موردبررسی در تعیین شاخص HDMI، هیچ محدودیتی در مورداجرای مدل در مناطق مختلف آب و هوایی وجود ندارد.

References

Alam A. T. M., Rahman M. S. and Saadat A. H. M. (2013). Monitoring meteorological and agricultural drought dynamics in Barind region Bangladesh using standard precipitation index and Markov chain model. Int. J. Geomat. Geosci., 3(3), 511-524.

Azimi S., Moghaddam M. A. and Monfared S. H. (2019). Prediction of annual drinking water quality reduction based on Groundwater Resource Index using the artificial neural network and fuzzy clustering. J. Contam. Hydrol., 220, 6-17.

Blenkinsop S. and Fowler H. J. (2007). Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. J. Hydrol., 342(1), 50-71.

Chamanpira G., Zehtabian G., Ahmadi H. and Malekian A. (2014). Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. Watershed Eng. Manag., 6(1), 10-20 [In Persian].

Duggins J., Williams M., Kim D. Y. and Smith E. (2010). Changepoint detection in SPI transition probabilities. J. Hydrol., 388(3), 456-463.

Faryabi M. and Mozaffarizade J. (2017). Hydrogeological drought management index (HDMI) as a tool for groundwater resource management under drought conditions (case study: Dayyer-Abdan district, Boushehr province). Iran. J. Ecohydrol., 4(3), 737-748 [In Persian].

Habibi B., Meddi M., Torfs P. J., Remaoun M. and Van Lanen H. A. (2018). Characterisation and prediction of meteorological drought using stochastic models in the semi-arid

Chéliff–Zahrez basin (Algeria). J. Hydrol. Region. Stud., 16, 15-31.

Kim D. W., Byun H. R. and Choi K. S. (2009). Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. J. Hydrol., 378(1), 1-12.

McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: Am. Meteorol. Soc.., 17(22), 179-183.

Mendicino G., Senatore A. and Versace P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. J. Hydrol., 357(3-4), 282-302.

Paulo A. A., Ferreira E., Coelho C. and Pereira L. S. (2005). Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning. Agri. Wat. Manag., 77(1-3), 59-81.

Paulo A. A. and Pereira L. S. (2007). Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains. Water Resour. Manag., 21(10), 1813-1827.

Ramezani Y., Khashei-Siuki A. and Tahroudi M. N. (2020). Spatial distribution of the daily, monthly, and annual precipitation concentration indices in the Lake Urmia basin, Iran. IDŐJÁRÁS, 124(1), 73-95.

Ramezani Y., Tahroudi M. N. and Ahmadi F. (2019). Analyzing the droughts in Iran and its eastern neighboring countries using copula functions. IDŐJÁRÁS, 123(4), 435-453.

Rebetez M., Mayer H., Dupont O., Schindler D., Gartner K., Kropp J. P. and Menzel A. (2006). Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. Annal. Forest Sci., 63(6), 569-577.

Seyf M., Mohammadzadeh H., Mosaedi A. and Sayad H. (2012). Evaluation of drought effects on groundwater resources of Fasa Plain aquifer using critical rainfall indicators, groundwater resources, and critical electrical conductivity. J. Wat. Res. Manag., 5(13), 74-57 [In Persian].

Seyfi M., Mohammad Zadeh H. and Mosaedi A. (2012). Evaluating the impacts of drought on groundwater resources in fasa aquifer using SPI, GRI and SECI. Wat. Eng., 5(13), 55-72 [In Persian].

Sheffield J. and Wood E. F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. Clim. Dyn., 31(1), 79-105.

Yeh H. F. and Hsu H. L. (2019). Using the Markov chain to analyze precipitation and groundwater drought characteristics and linkage with atmospheric circulation. Sustain., 11(6), 1817.

Hydrogeological Drought Management Based on HDMI Multivariate Index

Mohammad Nazeri Tahroudi[1], Yousef Ramezani[2*] and Farshad Ahmadi[3]

[1]PhD Alumni, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[2]Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[3]Assist. Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*Corresponding author: y.ramezani@birjand.ac.ir

Original Paper
Received: August 05, 2020 **Revised:** September 10, 2020 **Accepted:** September 14, 2020

Abstract
In this research, it has been tried to investigate the limitations of using the plain's groundwater through using the monthly values of discharge of agricultural wells, groundwater level and quality values of electrical conductivity in areas of South Khorasan Province in 2013-2014. In this regard, a combination of groundwater resource index, modified standard electrical conductivity index and standardized well discharge index was used. Finally, hydrogeological drought management index (HDMI) was used to manage the groundwater drought and to investigate hydrogeological drought. HDMI is one of the useful and practical indices in this field that has been less studied. The results of groundwater resource index showed that in the study area, groundwater drought is clearly seen in the southeastern regions of the study area. Hydrogeological drought management index in the studied area showed that operation of groundwater in most of the studied area has a problem and operation of groundwater in these areas should be limited. About 86% of the studied areas are in limited operation condition, 10% are in problem-free operation condition and 4% are in non-operation condition. In general, the results of hydrological drought management index at the study area indicated that this index has high ability to provide an aquifer management and has a great help to water managers in the country. Relying on the results, it is possible to restrict water use at the aquifer and manage the water delivery.

Keywords: Agricultural Wells; Electric Conductivity; Flow Discharge; Groundwater Drought; Groundwater Level.