ارزیابی خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه میناب)

احمد نوحه گر[1]، نسیم قشقایی‌زاده [2*]، مریم حیدرزاده[2]، محمدرضا ایدون[3]، مهدی پناهی[4]

1-استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
2- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان
3-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، هرمزگان
4-استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

پذیرش مقاله: 1394/10/18
تأیید نهایی مقاله: 1395/3/10

چکیده

خشکسالی‌ها از مخرب‌ترین رویدادهای آب وهوایی هستند که باعث خسارت‌های قابل توجهی هم در بخش منابع طبیعی و هم در زندگی انسان‌ها می‌شوند. حوزه آبخیز رودخانه میناب به دلیل وجود سد استقلال و اهمیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و واقع شدن دشت‌های قابل توجه در این حوزه انتخاب شده است. فراوانی خشکسالی با استفاده از دو شاخص RDI و SPI در ایستگاه های بارانسنجی معرف واقع در دشت‌های این حوزه تعیین شد. نتایج نشان داد هر دو شاخص SPI و RDI بیشترین فراوانی خشکسالی ملایم و متوسط را برای منطقه برازش دادند. شاخص SPI براساس فرضیه سنجه کارآمد، سازگاری بهتری با منطقه مورد مطالعه نشان داد. بنابراین شاخص برای ارزیابی روابط خشکسالی و منابع آب انتخاب شد. سپس به منظور بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب سطحی رابطه این شاخص با تغییرات متوسط دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیک هر دشت سنجیده شد. نتایج نشان داد این رابطه با همبستگی بالا معنی‌دار می‌باشد. در مرحله بعد به منظور بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، با استفاده از رابطه همبستگی دو متغیره، ضریب تاثیر برداشت و خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی محاسبه شد و معلوم گردید افت سطح آب همه دشت‌های مورد مطالعه متاثر از خشکسالی با ضریب تاثیر بالا است به جز دشت مسافرآباد که چاه‌های آن در سفره دوم واقع شده و بخش عمده تغذیه آبخوان آن، از طریق سازندهای سخت ارتفاعات صورت می‌گیرد و تاثیرپذیری کمتری از بارش دشت دارد.

واژگان کلیدی: آب سطحی، آب زیرزمینی، خشکسالی، دشت میناب، SPI، RDI.

*- نویسنده مسئول: 09177614833 Email:
n_ghashghaee@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی و از ویژگی‌های مکرر آب‌وهوایی است و امکان رخداد این حادثه بدون در نظرگرفتن رژیم‌های بارش و الگوهای آب‌وهوایی در سراسر جهان وجود دارد. خشکسالی شروعی کند و منطقه تحت پوشش گسترده‌ای دارد که برای هفته‌ها، ماه‌ها و حتی سالها می‌تواند مناطق مختلف جهان را تحت‌تاثیر خود قراردهد (جن کینس، 2011). خشکسالی‌ها از مخرب‌ترین رویدادهای آب وهوایی هستند که باعث خسارت-های قابل توجهی هم در بخش منابع طبیعی و هم در زندگی انسان‌ها می‌شوند. (بی لاین و اداموویسکی، 2012) به طور مسلم یکی از زمینه-هایی که خشکسالی در آن تاثیرات مسلم می-گذارد منابع آبی هر کشوری است و بالطبع مناطقی که دارای قابلیت خشکسالی هستند محدودیت و حساسیت منابع آب در آن‌ها بیشتر است بنابراین اقداماتی را قبل، حین و پس از خشکسالی می‌طلبد. به همین دلیل مدیریت صحیح منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی در کاهش خسارت‌های خشکسالی موثر است. (فرج زاده، 1374) و این میسر نمی‌شود مگر اینکه مدیران در خصوص مدیریت منابع آب برنامه‌ریزی های بلندمدتی داشته باشند. در بسیاری از برنامه-های بلند مدت لازم است که چشم اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های خشک و تر برای منطقه ترسیم شود به همین دلیل در مدیریت منابع آب و همچنین بسیاری از برنامه-ریزی های زیست محیطی و اقتصادی موضوع پیش‌بینی خشکسالی از اهمیت زیادی برخوردار است (حسن‌زاده و همکاران، 1390). استان هرمزگان به سبب موقعیت جغرافیایی خود یکی از مناطق گرم و خشک ایران است میزان بارش در این استان کم و دارای توزیع زمانی و مکانی یکنواخت نمی‌باشد. این استان هم‌چون اکثر نواحی ایران اکثر ایام سال تحت استیلای مرکز پرفشار جنب حاره ای (STHP[2]) است و علیرغم رطوبت بالایی که در بیشتر سال در این استان وجود دارد شرایط دینامیکی لازم برای صعود هوا و ایجاد بارش در این استان فراهم نمی‌شود. بنابراین بیشتر ماه‌های سال این استان بدون بارش بوده و نوسان‌های شدید ریزش‌های جوی در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی بهره‌برداری از آن‌ها را با مشکل جدی روبه‌رو می‌سازد. مع‌الوصف منابع آبی استان بسیار محدود بوده و با توجه نوسانات شدید در میزان بارش و هم‌چنین تبخیر شدید در منطقه خشکسالی از جمله بلایای طبیعی در این استان است (باب‌الحوائجی، 1384). رویهم رفته خشکسالی یک مشکل همیشگی و مسئله‌ساز بوده بنابراین به منظور توسعه راهبردهای موثر برای مدیریت خشکسالی و حفظ منابع آب، با توجه به احتمال بازگشت دوره‌های خشکسالی در آینده، برای غلبه بر چالش‌ها این موضوع باید در دراز مدت مورد بررسی قرار گیرد (میشرا و سینگ، 2011). لیلا سلیمانی و همکارش (1393) در تحقیقی از شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی ها و تاثیر آب بر کاهش آبدهی دریاچه کیو استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح اعتماد 99 درصد معنی‌دار است. (شکیبا و همکاران، 1389) تأثیر خشک-سالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان

