



ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیم و خشکسالی بر شاخص فقر آب در دشت فسا

نبی اله یزدی^۱، سید نعمت اله موسوی^۲، عبدالرسول شیروانیان^۳، عبدالرسول زارعی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

مقاله پژوهشی

چکیده

تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی با شدت های مختلف، مدیریت نامناسب و برداشت بی رویه از منابع آب و عدم توجه به بیلان منابع آب، باعث بروز بحران آب در دهه های اخیر شده است. در این مطالعه با استفاده از شاخص فقر آب بر مبنای پنج مؤلفه وزنی منابع، دسترسی، ظرفیت، مصارف و محیط زیست، وضعیت منابع آب سطحی و زیرسطحی در دشت فسا طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ بررسی شده است. در مرحله بعد با توجه به اهمیت نقش تغییرات اقلیمی و همچنین بروز خشکسالی با شدت های مختلف بر منابع آب، با استفاده از مقدار ضریب همبستگی به بررسی همبستگی بین تغییرات اقلیمی و تغییرات خشکسالی با شاخص فقر آب در منطقه مورد مطالعه اقدام شد. نتایج نشان داد آنچه نقش تعیین کننده در شاخص فقر آبی دشت فسا دارد، وضعیت مصارف منابع آبی است و ظرفیت منابع آبی این دشت دارای کم ترین نقش در این شاخص می باشد. بر اساس نتایج مطالعه، مقدار شاخص فقر آب در دشت فسا در دامنه ۰/۶۷۸ در سال ۱۳۸۹ تا ۰/۲۹۷ در سال ۱۳۹۳ نوسان دارد و بدترین وضعیت فقر آبی در دشت فسا در سال ۱۳۹۳ رخ داده است. همچنین نتایج نشان داد که، در کوتاه مدت، وابستگی شاخص فقر آبی در دشت فسا به تغییرات خشکسالی در مقایسه با تغییرات اقلیمی بیشتری بوده است. در نهایت به نظر می رسد در راستای مقابله با فقر آب در دشت فسا، مدیریت مصارف منابع آب این دشت، به ویژه در شرایط خشکسالی، بسیار حائز اهمیت است.

واژه های کلیدی: شاخص فقر آب، تغییرات اقلیمی، تغییرات خشکسالی، مصارف منابع آب، دشت فسا

^۱ . دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، شهر مرودشت، ایران.

Email: yazdi8560@gmail.com

^۲ . دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، شهر مرودشت، ایران. (نویسنده مسئول)

Email: seyed_1976mo@yahoo.com

^۳ . استادیار، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش

و ترویج کشاورزی، فارس، ایران. Email: rasoolshirvanian@yahoo.com

^۴ . دانشیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، شهر فسا، ایران. Email:

Ar_Zareiee@fasau.ac.ir



مقدمه

(آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۶) و از قابلیت بالایی در امر سیاست گذاری و تصمیم سازی مدیریت و توسعه منابع آبی نیز برخوردار است (رجبی هشتجین و عرب، ۱۳۸۵).

مطالعات انجام شده بر روی شاخص شاخص UNEP در ایران نشان داد این شاخص در مقایسه با شاخص دمارتن اصلاح شده دارای دقت بیشتری در تعیین وضعیت اقلیمی مناطق مختلف با شرایط اقلیمی متفاوت است (Zarei et al. 2019). همچنین، Nouri and Bannayan (2019) به بررسی روند تغییرات الگوی مکانی و زمانی شاخص خشکی در ایران با استفاده شاخص UNEP طی سال های ۱۹۶۶ الی ۲۰۱۲ پرداختند. نتایج بررسی ایشان نشان داد شاخص مذکور دارای روند تغییرات نزولی و خشک شونده می باشد. در رابطه با شاخص SPEI، Zarei and Moghimi, (2019b) با استفاده از سری داده های پنج ایستگاه هواشناسی در استان فارس اقدام به ارائه نسخه اصلاح شده از شاخص SPEI نمودند. (Ye et al. 2019) وضعیت مکانی و زمانی خشکسالی در شمال شرق چین را با استفاده از شاخص یادشده مورد بررسی قرار داده اند.

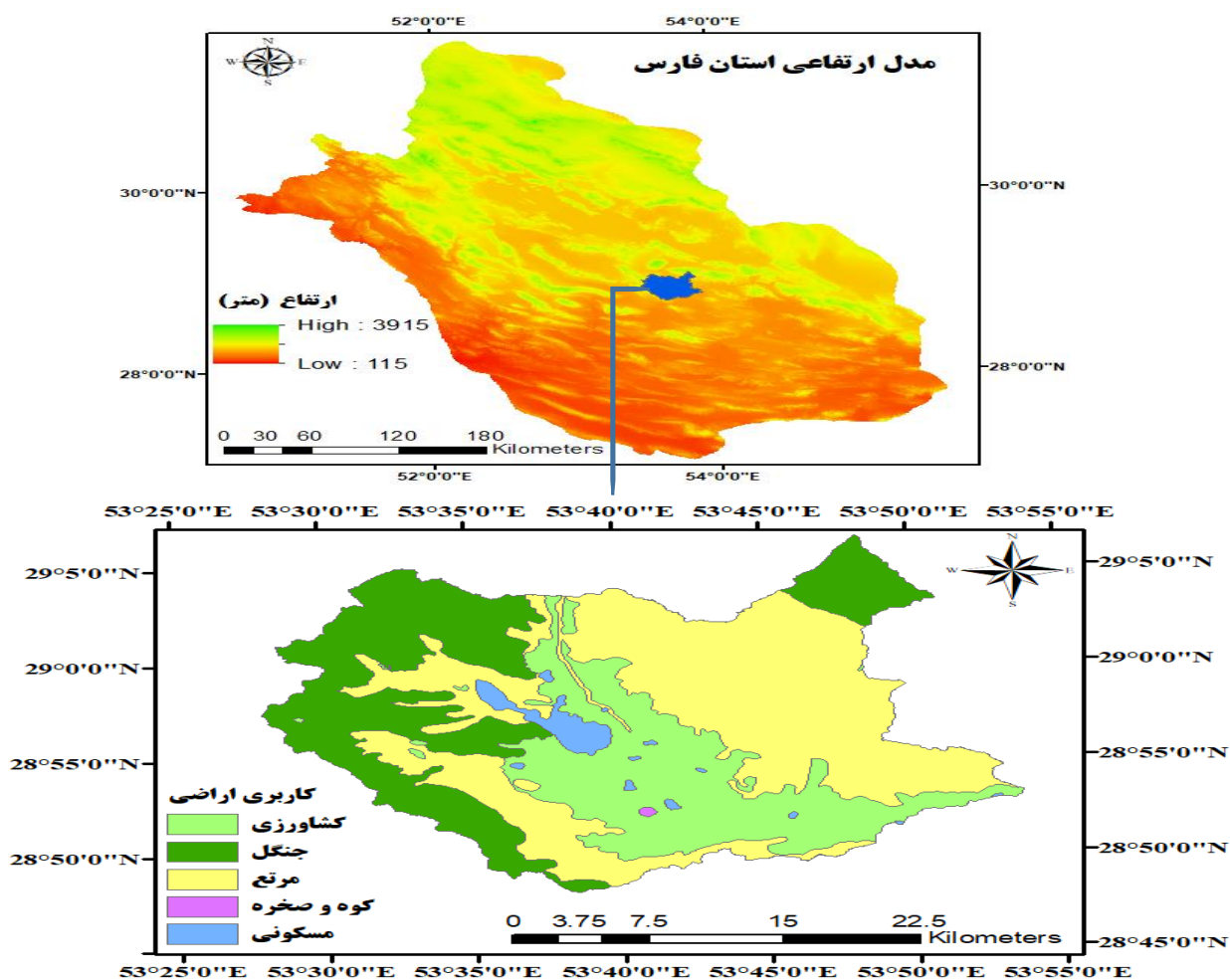
بررسی وضعیت منابع آب با استفاده از شاخص فقر آب نیز مورد توجه بسیاری از محققان در سال های اخیر بوده است. طالبی و امینی (۱۳۹۷) به بررسی ابعاد کم آبی با استفاده از شاخص فقر آب و تحلیل مقایسه ای آن در شهرستان قم پرداخته اند. نتایج بررسی ایشان نشان داد بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه با مقدار ۱۲۶، پایین ترین رتبه و جعفرآباد با مقدار ۲۱۷/۶، بالاترین رتبه را در شاخص فقر آب دارند. همچنین از نظر ظرفیت های انسانی، تقریباً همه بخش ها وضعیت مناسبی داشتند. آسیابی هیر و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی شاخص فقر آب بر مبنای مؤلفه های پنجگانه منابع، دسترسی، ظرفیت، مصارف و محیط زیست در مدیریت منابع آب در برخی از حوضه های آبخیز اردبیل پرداخته اند. از دیگر تحقیقات انجام شده با استفاده از شاخص فقر آب در سطح جهان می توان به Maiolo and Pantusa, 2019; Liu et al. 2019 اشاره نمود.

