

بررسی منطقه‌ای خشکسالی در مرکز، جنوب و جنوب شرق کشور

• محمدرضا دانشور

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

• عبدالرسول تلوری

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

• محمود توکلی

کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد

• محمد رضا دانائیان

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۸۵

Email: mrdaneshvar@yagoo.com

چکیده

خشکسالی یکی از بلاای طبیعی است که رخداد آن اثرات زیان باری را بر محیط‌های اکولوژیک وارد می‌نماید. به منظور تحلیل خشکسالی‌های منطقه جنوب و جنوب شرق کشور، آمار بارندگی متوسط سالانه و ماهانه ایستگاه‌های محدوده طرح در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۷۰) مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا بر اساس قوانین آماری و انتخاب بهترین توزیع، میزان بارندگی متوسط سالانه در دوره بازگشت‌های مختلف در یک پریود خشکسالی برآورد گردید. سپس بر اساس نسبت بارندگی برآورد شده با هر دوره بازگشت به بارندگی متوسط سالانه هر ایستگاه ($\frac{P}{P_{mean}}$) نقشه هم نسبت منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. با بررسی این نقشه‌ها می‌توان نتیجه گرفت، هنگامیکه خشکسالی فرضی با دوره بازگشت T ساله در کل سطح منطقه رخ دهد آنگاه کدام نواحی در سطح منطقه دچار ضعف بحرانی تری خواهند شد. بدیهی است مناطقی در این شرایط وضعیت بحرانی تری خواهند داشت که کمبودهای اتفاق افتاده در آن‌ها دارای انحراف بیشتری نسبت به متوسط درازمدتشان باشند. با استفاده از معیار سری آماری بی بعد انتخاب شده منطقه‌ای می‌توان در هر کدام از سال‌های آماری موجود، مناطق تحت پوشش خشکسالی با شدت متناظر با دوره بازگشت T ساله را مورد ارزیابی قرار داد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، دوره بازگشت، بارندگی متوسط سالانه، شدت متناظر خشکسالی

pajouhesh & sazandegi: No 76 pp: 158-166

Consideration regional drought management in center, South and South East of Iran*By: M.R. Daneshvar, Member of Scientific Board of Yazd Agricultural and Natural Resource Research Center**Telvari A.R. Member of Scientific Board of Soil Conservation and Watershed Management Research Center**Tavakoli M. Expert of Research Climatoloty Office of Yazd**Danaeian M. R. Member of Scientific Board of Yazd Agricultural and Natural Resource Research Center*

Drought is one of the natural disasters that create some of damaging impacts to ecological environments. The Average annual and monthly rainfall of limited projects stations were surveyed in statistical periods 30 years (1970-1999) to analyze droughts of south and south – east of our country. At first the average annual rainfall was estimated in a drought period according to statistical rules and best-selected distribution. Then the map of chosen area was provided based on the estimated rain fall rate to average annual of each station for return period ($\frac{P}{P_{mean}}$) Due to provided maps may recognize when drought with a T return period occurs in whole area and then which area has more critical weakness. ofcourse, each area would have more critical condition that have weakness with more diversity to their mean long time weaknesses. Using dimensionless statistical series criteria may evaluate drought area with similar T return period intensity.

Key words: Drought, Annual rainfall, Returns period, Similar drought intensity**مقدمه**

بنابراین بررسی و شناخت دوره‌های مرطوب و خشک و پیش‌بینی آن‌ها، خود باعث کاهش اثرات خشکسالی و خسارت وارده به محیط زیست و مردم منطقه خواهد شد.

تحقیق حاضر با هدف تحلیل آمار خشکسالی اقلیمی منطقه شرق و جنوب شرقی کشور با تأکید بر عنصر بارش انجام شده است. نظر به این‌که تاکنون تعریف جامعی از خشکسالی توسط محققین پیشنهاد نشده و هر یک از آن‌ها مطابق با برداشت و سلیقه خودشان تعریفی را برای خشکسالی داشته‌اند. درک و مطالعه این پدیده همواره با مشکلاتی روبرو بوده است.

احمدی (۱)، در بررسی خشکسالی‌های کشور بین سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۳۵ نتیجه می‌گیرد که سال‌های ۱۳۳۵، ۱۳۳۹، ۱۳۴۹، ۱۳۵۲، ۱۳۶۱، ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰، سال‌هایی بودند که خشکسالی بیش از ۶۰ درصد از مساحت کل کشور را در بر گرفته است که بیشترین آن مربوط به سال ۱۳۴۹ و کمترین آن مربوط به سال ۱۳۳۹ بوده است.