2- Subtropical High Pressure

داد که خشکسالی‌های رخ داده بر افت سطح آب-های زیرزمینی تأثیر به سزایی داشته‌اند. همچنین ایشان با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقدار SPI[3] و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد. (حمیدیان پور، 1384) به بررسی تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و میزان تاثیر آن بر منابع آب پرداخت. او با استفاده از روش SPI، خصوصیات خشکسالی (فراوانی وقوع، شدت و مدت) و دوره‌های آن ارزیابی شده و جهت بررسی اثرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی از روش همبستگی و رگرسیون بین میانگین وزنی بارش دشت و تغییرات سطح ایستابی ماهانه و سالانه دشت استفاده کرد. پاندا و همکاران (2007) به بررسی اثرات خشکسالی بر روی تراز آب زیرزمینی در اریسا پرداختند. آن‌ها در این بررسی دوره زمانی 2003- 1994 را مورد آنالیز قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افت آب زیرزمینی در طول سال‌های خشک؛ ناشی از کمبود بارش، درجه حرارت بالا و رشد و تکامل زندگی بشری بوده که این کمبود آب زیرزمینی در سال‌های مرطوب قابل جبران نمی‌باشد. بر این اساس در این پژوهش جهت بررسی وضعیت خشکسالی، حوزه آبخیز رودخانه میناب انتخاب شده که به دلیل وجود سد استقلال و اهمیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و واقع شدن دشت‌های قابل توجه در آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، بدین جهت ابتدا وضعیت خشکسالی چهار ایستگاه بارانسنجی شاخص واقع در دشت‌های این حوزه با استفاده از دو شاخص RDI[4] و SPI تعیین و بعد رابطه این شاخص‌ها با تغییرات متوسط دبی سالانه رودخانه میناب سنجیده شد. در مرحله بعد با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی و به موجب آن کاهش حجم ذخیره آبخوان‌های موجود، با استفاده از رابطه همبستگی دو متغیره، ضریب تاثیر میزان تخلیه و خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی چهار دشت واقع در این حوزه آبخیز محاسبه گردیده است. لازم به ذکر است که به دلیل در دسترس نبودن آمار میزان تخلیه از چاه‌ها در بیشتر تحقیقات بدون در نظر گرفتن میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، تاثیر خشکسالی بر افت سطح آب بررسی می‌گردد، که توجه به این نکته خود می‌تواند از نوآوری‌های این پژوهش باشد.

منطقه مورد مطالعه

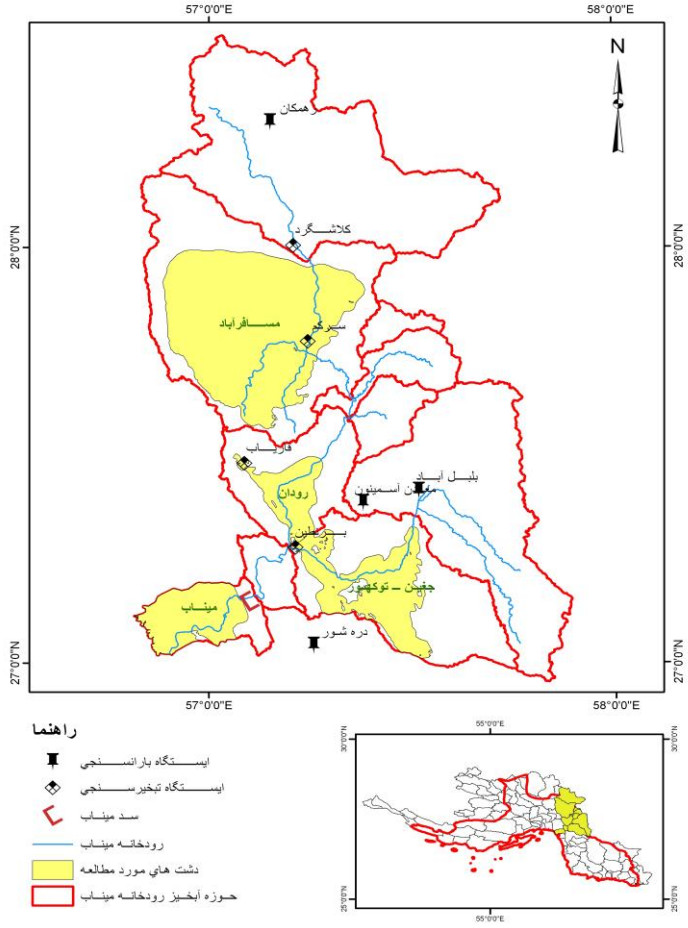
دشت میناب بین طول‌های 56 درجه و 48 دقیقه تا 57 درجه و 15 دقیقه شرقی و عرض‌های 26 درجه و 1 دقیقه تا 27 درجه و 27 دقیقه شمالی قرار دارد. رودخانه میناب از دو شاخه اصلی بنام جغین و رودان تشکیل یافته که در فاصله حـــــدود 20 کیلومتری سد استقلال میناب به هم ملحق شده و رودخانه میناب را بوجود می‌آورد (شکل 1). در این خصوص چهار دشت مسافرآباد، جغین توکهور، رودان و میناب واقع در این حوزه انتخاب گردید. مساحت حوضه آبخیز رودخانه میناب 10200 کیلومتر مربع برآورد گردیده است. در شکل 1، موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. حوضه آبخیز رودخانه میناب از لحاظ منابع آب و کشاورزی یکی از حوضه‌های پـــــرآب محسوب می‌شود و آب آن از قابلیت شرب خوبی برخوردار است. این رودخانه دائمی بوده و رژیم آن بارانی و سیلابی است. دبی متوسط 32 ساله ایستگاه برنطین واقع بر این رودخانه نیز معادل 219/57 میلیون متر مکعب می‌باشد. آمار متوسط 32 ساله دبی از سال 60-59 تا 91-90

3- Standardised Precipitation Index
4 - Reconnaissance Drought Index

نشان می‌دهد که بالاترین متوسط دبی معادل 31/86 متر مکعب در ثانیه مربوط به سال 72-71 و کمترین آن 62 /0 مترمکعب در ثانیه مربوط به سال 91-90 می‌باشد.

مواد و روش‌ها

هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان تاثیر خشکسالی‌های دهه اخیر بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز میناب در استان هرمزگان است. به منظور محاسبه میزان خشکسالی در هر دشت با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی احیائی (RDI) از آمار ایستگاه‌های موجود در منطقه طی سال‌های 70 تا 91 با بکارگیری نرم-افزارهای Excel و Spss استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول 1 نشان‌داده شده است. از دلایل انتخاب این دوره آماری می‌توان به بیش‌ترین طول آماری و کم‌ترین بازسازی و چالش‌های موجود در دسترسی به داده‌های آماری و بازسازی آن‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک اشاره نمود، زیرا به دلیل تغییرپذیری شدید بارش در این مناطق بازسازی داده‌ها ارزش چندانی نداشته و بهتر است که از آن چشم‌پوشی شود (شایگان،1383؛ حسن زاده و همکاران، 1390).