دشت فسا یکی از دشت های بزرگ استان فارس واقع در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شیراز در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۷ دقیقه

تغییرات اقلیمی و به دنبال آن، بروز خشکسالی های پی در پی با شدت های متفاوت، همچنین عدم استفاده مناسب و کارآمد از منابع آب در دسترس، اعم از منابع سطحی و زیر سطحی، باعث بروز چالش های مختلفی در حوزه مدیریت عرضه و تقاضای آب و همچنین توسعه عادلانه و حفاظت از محیط زیست شده است (Farsani et al. 2019; Givati et al. 2019; Nosrati and Zareiee, 2011). در این راستا، Zarei et al. (2019) موضوع کمبود آب و چالش های ناشی از آن را به عنوان یکی از بزرگترین چالش های قرن حاضر و یکی از مهم ترین مسائل بحران زا در عرصه جهانی مطرح کرده اند. در ادبیات موضوع نیز کمبود آب و چالش های ناشی از آن در کانون توجهات قرار داشته و شاخص های مختلفی جهت بررسی وضعیت اقلیمی، وضعیت خشکسالی و سایر ابعاد مرتبط با منابع آب ارائه گردیده است. در بررسی وضعیت اقلیمی، شاخص UNEP (United nation environmental programme) به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص ها در مناطق مختلف جهان بوده (Zarei et al. 2019; Alessa et al. 2008) و در بررسی وضعیت خشکسالی و تعیین شدت و فراوانی آن نیز شاخص SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) یکی از شاخص های توصیه شده در عرصه بین المللی است (Alwan et al. 2019; Mishra and Singh, 2010). همچنین، در حوزه بررسی وضعیت منابع آب و رصد تغییرات آن در آینده این منابع به منظور کمک به مدیریت مناسب آن نیز تاکنون شاخص های علمی مناسب و چند معیاری ارائه شده است. از جمله این شاخص ها می توان به شاخص فالکن مارک، شاخص سازمان ملل، شاخص امنیت آب و شاخص فقر آب اشاره کرد (Wurtz et al. 2019). شاخص فقر آب برخلاف شاخص های یادشده، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت و توسعه منابع آبی در نظر گرفته شده و ابزاری موثر و جامع برای تحلیل موجودیت منابع آب سطحی و ارتباط آن با نیازهای انسان و محیط زیست می باشد. در این راستا، با توجه به شرایط نامطلوب کمی و کیفی و آلودگی های منابع آب، شاخص فقر آب به عنوان یک شاخص چند معیاره و دارای جامعیت بیشتر در بررسی وضعیت منابع آب مطرح بوده

زیر زمینی دشت فسا) و همچنین تأثیرپذیری منابع آب موجود در این دشت از تغییرات اقلیمی و خشکسالی از سوی دیگر، این دشت را در کانون توجهات مدیریت منابع آب قرار داده است (Mokarram and Zarei, 2018). بر این اساس، این تحقیق در صدد است ابتدا نسبت به محاسبه شاخص فقر آب در دشت فسا بر مبنای مؤلفه های وزنی پنجگانه شامل مؤلفه منابع، دسترسی، ظرفیت، مصارف و محیط زیست اقدام نماید و در مرحله بعد نسبت به بررسی همبستگی شاخص مذکور با شاخص های تغییرات اقلیمی و تغییرات خشکسالی بپردازد. طبیعی است نتایج این تحقیق می تواند در مدیریت بهتر منابع آب در دسترس و همچنین مدیریت مصرف آب موثر باشد

شمالی با مساحت ۸۴۰/۲۱ کیلومتر مربع می باشد (شکل ۱). این دشت با متوسط ارتفاع ۲۰۴۰ متر از سطح دریا دارای اقلیمی خشک با متوسط بارندگی ۲۸۹/۰۱ میلی متر در سال و متوسط دمای آن ۱۹/۴۲ درجه سانتی گراد است. در بستر این دشت، فعالیت های کشاورزی و دامداری، محور اقتصاد معیشتی افراد ساکن در آن را تشکیل می دهد. به طوری که بالغ بر ۸۰ درصد جمعیت روستایی و حدود ۲۰ درصد جمعیت شهری شهرستان فسا به انجام کشاورزی و دامداری در این دشت اشتغال دارند (سازمان جهاد کشاورزی فارس، ۱۳۹۷). وابستگی این فعالیت ها به منابع آب از یک سو و عدم مدیریت مناسب برداشت آب در مزارع و برداشت بی رویه از منابع آب زیر زمینی (بیلان منفی آب



شکل (۱): مدل ارتفاعی استان فارس و نقشه کاربری اراضی دشت فسا



مواد و روش‌ها

در راستای تعیین وضعیت منابع آب در دشت فسا از شاخص فقر آب بر مبنای پنج مؤلفه وزنی شامل منابع، دسترسی، ظرفیت، مصارف، و محیط زیست استفاده شد. رابطه ریاضی این شاخص بر مبنای مؤلفه های یاد شده به صورت رابطه (۱) است:

$$WPI = W_{RR} + W_{AA} + W_{CC} + W_{UU} + W_{EE} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، R مؤلفه منابع، A مؤلفه دسترسی، C مؤلفه ظرفیت، U مؤلفه مصرف و E مؤلفه محیط زیست و W بیانگر وزن هریک از این مؤلفه ها می باشد. این شاخص از نظر مقداری، دارای دامنه تغییراتی بین صفر تا یک می باشد. در این شاخص، مقدار صفر نشان دهنده وضعیت بحرانی منابع آب و مقدار یک نشان دهنده وضعیت مطلوب منابع آب است.

