صص ۱۲۷-۱۰۵

# ارزیابی پایداری زیست‌محیطی با تأکید بر خشک‌سالی و منابع آب با استفاده از فن چند معیاره شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: شهربابک)

**احمد منگلی میدوک**
دانشجوی دکتری جغرافیا، واحد لارستان. دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان. ایران
**محمد ابراهیم عفیفی***
استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان. ایران
**علی وخشوری**
استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان. ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۹

**چکیده**

**در این پژوهش ابتدا از طریق مطالعه پژوهش اقدام به شناسایی معیارها و زیرمعیارهای که در جهت پایداری زیست‌محیطی مؤثر است شد. پس از پایان مراحل دلفی، معیارهای منابع و خدمات محیط، سلامت محیط و انرژی به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی در شهربابک انتخاب شدند سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی به تحلیل و ارزیابی پایداری زیست‌محیطی شهربابک پرداخته شد. در این مطالعه خشک‌سالی در شهربابک را طی یک دوره آماری سی و دو ساله ۱۳۶۱ - ۱۳۹۲ با شاخص SPI خشک‌سالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این شاخص به طور خاص برای سری‌های زمانی شش؛ دوازده و چهل و هشت ماهه محاسبه شد؛ که شهربابک طی دوره آماری سی و دوساله و بویژه هفت ساله اخیر مواجه با خشک‌سالی بوده که در مقیاس سالانه شش ماهه بیشتر خشک‌سالی‌های آن از نوع خشک‌سالی‌های ضعیف تا متوسط است؛ اما در میاس بلند مدت ۴۸ ماه ۷۵ درصد خشک‌سالی‌ها از نوع شدید و بسیار شدید بوده که ارتباط بالایی با افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی این منطقه را نشان می‌دهد.**

**واژگان کلیدی: پایداری زیست‌محیطی، مدل شبکه عصبی، خشک‌سالی، شاخص SPI، شهربابک.**

## مقدمه

شهر سیستمی است در نهایت پیچیدگی که به واسطه شرایط اجتماعی، اقتصادی، محیطی، ارتباطات و فرآیندها شکل یافته است. شهرنشینی هم به‌عنوان دومین انقلاب در فرهنگ انسان، باعث دگرگونی در روابط متقابل انسان‌ها با یکدیگر شده، با افزایش جمعیت شهرنشین، بهره برداری از محیط تشدید می‌گردد. در چند دهه گذشته رشد شتابان

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۱۸۱۶۳۵۳ Email: afifi.ebrahim6353@gmail.com

شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، زیرساخت‌های شهری را کاهش و ضایعات زیست‌محیطی را افزایش داده است و شهرها به طور فزاینده‌ای در معرض بحران‌های ناگوار به ویژه در کشورهای در حال توسعه هستند. فقر، تخریب محیط‌زیست، فقدان خدمات شهری، نزول زیربناهای موجود، فقدان دسترسی به زمین و سرپناه مناسب، از جمله بحران‌های مربوط به این موضوع هستند (سرایی و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه در بسیاری از شهرهای جهان مسائل ضروری و اساسی مانند ترافیک و تراکم زمین، ساختمان‌های متروک و بایر، مشکلات مواد زاید، تغییر کاربری زمین، آلودگی آب و بسیاری از موضوعات زیست‌محیطی دیگر موضع پایداری شهرها را مطرح می‌کنند. (فیروزبخت و همکاران، ۱۳۹۱) بنابراین، با توجه به مسائل و مشکلاتی که شهرها امروزه با آن گریبانگیر هستند باید به ابعاد و اصول توسعه پایدار شهری توجه کرد و برای رسیدن به توسعه پایدار انسانی، شهر پایدار و پایداری شهری باید خصوصیاتی که یک شهر سالم لازم است داشته باشد مد نظر قرار داد. باشناخت دقیق عوامل ایجاد کننده ناتوازونی ها، می‌توان سیاست‌ها و برنامه‌های را برای رفع مشکلات زیست‌محیطی شهری و در نهایت، ابعاد و اصول توسعه پایدار شهری را تدوین کرد. این امر می‌تواند از طریق پژوهش و پژوهش‌های علمی مختلف واحیاء زیست‌محیطی شهری منطقه مورد بررسی، ایفاء نماید. در حال حاضر انسان با چالش بی سابقه‌ای در زمینه‌های زیست‌محیطی مواجه شده است. توافق گسترد های در مورد این موضوع بین صاحب نظران زیست‌محیطی وجود دارد که اکوسیستم کره زمین دیگر نمی‌تواند سطوح کنونی فعالیت‌های اقتصادی و مصرفی و روند رو به رشد آن را تحمل کند و دیگر قادر به پایداری نیست، زیرا فشارها و بار وارده بر طبیعت دو برابر شده است (حسین زاده دلیر و همکاران، ۱۳۸۶). شهربابک یکی از شهرهای مهم استان کرمان و کشور می‌باشد. وجود معادن عظیم مس و فیروزه، سرب، روی، سیلیس، نمک طعام، کارخانجات ذوب مس، کارخانجات متعدد سنگبری، لزوم توجه به اثرات زیست‌محیطی ناشی از این صنایع امری ضروریست تا به ارائه چارچوب و روشی مناسب و جامع جهت انتخاب شاخصها و سنجش و ارزیابی میزان پایداری زیست‌محیطی در نواحی مختلف شهربابک کرمان پرداخته می‌شود. شهربابک یکی از شهرهای مهم استان کرمان و کشور می‌باشد. وجود معادن عظیم مس و فیروزه، سرب، روی، سیلیس، نمک طعام، کارخانجات ذوب مس، کارخانجات متعدد سنگبری، لزوم توجه به اثرات زیست‌محیطی ناشی از این صنایع امری ضروریست لذا در این پژوهش ضمن بررسی ادبیات پایداری زیست‌محیطی و سنجش و ارزیابی آن، به ارائه چارچوب و روشی مناسب و جامع جهت انتخاب شاخص‌ها و سنجش و ارزیابی میزان پایداری زیست‌محیطی در نواحی مختلف شهربابک اصفهان پرداخته می‌شود. در واقع پژوهش حاضر در صدد دستیابی به این سؤال می‌باشد: میزان پایداری زیست‌محیطی در نواحی شهری، شهربابک چگونه است؟ این بررسی یافته‌های خود را با استفاده از روش‌های تحلیل چند معیاره و در قالب مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی و سنجش میزان پایداری زیست‌محیطی در نواحی مختلف شهربابک ارائه می‌دهد. خشک‌سالی ازجمله اصلی‌ترین و قدیمی‌ترین بلایای طبیعی است که انسان‌ها از دیرباز با آن آشنا بوده‌اند (خوش اخلاق، ۱۳۹۳، ۵). بروز خشک‌سالی و کاهش بارش در هر منطقه‌ای می‌تواند بر منابع آب و کشاورزی آن منطقه اثر بگذارد. خسروی بیگی و همکاران، ۱۳۹۰

به کمک شاخص بارش استاندارد به ارزیابی خشک‌سالی در ایالت‌های مختلف آمریکا پرداختند. عفیفی ۱۳۹۶ جهت تعیین ویژگی‌های خشک‌سالی در جنوب آسیا از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. نوحه گر و همکاران ۱۳۹۱ مشخصات خشک‌سالی شامل دوره تداوم، مجموع مقدار کمبود، شدت و وسعت خشک‌سالی را به‌صورت منطقه‌ای در سطح کشور موردبررسی قرارداد و نتیجه گرفت که به‌جز مشخصه تداوم، سایر مشخصه‌های خشک‌سالی با میانگین بلندمدت بارش رابطه مستقیم دارد. فرج زاده، ۱۳۹۱ تأثیر خشک‌سالی‌ها را بر منابع آب زیرزمینی دشت قزوین موردبررسی قرار داده و نتیجه گرفته که تعداد ناهنجاری‌های منفی بارش بیش از تعداد ناهنجاری‌های مثبت بوده و تأثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های منفی آب‌های زیرزمینی بسیار چشمگیر است. با توجه به رشد سریع شهرنشینی و نیاز گسترده برای اشغال فضا و توسعه جوامع شهری، برنامه ریزان به این مهم توجه نشان داده‌اند. در سطح جهان و کشور ایران پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه توسعه شهری انجام شده است که مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در داخل و خارج کشور به شرح زیر می‌باشد: اقلامی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به بررسی سنجش میزان پایداری زیست‌محیطی پروژه‌های بزرگ مقیاس شهر همدان پرداختند که نتایج به دست آمده نشان دهنده این است که از میان پروژه‌های بزرگ مقیاس شهر همدان، پروژه شهربازی رنگین کمان توانسته است در اکثر شاخص‌های پایداری محیطزیستی بیشترین میانگین را به خود اختصاص دهد و در مقابل پروژه برج جهان نما پایین‌ترین میانگین را داشته است. فیروزی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی و ارزیابی شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی با تاکید بر آلودگی هوا و آلاینده‌های صنعتی کلانشهر اهواز پرداختند یافته‌های پژوهش، بیانگر آن است که شهر اهواز، بر اساس شاخص آلودگی هوا، در شرایط زیست‌محیطی ناپایداری قرار دارد، به طوری که منطقه یک با ضریب اثر ۰/۳۲۶، بالاترین ارزش وزنی و منطقه دو، با وزن ۰/۳۳۰، دارای کم‌ترین میزان آلودگی نسبت به سایر مناطق است. همچنین زیر شاخص طوفان‌های گرد و غبار هم به‌صورت کلی مناطق شهر، اهواز را، تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارزیابی حاصل از آلودگی صنعتی نیز نشان می‌دهد که منطقه هشت شهری بالاترین میزان آلودگی را با ضریب اثر ۰/۳۳۱ را دارد و منطقه یک با ضریب اثر ۰/۲۴۰، کم‌ترین میزان آلودگی صنعتی را در بین مناطق شهری دارد. فیروزی (۱۳۹۶) به سنجش و ارزیابی زیست پذیری شهری در مناطق ۲۲ گانه کلانشهر تهران پرداختند که نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در میان مناطق ۲۲ گانه، مناطق یک و سه شهر تهران به ترتیب با میانگین ۳۵۳/۷۵، ۳۹۱/۶۵ برای بعد زیست‌محیطی ۲۸۷/۷۵، ۲۷۷/۸۸ برای بعد اجتماعی ۳۳۸/۲۵، ۲۹۴/۷۶ می‌باشد. بعد اقتصادی دارای بیشترین زیست پذیری نسبت به دیگر مناطق برخورداراست. در مقابل منطقه ۲۰ با میانگین رتبه‌ای ۲۹/۹۰ برای بعد زیست‌محیطی ۳۴/۹۰ برای بعد اجتماعی و ۳۵ برای بعد اقتصادی دارای کمترین میزان زیست پذیری در بین مناطق ۲۲ گانه می‌باشد. به عبارتی می‌توان چنین تحلیل کرد که در بین مناطق بیست و دوگانه کلانشهر تهران استانداردهای زندگی که نشان از قابلیت زندگی بهتر و با کیفیت‌تری می‌باشد در مناطق یک و سه کلانشهر تهران وضعیت مطلوب‌تری دارند. در مقابل منطقه بیست که استانداردهای زندگی در آن حداقل می‌باشد زندگی غیرقابل قبولی را برای ساکنانش دارد.