شکل 1: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان هرمزگان و دشت‌ها و ایستگاه‌های موجود در حوزه

جدول 1: مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سرکم	تبخیر سنجی	440	57-14-50	27-46-01
برنطین	تبخیر سنجی	140	57-12-47	27-16-38
فاریاب	تبخیر سنجی	300	57-05-15	27-28-47
گلاشگرد	تبخیر سنجی	570	57-12-48	28-00-09
سرکم	تبخیر سنجی	440	57-14-50	27-46-01
چراغ آباد	بارانسنج معمولی	260	57-28-53	27-12-15
خراجی	بارانسنج معمولی	190	57-14-01	27-23-36
سد استقلال	تبخیر سنجی	40	57-05-29	27-09-55

-**شاخص بارش استاندارد شده SPI**: مک‌کی و همکاران در سال 1993 از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت فعلی خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. تغییرپذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاس های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (ادوارد و همکاران، 1997). این شاخص به صورت رابطه 1 نوشته می‌شود:

رابطه 1)

$$SPI = \frac{P_i - \overline{P}}{SD}$$

که در آن Pi بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، $\overline{P}$ میانگین بارندگی بلند مدت می‌باشد. معیار طبقه‌بندی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته در جدول 2 به اقتباس از مک‌کی و همکاران (مسعودیان، 1377) آورده شده است.

جدول 2: طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی به اقتباس از مک‌کی و همکاران (مسعودیان، 1377)

طبقات شدت خشکسالی	SPI	RDI
ترسالی خیلی شدید	2و بیشتر	2و بیشتر
ترسالی شدید	1/99 تا 1/5	1/99 تا 1/5
ترسالی متوسط	*	*
ترسالی ملایم	1 تا 1/49	1 تا 1/49
نرمال	0 تا 0/99	0 تا 0/99
خشکسالی ملایم	0/99- تا 0	0/99- تا 0
خشکسالی متوسط	1- تا 1/49-	1- تا 1/49-
خشکسالی شدید	1/5- تا 1/99-	1/5- تا 1/99-
خشکسالی بسیارشدید	2- و کمترازآن	2- و کمترازآن

-**شاخص خشکسالی احیائی RDI**: برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از رابطه 2 برای هرسال (i) ازدوره آماری مورد مطالعه، مقداری باعنوان a_0 محاسبه می‌شود:

رابطه 2)

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}}$$

که در اینجا P، بارندگی و ET، تبخیر تعرق پتانسیل در j امین ماه سال i هستند. مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهدکرد. چنانچه بارندگی و تبخیرتعرق بصورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال (یا RDIn) هر سال است که با رابطه 3 محاسبه خواهد شد:

رابطه 3)

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1$$

که در این اینجا $\bar{a}_0$ میانگین حسابی اعداد a_0 هر سال می‌باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDI (یا RDIn) از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_i بدست خواهد آمد $(y_i = Ln\left(a_0^{(i)}\right))$. سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد محاسبه و به ترتیب yk و σ^yk نامیده می‌شوند. نهایتاً شاخص استاندارد شده RDI در هر سال با استفاده از رابطه 4 محاسبه خواهد شد (ساکیریس، 2007).

رابطه 4)

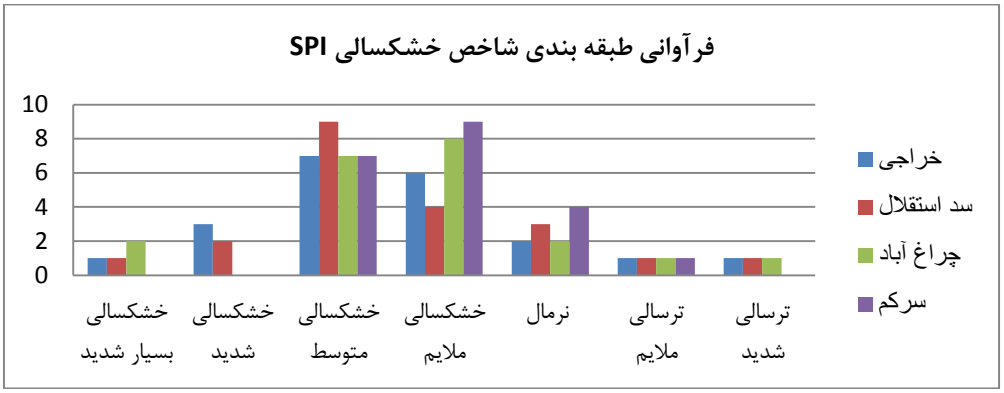
$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\bar{\sigma}_{yk}}$$

همچنین به منظور ارزیابی مناسب‌ترین شاخص، بر اساس الگوی تحقیقاتی ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی ایران (خلیلی و بذرافشان، 1382) از یک فرضیه به عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد. در این فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلند مدت اقلیمی منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی اتفاق افتاده است.