مؤلفه‌های شاخص فقر آب مؤلفه منابع

این مؤلفه میزان دسترسی طبیعی به منابع آب در دشت فسا را مشخص می کند. شاخص های مورد استفاده در این مؤلفه شامل شاخص قابلیت دسترسی و شاخص تغییر پذیری می باشد. به پیروزی از آسیایی هیر و همکاران (۱۳۹۶) این مؤلفه در قالب رابطه (۲) بیان شد:

$$R = W_{R1}R_1 + W_{R2}R_2 \quad (2)$$

در این رابطه، R_1 شاخص قابلیت دسترسی، R_2 شاخص تغییر پذیری و W_{R1} و W_{R2} به ترتیب وزن شاخص های R_1 و R_2 می باشد. در رابطه (۱)، شاخص قابلیت دسترسی نشان دهنده فشار جمعیت بر منابع آب موجود است. این شاخص، خود از ترکیب سه معیار شامل معیار سرانه بارندگی سالانه در دشت فسا، معیار سرانه منابع آب ورودی از حوضه های مجاور این دشت و معیار سرانه منابع آب زیر زمینی دشت یاد شده و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

$$R_1 = W_{R11}R_{11} + W_{R12}R_{12} + W_{R13}R_{13} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، R_{11} ، R_{12} و R_{13} به ترتیب معیار سرانه بارندگی سالانه (میلی متر)، معیار سرانه منابع آب ورودی

از حوضه های مجاور (متر مکعب به ازای هر نفر) و معیار سرانه منابع آب زیر زمینی (متر مکعب به ازای هر نفر) بوده و W_{R11} ، W_{R12} و W_{R13} به ترتیب وزن معیارهای R_{11} ، R_{12} و R_{13} می باشند. سایر متغیرهای رابطه (۳) قبلاً تعریف شده اند. در این رابطه معیارهای سرانه بارندگی سالانه، سرانه منابع آب ورودی از حوضه های مجاور و سرانه منابع آب زیر زمینی دشت فسا با استفاده از روابط (۴) تا (۶) محاسبه شدند:

$$R_{11} = \frac{X_i}{POP} \times 100 \quad (4)$$

$$R_{12} = \frac{S_i}{POP} \times 100 \quad (5)$$

$$R_{13} = \frac{U_i}{POP} \times 100 \quad (6)$$

در این روابط، X_i مقدار بارندگی سالانه دشت فسا (میلی متر)، S_i حجم منابع آب ورودی به حوضه دشت فسا از حوضه های مجاور (متر مکعب)، U_i حجم منابع آب زیر زمینی دشت فسا (متر مکعب) و POP کل جمعیت ساکن در این دشت می باشد.

در رابطه (۲)، شاخص تغییر پذیری نشان دهنده تغییرپذیری اقلیمی است. در این مطالعه این شاخص از ترکیب معیارهای تغییرات بارندگی، تغییرات دما و تغییرات تابش با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد:

$$R_2 = W_{R21}R_{21} + W_{R22}R_{22} + W_{R23}R_{23} \quad (7)$$

در این رابطه، R_{21} ، R_{22} و R_{23} به ترتیب معیارهای تغییرات بارندگی، تغییرات دما و تغییرات تابش در دشت فسا و W_{R21} ، W_{R22} و W_{R23} به ترتیب وزن معیارهای R_{21} ، R_{22} و R_{23} می باشند. سایر متغیرهای رابطه (۷) قبلاً تعریف شده اند. در این رابطه، معیارهای تغییرات بارندگی، تغییرات دما و تغییرات تابش در دشت فسا با استفاده از روابط (۸) تا (۱۰) محاسبه شدند:

$$R_{21} = \frac{P_i}{0.3} \times 100 \quad (8)$$

$$R_{22} = \frac{T_i}{0.3} \times 100 \quad (9)$$

$$R_{23} = \frac{SO_i}{0.3} \times 100 \quad (10)$$

در این روابط، P_i ضریب تغییرات بارندگی سالانه (درصد)، T_i ضریب تغییرات دمای سالانه (درصد) و SO_i ضریب تغییرات تابش (درصد) در منطقه مورد مطالعه می باشد. سایر متغیرهای این روابط قبلاً تعریف شده اند.

مؤلفه دسترسی

مؤلفه دسترسی در شاخص فقر آب بیانگر دسترسی مناسب به مقدار کافی از آب آشامیدنی سالم و بهداشت، جهت سلامتی و رفاه است. این مؤلفه با استفاده از سه شاخص تامین آب، شاخص دسترسی به بهداشت و شاخص زمین های قابل کشت با استفاده از رابطه (۱۱) به دست آمد (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۶؛ رجبی هشتجین و عرب، ۱۳۸۵):

$$A = W_{A1}A_1 + W_{A2}A_2 + W_{A3}A_3 \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)، A_1 ، A_2 و A_3 به ترتیب شاخص تامین آب، شاخص دسترسی به بهداشت و شاخص زمین های قابل کشت و W_{A1} ، W_{A2} و W_{A3} به ترتیب وزن این شاخص ها می باشند. لازم به ذکر است که شاخص های تامین آب، دسترسی به بهداشت و زمین های قابل کشت با استفاده از روابط (۱۲) تا (۱۴) محاسبه شدند:

$$A_1 = \frac{X_S}{POP} \times 100 \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{X_W}{POP} \times 100 \quad (13)$$

$$A_3 = \frac{Cu}{Re} \times 100 \quad (14)$$

در این روابط، X_S جمعیت افراد دارای دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی، X_W جمعیت افراد دارای دسترسی به بهداشتی، Cu مساحت زمین های قابل کشت (هکتار) و Re منابع آب داخلی در دشت فسا (متر مکعب) می باشد.

مؤلفه ظرفیت

در شاخص فقر آب، این مؤلفه اثر بخشی توانایی ساکنین دشت برای مدیریت آب را نشان می دهد. مؤلفه یادشده دارای دو شاخص سرانه ذخیره آب یا میزان آب اختصاص یافته به هر نفر در سال و شاخص سرانه زمین های کشاورزی یا میزان زمین قابل کشت اختصاص یافته به هر نفر در سال بوده که با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه شد (El-Gafy, 2018):

$$C = W_{C1}C_1 + W_{C2}C_2 \quad (15)$$

در رابطه، C_1 و C_2 به ترتیب شاخص سرانه ذخیره آب یا میزان آب اختصاص یافته به هر نفر در سال و شاخص سرانه زمین های کشاورزی یا میزان زمین قابل کشت اختصاص یافته به هر نفر در سال، W_{C1} و W_{C2} به ترتیب

وزن شاخص های یادشده می باشد. این شاخص ها با استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) محاسبه شدند:

$$C_1 = \frac{D_i}{POP} \times 100 \quad (16)$$

$$C_2 = \frac{Z_i}{POP} \times 100 \quad (17)$$

در این روابط، D_i حجم کل آب مخازن سدهای موجود (متر مکعب) و Z_i مساحت کل زمین های کشاورزی موجود در دشت فسا (هکتار) می باشد. سایر متغیرهای این روابط قبلاً تعریف شده اند.