بذرافشان (۲)، برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی از قبیل معیار بارندگی سالانه، درصد نرمال، دهک‌ها، ناهنجاری بارش، شاخص‌بالم و مولی، بارش مؤثر و شاخص بارش استاندارد را بر اساس دو معیار بنیادی و آماری مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری نمود که از نظر بنیادی انتخاب هر یک از شاخص‌ها قویاً به هدف مطالعه و میزان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز بستگی دارد و از نظر آماری، شاخص‌های معیار بارندگی سالانه و شاخص دهک‌ها کاملاً مشابه بوده، که در ارزیابی، نتایج تقریباً مشابهی به دست می‌آید. در صورتی که شاخص‌های بالم و مولی، بارش استاندارد، بارش مؤثر و درصد نرمال از نظر نقطه‌نظر معیارهای آماری مشابه بوده و ارزیابی تقریباً یکسانی از نظر توالی، شدت و احتمال وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد. نتیجتاً شاخص معیار بارندگی سالانه سنجه بهتری نسبت به سایر شاخص‌ها ارائه می‌دهد.

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که رخداد آن اثرات زیان باری را بر محیط‌های اکولوژیک وارد می‌سازد. نظر به این‌که متغیرهای مختلفی چه به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در رخداد آن دخالت دارند، در مقایسه با سایر بلایای طبیعی از چندین نظر متفاوت است. اولاً تعیین شروع و خاتمه آن کار مشکلی می‌باشد، زیرا یک پدیده خزنده بوده و اثرات آن ممکن است به تدریج برای یک دوره طولانی روی هم انباشته شده و برای سال‌های پس از آن هم ادامه داشته باشد. ثانیاً اثرات زیان بار خشکسالی در پهنه‌هایی که وسعت بیشتری دارند، نسبت به خسارات ناشی از سایر بلایای طبیعی، به صورت پراکنده بوده و کمتر به نظر می‌رسد. بررسی علمی این بلای طبیعی یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزان کشور می‌باشد تا به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک به خصوص در اقلیم خشک مورد استفاده قرار گیرد. در تعریف خشکسالی اختلاف نظرهایی وجود دارد که بعضاً خشکی (Aridity) را با خشکسالی (Drought) در کنار هم قرار می‌دهند در حالیکه خشکی (Aridity) نوعی مشخصه دائمی آب و هوایی در یک منطقه بوده که نشان‌دهنده عدم کفایت بارش در حد لازم برای رشد و توسعه حیات در آن منطقه می‌باشد ولی خشکسالی عبارتست از کاهش غیر معمول بارش در مدت معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست و میزان کاهش بارندگی تأثیری در روند عادی رشد و توسعه حیات در منطقه دارد.

ویژگی‌های خشکسالی در ایران به گونه‌ای است که هیچ نقطه‌ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و پیوسته در اغلب سال‌ها منطقه‌ای از کشور با پدیده خشکسالی مواجه می‌باشد. در این میان، قسمت‌های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی کشور، به علت نوسانات زیاد مقادیر بارندگی در سال‌های مختلف، از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار هستند.

Hi-ryong byon (۱۳)، شدت و مدت خشکسالی را مورد ارزیابی قرارداده و اشکالات شاخص‌های خشکسالی رایج را برای شروع و پایان تنش جمعی خشکسالی بیان داشته و در نهایت شاخص‌های جدید خشکسالی با فواصل زمانی روزانه بجای ماهانه پیشنهاد داده‌اند. Mckee و همکاران (۱۳)، شاخص استاندارد شده بارندگی را به عنوان پایش دوره‌های خشک با مقیاس زمانی مختلف (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) مورد محاسبه قرار دادند.

Palmer (۱۴) یکی از جامع‌ترین تعریف خشکسالی‌ها را ارائه نموده است. خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی که از جمله مشخصه‌های آن، تداوم (Duration)، شدت (Severity) و بزرگی (Magnitude)، تداوم و شدت خشکسالی دو ویژگی اولیه و بزرگی خشکسالی، ویژگی ثانویه آن می‌باشد. شاخص Palmer به طور ذاتی یک مقیاس زمانی دوازده‌ماهه را که در آن متغیرهای گوناگونی مانند بارندگی، تبخیر و تعرق، وضعیت خاک و رواناب سطحی نیز دخالت دارند را مورد بررسی قرار داده است.

Glantz و Wilhite (۱۵)، خشکسالی‌ها را به چهار دسته (خشکسالی، هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی) طبقه بندی نمودند. بر این اساس خشکسالی هواشناسی زمانی رخ می‌دهد که بارندگی سالانه و یا هر بازه زمانی معین (ماهانه، فصلی) کمتر از میانگین دراز مدت آن باشد و ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود، که این نوع خشکسالی، سطح آب رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین دراز مدت افت می‌کند. خشکسالی کشاورزی نیز زمانی آغاز می‌شود که مقدار رطوبت موجود در محیط ریشه گیاه به حدی کاهش یابد که موجب پژمردگی و در نهایت کاهش محصولات کشاورزی گردد. خشکسالی اقتصادی-اجتماعی بر مبنای عرضه و تقاضای آب استوار است. هرگاه میزان تقاضای آب برای تولید برخی کالاهای اقتصادی بیشتر از عرضه آب شود، خشکسالی اقتصادی-اجتماعی روی می‌دهد. افزایش جمعیت همراه با افزایش مصرف سرانه آب در کنار کاهش بارندگی، وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، همه این‌ها از عوامل بروز خشکسالی اقتصادی-اجتماعی می‌باشد.