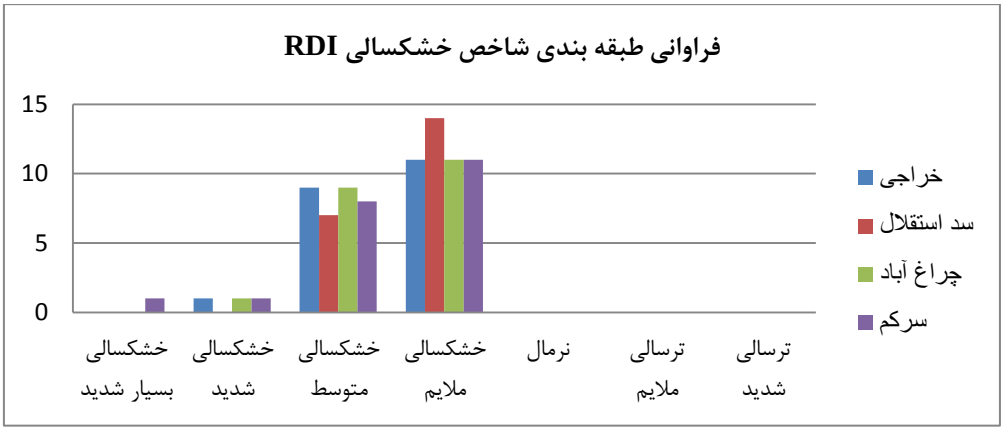
بحث و نتایج

بررسی نمودار فراوانی: ابتدا مقادیر شاخص‌های SPI و RDI محاسبه شد و سپس طبقه‌بندی ترسالی‌ها و خشکسالی‌های هر شاخص انجام شد. شکل‌های 2 و3 فراوانی خشکسالی‌ها را براساس شاخص‌های مذکور نشان داده، همچنین مقادیر طبقات شاخص‌ها در طول دوره آماری در شکل-های شماره 4 و 5 آورده شده است. بررسی نمودار فراوانی شاخص خشکسالی SPI نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی مربوط به سال‌های با خشکسالی متوسط و ملایم است که ایستگاه‌های سرکم و سد استقلال در رتبه اول به ترتیب دارای بیشترین فراوانی سال‌های با خشکسالی ملایم و متوسط می‌باشند. با توجه به نمودار فراوانی شاخص RDI بیشترین فراوانی را در حوضه، خشکسالی ملایم داشته است. و ایستگاه سد استقلال با بیشترین فراوانی و همه چهار ایستگاه دیگر از سال‌های با خشکسالی ملایم با فراوانی یکسان برخوردار بودند. نکته مورد توجه اینکه این شاخص طبقه‌بندی نرمال و ترسالی ملایم و شدید را اصلاً نشان نداده است. طبق نمودار 4، سال‌های 1372 تا 74 و 1379 الی 83 طبق شاخص SPI در اغلب ایستگاه‌ها شرایط خشکسالی ملایم تا بسیار شدید غالب بوده است. ایستگاه سرکم در اکثر دوره

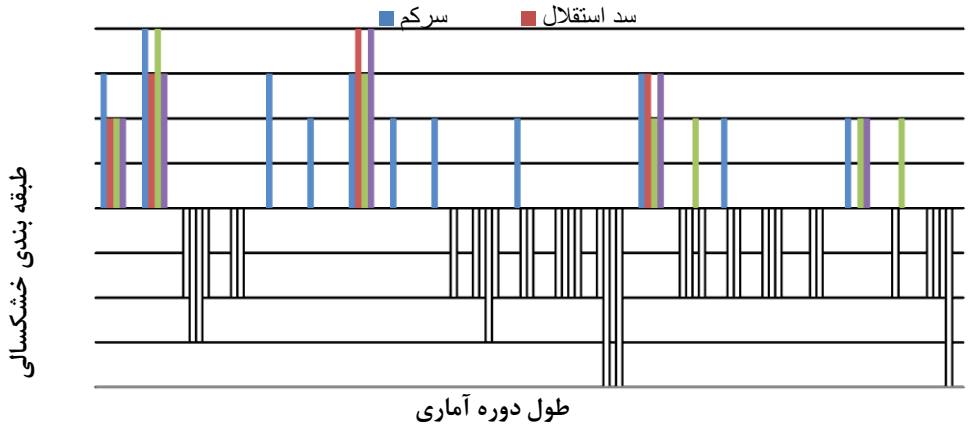
آماری مورد مطالعه شرایط نسبتا مناسب‌تری از نظر خشکسالی در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها دارد. نکته قابل توجه اینکه از سال 1376-77 به بعد جز مواردی در ایستگاه سرکم، در سایر ایستگاه‌ها در بیشتر طول دوره آماری شرایط خشکسالی با شدت‌های متفاوتی حاکم بوده است. نمودار 5 تقریبا روندی سینوسی شکل براساس شاخص RDI را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده است. به صورتی که تمرکز دوره خشکسالی در ایستگاه‌ها مربوط به سال‌های 1382 الی 1386 است. بر عکس شاخص SPI، سال‌های اخیر دارای شرایط نسبتا نرمال تا متوسطی از نظر تر سالی‌اند. همچنین ایستگاه سرکم طبق شاخص RDI در اغلب طول دوره آماری با شرایط خشکسالی مواجه بوده است.



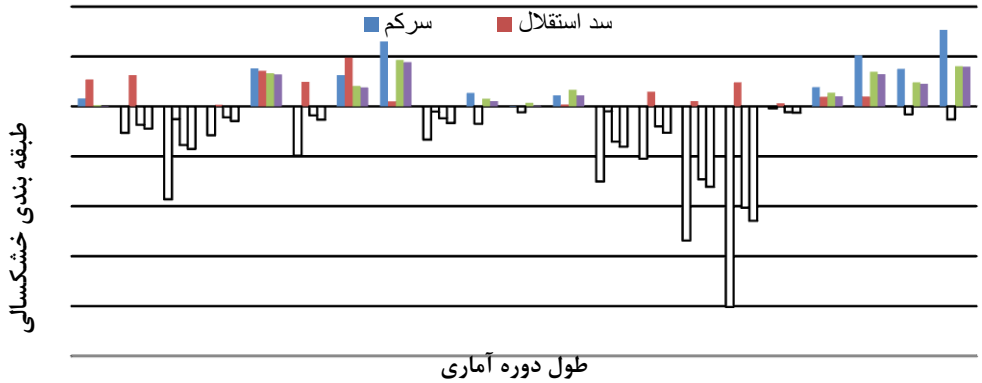
شکل 2: فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص SPI



شکل 3: فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص RDI



شکل4: میزان خشکسالی شاخص SPI در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد بررسی



شکل 5: میزان خشکسالی شاخص RDI در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد بررسی

ارزیابی شاخص منتخب: به منظور بررسی انتخاب بهترین شاخص توصیف‌گر محاسبات هر دو شاخص در مقیاس مشترک سالانه انجام شد. در پاسخ به این سوال که برای ارزیابی شدت خشکسالی در یک منطقه کدام شاخص دقیق‌تر و گویاتر از فرضیه به عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد. مطابق این فرضیه ابتدا کمینه مقادیر بارندگی در هر یک از ایستگاه-ها استخراج و شاخص خشکسالی آن سال ارزیابی شده است. جدول 3 کمینه یا حداقل مقادیر بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه شاخص‌های خشکسالی اقلیمی مورد بررسی در این پژوهش نشان می‌دهد.