مؤلفه مصارف

در ارتباط با مؤلفه مصارف، مصرف آب برای اهداف خانگی و کشاورزی مد نظر بوده و میزان مصرف آب و نوع بهره برداری از منابع آبی را بررسی می کند. بر این اساس، این مؤلفه دارای دو شاخص مصرف سرانه آب خانگی و مصرف سرانه آب کشاورزی می باشد. این مؤلفه با استفاده از رابطه (۱۸) محاسبه شد (آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۶):

$$U = W_{U1}U_1 + W_{U2}U_2 \quad (18)$$

در رابطه (۱۸)، U_1 و U_2 به ترتیب شاخص مصرف سرانه آب خانگی و شاخص مصرف سرانه آب کشاورزی، W_{U1} و W_{U2} به ترتیب وزن این شاخص ها می باشد. شاخص های یادشده با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) محاسبه شدند:

$$U_1 = \frac{P_i}{POP} \times 100 \quad (19)$$

$$U_2 = \frac{K_i}{SUM} \times 100 \quad (20)$$

در این روابط، P_i حجم آب مصرفی در بخش خانگی (متر مکعب)، K_i مساحت کل زمین های دارای کشاورزی آبی (هکتار) و SUM مساحت کل زمین های کشاورزی موجود در دشت فسا (هکتار) می باشد. سایر متغیرهای این روابط قبلاً تعریف شده اند.

مؤلفه محیط زیست

حفظ کیفیت محیطی و سلامتی اکوسیستم برای رسیدن به مصرف پایدار منابع آب، اهمیت زیادی دارد. این مؤلفه به وسیله شاخص تنش محیط زیستی با استفاده از رابطه (۲۱) تعیین شد. در این مطالعه به پیروی از طالبی و امینی (۱۳۹۷) مقدار کودهای شیمیایی استفاده شده در واحد سطح زمین های کشاورزی موجود در دشت فسا به عنوان شاخص تنش محیط زیستی یا فشار اعمال شده به



که در آن $Prob_{ij}$ احتمال وقوع مقدار Li در مؤلفه، شاخص یا معیار Li ، و r_{ij} درصد فراوانی هر یک از مقادیر موجود در این مؤلفه، شاخص یا معیار می‌باشد. با استفاده از توزیع احتمالات مربوط به هر شاخص مورد مطالعه، شاخص آنتروپی مربوط به آن مؤلفه، شاخص یا معیار به کمک رابطه (۲۴) محاسبه گردید:

$$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m (Prob_{ij} \times \ln(Prob_{ij})) \quad (24)$$

که در آن E_j شاخص آنتروپی مؤلفه، شاخص یا معیار Li بوده و سایر متغیرها قبلاً تعریف شده‌اند. در ادامه با استفاده از شاخص آنتروپی، میزان انحراف از اطلاعات در هر مؤلفه، شاخص یا معیار مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۲۵) به دست آمد:

$$D_j = 1 - E_j \quad (25)$$

که در آن D_j میزان انحراف از اطلاعات در مؤلفه، شاخص یا معیار Li بوده و سایر متغیرها قبلاً تعریف شده‌اند. سپس، با استفاده از میزان انحراف از اطلاعات، وزن هر مؤلفه، شاخص یا معیار به کمک رابطه (۲۶) تعیین گردید:

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (26)$$

که در آن W_j وزن مؤلفه، شاخص یا معیار Li بوده و سایر متغیرها قبلاً تعریف شده‌اند.

داده‌ها و شیوه جمع آوری آن

در این مطالعه، داده‌های مربوط به مقدار بارندگی سالانه، متوسط دمای سالانه، متوسط ساعات آفتابی، متوسط رطوبت نسبی سالانه، متوسط سرعت باد سالانه و متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه در دشت فسا از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. اطلاعات مربوط به حجم کل آب مخازن سدهای موجود در منطقه مورد مطالعه، حجم آب مصرفی در بخش خانگی، مقدار منابع آب ورودی از حوضه‌های مجاور و معیار مقدار منابع آب زیر زمینی موجود در منطقه مورد مطالعه از اداره آب شهرستان فسا تهیه شد. آمارهای مربوط به جمعیت افراد دارای دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی و جمعیت افراد

اکوسیستم مورد استفاده قرار گرفت. رابطه ریاضی این شاخص به صورت رابطه (۲۱) می‌باشد:

$$E = \frac{Li}{SUM} \times 100 \quad (21)$$

در این رابطه، Li مقدار کود شیمیایی استفاده شده (کیلو گرم) و SUM مساحت کل زمین‌های کشاورزی موجود در دشت فسا (هکتار) می‌باشد. سایر متغیرهای رابطه (۲۱) قبلاً تعریف شده‌اند.

نرمال سازی معیارها، شاخص‌ها و مؤلفه‌ها

هر یک از معیارها، شاخص‌ها و مؤلفه‌ها بیان شده در روابط (۱) تا (۲۱) با استفاده از واحدهای خاص خود اندازه‌گیری می‌شوند. با وجود این واحدهای متنوع اندازه‌گیری معیارها، شاخص‌ها و مؤلفه‌ها، جمع جبری آنها در روابط یادشده، امکان پذیر نمی‌باشد. برای ایجاد امکان جمع در این روابط، نیاز به بدون واحد نمودن و به بیان دیگر نرمال سازی است. به منظور بی‌مقیاس نمودن داده‌های کلیه مؤلفه‌ها شاخص‌ها و معیارها از رابطه (۲۲) استفاده گردید:

$$Np = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (22)$$

در این رابطه، X_i مقدار هر یک از مؤلفه‌ها شاخص‌ها و معیارها، X_{min} حداقل مقدار هر یک از مؤلفه‌ها، شاخص‌ها و معیارها و X_{max} حداکثر مقدار هر یک از این مؤلفه‌ها شاخص‌ها و معیارها می‌باشد.

تعیین وزن معیارها، شاخص‌ها و مؤلفه‌ها

به منظور تعیین وزن مؤلفه‌ها و شاخص‌ها و معیارها از روش وزن‌دهی آنتروپی استفاده شد. در این روش، نخست به تعیین توزیع احتمال، پس از آن به تعیین شاخص آنتروپی و در ادامه، تعیین میزان انحراف از اطلاعات در هر شاخص مبادرت می‌گردد. در نهایت با استفاده از میزان انحراف از اطلاعات، وزن‌ها محاسبه گردید (نسترن و همکاران، ۱۳۸۹).

برای عملیاتی نمودن موارد فوق، توزیع احتمال در هر یک از شاخص‌ها با استفاده از رابطه (۲۳) به دست آمد:

$$Prob_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (23)$$

در رابطه فوق به منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه پنمن مانیتث فائو به عنوان روش مرجع محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به شرح رابطه (۲۸) استفاده شد (Allen et al. 1998):

$$PET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (28)$$

در این رابطه، PET تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر بر روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار در دمای T (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)، R_n تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع در روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T دمای هوا در ارتفاع دو متری (سلسیوس)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، $e^0(T) = e_s$ فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، $e_a = e^0(T_{dew})$ فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، $(e_s - e_a)$ سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد) می‌باشد. کلاس های وضعیت اقلیمی بر مبنای روش UNEP در جدول (۱) ارائه شده است

دارای دسترسی به بهداشتی از اداره آبفای شهری و روستایی شهرستان و همچنین اداره بهداشت مرکزی شهرستان فسا تهیه گردید. داده‌های مربوط به مساحت زمین های قابل کشت، مساحت کل زمین های دارای کشاورزی آبی و مقدار سالانه کود شیمیایی و آلی مصرفی در سطح منطقه مورد مطالعه از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان به دست آمد.