در تحقیق حاضر با استفاده از نسبت بارندگی میانگین سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف به میانگین بارندگی سالانه، اقدام به تحلیل منطقه‌ای خشکسالی گردید که این امر در جهت برنامه‌ریزی برای شناخت مناطق حساس به خشکسالی می‌تواند، مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده طرح

با توجه به اینکه هدف، بررسی و شناخت دوره‌های خشک با تأکید بر عنصر بارش و همچنین تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌باشد. ابتدا در محدوده مطالعاتی که استانهای یزد، اصفهان، کرمان، هرمزگان، فارس و سیستان و بلوچستان می‌باشند. شکل شماره ۱، تعداد ۳۲ ایستگاه سینوپتیک و ۴۰ ایستگاه کلیماتولوژی وابسته به سازمان هواشناسی کل کشور مشخص گردید. سپس با توجه به طول دوره آماری و سال‌های ناقص هر ایستگاه

توکلی و همکاران (۳)، سه شاخص پایه خشکسالی، شاخص شدت خشکسالی سال زراعی قبل و شاخص درصد بارش فصل رویش را با استفاده از میانگین بارندگی یکسال زراعی مراکز استان‌ها مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری نمودند که این سه شاخص، ۳۰ درصد شاخص کل خشکسالی هر استان را تشکیل می‌دهد و برای ارزیابی خشکسالی هر استان می‌توان امتیاز خاص هر سه شاخص را در نظر گرفت.

دین‌پژوه و همکاران (۴)، مشخصه‌های خشکسالی، شامل: دوره تداوم، مجموع مقدار کمبود، شدت و وسعت خشکسالی را به صورت منطقه‌ای در سطح کشور مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند بجز مشخصه دوره تداوم سایر مشخصه‌های دیگر خشکسالی با میانگین دراز مدت بارش رابطه‌ای مستقیم دارند.

رضیئی و همکاران (۵)، در بررسی خشکسالی آن‌را یکی از ویژگی‌های اقلیمی مناطق مختلف کشور میدانند. در این میان مناطق مرکز و جنوب شرق کشور از فراوانی وقوع بیشتری برخوردارند.

شاه‌محمدی و همکاران (۶)، در بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بر اساس آمار بلندمدت بارندگی‌های سالانه ایران، احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها را برای ۵ ایستگاه سینوپتیک بوشهر، اصفهان، مشهد، تهران و جاسک که هرکدام معرف اقلیم و منطقه خاصی از کشور می‌باشند را برآورد نموده و نتیجه گرفتند که احتمال خشکسالی‌ها در بوشهر، مشهد و جاسک بیش از ترسالی‌ها و در اصفهان و تهران، احتمال ترسالی و خشکسالی تقریباً با هم برابر هستند.

فرج‌زاده و همکاران (۷)، از شاخص درصد نرمال به منظور بررسی ویژگی‌های عمومی دوره‌های خشک کشور برای دوره زمانی ۱۹۸۵-۱۹۵۶ با استفاده از داده‌های ۳۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی دوره‌های خشک منطقه جنوب کشور را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفت که این دوره‌ها با حداکثر فراوانی، از گستردگی بیشتری برخوردارند و هم این‌که از بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می‌شود از شدت دوره‌های خشک نیز کاسته می‌گردد.

کارآموز و همکاران (۸)، در بررسی مدیریت منطقه‌ای خشکسالی در حوزه آبریز زاینده رود مدلهایی به منظور نمایش و پیش‌بینی تداوم خشکسالی و احتمال وقوع دوره‌های خشک ارائه نمودند.

کریمی و همکاران (۹)، در بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس با رسم نقشه‌های هم‌مدت و شدت برای کل استان نتیجه گرفتند مناطق شمال شرقی، جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی استان که در مجاورت استان‌های خشک اصفهان، یزد، کرمان، هرمزگان و بوشهر قرار دارند، مناطق مستعد خشکسالی شناخته می‌شوند.

مرادی و همکاران (۱۰)، در پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از مدل توزیع منطقه‌ای در ۵۰ ایستگاه منتخب ایران، در یک دوره سی‌ساله به این نتیجه رسیدند که در ۲۲ درصد از سال‌ها کل کشور تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است. شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های هیدرولوژیکی ۶۳-۱۹۶۲ و ۷۴-۱۹۷۳ با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و در ۵۰ درصد از مساحت ایران با دوره بازگشت ۵۰ ساله بوده است.

Mckee و Edwards (۱۱)، دوره‌های خشک نبراسکا را با استفاده از شاخص توزیع استاندارد مورد تحلیل و پایش قرار دادند.

است. بر این اساس کلیه داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها همگن تشخیص داده شد، سپس با توجه به تعداد ایستگاه‌ها و طول دوره آماری آنها، دوره آماری ۳۰ ساله از سال ۱۹۷۰ الی ۱۹۹۹ انتخاب گردید.