جدول 3: جدول ارزیابی شاخص منتخب با استفاده از فرضیه سنجه کارآمد

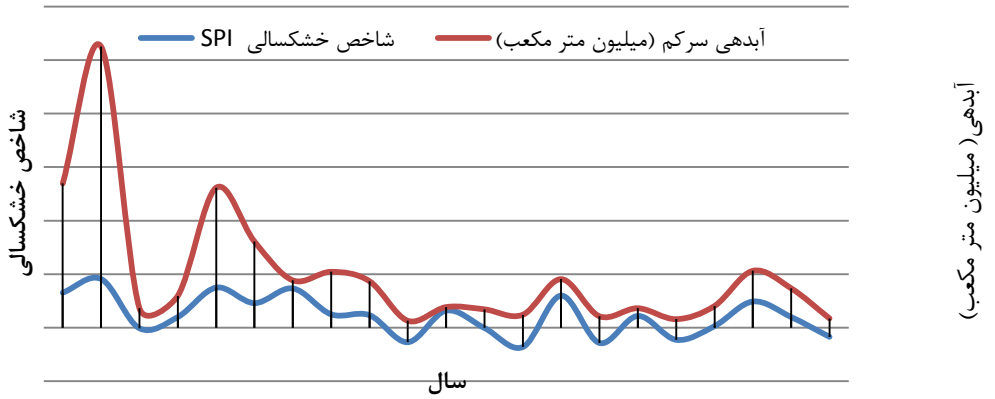
نام ایستگاه	کمینه بارش	سال وقوع کمینه	SPI	RDI
سرکم	37	82-83	خشکسالی ملایم	خشکسالی ملایم
چراغ آباد	12	82-83	خشکسالی بسیارشدید	خشکسالی ملایم
خراجی	51/5	79-80	خشکسالی شدید	نرمال
سد استقلال	34	82-83	خشکسالی بسیارشدید	خشکسالی ملایم

مطابق با نتایج بدست آمده از جدول 3، شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در طول دوره آماری، وقوع خشکسالی بسیار شدید، شدید و ملایم را در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد که با توجه به فرضیه مذکور، نسبت به شاخص خشکسالی RDI عملکرد نسبتاً بهتری در نشان دادن خشکسالی‌های شدید دارد. بنابراین در ادامه برای بررسی میزان همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص SPI استفاده شده است. شاخص SPI در دوره‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در مقیاس ماهانه و در ایستگاه‌های مناطق خشک جهت پایش خشک-سالی برتری دارند، زیرا در این مقیاس‌ها قادر است ارزیابی ماهانه از خشک‌سالی را در اختیار قرار دهد. البته، این شاخص در مقیاس سه ماهه (چنانچه منطبق بر ماه‌های تابستان باشد) در این مناطق با مشکل داده‌های صفر روبرو می‌شوند، بنابراین برای ارزیابی‌های ماهانه با این مقیاس توصیه نمی‌شود. بذرافشان (1381)، صفدری (1382) و شایق و سلطانی (1390) نیز به نتایج مشابهی در این مورد رسیدند.

نتایج بررسی همبستگی تغییرات شاخص خشکسالی ایستگاه‌ها با میزان آبدهی رودخانه: به منظور بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در هر دشت از آمار ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی دشت و نزدیکترین ایستگاه بارانسنجی استفاده شد. بدلیل اینکه خروجی دشت میناب به دریا منتهی می‌گردد و ایستگاه هیدرومتری سد استقلال در پایین دست سد بوده و میزان آبدهی رودخانه میناب در پایین دست تحت کنترل سد می‌باشد از این ایستگاه استفاده نشده است. میزان همبستگی شاخص SPI با میزان آبدهی رودخانه واقع در دشت‌های مسافرآباد، جغین توکهور و رودان در دوره آماری 21 ساله (1370-1391) با سطح معناداری 0/05 در جدول 4 نشان داده شده است. همچنین نحوه تغییرات سالانه این دو پارامتر نیز در اشکال 6، 7 و 8 نمایش داده شده است.

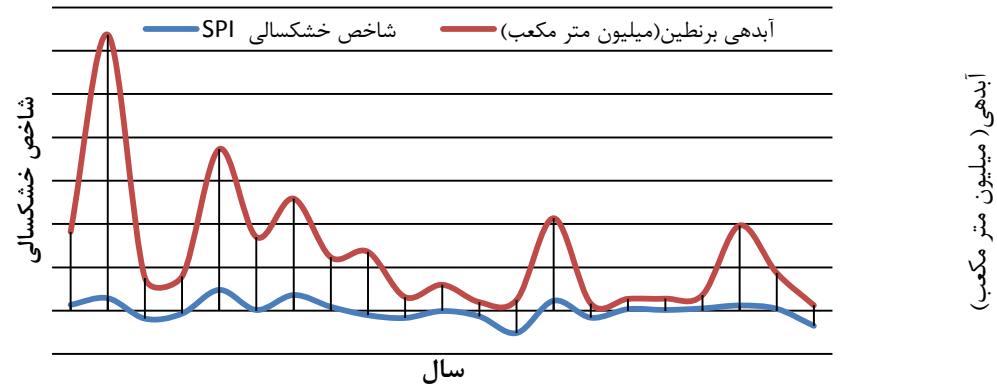
جدول 4: مقدار همبستگی شاخص خشکسالی SPI ایستگاه‌ها با میزان آبدهی رودخانه

نام دشت	نام ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی دشت	نام ایستگاه بارانسنجی واقع در دشت	ضریب تبیین R^2
مسافر آباد	سرکم	سرکم	0/57
جغین توکهور	برنطین	چراغ آباد	0/5
رودان	برنطین	خراجی	0/6