شاخص اقلیمی

در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت اقلیمی سالانه منطقه مورد مطالعه از شاخص خشکسالی UNEP (United Nations Environmental Programme) به عنوان یکی از شاخص های پرکاربرد در سطح جهان (توصیه شده توسط Zarei et al. 2019) استفاده گردید. این شاخص بر مبنای نسبت بارندگی سالانه بر حسب میلی متر (Pi) به تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بر حسب میلی متر (PETi) به شرح رابطه (۲۷) محاسبه می گردد (UNEP, 1992; Zarei and Mahmoudi, 2021):

$$UNEP \text{ index} = \frac{Pi}{PETi} \quad (27)$$

جدول (۱): کلاس بندی اقلیمی بر مبنای روش UNEP

کلاس	کلاس اقلیمی	دامنه تغییرات شاخص
۱	مرطوب	بزرگتر از ۰/۶۵
۲	نیمه مرطوب	۰/۶۵ تا ۰/۵
۳	نیمه خشک	۰/۵ تا ۰/۲
۴	خشک	۰/۲ تا ۰/۰۵
۵	خیلی خشک	کمتر از ۰/۰۵

مأخذ: (UNEP, 1992)

در این رابطه، مقادیر D در مقیاس های مختلف زمانی از رابطه (۳۰) به دست آمد:

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{K-1} P_{n-1} - ETP_{n-i} \quad (30)$$

در رابطه (۳۰)، k مقیاس زمانی مورد نظر (ماه ها) و n ماه مورد نظر در محاسبه می باشد. سایر متغیرها قبلا تعریف شده اند.

یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده های D را پوشش دهد. در این راستا، تابع لجستیک لگاریتمی برازش خوبی بر سری زمانی داده ها در مقیاس های زمانی

شاخص خشکسالی

در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت خشکسالی سالانه منطقه مورد مطالعه از شاخص SPEI به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص های خشکسالی در سطح جهان استفاده شد (Zarei and Moghimi, 2019a). این شاخص در مقیاس های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می نماید. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (ETP)، تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i ام از رابطه (۲۹) بدست آمد:

$$Di = Pi - ETPi \quad (29)$$



که در آن α پارامتر مقیاس و γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده بین γ و ∞ می باشد. کلاس های مختلف خشکسالی بر مبنای شاخص SPEI در جدول (۲) ارائه شده است.

مختلف دارد. تابع تجمعی احتمال سری داده های D بر اساس تابع لجستیک لگاریتمی به صورت رابطه (۳۱) می باشد

$$F(X) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{X-\gamma} \right) \right]^{-1} \quad (31)$$

جدول (۲): کلاس بندی شاخص SPEI

کلاس	دامنه تغییرات شاخص	کلاس خشکسالی
۱	بزرگتر مساوی از ۲	تر سالی بسیار شدید
۲	۱/۵ الی ۱/۹۹	تر سالی شدید
۳	۱ الی ۱/۴۹	تر سالی متوسط
۴	۰/۹۹- الی ۰/۹۹	نرمال
۵	الی -۱/۴۹	خشکسالی سالی متوسط
۶	-۱/۵ الی -۱/۹۹	خشکسالی سالی شدید
۷	کوچکتر مساوی -۲	خشکسالی سالی بسیار شدید

مأخذ: (Zarei et al. 2019)

نتایج

مؤلفه های شاخص فقر آب

نتایج حاصل از محاسبه مؤلفه های شاخص فقر آب طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ نشان داد مؤلفه منابع در سال ۱۳۸۹ بیشترین مقدار و در سال ۱۳۹۷ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در رابطه با مؤلفه های دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست به ترتیب بیشترین مقادیر مربوط به سال های ۱۳۹۷، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ بوده و کمترین مقدار مؤلفه های به ترتیب در سال های ۱۳۸۷، ۱۳۹۷، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ رخ داده است (جدول ۳). به نظر می رسد نوسانات موجود در مؤلفه های طی سال های مختلف به شدت به تغییر پذیری پارامتر های موثر در مؤلفه در کوتاه مدت وابسته باشد، به طوریکه به عنوان نمونه در مؤلفه منابع بدلیل تغییرات زیاد پارامتر های اقلیمی موثر در شاخص ها این مؤلفه در سال های مختلف دارای تغییرات زیادی می باشد.

بررسی همبستگی بین شاخص فقر آب با شاخص های اقلیمی و خشکسالی

به منظور بررسی همبستگی بین شاخص فقر آب با شاخص خشکسالی SPEI و شاخص اقلیمی UNEP طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ از ضریب همبستگی بین آنها بر اساس بر اساس رابطه (۳۲) استفاده گردید. سپس با استفاده از جدول فیشر بادرجه آزادی $n - 2$ نسبت به بررسی سطح معنی دارای ضریب محاسبه شده اقدام گردید:

$$R = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]}} \quad (32)$$

که در آن x و y به ترتیب متغیر های مورد بررسی و n تعداد داده ها می باشد.

جدول (۳): مقادیر نرمال شده مؤلفه های شاخص WPI در دشت فسا در فاصله سالهای ۹۷-۱۳۸۷

سال	محیط زیست	مصرف	ظرفیت	دسترسی	منابع
۱۳۸۷	۰/۶۴۳	۰/۹۵۴	۱	۰/۰۰۰	۰/۲۱۳
۱۳۸۸	۰/۶۵۵	۱	۰/۸۲۳	۰/۰۰۰	۰/۲۴۷
۱۳۸۹	۰/۸۶۳	۰/۹۸۵	۰/۶۹۴	۰/۰۱۳	۰/۳۶۱
۱۳۹۰	۰/۶۸۵	۰/۹۱۳	۰/۵۲۴	۰/۰۲۵	۰/۱۸۱
۱۳۹۱	۱	۰/۸۳۹	۰/۴۳۱	۰/۳۳۳	۰/۲۰۲
۱۳۹۲	۰/۹۳۵	۰/۶۰۴	۰/۳۴۱	۰/۶۴۱	۰/۲۷۵
۱۳۹۳	۰/۷۹۸	۰/۰۰۰	۰/۲۱۸	۰/۹۴۹	۰/۲۱۱
۱۳۹۴	۰/۸۶۳	۰/۲۷۶	۰/۱۵۶	۰/۹۶۲	۰/۱۹۰
۱۳۹۵	۰/۰۰۰	۰/۸۴۰	۰/۰۴۹	۰/۹۷۵	۰/۱۹۰
۱۳۹۶	۰/۱۴۳	۰/۸۴۱	۰/۳۳۶	۰/۹۸۷	۰/۲۹۹
۱۳۹۷	۰/۰۳۰	۰/۷۹۰	۰/۰۰۰	۱	۰/۱۶۵

وزن مؤلفه های شاخص فقر آب

نتایج حاصل از تعیین وزن مؤلفه های محاسبه شده در راستای محاسبه شاخص فقر آب با استفاده از روش آنتروپی

نشان داد که مؤلفه مصرف با وزن ۰/۴۷۴ و مؤلفه ظرفیت با وزن صفر به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را در بین مؤلفه های مورد استفاده در تعیین شاخص WPI دارا هستند. وزن دیگر مؤلفه ها در جدول ۴ ارائه شده است

جدول (۴): وزن محاسبه شده برای مؤلفه های شاخص WPI

مؤلفه	وزن
محیط زیست	۰/۱۴۰
مصرف	۰/۴۷۴
ظرفیت	۰/۰۰۰
دسترسی	۰/۱۴۰
منابع	۰/۲۴۶

شاخص فقر آب (WPI)