تکمیل آمار ایستگاه‌های ناقص

با استفاده از آمار ایستگاه‌های کامل و روش رگرسیون و با نسبت نرمال آمار ایستگاه‌های ناقص، کامل گردید جدول شماره ۱ میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی بارندگی متوسط سالانه ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

برآورد بارندگی متوسط سالانه (در یک دوره خشکسالی) با دوره بازگشت‌های مختلف

به منظور تحلیل داده‌های بارندگی سالانه با احتمال وقوع‌های مختلف از نرم افزار smada استفاده گردید و آزمون نیکویی برازش برای کلیه داده‌های ایستگاه‌ها انجام و بر اساس آن بارندگی متوسط سالانه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برآورد گردید (جدول شماره ۲). لازم به ذکر می‌باشد که اختلاف اساسی تحلیل فرکانس مورد استفاده برای برآورد تابع توزیع احتمالی خشکسالی با تحلیل‌های متداول در این است که در روش‌های متداول از مفهوم دوره بازگشت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه وقایع خشکسالی پدیده‌های سالانه نیستند نمی‌توان از مفهوم دوره بازگشت استفاده نمود و برای رفع این مشکل از مفهوم احتمال تجاوز استفاده شده است (۸)

ارزیابی نقطه‌ای و منطقه‌ای خشکسالی اقلیمی

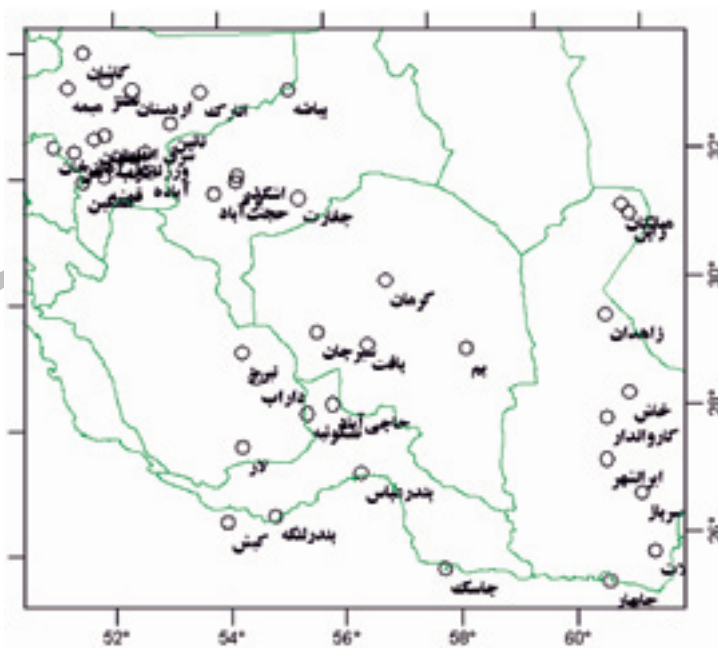
ابتدا برای کلیه ایستگاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی، نسبت بارش به ازای دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس توزیع برتر به متوسط بارش دراز مدت همان ایستگاه محاسبه گردید. جدول شماره ۳ نسبت‌های بدون بعد بدست آمده با دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. برای ارزیابی منطقه‌ای خشکسالی ابتدا با استفاده از موقعیت ایستگاه‌ها (طول و عرض جغرافیایی) بر روی نقشه و نرم افزار ILWIS مساحت تحت پوشش هر ایستگاه مشخص و وزن هر ایستگاه نسبت به مساحت کل منطقه برآورد گردید. سپس نسبت $(\frac{P}{P_{mean}})$ بدست آمده برای هر دوره بازگشت به عنوان معیار تعریف خشکسالی کم بارشی (در نظر گرفته شد (۸) و براساس آن خطوط هم نسبت برای هر دوره بازگشت مورد نظر بر اساس معیار منطقه‌ای رسم گردید. (نقشه شماره ۳ تا ۸).

بحث و نتیجه‌گیری

الف) با بررسی نقشه‌ها می‌توان به این نتیجه دست یافت، هنگامیکه یک خشکسالی فرضی با دوره بازگشت T ساله در کل سطح منطقه رخ دهد، آنگاه کدام نواحی