## مبانی نظری

ارزیابی محیط‌زیست (EA)[1] روشی است که تضمین می‌کند که پیامدهای زیست‌محیطی تصمیم‌های اتخاذ شده، قبل از گرفتن تصمیم، در نظر گرفته شده‌اند (Bell, M. 2016)، یک ارزیابی زیست‌محیطی:

– اثرات زیست‌محیطی نامطلوب بالقوه را شناسایی می‌کند؛ اقدامات لازم را برای کاهش اثرات زیست‌محیطی نامطلوب پیشنهاد می‌دهد؛

– پیش بینی می‌کند که پس از اجرای اقدامات کاهنده، آیا اثرات زیست‌محیطی نامطلوب قابل توجهی وجود خواهد داشت؛ شامل یک برنامه پیگیری به منظور بررسی صحت ارزیابی زیستمحیطی و اثربخشی اقدامات کاهنده است. در واقع، ارزیابی زیست‌محیطی یک ابزار برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است که اهداف آن را می‌توان در دو مورد خلاصه کرد: به حداقل رساندن یا اجتناب از اثرات زیست‌محیطی، قبل از اینکه اتفاق بیفتد؛

– ترکیب عوامل زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری؛ نکته قابل توجه این است که ارزیابی زیستمحیطی باید در اسرع وقت در مرحله برنامه‌ریزی، انجام شود تا مسئولین، قادر به تأمل تحلیلی در برنامه‌های پیشنهادی، ازجمله ترکیب اقدامات کاهنده برای بررسی اثرات زیست‌محیطی نامطلوب باشند. از مزایای ارزیابی زیست‌محیطی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

– اجتناب یا کاهش اثرات زیست‌محیطی نامطلوب، فرصت‌هایی برای مشارکت عمومی و مشاوره بومی؛ افزایش حفاظت از سلامت بشر، کاهش هزینه‌ها و تأخیرهای پروژه، کاهش خطرات آسیب‌ها و حوادث زیست‌محیطی، افزایش پاسخگویی و هماهنگ‌سازی دولت، کاهش احتمال اثرات زیست‌محیطی فرامرزی، تصمیم‌های آگاهانه که منجر به توسعه مسئولانه منابع طبیعی می‌شود (Hong.et al. 2011).

در یک تقسیم‌بندی کلی که توسط برنامه ارزیابی زیست‌محیطی پارک‌های کانادا ارائه شده است، ارزیابی زیست‌محیطی را می‌توان به دو نوع زیر تقسیم کرد: ارزیابی زیست‌محیطی استراتژیک برای پیشنهادهای سیاست، برنامه و پروگرام، ارزیابی زیست‌محیطی در سطح پروژه (Jordan, 2008).

در واقع، ارزیابی زیست‌محیطی می‌تواند برای پروژه‌های خاص، مثل سد، بزرگراه، فرودگاه یا کارخانه (با عنوان ارزیابی اثرات زیست‌محیطی – رهنمود EIA)[2] یا برای برنامه‌ها و پرو گرام‌های عمومی (با عنوان ارزیابی زیست‌محیطی استراتژیک – رهنمود SEA)[3] اتخاذ شود. اصل مشترک هر دو، اطمینان از این است که برنامه‌ها، پروگرام ها و پروژه‌هایی که به احتمال زیاد اثرات قابل توجهی بر محیط دارند، منوط به ارزیابی زیست‌محیطی، قبل از تأیید یا صدور مجوز باشند. مشاوره با مردم یکی از ویژگی‌های کلیدی روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی است (ربیعی فر و همکاران، ۱۳۹۲)

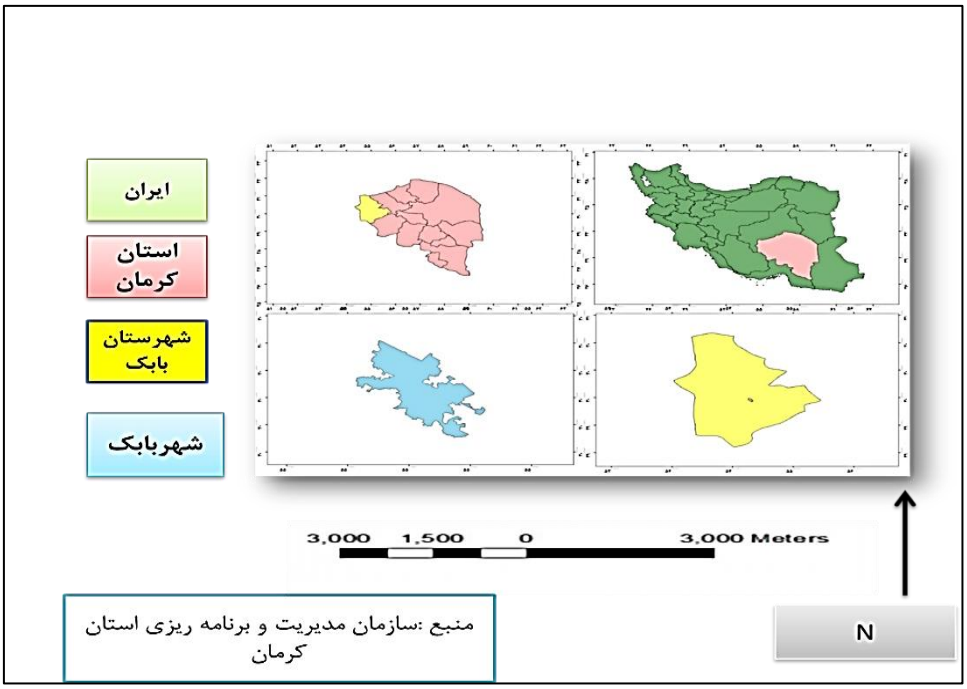
[1] Environmental Assessment
[2] Environmental Impact Assessment
[3] Strategic Environmental Assessment

در تعریف زیان‌های زیست‌محیطی می‌توان گفت: آسیب‌های هستند که بر اشخاص یا اشیاء از طریق محیط‌زیستی وارد شود که در آن زندگی می‌کنند. در اینجا، محیط‌زیست منبع‌آسیب است، نه زیان‌دیده. برخی دیگر بر این باورند که این آسیب‌ها، ناشی از آلودگی است و مرتبط با همه آسیب‌های است که در کاهش عناصر طبیعی (آب، هوا، صدا) دخیل است (صفایی پور، ۱۳۹۴). نگرانی ناشی از معضلات زیست‌محیطی، نخستین بار در مقیاسی گسترده در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰بروز کرد اهمیت مسائل محیط‌زیست شهری هیچ‌گاه به‌اندازه امروز نمایان نبوده است. چون امروزه شهرها به‌عنوان مهم‌ترین دستاورد تلاش‌های تکنولوژیکی، اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی انسان محسوب می‌شوند (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳). در کل چالش‌های زیست‌محیطی پیش روی شهر قرن بیست و یکم را می‌توان این‌گونه ترسیم کرد: ۱– خشک‌سالی، ۲– آلودگی هوا و صدا باعث افزایش بیماری‌های مختلف شده و آرامش بشر را در شهر به مخاطره افکنده است؛ ۳– آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط انواع فاضلاب‌های شهری و تخلیه سفره آب‌های زیرزمینی؛ ۴– تغییرات کیفی و کمی منابع آب (Hong.et al. 2011). ارزیابی راهبردی زیست‌محیطی فرایندی است که در آن آثار و پیامدهای ناشی از اتخاذ سیاست‌ها، استراتژی‌ها و برنامه‌ها به شیوه‌های نظام‌مند شناسایی و ارزیابی شده و به دنبال آن راهکارهای لازم برای کاهش پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از اجرای سیاست‌ها و برنامه‌ها اتخاذ می‌گردد. Munier, Z. 2008 ارزیابی راهبردی زیست‌محیطی را به‌صورت زیر تعریف کرده‌اند: فرایند نظام‌مند ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی سیاست‌ها، برنامه‌ها و پروگرام های پیشنهادی به‌منظور ادغام ملاحظات زیست‌محیطی در مراحل ابتدایی تصمیم‌گیری‌های کلان اقتصادی و اجتماعی است.