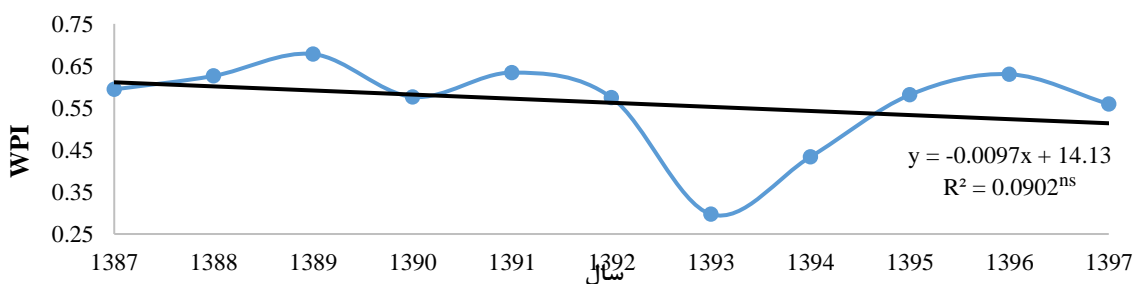
نتایج حاصل از ترکیب مؤلفه های شاخص فقر آب بر مبنای وزن های محاسبه شده نشان داد که شاخص فقر آب در سال ۱۳۸۹ با مقدار ۰/۶۷۸ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که این موضوع نشان می دهد که سطح بحرانی بودن منابع آب در سال مذکور به حداقل مقدار خود در دوره مورد بررسی رسیده است، این در حالی است که در سال ۱۳۹۳ شاخص فقر آب با مقدار ۰/۲۷۳ کمترین

مقدار را به خود اختصاص داده است. شاخص فقر آب محاسبه شده در دوره آماری مورد مطالعه در جدول ۵ و شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس این شکل، شاخص فقر آب در دشت فسا، در طی دوره مورد مطالعه دارای نوسان بوده و روندی نزولی را از نظر مقدار طی کرده است. این موضوع بیانگر آن است که در فاصله سال های مورد مطالعه، وضعیت مدیریت منابع آبی در مجموعه عرضه و تقاضای این منابع، در شرایط نامطلوب تری قرار گرفته است.

جدول (۵): مقادیر شاخص فقر آب در دشت فسا در فاصله

سال های ۹۷-۱۳۸۷

شاخص فقر آب (WPI)	شاخص اقلیمی UNEP	شاخص SPEI	سال آماری
۰/۵۹۴	۰/۰۶۱	-۳/۰۳۲	۱۳۸۷
۰/۶۲۶	۰/۱۳۱	۱/۶۶۶	۱۳۸۸
۰/۶۷۸	۰/۱۲۵	۱/۷۷۶	۱۳۸۹
۰/۵۷۶	۰/۱۳۰	۱/۸۶۴	۱۳۹۰
۰/۶۳۴	۰/۰۷۴	۱/۵۳۷	۱۳۹۱
۰/۵۷۵	۰/۱۴۳	۱/۸۱۳	۱۳۹۲
۰/۲۹۷	۰/۱۱۱	-۲/۴۳۵	۱۳۹۳
۰/۴۳۴	۰/۱۰۶	-۲/۴۸۷	۱۳۹۴
۰/۵۸۱	۰/۲۷۹	۳/۴۸۳	۱۳۹۵
۰/۶۳۰	۰/۰۲۷	-۳/۹۲۵	۱۳۹۶
۰/۵۵۹	۰/۱۵۲	۱/۰۷۶	۱۳۹۷

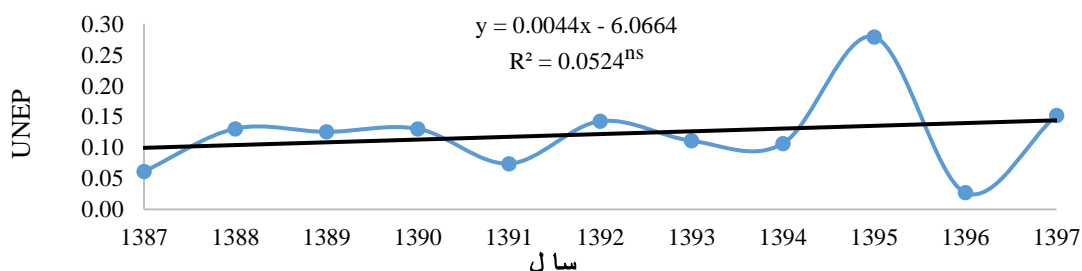


شکل (۲): شاخص اقلیمی WPI طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ (ns). روند تغییرات غیر معنادار)

شاخص ۰/۲۷۹ و ۰/۰۲۷ به ترتیب به عنوان مرطوب ترین و خشک ترین سال ها بودند (شکل ۳). بررسی های نشان داد که این شاخص در دوره زمانی ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ دارای روند صعودی غیر معناداری می باشد

شاخص اقلیمی UNEP

بر اساس نتایج حاصل از شاخص اقلیمی UNEP، در دوره آماری مورد بررسی سال های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با مقادیر

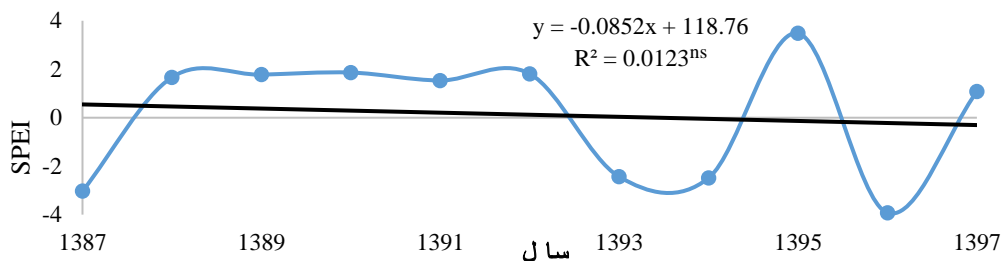


شکل (۳): شاخص اقلیمی UNEP طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ (ns). روند تغییرات غیر معنادار)

شاخص خشکسالی سالانه SPEI

بر اساس شاخص SPEI محاسبه شده در دوره آماری مورد بررسی، در سال ۱۳۹۶ شدیدترین خشکسالی رخ داده است (با مقدار شاخص SPEI برابر با ۳/۹۲۵-). از طرفی در

سال ۱۳۹۵ شدیدترین ترسالی در دوره مورد بررسی به وقوع پیوسته است (با مقدار شاخص SPEI برابر با ۳/۴۸۳). بررسی های نشان داد که این شاخص در دوره زمانس ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ دارای روند نزولی غیر معناداری می باشد (شکل ۴).