شکل ۱: محدوده مطالعاتی

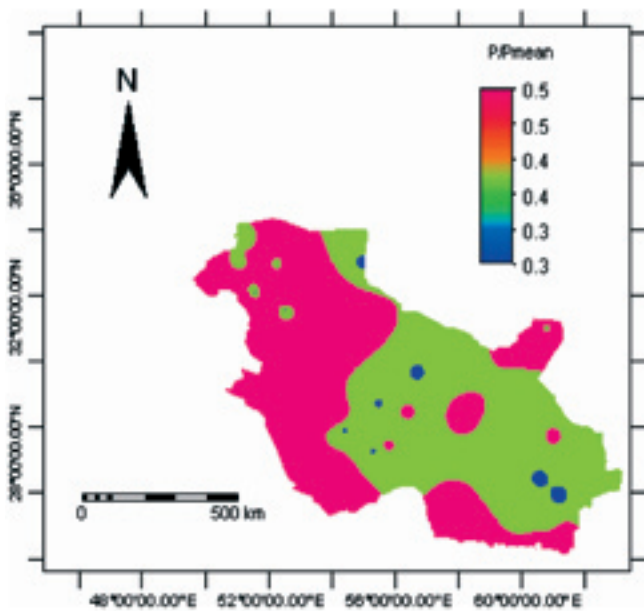


شکل شماره ۲: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مطالعاتی

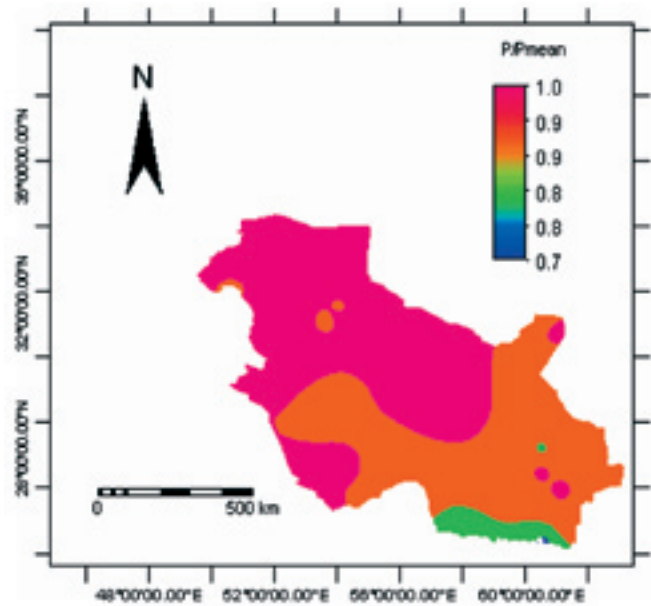
در نهایت تعداد ۴۱ ایستگاه انتخاب شد. شکل شماره ۲ موقعیت مورد مطالعه در محدوده طرح را نشان می‌دهد.

انتخاب دوره آماری مشترک و بررسی کیفی آمار ایستگاه‌ها

بعد از جمع آوری داده‌های آمار بارندگی متوسط سالانه و ماهانه ایستگاه‌ها از سال تاسیس با استفاده از نرم افزار SPSS و روش Run-test اقدام به کنترل کیفی داده‌ها گردید. چنانچه مجموع دنباله‌ها خیلی کم باشد. نشان دهنده تغییر در شرایط اندازه‌گیری بوده و چنانچه خیلی زیاد باشد نشان دهنده نوسان شدید



نقشه ۵: منحنی‌های هم نسبت با دوره بازگشت ده ساله



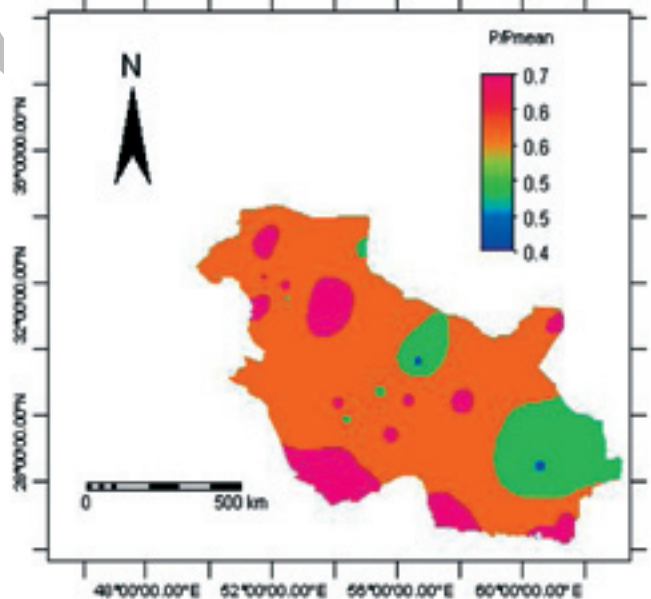
نقشه ۳: منحنی‌های هم‌نسبت بارش با دوره بازگشت دوساله

آن‌ها را با دوره بازگشت معین مورد ارزیابی قرار داد. بدیهی است منظور از این مناطق، مناطقی هستند که تحت شرایطی، با خشکسالی تعریف شده T ساله و شرایط بحرانی تر از آن قرار دارند و می‌توان درصد مساحت تحت پوشش خشکسالی T ساله را نسبت به مساحت کل منطقه بدست آورد.

که بدین ترتیب بسته به در صد مساحت تحت پوشش خشکسالی، در آن سال، میزان اهمیت آن برای برنامه ریزان کشور مشخص خواهد شد.