## داده‌ها و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

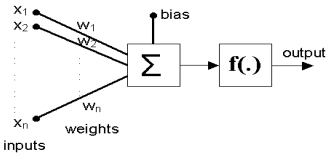
شهرستان شهربابک با مساحت ۱۳۵۷۴ کیلومترمربع ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵۷ ثانیه شمالی و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۷ ثانیه شرقی قرار دارد. شهرستان شهربابک با مرکزیت شهربابک در استان کرمان است. این شهرستان غربی‌ترین شهرستان استان کرمان می‌باشد. این شهرستان پس از کرمان و راور سومین شهرستان استان کرمان به لحاظ مساحت است که از جنوب و جنوب شرقی با شهرستان سیرجان، از جنوب غربی با شهرستان نی‌ریز در استان فارس، از مغرب با شهرستان خاتم در استان یزد، از شمال با شهرستان مهریز در استان یزد، از شمال شرق با شهرستان انار و از مشرق و جنوب شرق با شهرستان رفسنجان مرز مشترک دارد است. (شکل ۱)




**شکل ۱:** نقشه موقعیت جغرافیایی شهربابک

شهربابک هشتمین شهر بزرگ و پرجمعیت استان کرمان از ۲۳ شهر این استان پهناور است. جمعیت این شهر بنا بر سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، برابر ۵۱۶۲۰ نفر و جمعیت شهرستان برابر با ۱۰۴ هزار تن می‌باشد. این شهر در مسیر محور جنوب به شمال ایران قرار دارد. این شهر در غرب استان کرمان واقع شده‌است. فاصله این شهر تا کرمان ۲۲۳ کیلومتر است. دورنگار این شهر به اردشیر بابکان مؤسس سلسله ساسانیان می‌رسد. این شهر در کنار معادن و کارخانه‌های مس میدوک و مس سرچشمه قرار گرفته و همچنین معادن مهم و ارزشمندی از فیروزه در این شهر قرار دارد. شهربابک جزو تاریخی‌ترین شهرهای استان کرمان بوده و هم‌جوار سه استان کرمان، یزد و فارس است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، ۱۳۹۸).

هدف این پژوهش شناسایی مؤلفه و شاخص‌های اصلی پایداری زیست‌محیطی در قالب چارچوب جامع و نظام‌مند و بعد به‌کارگیری ابزاری جامع و یکپارچه جهت ارزیابی و سنجش پایداری در نواحی شهری مورد مطالعه بود. از این‌رو تنها ابزاری که می‌تواند این اهداف را تحقق بخشد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در قالب چارچوب اندازه‌گیری ارزیابی یکپارچه پایداری است. یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که در این پژوهش استفاده می‌گردد، تکنیک شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. شبکه عصبی مصنوعی یا به اختصار شبکه عصبی از بزرگ‌ترین پیشرفت‌های علم بشر در دهه‌های اخیر است. از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه عصبی این است که به‌عنوان یک طبقه‌بندی کننده غیرخطی عمل می‌کند. ضمن اینکه می‌توانند مسائلی که با معادلات ریاضی قابل بیان نیستند، به کمک تعدادی نمونه آموزشی مدل‌سازی کنند. ساده‌ترین شبکه عصبی یک نرون با n ورودی و یک خروجی است. به عبارت ساده‌تر ورودی این نرون بردار سطری $\vec{X}$ با n عضو و خروجی آن عدد اسکالر $O$ است. در شکل زیر یک نرون پایه را مشاهده می‌کنید.




نرون پایه در داخل نرون برای تولید خروجی محاسبات زیر انجام می‌شود:

$$O = f(\sum_{i=1}^{n} X_i W_i + B)$$

در این معادله $W_i$ ضرایب وزنی متناظر ورودی $X_i$ هستند و B مقدار آستانه است. f نیز یک تابع است که خروجی O را می‌سازد. در ساده‌ترین حالت f تابع پله واحد است. در این حالت خروجی نرون یکی از دو مقدار یک و صفر را می‌گیرد (اکبری و همکاران ۱۳۹۰). در حالت کلی می‌توان فرض کرد $W_0=B$ و $X_0=1$ و معادله بالا را به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$O = f(\vec{X} * \vec{W})$$

که در این معادله $\vec{X}$ بردار سطری با n+1 عنصر و $\vec{W}$ بردار ستونی با n+1 عنصر است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۱).

نرون پایه معرفی شده می‌تواند مسائل خطی را حل کند؛ اما برای حل مسائل غیرخطی از یک شبکه عصبی به نام پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده می‌شود. شبکه MLP مجموعه‌ای از نرون‌های پایه است که در ۳ لایه قرار می‌گیرند. این سه لایه با نام‌های لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی شناخته می‌شوند. شبکه MLP یک شبکه با ساختار رو به جلو است و از روش انتشار خطا رو به عقب برای یادگیری شبکه استفاده می‌کند. شبکه MLP یک شبکه با ناظر محسوب می‌شود؛ به عبارت دیگر، برای آموزش این شبکه باید علاوه بر داده‌های آموزشی (ورودی شبکه)، خروجی صحیح آن‌ها نیز به شبکه آموزش داده شود. بر اساس قضیه کلوموگروف یک شبکه MLP با سه لایه می‌تواند هر مسئله خطی و غیرخطی را یاد گرفته و حل کند (رهنمایی، ۱۳۸۵).

## یافته‌ها

### شناسایی معیارها

در این بخش سعی گردید با مطالعه مبانی نظری و ادبیات پژوهش و همچنین مصاحبه با اساتید و افراد متخصص معیارها و زیرمعیارهای که در جهت پایداری زیست‌محیطی مؤثر بود شناسایی شود در جدول (۱) معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده ارائه شده است.

**جدول ۱:** معیارهای شناسایی شده

| معیار | زیر معیار |
|---|---|
| منابع و خدمات محیط | خشک‌سالی |
| | منابع آب |
| | میزان مواد زائد تولید شده |
| | رضایت از کیفیت آب آشامیدنی |
| | پیشگیری از آلودگی آب |
| | غلظت آلاینده‌های هوا |
| | اعتبارات هزینه شده برای حفاظت از منابع باارزش |
| | افزایش نوآوری |
| | مناظر دارای قابلیت گردشگری |
| | پایبندی به مراقبت از محیط سکونتگاهی |
| سلامت محیط | رضایت از دفع زباله |
| | رضایت از دفع فاضلاب |
| | مقاومت مساکن و ابنیه |
| | برنامه پیشگیرانه از سیلاب |
| انرژی | میزان مصرف انرژی آب |
| | میزان مصرف انرژی برق |
| | میزان مصرف انرژی گاز |
| | هزینه‌های مصرف انرژی حامل |

مآخذ، نگارندگان

## اجرای روش دلفی

روش دلفی به انگلیسی (Delphi method) یک روش یا تکنیک ارتباطی ساختمند است که در اصل به‌منظور پیش‌گویی سامانمند و تعاملی با تکیه بر هم اندیشی خبرگان ابداع شده و توسعه پیدا کرده است. این‌روش که در آینده‌پژوهی استفاده می‌شود عمدتاً اهدافی چون کشف ایده‌های نوآورانه و قابل اطمینان یا تهیه اطلاعاتی مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری را دنبال می‌کند. روش دلفی فرایندی ساختار یافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی در بین این افراد و بازخورد کنترل شده پاسخ‌ها و نظرات دریافتی صورت می‌گیرد. تکنیک دلفی برای «شناسایی» و «غربال» مهم‌ترین شاخص‌های تصمیم‌گیری قابل استفاده است؛ بنابراین با وجود اینکه روش دلفی یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره نیست اما در بسیاری موارد قبل از به‌کارگیری تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از این تکنیک برای غربال شاخص‌ها یا رسیدن به یک توافق در زمینه اهمیت شاخص‌های تصمیم‌گیری استفاده می‌شود (Aivanz, M. 2008)

### الف. دور اول دلفی

در این پژوهش پس از شناسایی و نهایی شدن معیارها و زیرمعیارها اقدام به تهیه پرسش‌نامه بر اساس مقیاس طیف لیکرت شد و در اختیار نمونه آماری پژوهش قرار داده شد و دور اول دلفی پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌های پژوهش به

پایان رسید میانگین به دست آمده برای معیارهای پژوهش در دور اول به شرح جدول زیر است. در این دور ضریب کندال برابر با ۰/۵۵۴ محاسبه گردید. (جدول ۲)

**جدول ۲:** نتایج حاصل از اجرای دور اول دلفی

| معیار | زیر معیار | میانگین | انحراف معیار |
|---|---|---|---|
| منابع و خدمات محیط | خشک‌سالی | ۴/۱۰ | ۰/۶۶۶ |
| | منابع آب | ۳/۷۶ | ۰/۷۳۲ |
| | میزان مواد زائد تولید شده | ۴/۲۳ | ۰/۵۶۷ |
| | رضایت از کیفیت آب آشامیدنی | ۴/۱۶ | ۰/۶۷۸ |
| | پیشگیری از آلودگی آب | ۲/۷۶ | ۰/۴۵۱ |
| | غلظت آلاینده‌های هوا | ۳/۴۱ | ۰/۵۶۱ |
| | اعتبارات هزینه شده برای حفاظت از منابع باارزش | ۳/۲۲ | ۰/۷۸۱ |
| | افزایش نوآوری | ۳/۶۶ | ۰/۶۵۱ |
| | مناظر دارای قابلیت گردشگری | ۳/۴۵ | ۰/۸۹۱ |
| | پایبندی به مراقبت از محیط سکونتگاهی | ۳/۵۵ | ۰/۶۷۱ |
| سلامت محیط | رضایت از دفع زباله | ۳/۲۲ | ۰/۹۸۱ |
| | رضایت از دفع فاضلاب | ۳/۶۱ | ۰/۵۲۱ |
| | مقاومت مساکن و ابنیه | ۳/۶۹ | ۰/۶۷۱ |
| | برنامه پیشگیرانه از سیلاب | ۳/۲۲ | ۰/۶۹۰ |
| انرژی | میزان مصرف انرژی آب | ۳/۶۰ | ۰/۳۲۱ |
| | میزان مصرف انرژی برق | ۳/۷۸ | ۰/۴۵۰ |
| | میزان مصرف انرژی گاز | ۳/۶۷ | ۰/۵۸۷ |
| | هزینه‌های مصرف انرژی حامل | ۳/۸۸ | ۰/۴۳۹ |