شکل (۴): شاخص خشکسالی SPEI طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ (ns. روند تغییرات غیر معنادار)

نتیجه گیری

نتایج نشان داد شاخص فقر در منطقه مورد مطالعه شاخص فقر آب طی سال های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۷ بین ۰/۶۷۸ تا ۰/۲۹۷ نوسان داشته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این شاخص در حالت کلی نشان دهنده این موضوع است که وضعیت منابع آب منطقه مورد مطالعه در سال های تر در شرایطی مناسب تر و پایین تر از حد متوسط بحران (شاخص برابر با ۰/۵) و در سال های خشک در شرایطی بحرانی تر و بالاتر از حد متوسط بحران قرار دارد. بر اساس نتایج، شاخص WPI در کوتاه مدت (یک تا دو ساله) بیشتر از آنکه به تغییرات اقلیمی وابسته باشد به تغییرات خشکسالی وابسته است به طوریکه ضریب همبستگی بین شاخص WPI با شاخص های UNEP و SPEI به ترتیب ۰/۳۹- و ۰/۴۱۴+ محاسبه گردید. از طرف دیگر نتایج بر اساس شاخص فقر آب نشان داد در فاصله سال های مورد مطالعه، وضعیت مدیریت منابع آبی در مجموعه عرضه و تقاضای این منابع، با گذشت زمان در شرایط نامطلوب تری قرار گرفته است. در این راستا، بر اساس نتایج مطالعه، آنچه بیش از سایر مؤلفه ها در بروز این چالش نقش داشته است، مؤلفه مصرف می باشد. بر این اساس، به نظر می رسد مهمترین اقدام برای کاهش چالش فقر آب در دشت فسا، تمرکز بر مدیریت مصرف آب باشد. با توجه به این که مصرف آب در رویکرد اقتصادی در حوزه تقاضا قرار می گیرد، لذا ضروری است به جای استفاده از

ضریب همبستگی بین شاخص فقر آب با شاخص های UNEP و SPEI

نتایج ضریب همبستگی بین شاخص فقر آب و شاخص های UNEP و SPEI نشان داد که همبستگی بین شاخص فقر آب با خشکسالی بیشتر از همبستگی بین شاخص فقر آب با وضعیت اقلیمی می باشد به طوریکه ضریب همبستگی بین شاخص WPI با شاخص های UNEP و SPEI به ترتیب ۰/۳۹- و ۰/۴۱۴+ می باشد. این موضوع می تواند تحت تاثیر اثرات کوتاه مدت خشکسالی بر منابع آب باشد این درحالی است که اقلیم یک پدیده دراز مدت است و اثرات آن در کوتاه مدت (دوره ۱۱ ساله مورد بررسی) چندان ملموس نمی باشد. ضریب همبستگی بین شاخص ها به تفصیل در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول (۶): مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص های مورد بررسی در دوره آماری مورد مطالعه در دشت فسا

شاخص ها	شاخص SPEI	شاخص UNEP	شاخص WPI
شاخص WPI	---	---	۱
شاخص UNEP	---	۱	-۰/۳۹ ^{ns}
شاخص SPEI	۱	۰/۷۳۲*	۰/۴۱۴ ^{ns}

توجه: * روند تغییرات در سطح ۰/۰۵ معنادار، ns. روند تغییرات غیر معنادار

منابع آب موجود که معادل ۳۸۰۰۰ لیتر آب که در سال است، کاهش یابد. در فاز دوم، توسعه منابع آبی برای مقابله با شرایط پیش بینی نشده خشکسالی و تغییر اقلیم، هدف قرار گیرد. در این فاز، ضروری است با تمرکز بر آموزش شیوه‌های افزایش بهره‌وری آب در مصارف، سرانه مصرف آب را به مقادیری کمتر از مقادیر سرانه دسترسی افراد به منابع آب رساند

ابزارهای دستوری، مدیریت تقاضا در دشت فسا در راستای تعدیل میزان مصرف آب در دستور کار قرار گیرد. در این راستا، می‌توان این تعدیل را در قالب برنامه فازبندی شده عملیاتی کرد. بدین ترتیب که در فاز اول، حفاظت از منابع آب را هدف قرار داد. بدین منظور، ضروری است سرانه مصرف آب در دشت فسا در بخش خانگی از حدود ۵۷۰۰۰ لیتر آب در سال به ازای هر نفر به میزان سرانه دسترسی به

منابع

- آسیایی هیر، ر.، مصطفی زاده، م.، رئوف، الف. اسمعیلی عوری. ۱۳۹۶. ارزیابی چندمعیاره تغییرات مکانی شاخص فقر آب در تعدادی از حوضه های آبخیز استان اردبیل، اکوهیدرولوژی، سال چهارم، شماره ۴، ص ۹۹۷-۱۰۰۹.
- رجبی هاشجین، م.، د. عرب. ۱۳۸۵. شاخص فقر آبی، ابزاری کارآمد برای ارزیابی وضعیت منابع آبی جهان، دومین همایش مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. ایران. یهمن ماه ۸۵.
- طالبی، ح.، ع. امینی. ۱۳۹۷. بررسی ابعاد کم آبی با استفاده از روش شاخص فقر آبی (WPI) و تحلیل مقایسه ای آن در بخش های شهرستان قم. آمایش سرزمین، سال دهم، شماره ۲، ص ۳۴۵-۳۶۶.
- نسترن، م.، ف. ابوالحسنی، م. ایزدی. ۱۳۸۹. کاربرد تکنیک تاپسیس در تحلیل و اولویت بندی توسعه پایدار مناطق شهری (مطالعه موردی: مناطق شهری اصفهان، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیست و یکم، شماره ۲، ص ۸۳-۱۰۰).
- Alessa, L., Kliskey, A., Lammers, R., Arp, C., White, D., Hinzman, L. and Busey, R. 2008. The arctic water resource vulnerability index: an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. *Environmental Management*. 42: 523-541.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, Italy.
- Alwan, I.A., Ziboon, A.R.T. and Khalaf, A.G. 2019. Utilization of reconnaissance drought index (RDI) for monitoring of meteorological drought over middle Euphrates region during the period from 1988 to 2017. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 518, No. 2, p. 022035). IOP Publishing.
- El-Gafy, I. K. 2018. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector. *Ain Shams Engineering Journal*. 9: 173-186.
- Farsani, I. F., Farzaneh, M. R., Besalatpour, A. A., Salehi, M. H. and Faramarzi, M. 2019. Assessment of the impact of climate change on spatiotemporal variability of blue and green water resources under CMIP3 and CMIP5 models in a highly mountainous watershed. *Theoretical and Applied Climatology*. 136(1-2): 169-184.
- Givati, A., Thirel, G., Rosenfeld, D. and Paz, D. 2019. Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan River based on an ensemble of regional climate models. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 21: 92-109.
- Liu, W.X., Sun, C.Z., Zhao, M.J. and Wu, Y.J. 2019. Application of a DPSIR Modeling Framework to Assess Spatial-Temporal Differences of Water Poverty in China. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 55(1): 259-273.
- Maiolo, M. and Pantusa, D. 2019. Sustainable Water Management Index, SWaM Index. *Cogent Engineering*, 6(1), p.1603817.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2010, a review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 391: 202- 216.
- Mokarram, M. and Zarei, A.R. 2018. Landslide susceptibility mapping using fuzzy-AHP. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(6): 3931-3943.



Nouri, M. and Bannayan, M. 2019. Spatiotemporal changes in aridity index and reference evapotranspiration over semi-arid and humid regions of Iran: trend, cause, and sensitivity analyses. *Theoretical and Applied Climatology*. 136(3-4): 1073-1084.

Nosrati, K., and Zareiee, A.R. 2011. Assessment of meteorological drought using SPI in West Azarbaijan Province, Iran. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 15(4): 563-569.

United Nations Environmental Programme (UNEP). 1992. *World Atlas of Desertification*.