منابع مورد استفاده

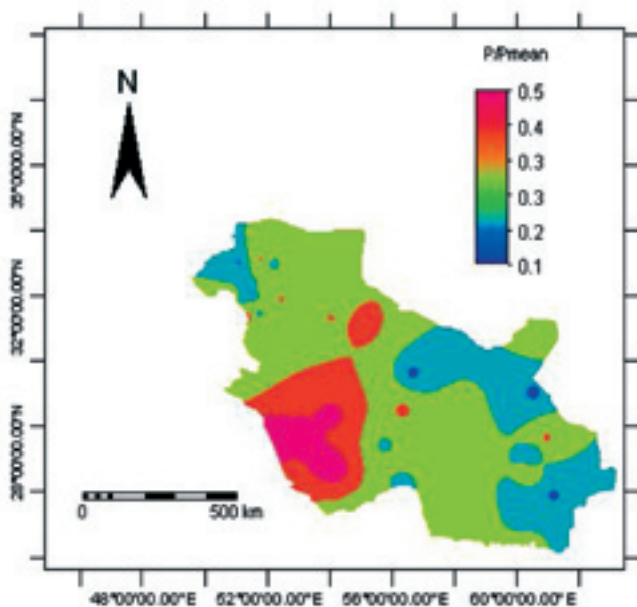
- ۱- احمدی. حسن، ۱۳۸۳؛ بررسی عوامل مؤثر در بیابان زایی، مجله جنگل و مرتع شماره ۶۲، ۶۶-۷۲.
- ۲- بذرافشان، جواد، ۱۳۸۹؛ مطالعه طبیعی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان نامه کارشناس ارشد، دانشگاه تهران.
- ۳- توکلی، محمود و حسین بری، حمید عباسی، مرضیه هاشم‌زاده و محمدصادق طالبی، ۱۳۸۰؛ شاخص‌های ارزیابی روند بارش ایران با تکیه بر مشخصه‌های خشکسالی متئورولوژیکی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد دوم، ۴۸۳-۴۶۹.
- ۴- دین پژوه، یعقوب، احمد فاخری‌فرد، محمد مقدم، میرکمال میرنیا و سعید جهان‌بخش، ۱۳۸۰؛ بررسی روند بارش ایران با تکیه بر مشخصه‌های خشکسالی متئورولوژیکی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد دوم، ۴۸۳-۴۶۹.
- ۵- رحیمی بندرآبادی، س، ۱۳۷۹؛ بررسی کاربرد روش‌های ژئواستاتستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۵۰ ص



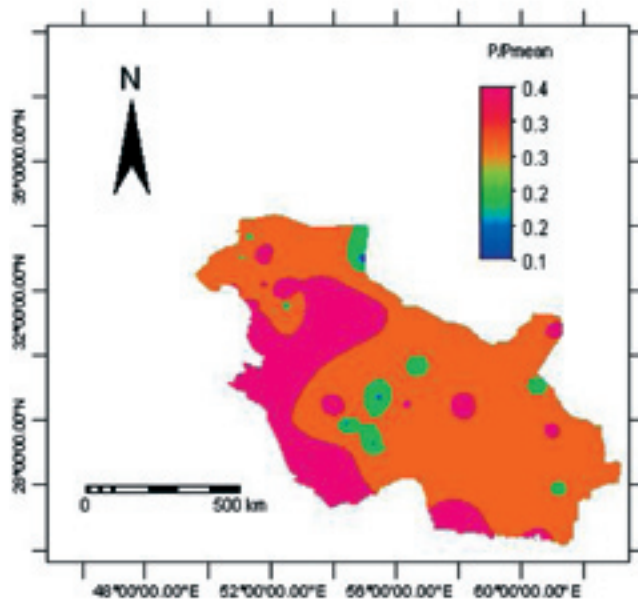
نقشه ۴: منحنی‌های هم‌نسبت بارش با دوره بازگشت پنج ساله

در سطح منطقه دچار وضعیت بحرانی تری خواهند شد. بدیهی است مناطقی در این شرایط وضعیت بحرانی تری خواهند داشت که کمبودهای اتفاق افتاده در آن‌ها دارای انحراف بیشتری نسبت به متوسط درازمدتشان باشند.

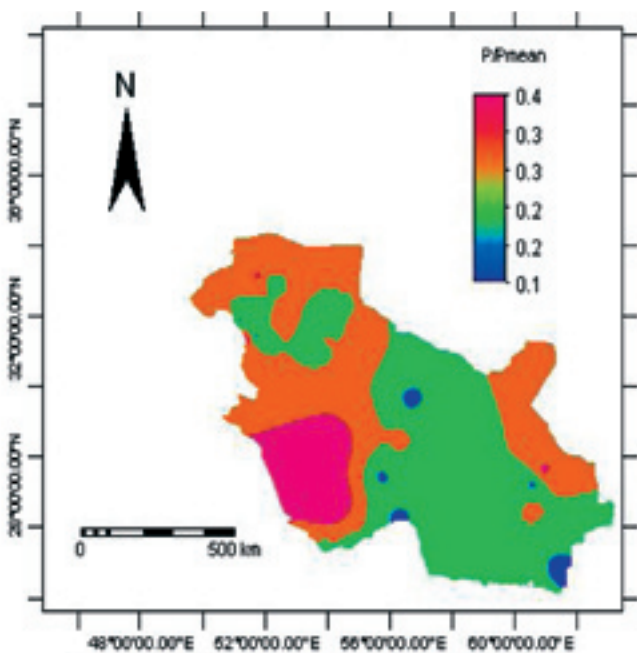
ب) با استفاده از معیار انتخاب شده منطقه‌ای می‌توان در هر کدام از سال‌های آماری موجود، مناطق تحت پوشش خشکسالی و وسعت



نقشه ۷: منحنی‌های هم‌نسبت بارش با دوره بازگشت پنجاه ساله



نقشه ۶: منحنی‌های هم‌نسبت بارش با دوره بازگشت بیست و پنج ساله



نقشه ۸: منحنی‌های هم‌نسبت بارش با دوره بازگشت صد ساله

paper no: 45, s, s Department of commerce Water Bureau Washington D, C.