مآخذ، نگارندگان

## ب. دور دوم دلفی

در دور دوم مجدداً پرسشنامه در اختیار اعضای پانل قرار گرفت اما با این تفاوت که این بار امتیاز هر معیار در دور اول آن نوشته شده بود تا افراد این بار بتوانند با توجه به دید جمعی مجدداً نظر خود را نسبت به معیارهای درج نمایند. نتایج حاصل از جمع‌آوری دیدگاه‌های مذاکره کنندگان در دور دوم، مبین افزایش ضریب کندال است که به‌نوعی میزان توافق بیشتر را نشان می‌دهد که برابر با ۰/۶۶۱ می‌باشد و بیانگر بهبود روند به میزان قابل توجهی است، از این‌رو نیاز است تا یک دور دیگر ادامه یابد تا اختلاف نظر بین دو مرحله به حداقل برسد. (جدول ۳)

**جدول ۳:** نتایج حاصل از اجرای دور اول دلفی

| معیار | زیر معیار | میانگین دور اول | میانگین دور دوم | انحراف معیار |
|---|---|---|---|---|
| منابع و خدمات محیط | خشک‌سالی | ۴/۱۰ | ۴/۲۱ | ۰/۴۵۷ |
| | منابع آب | ۳/۷۶ | ۴/۰۱ | ۰/۷۶۱ |
| | میزان مواد زائد تولید شده | ۴/۲۳ | ۴/۳۹ | ۰/۵۲۱ |
| | رضایت از کیفیت آب آشامیدنی | ۴/۱۶ | ۴/۲۱ | ۰/۳۲۱ |
| | پیشگیری از آلودگی آب | ۲/۷۶ | ۲/۶۱ | ۰/۸۹۱ |
| | غلظت آلاینده‌های هوا | ۳/۴۱ | ۳/۶۷ | ۰/۴۵۱ |
| | اعتبارات هزینه شده برای حفاظت از منابع باارزش | ۳/۲۲ | ۳/۵۶ | ۰/۵۴۱ |
| | افزایش نوآوری | ۳/۶۶ | ۳/۸۹ | ۰/۵۰۱ |
| | مناظر دارای قابلیت گردشگری | ۳/۴۵ | ۳/۶۵ | ۰/۶۷۱ |
| | پایبندی به مراقبت از محیط سکونتگاهی | ۳/۵۵ | ۳/۸۹ | ۰/۴۲۱ |
| سلامت محیط | رضایت از دفع زباله | ۳/۲۲ | ۳/۶۹ | ۰/۴۵۰ |
| | رضایت از دفع فاضلاب | ۳/۶۱ | ۳/۹۰ | ۰/۵۵۹ |
| | مقاومت مساکن و ابنیه | ۳/۶۹ | ۴/۰۲ | ۰/۵۹۰ |
| | برنامه پیشگیرانه از سیلاب | ۳/۲۲ | ۴/۲۱ | ۰/۷۸۹ |
| انرژی | میزان مصرف انرژی آب | ۳/۶۰ | ۳/۸۸ | ۰/۵۴۱ |
| | میزان مصرف انرژی برق | ۳/۷۸ | ۴/۱۲ | ۰/۷۶۱ |
| | میزان مصرف انرژی گاز | ۳/۶۷ | ۳/۸۹ | ۰/۴۲۱ |
| | هزینه‌های مصرف انرژی حامل | ۳/۸۸ | ۳/۹۵ | ۰/۵۴۰ |

مآخذ، نگارندگان

## ج. نتایج دور سوم دلفی

در دوره سوم اعضای پنل نظرات خود را در مورد هریک از معیارها اعلام کردند که ضریب هماهنگی کندال افزایش پیدا کرد و به مقدار ۰/۶۶۹ رسید از آنجا که مقدار ضریب هماهنگی کندال نسبت به دور دوم افزایش کمتری داشت و با توجه به این‌که میزان اجماع و اتفاق‌نظر اعضا رشد قابل توجهی را نشان نمی‌دهد، لذا می‌توان به تکرار دوره‌های دلفی پایان داد. در جدول زیر نتایج دور سوم دلفی ارائه شده است. (جدول ۴)

**جدول ۴:** نتایج حاصل از اجرای دور سوم دلفی

| معیار | زیر معیار | میانگین دور اول | میانگین دور دوم | میانگین دور سوم | انحراف معیار |
|---|---|---|---|---|---|
| منابع و خدمات محیط | خشک‌سالی | ۴/۱۰ | ۴/۲۱ | ۴/۲۴ | ۰/۵۶۷ |
| | منابع آب | ۳/۷۶ | ۴/۰۱ | ۴/۱۰ | ۰/۲۳۹ |
| | میزان مواد زائد تولید شده | ۴/۲۳ | ۴/۳۹ | ۴/۴۴ | ۰/۵۴۳ |
| | رضایت از کیفیت آب آشامیدنی | ۴/۱۶ | ۴/۲۱ | ۴/۲۵ | ۰/۶۷۸ |
| | پیشگیری از آلودگی آب | ۲/۷۶ | ۲/۶۱ | ۲/۴۵ | ۰/۵۶۷ |
| | غلظت آلاینده‌های هوا | ۳/۴۱ | ۳/۶۷ | ۳/۶۹ | ۰/۱۸۹ |
| | اعتبارات هزینه شده برای حفاظت از منابع باارزش | ۳/۲۲ | ۳/۵۶ | ۳/۷۸ | ۰/۳۴۱ |
| | افزایش نوآوری | ۳/۶۶ | ۳/۸۹ | ۴/۱۲ | ۰/۹۸۷ |
| | مناظر دارای قابلیت گردشگری | ۳/۴۵ | ۳/۶۵ | ۳/۶۸ | ۰/۵۶۱ |
| | پایبندی به مراقبت از محیط سکونتگاهی | ۳/۵۵ | ۳/۸۹ | ۳/۹۳ | ۰/۵۶۴ |
| سلامت محیط | رضایت از دفع زباله | ۳/۲۲ | ۳/۶۹ | ۳/۷۸ | ۰/۷۸۲ |
| | رضایت از دفع فاضلاب | ۳/۶۱ | ۳/۹۰ | ۴/۰۴ | ۰/۶۷۳ |
| | مقاومت مساکن و ابنیه | ۳/۶۹ | ۴/۰۲ | ۴/۱۰ | ۰/۵۴۰ |
| | برنامه پیشگیرانه از سیلاب | ۳/۲۲ | ۴/۲۱ | ۴/۲۸ | ۰/۵۶۰ |
| انرژی | میزان مصرف انرژی آب | ۳/۶۰ | ۳/۸۸ | ۳/۹۴ | ۰/۶۷۱ |
| | میزان مصرف انرژی برق | ۳/۷۸ | ۴/۱۲ | ۴/۱۳ | ۰/۵۶۲ |
| | میزان مصرف انرژی گاز | ۳/۶۷ | ۳/۸۹ | ۳/۸۵ | ۰/۷۸۹ |
| | هزینه‌های مصرف انرژی حامل | ۳/۸۸ | ۳/۹۵ | ۴/۱۰ | ۰/۴۵۱ |

مآخذ، نگارندگان

با توجه به نتایج حاصل شده در مرحله سوم دلفی میزان میانگین به دست آمده برای تمامی زیرمعیارها بیشتر از میانگین مورد نظر یعنی عدد ۳/۵ است از این‌رو این تمامی زیرمعیارهای شناسایی شده مورد تأیید قرار گرفت. (جدول ۵)

**جدول ۵:** ضریب هماهنگی کندال مراحل روش دلفی

| مراحل دلفی | مرحله اول | مرحله دوم | مرحله سوم |
|---|---|---|---|
| مقدار ضریب کندال | ۰/۵۵۴ | ۰/۶۶۱ | ۰/۶۶۹ |

مآخذ، نگارندگان

## پیاده سازی شبکه عصبی مصنوعی

**تعداد لایه‌های پنهان:** لایه‌های پنهان نقش مهمی در توصیف روابط غیرخطی حاکم بر ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه دارند. پژوهشگران روابط مختلفی را برای تعیین تعداد لایه‌های پنهان پیشنهاد داده‌اند، اما هیچ‌کدام از آن‌ها برای تمام مسائل کارایی ندارند. بهترین روش برای تعیین تعداد لایه‌های پنهان، استفاده از روش سعی و خطاست؛ اما استفاده از یک‌لایه و دولایه پنهان در طراحی شبکه در بسیاری از پژوهش‌های پیشنهاد شده است. در این پژوهش نیز ارزیابی شبکه با یک و دو لایه پنهان، آموزش داده شده تا بهترین نتیجه حاصل شود.