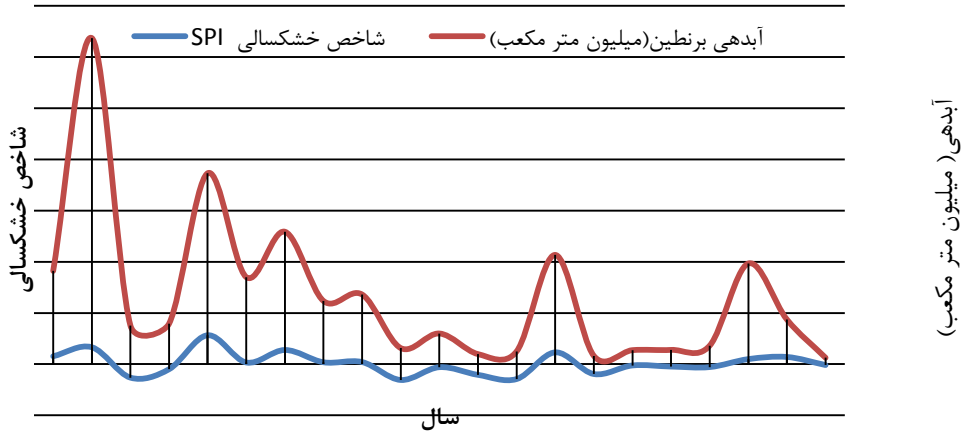
شکل 6: تغییرات شاخص خشکسالی و میزان آبدهی رودخانه در دشت مسافرآباد

با توجه به شکل 6 نوسانات شاخص SPI با تغییرات میزان دبی در دشت مسافرآباد روندی تقریبا مشابه دارد. ولی در برخی از سال‌ها همچون 1373 الی 78 که شرایط ترسالی با درجات متفاوتی حاکم است تغییرات دبی نسبت به شاخص کمتر بوده ولی در سایر سال‌ها سیر تغییرات شاخص و دبی آب تقریباً هماهنگ بوده که این هماهنگی با ضریب تبیین 0/57 نشان داده شده است. شکل 7 دشت جغین توکهور، افت و خیزهای کمتری در هر دو پارامتر نشان داده است. بیشترین سیر صعودی مربوطه به دهه اول دوره مورد مطالعه است و در دهه دوم سیر نزولی را در شاخص خشکسالی به منزله خشک‌تر شدن هوا و همچنین کاهش دبی آبی رودخانه برنطین شاهد هستیم. همچنین کمترین همبستگی میان شاخص خشکی دشت جغین توکهور با دبی رودخانه به میزان 0/50 وجود دارد.



شکل 7: تغییرات شاخص خشکسالی و میزان آبدهی رودخانه در دشت جغین توکهور

شکل 8 دشت رودان، بالاترین همبستگی را میان شاخص خشکی SPI و دبی آب رودخانه به میزان 0/60 از خود نشان داده است. با توجه به نمودار، هرگونه نوسان در شاخص خشکی متعاقباً تغییری در دبی رودخانه به همراه داشته است. و روند کلی هر دو پارامتر سیری نزولی را نشان داده است.



شکل 8: تغییرات شاخص خشکسالی و میزان آبدهی رودخانه در دشت رودان

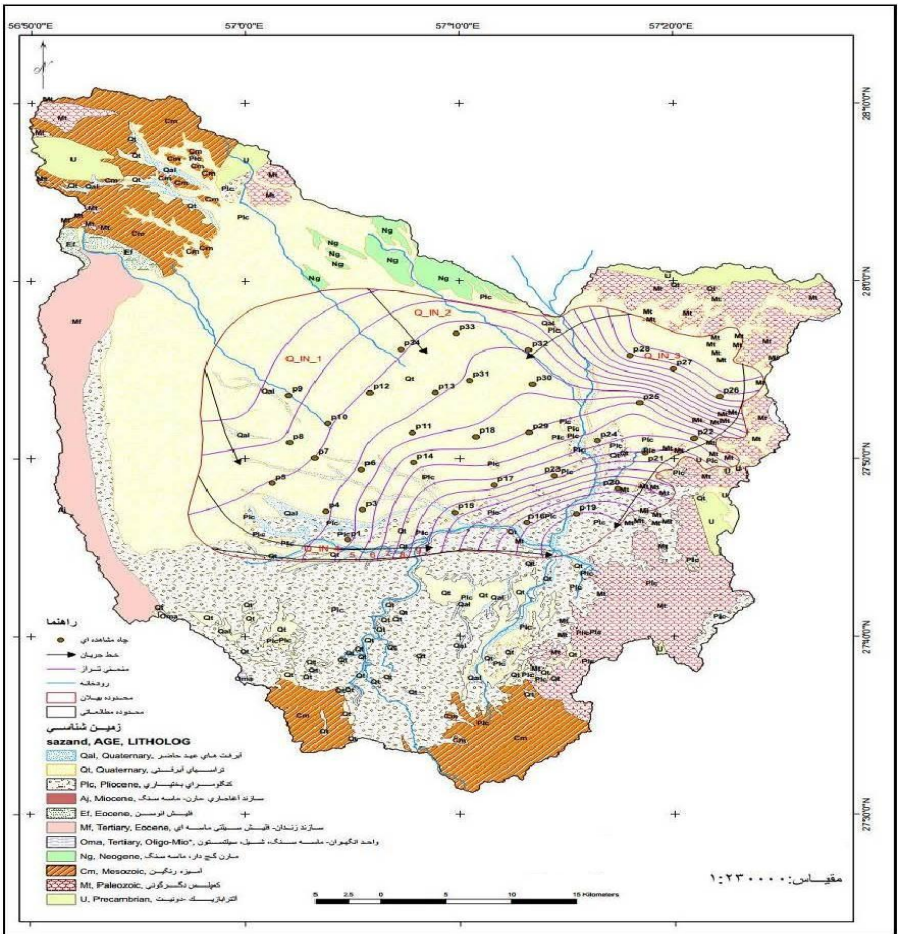
نتایج بررسی رابطه خشکسالی و سطح آب زیرزمینی:
در خصوص رابطه خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی، از آنجایی که کاهش سطح آب نمی-تواند تنها ناشی از کاهش میزان بارندگی باشد و مقدار افزایش تخلیه و برداشت از چاه نیز می‌تواند باعث افت سطح آب شود، در این پژوهش سعی شده است تا با برازش یک معادله رگرسیونی چند متغیره، در هر دشت ضریب تاثیر دو پارامتر خشکسالی و تخلیه تجمعی چاه‌های دشت محاسبه شود تا معلوم گردد که افت سطح آب دشت متاثر از کدام یک از عوامل ذکر شده است. برای این کار هر سه پارامتر به صورت درصد محاسبه و در معادله رگرسیونی چند متغیره لحاظ شدند. افت سطح آب زیرزمینی به عنوان متغیر وابسته و شاخص خشکسالی و میزان برداشت به عنوان پارامتر مستقل انتخاب شده و بر این اساس ضرایب تاثیر هریک استخراج شد. در جدول 5 ضرایب تاثیر شاخص خشکسالی و میزان تخلیه، بر روی سطح آب زیرزمینی، نشان داده شده است.