15-Wilhite. D.A. and M.H. Glantz 1985; Under standing the drought phenomenon: The role of definition Water Inter National 10:111-120.

۶- شاه محمدی. زمان، پرویز حقیقت‌جو و پیمان افراسیاب، ۱۳۸۰؛ تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بر اساس آمار بلند مدت بارندگی‌های سالانه در ایران، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله، بحران آب، جلد اول، ۶۳-۷۰

۷- فرج زاده، منوچهر، ۱۳۷۵؛ خشکسالی و روش‌های مطالعه آن، مجله جنگل و مرتع شماره ۳۲، ۲۲-۳۲

۸- کارآموز، محمد، صدیقه ترابی و شهاب عراقی‌نژاد، ۱۳۸۰؛ مدیریت منطقه‌ای خشکسالی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۶ ص

۹- کریمی، ولی الله، علی‌اکبر کامکار حقیقی، علی‌رضا سپاس‌خواه و داور خلیلی، ۱۳۸۰؛ بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره چهارم، ۱۱-۱

۱۰- مرادی، اسحاق، و جواد بذرافشان، ۱۳۸۰؛ بررسی الگوهای مکانی توزیع خشکسالی با استفاده از مدل توزیع منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد اول، ۱۰۵-۱۶

11-Edwards, D,C and Mckee,T,B 1997, Characteristics if 20 century drought in the united states at multiple time scales". Climatology report number 97-2 Department of atmospheric Science, Colorado state University, Fort Collin.

12-Hayes, M,Y1999; Drouit indices,. climate impacts specialist, National Drought Mitigation center,U,S,A

13-Hi-Ryong by on, 1999; Objective quantification of drought severity and duration, Department of atmospheric sciences, Pur Young National University, Republic of Korea.

14-Palmer, W, C, 1965 Meteorological drought. Research

جدول ۱: مشخصات بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ردیف | نام ایستگاه | میانگین بارندگی سالانه | انحراف معیار | ضریب چولگی |
|------|-------------|------------------------|--------------|------------|
| ۱ | انارک | ۹۹/۲ | ۳۷/۹ | ۰/۴ |
| ۲ | اشکذر | ۶۴/۵ | ۲۵/۷ | ۰/۸ |
| ۳ | بافت | ۲۷۳/۲ | ۹۴/۷ | ۰/۲ |
| ۴ | باهوکلات | ۱۰۰/۹ | ۶۵/۲ | ۰/۹ |
| ۵ | بیاضه | ۸۹/۲ | ۳۸/۳ | ۰/۴ |
| ۶ | چغارت | ۵۷/۳ | ۲۱/۱ | -۰/۱ |
| ۷ | حاجی آباد | ۲۱۴/۸ | ۱۱۴/۶ | ۰/۸ |
| ۸ | کارواندا | ۱۷۰/۱ | ۹۸/۲ | ۱/۹ |
| ۹ | خاش | ۱۷۲/۲ | ۶۲/۴ | ۱/۳ |
| ۱۰ | میانکن | ۱۸۶/۶ | ۱۱۴/۲ | ۰/۶ |
| ۱۱ | سرباز | ۱۵۷/۵ | ۸۷/۴ | ۰/۵ |
| ۱۲ | سیرجان | ۱۲۹/۸ | ۶۷/۷ | ۰/۲ |
| ۱۳ | تاشکویه | ۲۰۲/۶ | ۱۰۶/۶ | ۱ |
| ۱۴ | اردستان | ۱۱۳/۳ | ۴۴/۲ | ۰/۴ |
| ۱۵ | بندر لنگه | ۱۶۲/۷ | ۹۸/۸ | ۰/۷ |
| ۱۶ | داراب | ۳۱۳/۳ | ۱۲۲/۳ | ۰/۲ |
| ۱۷ | قمشه | ۱۴۸/۱ | ۵۶/۸ | ۰/۴ |
| ۱۸ | حجت آباد | ۱۵۹/۴ | ۵۶/۸ | ۱/۶ |
| ۱۹ | لار فارس | ۲۲۲/۶ | ۱۱۲ | ۰/۵ |
| ۲۰ | میمه | ۱۷۰/۷ | ۵۵/۳ | ۱ |
| ۲۱ | نائین | ۱۰۰/۴ | ۴۵/۴ | ۰/۷ |
| ۲۲ | نیریز | ۲۰۹/۸ | ۹۱/۶ | ۱ |
| ۲۳ | ذوب آهن | ۱۵۴/۲ | ۴۶/۱ | ۰/۹ |
| ۲۴ | پل زمانخان | ۳۲۴/۲ | ۳۰۱/۷ | ۰/۴ |
| ۲۵ | همگین | ۲۷۷/۵ | ۹۷/۷ | ۰/۱ |
| ۲۶ | ورزنه | ۷۸/۵ | ۲۹/۵ | ۰/۶ |
| ۲۷ | کیش | ۲۰۱/۷ | ۱۱۰/۶ | ۰/۶ |
| ۲۸ | نطنز | ۱۵۶/۳ | ۵۶ | ۰ |
| ۲۹ | آباده | ۱۳۲/۶ | ۶۲/۶ | ۰/۷ |
| ۳۰ | بم | ۶۴/۴ | ۲۶/۳ | ۰/۷ |
| ۳۱ | بندر عباس | ۲۰۹ | ۱۲۳/۹ | ۰/۷ |
| ۳۲ | چابهار | ۱۲۷ | ۱۰۷/۶ | ۲/۳ |
| ۳۳ | اصفهان | ۱۲۶/۱ | ۳۹/۵ | -۰/۳ |
| ۳۴ | ایرانشهر | ۱۲۳/۴ | ۵۷ | ۰/۵ |
| ۳۵ | جاسک | ۱۵۱ | ۱۱۴/۶ | ۱/۷ |
| ۳۶ | کاشان | ۱۳۸/۲ | ۵۵/۵ | ۰/۵ |
| ۳۷ | کرمان | ۱۶۴/۵ | ۴۸ | ۰/۳ |
| ۳۸ | شرق اصفهان | ۱۱۴/۶ | ۳۹/۶ | ۰/۳ |
| ۳۹ | یزد | ۶۴/۳ | ۲۸/۷ | ۰/۱ |
| ۴۰ | زابل | ۶۵/۵ | ۲۹/۴ | -۰/۲ |
| ۴۱ | زاهدان | ۸۲/۸ | ۴۰/۱ | ۰/۹ |