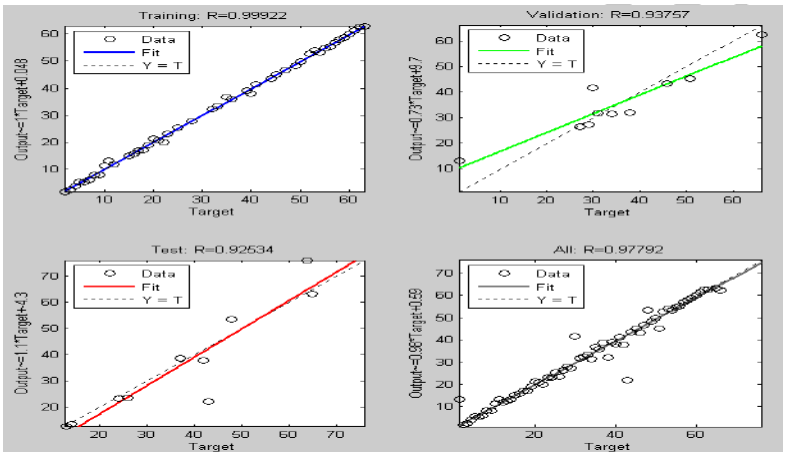
**تعداد نرون‌های هر لایه:** پژوهشگران از روابط مختلفی برای تعیین تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان استفاده کرده‌اند که هیچ‌کدام از روابط فوق برای تمامی مسائل کارایی ندارد؛ بنابراین بهترین روش برای تعیین تعداد نر ون‌های هر لایه آزمون و سعی و خطا پیشنهاد شده است. همچنین نشان داده شده که حداکثر $n2+1$ نرون در هر لایه که در آن n تعداد نر ون‌های لایه ورودی است، در کاربردهای شبکه عصبی کافی به نظر می‌رسد. در این پژوهش، شبکه در حالت‌های مختلف با حداکثر تعداد ۲۵ نرون در هر لایه آزمون شده است تا بهترین مقدار این پارامتر در شبکه حاصل شود؛

**تابع تبدیل:** تابع تبدیل ارتباط بین ورودی و خروجی یک نرون و شبکه را تعیین می‌کند که در این مدل‌سازی، از تابع تبدیل هایپربولیک سیگموئید، در لایه‌های پنهان استفاده گردید؛

**تابع آموزش:** آموزش شبکه عصبی مصنوعی، یک بهینه‌سازی غیرخطی بدون محدودیت است که در آن اوزان در دفعات متعدد اصلاح می‌شوند تا میانگین و یا جمع مربعات خطای بین خروجی شبکه و مقادیر مورد انتظار به حداقل برسد؛ که در این اینجا، از تابع Levenberg - Marquardt Back propagation در آموزش شبکه استفاده شده است. از مشخصه‌های این تابع این است که داده‌ها را به سه بخش آموزش، دقت و آزمودن تقسیم می‌کند در این پژوهش، ۷۰٪ داده‌ها جهت آموزش، ۱۵٪ سنجش دقت و ۱۵٪ نیز برای آزمودن شبکه در نظر گرفته شد؛

**تعیین معماری مناسب شبکه عصبی:** معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه عصبی با معماری‌های مختلف تغییر می کند؛ اما این سؤال مطرح می‌شود که شبکه عصبی با چه معماری چه ترکیبی از سطوح مختلف هر پارامتر تأثیرگذار بر شبکه) نتایج بهتری در پیش‌بینی دارد؟ جهت دستیابی به معماری مناسب شبکه، تعدادی از سطح مختلف پارامترهای طراحی، جهت آزمون سعی و خطا انتخاب شد؛ شکل (۲)

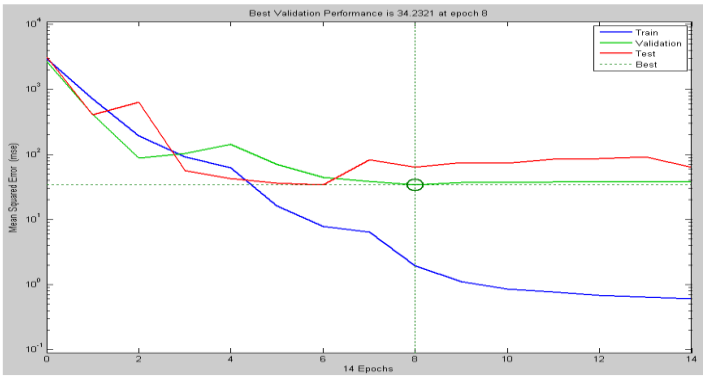
**اعتبارسنجی مدل‌ها:** به‌منظور تعیین شبکه قابل قبول از معیار میانگین خطای مربعی (MSE) استفاده گردید. این معیار در شبکه‌های مختلف تعیین شده و در نهایت شبکه‌ای که بتواند کمترین مقدار این خطا را به خود اختصاص دهد، به‌عنوان شبکه بهینه انتخاب می‌گردد. معیار عملکرد شبکه یعنی ضریب همبستگی هر یک از داده‌ها را در آزمون نهایی نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال ضریب همبستگی کل داده‌ها، برابر ۹۷۷ / ۰ است. شکل (۳)




مآخذ، نگارندگان

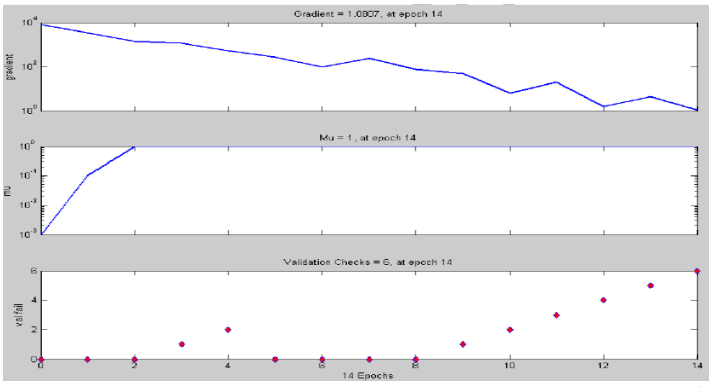
**شکل ۲:** معیار عملکرد شبکه

در نهایت، بهترین عملکرد در شبکه‌ای با معماری، تابع تبدیل تانژانت سیگموئید (Tansig)، تابع آموزش Trainlan و تعداد یک لایه پنهان با ۱۰ نرون، حاصل شد. از این‌رو در این پژوهش، پس از تعیین مقادیر MSE برای شبکه‌های مختلف، شبکه‌ای با مقدار MSE = ۳۴/۲۳۲ انتخاب گردید، همچنین در شکل (۴) روند رسیدن به مقدار MSE به دست آمده، برای داده‌های مختلف ارائه شده است.




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۳:** میانگین خطای مربعی




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۴:** روند یادگیری شبکه

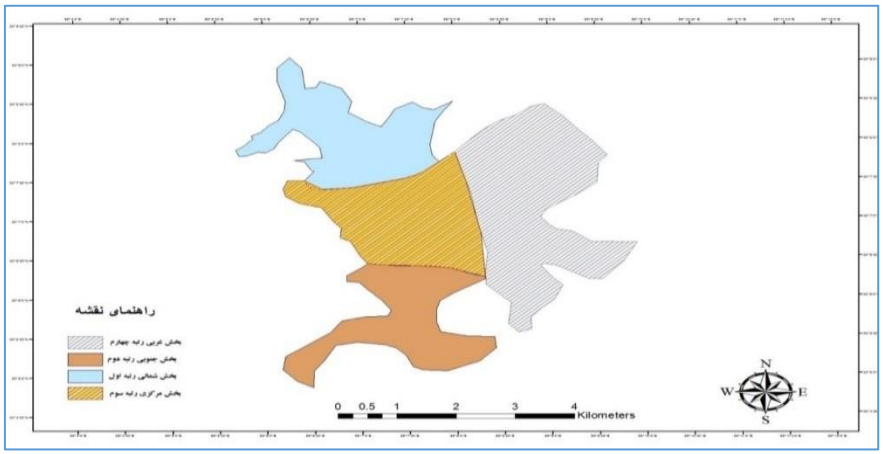
بر اساس آنچه ذکر گردید و در نهایت بر اساس نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی اولویت بندی گزینه‌های مدنظر در این پژوهش با توجه به شاخص‌های مطابق جدول زیر است. (جدول ۶)

**جدول ۶:** رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شبکه عصبی

| گزینه‌ها | وزن | رتبه |
|---|---|---|
| **بخش شمالی** | ۰/۸۷۶ | ۱ |
| **بخش جنوبی** | ۰/۶۷۱ | ۲ |
| **بخش مرکزی** | ۰/۴۳۱ | ۴ |
| **بخش غربی** | ۰/۵۴۲ | ۳ |

مآخذ، نگارندگان

با توجه به نتایج مندرج در جدول فوق بخش شمالی در رتبه اول، بخش جنوبی دوم، بخش غربی رتبه سوم و مرکزی در رتبه چهارم قرار گرفته است. توزیع فضایی رتبه‌بندی بخش‌های چهارگانه شهربابک به‌صورت نقشه زیر نمایش داده شده است. (شکل ۵)




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۵:** توزیع فضایی رتبه‌بندی شهربابک

## ارزیابی زیست‌محیطی خشک‌سالی و منابع آب

متداول‌ترین شاخص در میان شاخص‌هایی که از تحلیل داده‌های بارش، برای مطالعه خشک‌سالی استفاده می‌شود، شاخص (SPI) است. چرا که این شاخص استاندارد بوده و می‌توان از آن در مطالعه‌های منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخدادهای خشک‌سالی، در نواحی مختلف یک پهنه استفاده کرد. بدین منظور نمرات Zscore بارش سالانه ایستگاه شهربابک تعیین شد. این شاخص که در سال ۱۹۳۳ توسط مک کی و همکارانش ارائه شده، بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید. (جدول ۷) تنها فاکتور

مؤثر در محاسبهٔ این شاخص، عنصر بارش است و آن را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد. معادله آن به شرح زیر است:

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

در این رابطه:

$SPI$ = شاخص استاندارد بارش؛

$P_i$ معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر؛

$\overline{P}$ میانگین بارش دراز مدت ایستگاه؛

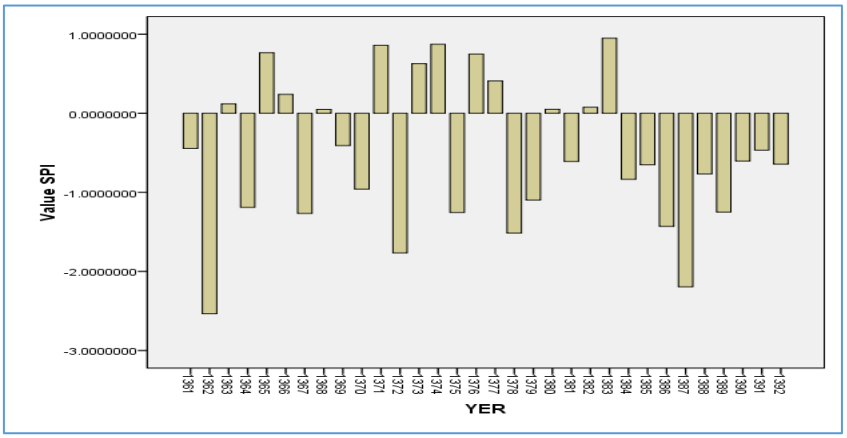
$SD$ انحراف معیار بارش است.