Wurtz, M., Angeliaume, A., Herrera, M.T.A., Blot, F., Paegelow, M. and Reyes, V.M. 2019. A spatial application of the water poverty index (WPI) in the State of Chihuahua, Mexico. *Water Policy*. 21(1): 147-161.

Ye, L., Shi, K., Zhang, H., Xin, Z., Hu, J. and Zhang, C., 2019. Spatio-Temporal Analysis of Drought Indicated by SPEI over Northeastern China. *Water*. 11(5). P. 908.

Zarei, A.R. and Mahmoudi, M.R. 2021. Evaluation and Comparison of the Effectiveness Rate of the Various Meteorological Parameters on UNEP Aridity Index Using Backward Multiple Ridge Regression. *Water Resources Management*, 35(1): 159-177.

Zarei, A. R. and Moghimi, M. M. 2019a. Modified version for SPEI to evaluate and modeling the agricultural drought severity. *International Journal of Biometeorology*. Doi: 10.1007/s00484-019-01704-2.

Zarei, A.R. and Moghimi, M.M. 2019b. Environmental assessment of semi-humid and humid regions based on modeling and forecasting of changes in monthly temperature. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3): 1457-1470.

Zarei, A. R, Shabani, A, Mahmoudi, M. R. 2019. Comparison of the climate indices based on the relationship between yield loss of rain-fed winter wheat and changes of climate indices using GEE model. *Science of the Total Environment*. 661: 711-722.



Evaluation of the impacts of climate changes and drought on Water Poverty Index in Fasa Plain

Nabeallah Yazdi¹, Seyed Nematollah Mousavi², Abdoulrasool Shirvanian³, Abdol Rassoul Zarei⁴

Abstract

Climate changes and the occurrence of droughts with different intensities, improper water resources management, overuse of water resources and not paying attention to the water balance of these sources, has caused a water crisis in recent decades. Accordingly, in this research, the status of surface and subsurface water resources in Fasa plain during 2008-2018 using Water Poverty Index (WPI) based on five weighted components include resources, availability, capacity, consumption and environment was assessed. Then, considering the importance of climate changes and droughts occurrence with different intensities on water resources, the correlation coefficient between the climate changes and the drought changes in annual time scale and WPI was used to assess the effects of climate changes and droughts occurrence on WPI in the study area. The results showed that water resource consumption and the water resource capacity indices had the highest and the least roles in WPI (respectively). According to the results, WPI vary from 0.297 to 0.678 in the study area and the worst situation of WPI has occurred in Fasa plain in 2013. Results indicated, the WPI in Fasa plain at the short term is more dependent on drought changes (Compared to climate changes) . Finally, it is suggested to tackling water poverty in the Fasa Plain, the management of water resources consumption of this plain, especially in drought conditions, it is very important.

Keywords: Water Poverty Index, climate changes, drought changes, consumption of water resources, Fasa Plain

-
- ¹ . Ph.D. student of Agricultural Economy, Department of Agricultural Economy, Agriculture faculty, Islamic Azad University, Marvdasht Branch. Email: yazdi8560@gmail.com.
 - ² . Associate professor, Department of Agricultural Economy, Agriculture faculty, Islamic Azad University, Marvdasht Branch. Email: seyed_1976mo@yahoo.com. (Corresponding Author)
 - ³ . Assistant professor of economic, social and extension research department, Fars agricultural and natural resources research and education center, AREEO, Shiraz, Iran. Email: Rasoolshirvanian@yahoo.com.
 - ⁴ . Associate professor, Department of Range and watershed management (Nature engineering), Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. Email: Ar_Zareiee@Fasau.ac.ir



Assessing the Effects of Climate and Drought Changes on the Water Poverty Index in the Fasa Plain

Nabeallah Yazdi¹, Seyed Nematollah Mousavi², Abdoulrasool Shirvanian³, Abdol Rassoul Zarei⁴

Abstract

Introduction: The climate changes and sequential drought occurrence with different intensities, improper and inefficient use of available water resources including surface and subsurface resources, inappropriate water resources management, over-harvesting from the water resources and not paying attention to the water balance of water resources (discharge and recharge) and so on, It has caused various challenges in the field of water supply and demand management, as well as equitable development and environmental protection. Water scarcity and its challenges are one of the biggest challenges of the present century and one of the most important fundamental issues in the global arena. In recent years, various indicators have been presented to study the climate conditions, drought situation, and other dimensions related to water resources worldwide.

Methodology: In this study using the Water Poverty Index (WPI) based on five weighted components including resources, availability, capacity, consumption, and environment, the conditions of surface and subsurface water resources in the Fasa plain from 2008 to 2018 has been assessed. The entropy weighting method was used to determine the weight of each component. In the next stage, according to the importance of the role of the climate changes and droughts occurrence with different intensities on water resources, using the values of the correlation coefficient index, the correlation between the climate changes and the drought changes and WPI in the study area was assessed. The UNEP and SPEI indicators were used to assess the climate conditions and drought conditions, respectively.

Discussion and Conclusion: The results showed that the water resource consumption index and the water resource capacity index had the highest and the least roles in the water poverty index (respectively). According to the results of this study, The WPI in the Fasa plain varies from 0.297 (in 2013) to 0.678 (in 2009) and the worst situation of the water poverty index in the Fasa plain has occurred in 2013. Based on the results of the UNEP climate index, in the selected period of time, the years 2015 and 2016 with the UNEP index values equal to 0.279 and 0.027 were the wettest and driest years, respectively. The results indicated that the UNEP index had been a non-significant upward trend in the period 2008 to 2018. Based on the results of the SPEI drought index, in the selected period of time, the most severe drought occurred in 2016 (with the SPEI index equal to -3.925), on the other hand, the most severe wet season

-
- ¹ . Ph.D. student of Agricultural Economy, Department of Agricultural Economy, Agriculture faculty, Islamic Azad University, Marvdasht Branch. Email: yazdi8560@gmail.com.
 - ² . Associate professor, Department of Agricultural Economy, Agriculture faculty, Islamic Azad University, Marvdasht Branch. Email: seyed_1976mo@yahoo.com. (Corresponding Author)
 - ³ . Assistant professor of economic, social and extension research department, Fars agricultural and natural resources research and education center, AREEO, Shiraz, Iran. Email: Rasoolshirvanian@yahoo.com.
 - ⁴ . Associate professor, Department of Range and watershed management (Nature engineering), Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. Email: Ar_Zareiee@Fasau.ac.ir



occurred in 2015 (with the SPEI index equal to 3.483). The results indicated that the SPEI index had been a non-significant downward trend in the period 2008 to 2018. The results correlation coefficient between the water poverty index and UNEP and SPEI indices indicated that the correlation between the poverty index and drought is more than the correlation between the poverty index and climate changes in the short-term. The correlation coefficient between the poverty index and UNEP and SPEI was -0.039 and 0.414, respectively. Finally, it seems, for tackling the water poverty in the Fasa plain, the management of the water resources consumption of this plain, especially in drought conditions, is very important. Therefore, in order to reduce water consumption in the Fasa plain, it is necessary that the methods with governance pressures for reducing the pressure in water resources should be replaced with demand management methods. In this regard, the reduction of pressure on water resources can be implemented as a phased program. As in the first phase, the target is to protect water resources and in the second phase, the target is to develop water resources to deal with unpredicted conditions of drought and climate change.

Keywords: Water Poverty Index, climate changes, drought changes, consumption of water resources, Fasa Plain