جدول 5: ضریب تاثیر شاخص خشکسالی و میزان تخلیه بر روی تغییرات سطح آب زیرزمینی

نام دشت	ضریب تاثیر افت سطح آب با خشکسالی	ضریب تاثیر افت سطح آب با میزان تخلیه
مسافر آباد	- 0/036	- 0/491
جغین توکهور	0/8860	- 0/896
رودان	0/82	-0/033
میناب	0/725	- 0/257

با توجه به جدول شماره 5 سهم شاخص خشکسالی در افت سطح آب زیرزمینی نسبت به میزان تخلیه در دشت‌های جغین توکهور، رودان و میناب بیشتر و آشکارتر می‌باشد. اما در دشت مسافرآباد این ضریب منفی شده است، یکی از دلایل این امر می‌تواند وجود سفره دوم تحت‌فشار در مناطق جنوبی و مرکزی این دشت و تداخل دو سفره سطحی و عمقی توسط چاه‌های بهره‌برداری و نهایتاً تأثیر سفره دوم بر روی تغییرات تراز آب سطحی باشد (مطالعات بهنگام سازی طرح جامع منابع آب،1391). سفره دوم به دلیل وجود لایه-های ناتراوا، تاثیرپذیری کمتری از بارش دشت

دارد و معمولاً تغذیه سفره دوم از ارتفاعات بالادست است که در این دشت بخشی از تغذیه آبخوان از طریق سازندهای سخت ارتفاعات صورت می‌گیرد. بنابراین تغذیه سفره دوم امری فرامنطقه‌ای است. از این رو، کاهش بارندگی و خشک‌سالی در این سفره‌ها کمتر نمود پیدا می-کند. با توجه به جدول شماره 5، در دشت مسافرآباد شاخص‌های خشکسالی تاثیر کمتری بر افت سطح آب چاه‌ها داشته است. لازم به ذکر است که برداشت از آب زیرزمینی در دشت مسافرآباد هم از سفره آزاد و هم از سفره تحت فشار صورت می‌گیرد. میزان تخلیه از آب زیرزمینی محدوده مسافرآباد در دوره 21 ساله (92-71) 2357/9 میلیون مترمکعب می‌باشد. بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در ناحیه شمال غرب به میزان 149/1 متر و کمترین آن حدود 5/1 متر در نزدیکی محل خروجی آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده است. میزان تغییرات حجم ذخیره دینامیک مخزن در این دوره معادل 72/83- میلیون مترمکعب کاهش نشان می‌دهد که با توجه به گستردگی مخزن، افت سالیانه حدود 0/1 متر را در ارتفاع آبخوان به همراه دارد (گزارش تمدید ممنوعیت دشت مسافرآباد، 1393). شکل 9 نقشه تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مسافرآباد نشان داده شده است. با توجه به شکل 9، راستای منحنی‌های تراز در نیمه شرقی دشت شمال غربی- جنوب شرقی بوده و ورودی‌های آب زیرزمینی به سمت جنوب غرب جریان دارد و در نیمه غربی منحنی‌ها تغییر جهت داده و از امتداد شمال شرق- جنوب غرب پیروی می‌کنند و جریان آب از شیب بیشتری برخوردار می‌باشد. در این نیمه ورودی‌های آب زیرزمینی به سمت مرکز دشت جریان یافته و کلاً مازاد تمامی ورودی‌های زیرزمینی پس از تشکیل جبهه خروجی در ناحیه جنوب شرقی به رودخانـــه زیارتعلی منتهی می‌گردند. در دیگر دشت‌های مورد مطالعه بالا بودن ضریب تاثیر میان شاخص خشکسالی SPI و افت سطح آب نشان دهنده تاثیرپذیری آشکار میان این دو پارامتر است. البته لازم به ذکر است که اغلب این دشت‌ها ممنوعه می‌باشند و اجازه اضافه برداشت وجود ندارد. این ممکن است در کاهش ضرایب تاثیر افت سطح آب با میزان تخلیه تاثیرگذار باشد. در مجموع نتایج بدست آمده در این بخش مشابه نتایج پژوهش شکیبا و همکاران (1389) می‌باشد.



شکل 9: نقشه تراز آب محدوده مطالعاتی مسافرآباد

نتیجه‌گیری

حوزه آبخیز رودخانه میناب واقع در استان هرمزگان از دیدگاه زمین‌شناسی از جمله پیچیده-ترین مناطق ایران زمین است. دلیل این امر را می‌توان به عوامل مختلفی که در تکامل و در نهایت شکل‌گیری این منطقه موثر بوده‌اند نسبت داد. این حوزه آبخیز از دیدگاه زمین‌شناسی بین زون‌های زمین‌شناسی زاگرس، مکران و سنندج-سیرجان قرار گرفته که یکی از پر تکاپوترین و پیچیده‌ترین مناطق زمین‌ساختی ایران زمین می-باشد. وجود گسل‌های منطقه و پایین بودن عرض جغرافیایی که شرایط اقلیمی خاصی را بر آن حاکم نموده است و باعث شکل‌گیری پدیده‌های خاص ژئومورفولوژیکی شده‌است پدیده‌هایی که تحت‌تاثیر فرآیندهای بادی، آبی، ساحلی، تکتونیکی و غیره باعث شکل‌گیری اشکال متنوعی شده است. یکی از مشکلاتی که علی‌رغم رطوبت بالا در این حوزه وجود دارد این است که با خشک‌سالی مواجه است. به طوری که اگر چه فعالیت کشاورزی و باغداری رونق دارد اما پدیده خشکسالی حاکم بر منطقه از توان و پتانسیل منطقه به شدت کاسته است. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به فرضیه سنجه کارآمد، شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در طول دوره آماری، نسبت به شاخص خشکسالی

RDI عملکرد نسبتاً بهتری در نشان دادن خشکسالی‌های شدید دارد.