**جدول ۷:** مقیاس طبقه‌بندی شدّت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI

| طبقه | ترسالی خیلی شدید | ترسالی شدید | ترسالی متوسط | مرطوب (نرمال) | خشک‌سالی (نرمال) | خشک‌سالی متوسط | خشک‌سالی شدید | خشک‌سالی بسیار شدید |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حدود SPI | بیش از ۲ | ۱/۹۹ تا ۱/۵ | ۱/۴۹ تا ۱ | ۰/۹۹ تا ۰ | ۰ تا ۰/۹۹- | ۱- تا ۱/۴۹- | ۱/۵- تا ۱/۹۹- | کمتر از ۲- |

مآخذ: (اکبری،۱۳۹۰)

بر اساس جدول در ایستگاه شهربابک طی دوره آماری، ۲۰ مورد خشک‌سالی اتفاق افتاده که شامل: خشک‌سالی نرمال، ۱۰ مورد- خشک‌سالی متوسط، ۶ مورد - خشک‌سالی شدید ۲ مورد و خشک‌سالی بسیار شدید ۲ مورد که در مجموع طی این سی و دو سال، بیست سال (۶۲٫۵ درصد) خشک‌سالی و تنها دوازده سال (۳۷٫۵ درصد) بارندگی‌ها بالاتر از نرمال بوده که هر دوازده سال هم مرطوب نرمال است. (جدول ۸) و فراوانی‌تر سالی‌های متوسط؛ شدید و خیلی شدید صفر می‌باشد. خشک‌سالی‌های بسیار شدید این ایستگاه با مقدار SPI سالانه برابر با ۲/۵۷- در سال ۱۳۶۲ و ۲/۱۹- در سال ۱۳۸۷ رخداده است؛ و به لحاظ تداوم ۳ مورد خشک‌سالی ۲ ساله (۶۲-۶۱،۶۹-۶۸ و ۷۹-۷۸) و یک مورد خشک‌سالی ۸ ساله (۹۲-۸۴) به وقوع پیوسته است. (شکل ۶) (جدول ۹)




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۶:** SPI سالانه ایستگاه شهربابک ۱۳۹۲-۱۳۶۱

**جدول ۸:** ضریب خشک‌سالی شهربابک بر اساس شاخص توزیع استاندارد بارش (SPI) سالانه

| Date | Precipitation | SPI Index | Drought Severity |
|---|---|---|---|
| ۱۳۶۱ | ۳۰۵.۲۱ | −۰.۴۴ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۶۲ | ۱۰۷ | −۲.۵۳ | خشک‌سالی بسیار شدید |
| ۱۳۶۳ | ۳۸۳.۸۲ | ۰.۱۲ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۶۴ | ۲۱۸.۷۱ | −۱.۱۸ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۶۵ | ۵۰۰.۸ | ۰.۷۶ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۶۶ | ۴۰۳.۲۱ | ۰.۲۴ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۶۷ | ۲۱۰.۶۱ | −۱.۲۶ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۶۸ | ۳۷۳ | ۰.۰۵ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۶۹ | ۳۰۹.۴ | −۰.۴۰ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۷۰ | ۲۴۴.۳ | −۰.۹۵ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۷۱ | ۵۱۹.۹۱ | ۰.۸۵ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۷۲ | ۱۶۳.۵ | −۱.۷۶ | خشک‌سالی شدید |
| ۱۳۷۳ | ۴۷۳.۱ | ۰.۶۲ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۷۴ | ۵۲۲.۸ | ۰.۸۷ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۷۵ | ۲۱۱.۹۲ | −۱.۲۵ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۷۶ | ۴۹۷.۲ | ۰.۷۴ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۷۷ | ۴۳۲.۵ | ۰.۴۱ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۷۸ | ۱۸۶.۰۱ | −۱.۵۱ | خشک‌سالی شدید |
| ۱۳۷۹ | ۲۲۸.۷۱ | −۱.۰۹ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۸۰ | ۳۷۳.۲ | ۰.۰۵۱ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۸۱ | ۲۸۷ | −۰.۶۰ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۸۲ | ۳۷۷ | ۰.۰۷۶ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۸۳ | ۵۳۹.۴ | ۰.۹۴ | مرطوب نرمال |
| ۱۳۸۴ | ۲۵۸.۸۱ | −۰.۸۳ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۸۵ | ۲۸۱.۵ | −۰.۶۵ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۸۶ | ۱۹۴.۲۱ | −۱.۴۲ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۸۷ | ۱۲۹.۸ | −۲.۱۹ | خشک‌سالی بسیار شدید |
| ۱۳۸۸ | ۲۶۷ | −۰.۷۶ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۸۹ | ۲۱۲.۴ | −۱.۲۴ | خشک‌سالی متوسط |
| ۱۳۹۰ | ۲۸۷.۶ | −۰.۶۰ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۹۱ | ۳۰۲.۴ | −۰.۴۶ | خشک‌سالی نرمال |
| ۱۳۹۲ | ۲۸۲.۵ | −۰.۶۴ | خشک‌سالی نرمال |

مآخذ، نگارندگان

**جدول ۹:** منابع آب‌های زیرزمینی و مقدار تخلیه سالانه میلیون مترمکعب آب‌ها

| شهرستان | چاه عمیق | | چاه نیمه عمیق | | قنات | | چشمه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | تعداد حلقه | تخلیه سالانه | تعداد حلقه | تخلیه سالانه | تعداد حلقه | تخلیه سالانه | تعداد حلقه | تخلیه سالانه |
| شهربابک | ۹۰۰ | ۸/۳۵ | ۲۴۵ | ۲۷/۲۵ | ۵۳ | ۳/۵۳ | ۷ | - |

مآخذ، نگارندگان

## تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب

توسعه کشاورزی و صنعت متعاقباً افزایش برداشت از منابع آب را در پی دارد و برداشت بی‌رویه موجب افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان می‌شود که مشکلاتی همچون خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه و دریاچه‌ها، تنزل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و از همه مهم‌تر نشست زمین و تخریب آبخوان‌ها را در بردارد. با توجه به بحران منابع آب، با تجزیه و تحلیل نمودارهای آماری موجود و نگاهی به آینده می‌توان گامی در جهت استفاده بهینه از منابع آب و خشک‌سالی برداشت. خشک‌سالی همواره یکی از موضوعات مطرح و مهم در مطالعه بلایای طبیعی و تأثیرگذار در کشاورزی است که در چند دهه اخیر از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. خشک‌سالی نیز مانند کاهش منابع آب توسعه جوامع را در کلیه سطوح به مخاطره می‌اندازد و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمی بارش و نوسانات شدید آن سبب عدم اطمینان جهت دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تأمین جریان‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارندگی که به وقوع خشک‌سالی منجر می‌شود، بر منابع آبی تأثیر منفی گذاشته و به‌تبع آن کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان استمرار خشک‌سالی و تداوم آن در یک منطقه تأثیرات مخربی از خود بر جای می‌گذارد به‌طوری که طولانی شدن خشک‌سالی میزان آن را شدیدتر ساخته و به‌مراتب در شدت بخشیدن به خشک‌سالی مؤثر خواهد بود. (جدول ۱۰)

**جدول ۱۰:** ارتفاع مطلق سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری نمونه در شهربابک

| سال | بخش شمالی | بخش جنوبی | بخش مرکزی |
|---|---|---|---|
| **۸۳** | ۲۷,۵ | ۲۵,۰۱ | ۲۱,۹۴ |
| **۸۴** | ۲۰,۲۱ | ۱۳,۹۵ | ۱۲,۱۵ |
| **۸۵** | ۳۴ | ۱۹,۷۹ | ۱۵ |
| **۸۶** | ۲۷,۹۷ | ۲۴,۱۱ | ۱۷,۵۴ |
| **۸۷** | ۲۸ | ۲۶,۰۱ | ۲۱,۹۴ |
| **۸۸** | ۲۸,۴ | ۲۸,۴۲ | ۳۰,۳۱ |
| **۸۹** | ۲۸,۵۷ | ۳۰,۲۳ | ۳۳,۰۳ |
| **۹۰** | ۳۶,۳۱ | ۳۰,۴۸ | ۳۵,۱ |
| **۹۱** | ۲۹,۴۶ | ۲۹,۳۸ | ۳۴,۲۸ |

مآخذ، نگارندگان

## تحلیل جداول و نمودارهای همبستگی بین شاخص SPI دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه‌های نمونه

شاخص خشک‌سالی SPI دوازده ماهه شهربابک و سطح آب‌های زیرزمینی این منطقه رابطه معناداری وجود دارد و به عبارت دیگر می‌توان گفت که خشک‌سالی‌ها در مقیاس دوازده ماهه بر منابع آب‌های زیرزمینی تأثیر دارد.

چنانچه در جداول مشاهده می‌گردد درصد ارتباط بین سطح آب‌های زیرزمینی و شاخص SPI دوازده ماهه شهربابک برای سه چاه نمونه ـ بخش مرکزی، بخش جنوبی و بخش شمالی– به ترتیب ۰۲۷. ۰۱۹؛ و ۰۷۳. است؛ که برای دو چاه بخش مرکزی و بخش شمالی درصد ارتباط نزدیک به پنجاه درصد همبستگی را نشان می‌دهد که در مقایسه با درصد ارتباط بین سطح آب‌های زیرزمینی و خشک‌سالی‌های شش ماهه شهربابک بالاتر و معنادارتر است. ابن امر در نمودارهای همبستگی بین شاخص SPI دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه‌های نمونه نمایان‌تر است. چنانچه مشاهده می‌شود در این جداول نقاط نسبت به نمودارهای همبستگی درصد ارتباط بین سطح آب‌های زیرزمینی و خشک‌سالی‌های شش ماهه شهربابک نزدیک‌تر به یک خط مورب شمال شرقی جنوب غربی می‌باشد. (شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰) (جدول‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

**جدول ۱۱:** همبستگی بین شاخص spi دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش مرکزی

Correlations

| | | بخش مرکزی | spi.12 |
|---|---|---|---|
| **بخش مرکزی** | Pearson Correlation | 1 | .027 |
| | Sig. (2-tailed) | | .945 |
| | N | 9 | 9 |
| **spi.12** | Pearson Correlation | .027 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .945 | |
| | N | 9 | 10 |

مآخذ، نگارندگان

**جدول ۱۲:** همبستگی بین شاخص spi دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش جنوبی

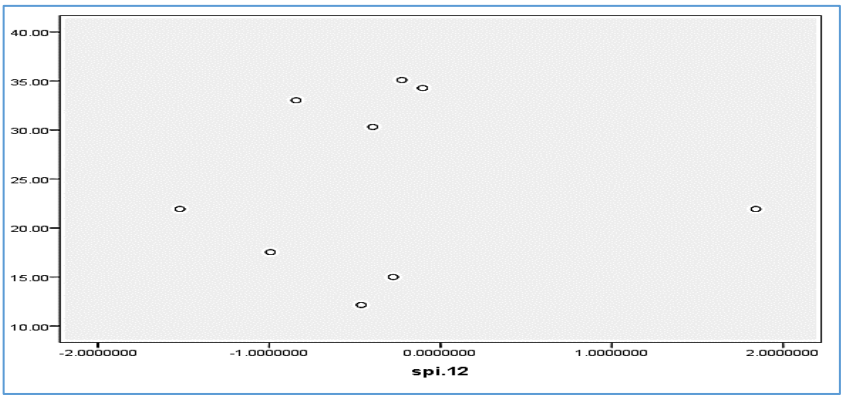
| | | بخش جنوبی | spi.12 |
|---|---|---|---|
| **بخش جنوبی** | Pearson Correlation | 1 | .019 |
| | Sig. (2-tailed) | | .962 |
| | N | 9 | 9 |
| **spi.12** | Pearson Correlation | .019 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .962 | |
| | N | 9 | 10 |

مآخذ، نگارندگان

**جدول ۱۳:** همبستگی بین شاخص spi دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش شمالی

Correlations

| | | بخش شمالی | spi.12 |
|---|---|---|---|
| **بخش شمالی** | Pearson Correlation | 1 | .073 |
| | Sig. (2-tailed) | | .852 |
| | N | 9 | 9 |
| **spi.12** | Pearson Correlation | .073 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .852 | |
| | N | 9 | 10 |




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۷:** همبستگی بین شاخص spi دوازده ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش مرکزی

بررسی ارتباط بین سطح آب‌های زیرزمینی و خشک‌سالی‌های چهل و هشت ماهه شهربابک (جدول ۱۴، ۱۵، ۱۶)

**جدول ۱۴:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه و سطح آب چاه: بخش مرکزی

| | | بخش مرکزی | spi.48 |
|---|---|---|---|
| بخش مرکزی | Pearson Correlation | 1 | .993 |
| | Sig. (2-tailed) | | .075 |
| | N | 9 | 3 |
| spi.48 | Pearson Correlation | .993 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .075 | |
| | N | 3 | 3 |

مآخذ، نگارندگان

**جدول ۱۵:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش جنوبی

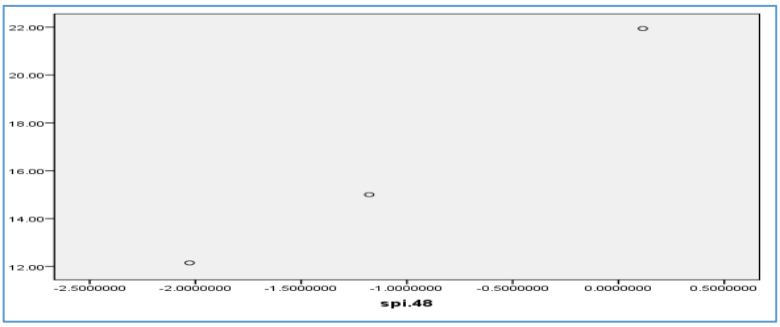
| | | بخش جنوبی | spi.48 |
|---|---|---|---|
| **بخش جنوبی** | Pearson Correlation | 1 | .989 |
| | Sig. (2-tailed) | | .096 |
| | N | 9 | 3 |
| **spi.48** | Pearson Correlation | .989 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .096 | |
| | N | 3 | 3 |

مآخذ، نگارندگان

**جدول ۱۶:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش شمالی

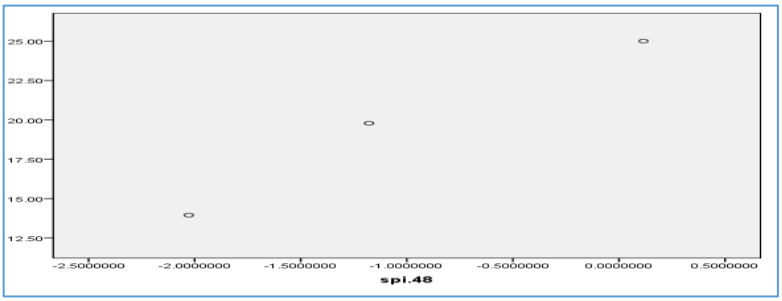
| | | بخش شمالی | spi.48 |
|---|---|---|---|
| بخش شمالی | Pearson Correlation | 1 | .424 |
| | Sig. (2-tailed) | | .721 |
| | N | 9 | 3 |
| spi.48 | Pearson Correlation | .424 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .721 | |
| | N | 3 | 3 |

مآخذ، نگارندگان



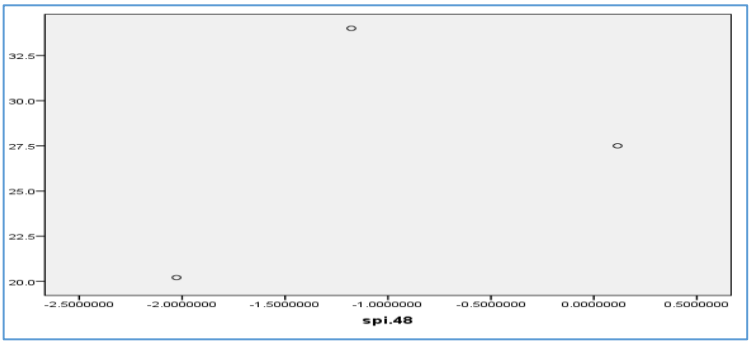

مآخذ، نگارندگان

**شکل ۸:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش مرکزی




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۹:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش جنوبی




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۱۰:** همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه: بخش شمالی

## تحلیل جدول‌ها و نمودارهای همبستگی بین شاخص spi چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه‌های نمونه

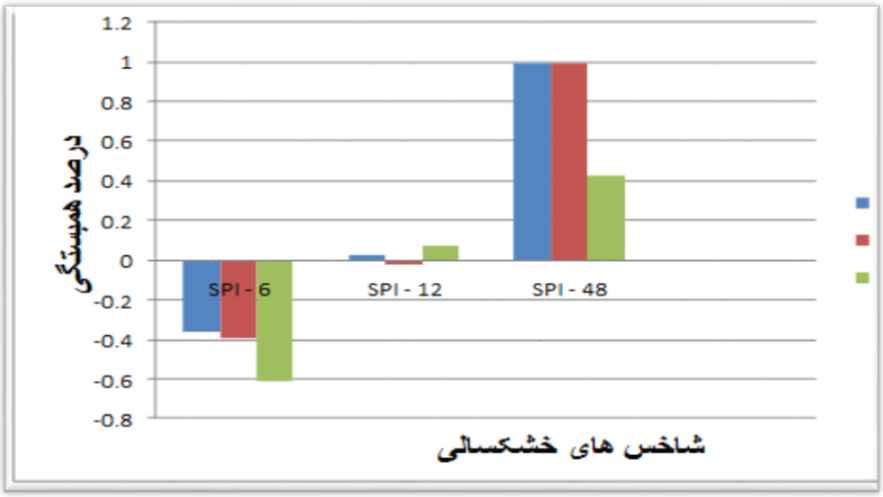
ا توجه به جدول ۱۲ و شکل ۶ مشاهده می‌شود که بین شاخص خشک‌سالی SPI چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب‌های زیرزمینی این منطقه رابطه معنادار بالایی وجود دارد و به عبارت دیگر می‌توان گفت که خشک‌سالی‌ها در مقیاس چهل و هشت ماهه بر منابع آب‌های زیرزمینی تأثیر بالایی دارد. چنانچه در جداول مشاهده می‌گردد در صد ارتباط بین سطح آب‌های زیرزمینی و شاخص خشک‌سالی SPI چهل و هشت ماهه شهربابک برای سه چاه نمونه ـ بخش مرکزی، بخش جنوبی و بخش شمالی ـ به ترتیب ۹۹۳. ۹۸۹؛ و ۴۲۴. است؛ و فاصله کمی تا ۱ که ارتباط صد در صدی می‌باشد

را نشان می‌دهد. این امر در نمودارهای همبستگی بین شاخصSPI چهل و هشت ماهه شهربابک و سطح آب چاه‌های نمونه بیشتر مبرهن و آشکار هست. چنانچه مشاهده می‌شود در جداول و نقاط کاملاً در امتداد یک خط مورب شمال شرقی جنوب غربی و در جدول این نقاط تقریباً در امتداد خط مورب شمال شرقی جنوب غربی قرار گرفته است (شکل ۱۱) (جدول ۱۷).