پراکندگی چاه‌های پیزومتری مورد مطالعه، افزایش میزان برداشت سالانه از منابع آب زیرزمینی و افزایش تعداد حلقه‌های چاه در دشت ها عاملی دیگر برای تشدید اثر خشکی بر منابع آب زیرزمینی است. اگرچه تمامی دشت‌های مورد بحث به دلیل اضافه برداشت و حفر چاه جدید از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان ممنوعه اعلام شده است، ولی اینکه موضوع بیان شده در عمل و واقعیت تا چه میزان اجرا می‌گردد جای بحث و پیگیری دارد. مطلب دیگر، زمین-شناسی مختلف دشت‌های مورد مطالعه موجود در این حوزه است. تمامی این دشت‌ها تامین کننده منابع آبی سد استقلال هستند. هر یک از این دشت‌ها به دلیل نوع سفره آب‌زیرزمینی، شرایط ژئومرفولوژیکی و ساختار زمین‌شناسی ویژه آنها (که در بالا به آن اشاره شد)، کاهش سطح منابع آب سطحی و زیرزمینی به نحوی متاثر از پدیده خشکسالی یا اضافه برداشت از این منابع هستند.

با توجه به نتایج این تحقیق شاخص خشکسالی در افت سطح آب زیرزمینی دشت‌هایی که دارای سفره دوم می‌باشند نمود کمتری پیدا می‌کند. سفره دوم به دلیل وجود لایه‌های ناتراوا، تاثیرپذیری کمتری از بارش دشت دارد و معمولاً تغذیه سفره دوم از ارتفاعات بالادست است مثلا در این پژوهش بخش عمده تغذیه آبخوان دشت مسافرآباد از طریق سازندهای سخت ارتفاعات صورت می‌گیرد. بنابراین تغذیه سفره دوم امری فرامنطقه‌ای است. از این رو، کاهش بارندگی و خشکسالی در این سفره‌ها کمتر نمود پیدا می‌کند. از طرف دیگر، در این مناطق وجود اراضی مارنی که به شدت روی کیفیت آب و در نتیجه روی محصولات کشاورزی تاثیر بسیار زیادی می‌گذارد، شرایط خشکسالی و عدم در نظر گرفتن پتانسیل منطقه اوضاع را وخیم‌تر می‌کند که عدم تناسب کاربری اراضی را نشان داده و اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت همه‌جانبه در راستای توسعه پایدار برای مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان استان و کشوری را می‌طلبد.

منابع

-اسدی‌زارچ، م.ا.، مبین، م.ح.، ملکی نژاد، ح. و دستورانی، م.ت.، 1388. بررسی خشکسالی اقلیمی در ایستگاه اصفهان با استفاده از شاخص جدید RDI، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریتی آن.

- باب الحوائجی، م.، 1384. مدیریت بحران خشکسالی در استان هرمزگان، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

-بذرافشان، ج .، ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

-جمشیدی، ح.، خلیلی، د.، حقیقی، ع. ا. ک. و زند پارسا، ش.، 1388. بررسی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک کشور، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریتی آن.

-حسن زاده، ی.، کردانی، ا.ع. و فاخری‌فرد، ا.، 1390. پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی، مجله آب و فاضلاب ایران، شماره 3، صفحات48-60.

-حمیدیان پور، م.، 1384. تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت قزوین و میزان اثرات آن بر منابع

آب زیرزمینی، پایان نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیا.
-خلیلی، ع. و بذرافشان، ج.، 1382. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه-های اقلیمی مختلف ایران، نشریه نیوار شماره 48 و 49. بهار و تابستان، ص 79 -93 .
-سلیمانی، ل. و حقی زاده، ع.، 1394. ارزیابی تاثیر خشکسالی‌های اخیر بر کاهش آبدهی دریاچه‌ها، مطالعه موردی: دریاچه کیو خرم آباد، بولتن بین‌المللی منابع آب، شماره 3، زمستان 94، ص 99 تا 108.
-شایگان، م.، 1383. تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: حوزه قوچان-شیروان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه سنجش از دور و GIS ،دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس.
-شایق، ا. و سلطانی، س.، 1390. مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در استان یزد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره 5، ص 231-249.
-شکیبا، ع.ر.، میرباقری، ب. و خیری، ا.، 1389. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال 8، شماره 25، ص 20-31.
-صفدری، ع. ا.، ۱۳۸۲. آنالیزهای منطقه‌ای و شدت مدت فراوانی خشکسالی با استفاده از بارش در حوزه کارون، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
-فرجزاده اصل، م.، 1374. قابلیت خشکسالی و محدویت‌های بهره‌برداری از منابع آب در ایران، سومین سمینار علمی مطالعات منابع آب، 17-15 مهرماه 1374، تهران، ص 332-345.
-گزارش بیلان دشت مسافرآباد مطالعات بهنگام سازی طرح جامع منابع آب، مهندسین مشاور یکم، 1391، کارفرما: شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان.
-گزارش تمدید ممنوعیت دشت مسافرآباد، 1393، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان.
-محمدی، ع. و اژدری مقدم،م.، 1391. بررسی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI در ایستگاه سینوپتیک یزد، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
-مسعودیان، ا.،1377. بررسی نظام تغییرات زمانی- مکانی بارش در ایران زمین، رساله دکترای اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم‌انسانی، دانشگاه تهران.

-Asadi Zarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Dastorani, M.T. and Kousari, M.R., 2011. Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran, Water Resource Manage, DOI 10.1007/s11269-011-9867-1.
-Belayneh, A. and Adamowski, J., 2012. Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Network and Support Vector Regression, Applied Computational Intelligence And Soft Computing, 13 p.
-Edward, D.C. and Mckee, T. B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple timescales, Climatology Report, Colorado State University, 155 p.

-Jenkins, K. L., 2011. Modeling the Economic and Social Consequences of Drought under Future Projection of Climate Change, Ph.D Thesis, Department of Land Economy, University of Cambridge, 222 p.

-Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. Drought monitoring with multiple timescales, Preprints, In: 8th conference on Applied Climatology, p. 179- 184.

-Mishra, A. K. and Singh, V.P., 2011. Drought modeling - A review, Journal of Hydrology, v. 403, p. 157-175.

-Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K. and Kumar, A., 2007. the influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India, Journal of hydrology, v. 343, p. 140- 153.

-Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H., 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), Water Resource Manage, v. 21, p. 821–833, DOI 10.1007/s11269-006-9105-4.