**جدول ۱۷:** همبستگی بین شاخص‌های spi (سه، دوازده و چهل و هشت ماهه) و سطح آب چاه‌ها در شهربابک

| چاه / SPI | SPI.6 | SPI.12 | SPI.48 |
|---|---|---|---|
| بخش مرکزی | .۳۵۹ | .۰۲۷ | .۹۹۳ |
| بخش جنوبی | .۳۹۴ | .۰۱۹ | .۹۸۹ |
| بخش شمالی | .۶۱۱ | .۰۷۳ | .۴۲۴ |

مآخذ، نگارندگان




مآخذ، نگارندگان

**شکل ۱۱:** همبستگی بین شاخص‌های spi (سه، دوازده و چهل و هشت ماهه) و سطح آب چاه‌ها در شهربابک

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا از طریق مطالعه مبانی نظری پژوهش اقدام به شناسایی معیارها و زیرمعیارهای که در جهت پایداری زیست‌محیطی مؤثر است شد. پس از شناسایی معیارها اقدام به طراحی پرسشنامه دلفی شد و در اختیار کارشناسان و متخصصین قرار داده شد. پیاده‌سازی تکنیک دلفی تا سه دور پیش رفت به‌گونه‌ای که در دوره سوم اعضای هیئت‌رئیسه نظرات خود را در مورد هریک از معیارها اعلام کردند که ضریب هماهنگی کندال افزایش پیدا کرد و به مقدار ۰/۶۶۹ رسید از آنجا که مقدار ضریب هماهنگی کندال نسبت به دور دوم افزایش کمتری داشت و با توجه به این‌که میزان اجماع و اتفاق نظر اعضا رشد قابل توجهی را نشان نمی‌دهد، لذا می‌توان به تکرار دوره‌های دلفی پایان داد. پس از پایان مراحل دلفی معیارها و زیرمعیارها مورد تأیید قرار گرفت و سپس نتایج حاصل از پیاده سازی مدل شبکه عصبی نشان داد که

بخش شمالی شهربابک در رتبه اول، بخش جنوبی در رتبه دوم، بخش غربی در رتبه سوم و بخش مرکزی در رتبه چهارم قرار گرفته است. با این اوصاف رعایت و در نظر گرفتن تمامی دستورالعمل‌های ارزیابی و به‌ویژه ارزیابی پایداری اعم از انتخاب شاخص‌های مؤثر در پایداری در قالب چارچوب‌های تدوین شده، انتخاب ابزار جامع و یکپارچه در قالب چارچوب‌های تدوینی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پایداری و در نهایت انتخاب تکنیکی مناسب جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها نقش مهمی در تبیین بهتر واقعیت‌های موجود در نواحی مورد مطالعه در فرآیند توسعه پایدار جهت برنامه‌ریزی دارد.

یکی از ابزارهای مهم در مدیریت خشک‌سالی، سیستم پایش خشک‌سالی است که می‌توان با پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی، شروع، خاتمه، توزیع مکانی و شدت آن را تشخیص و اعلام نمود. برای بیان کمی پدیده خشک‌سالی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشک‌سالی استفاده می‌گردد. به دلیل نقطه‌ای بودن این شاخص‌ها و متعاقب آن کافی نبودن این اطلاعات برای پایش خشک‌سالی، بسط و گسترش آن‌ها به‌صورت مکانی و منطقه‌ای لازم است. از جمله خطاهایی که بر روی داده‌های نقطه‌ای اعمال می‌شود، خطای مربوط به نحوه درون‌یابی آن‌ها جهت تهیه یک نقشه رستری می‌باشد که عمده این نوع خطا مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت درون‌یابی است. در مقیاس بلند مدت چهل و هشت ماه هم شدت و هم تداوم خشک‌سالی‌ها بیشتر و بالاتر است. این امر بر روی کیفیت آب‌ها نیز تأثیر گذاشته و باعث تغییر کیفیت و بالا رفتن PH آب و سختی آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است. به عبارت دیگر خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها در شهربابک همبستگی بالایی با منابع آب دارد و باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی گردیده است.

## منابع


۱- اقلامی، عطیه. رضایی راد، هادی (۱۳۹۷): سنجش میزان پایداری زیست‌محیطی پروژه‌های بزرگ مقیاس شهر همدان، فصلنامه مطالعات محیطی هفت حصار، شماره ۲۴، سال ۲۰، ص ۹۲ – ۷۲.

۲- اکبری، مرتضی، مدنی، محمدرضا، (۱۳۹۰): بررسی افت آب‌های زیرزمینی با استفاده از gis، مجله پژوهش‌های حفاظت از آب و خاک جلد ۱۶ شماره ۴

۳- حسین زاده دلیر، کریم و ساسان پور، فرزانه (۱۳۸۶): روش‌های نوین در ارزیابی پایداری محیطزیست شهری، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۱۰، ص ۳۵ – ۲۴.

۴- حیدری، مهدی، صابری، محمد، (۱۳۹۱): پایش و ارزیابی خشک‌سالی‌های شهر یزد، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشک‌سالی

۵- خسروی بیگی، رضا، ایستگلدی، مصطفی، شمس‌الدینی، رضا، (۱۳۹۰): ارزیابی پایداری زیست‌محیطی در نواحی شهری با استفاده از فن تصمیم‌گیری چند معیاره تخصیص خطی (مطالعه موردی: شهر بندر ترکمن) جغرافیایی (مطالعات انسانی)، سال ششم، شماره ۱۶، صص ۳۱ -۵۱.

۶- خوش‌اخلاق، فرامرز و همکاران (۱۳۹۳): بررسی خشک‌سالی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و اثرات آن بر منابع آب و کشاورزی، انجمن جغرافیایی ایران، سال هشتم، شماره ۲۴، صص ۱۳۶-۱۱۹.
۷- ربیعی فر، ولی اله. زیاری، کرامت اله. حقیقی نائینی، غلامرضا (۱۳۹۲): ارزیابی توسعه پایدار شهر زنجان از دیدگاه زیست‌محیطی بر پایه تکنیک swot، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال چهارم، شماره ۱۶،۱۳۰ – ۱۰۵.
۸- رهنمایی، محمدتقی. پیر موسوی، سید موسی (۱۳۸۵): بررسی ناپایداری‌های امنیتی کلان‌شهر تهران بر اساس شاخص‌های توسعه پایدار شهری، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۷، ص ۱۹۳ – ۱۷۳.
۹- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، ۱۳۹۸.
۱۰- سرایی، محمدحسین و مؤید فر، سعیده (۱۳۸۹): بررسی میزان پایداری توسعه در شهرهای مناطق خشک با تأکید بر مؤلفه‌های زیست‌محیطی شهر اردکان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱، ۶۷ – ۴۶
۱۱- صفایی پور، مسعود. حسینی، نبی اله. قیصری، نرگس (۱۳۹۴): سنجش رابطه میان رضایتمندی شهروندان از عملکرد شهرداری و شاخص‌های پایداری محیطزیست شهری، مطالعه موردی شهر دزفول، فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال ۶، شماره ۱، ص ۴۵ – ۲۵.
۱۲- عفیفی، محمدابراهیم، (۱۳۹۶): محیطزیست شهری در ایران، انتشارات ماهواره، چاپ اول
۱۳- فرج زاده، منوچهر، (۱۳۹۱): خشک‌سالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان، جغرافیایی شماره ۳۸
۱۴- فیروزبخت، علی. پرهیزکار، اکبر. ربیعی فر، ولی (۱۳۹۱): راهبردهای ساختار زیست‌محیطی شهر با رویکرد توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر کرج): فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۸، ص ۲۳۹ – ۲۱۳.
۱۵- فیروزی، محمدعلی. محمدی، مصطفی. سعیدی، جعفر (۱۳۹۶): ارزیابی شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی با تأکید بر آلودگی هوا و آلاینده‌های صنعتی شهر اهواز، فصل‌نامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال هشتم، شماره ۱، ص ۲۸ – ۱۳.
۱۶- نوحه‌گر، احمد، محمودآبادی سعیده، (۱۳۹۱): ارزیابی چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه کهورستان، فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال دوم شماره ۲.

17- Aivanz, M. (2008): The Use Of Multi-Criteria Decision-Making Methods In The Integrated Assessment Of Climate Changes: Implications For IA Practitioners, Socio-Economic Planning Sciences, 37, Pp. 289–316.
18- Bell, M. (2016): The Use Of Multi-Criteria Decision-Making Methods In The Integrated Assessment Of Climate Changes: Implications For IA Practitioners, Socio-Economic Planning Sciences, 37, PP. 289–316.
19- Hong, G.Et Al. (2011): Research On Sustainable Development Of Resource-Based Small Industrial And Mining Cities-A Case Study Of Yangquanqu Town, Xiaoyi, Shanxi Province, China, Proceeded Engineering 21.PP 633-640.
20- Jordan, (2008): A Multiple Criteria Decision Model For Assigning Priorities To Activities,Inte Rnational Journal Of Project Management,27, PP. 175-181.
21- Munier, Z. (2008): Multi-Attribute Contractors Ranking Method By Applying Ordering Of Feasible Alternatives Of Solutions In Terms Of Prefer Ability Technique, Technological And Economic Development Baltic Journal On Sustainability, 14, PP. 224-239.