جدول ۲: بارندگی متوسط سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف (دوره خشک)

| ردیف | دوره بازگشت (سال) | | | | | | ایستگاه | توزیع مناسب |
|------|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|------------|-------------|
| | ۱۰۰ | ۵۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۵ | ۲ | | |
| ۱ | ۲۲/۳ | ۳۲/۳ | ۴۱/۴۵ | ۵۲/۵ | ۶۶/۸ | ۹۶/۶ | انارک | |
| ۲ | ۲۱/۸ | ۲۴/۷ | ۲۸/۳ | ۳۵ | ۴۲/۵ | ۶۰/۷ | اشکذر | |
| ۳ | ۱۶/۳ | ۴۰ | ۷۵/۴ | ۱۱۵/۸ | ۱۵۷/۴ | ۲۳۷/۲ | بافت | |
| ۴ | ۰ | ۱/۵ | ۱۲/۱ | ۲۹/۲ | ۴۷/۴ | ۹۴/۵ | باهوکلات | |
| ۵ | ۲۶/۳ | ۳۱/۲ | ۳۷ | ۴۷ | ۵۷/۷ | ۸۲/۹ | بیاضه | |
| ۶ | ۶/۸ | ۱۲/۸ | ۱۹/۶ | ۳۰ | ۳۹/۶ | ۵۶/۹ | چغارت | |
| ۷ | ۲۴/۵ | ۳۷/۳ | ۵۳/۵ | ۸۳/۳ | ۱۱۶/۹ | ۱۹۷/۸ | حاجی آباد | |
| ۸ | ۶۳/۳ | ۶۵/۱ | ۶۸/۴ | ۷۷/۳ | ۹۱/۶ | ۱۴۲/۴ | کارواندا | |
| ۹ | ۴۴/۴ | ۴۹/۸ | ۵۷/۶ | ۷۳/۸ | ۹۴/۷ | ۱۵۲/۷ | خاش | |
| ۱۰ | ۰ | ۱۳/۸ | ۳۱/۱ | ۶۱ | ۹۲/۸ | ۸۶۷/۸ | میانکن | |
| ۱۱ | ۰ | ۱/۲ | ۲۰/۵ | ۵۱/۲ | ۸۲/۶ | ۱۵۰/۲ | سرباز | |
| ۱۲ | ۰ | ۱/۸ | ۱۶ | ۴۴/۶ | ۷۲/۲ | ۱۲۷/۵ | سیرجان | |
| ۱۳ | ۳۳/۳ | ۴۳/۵ | ۶۲/۲ | ۸۲/۴ | ۱۱۱/۸ | ۱۸۵/۱ | تاشکوهیه | |
| ۱۴ | ۲۳/۶ | ۳۵/۳ | ۴۵/۹ | ۵۸/۸ | ۷۵/۵ | ۱۱۰/۳ | اردستان | |
| ۱۵ | ۰ | ۱/۶ | ۱۵/۶ | ۴۵/۷ | ۷۸ | ۱۵۱/۲ | بندر لنگه | |
| ۱۶ | ۲۸/۸ | ۵۸/۶ | ۱۰۴/۴ | ۱۵۶/۵ | ۲۱۰/۳ | ۳۱۳/۳ | داراب | |
| ۱۷ | ۳۲/۸ | ۴۷/۹ | ۶۱/۵ | ۷۸/۱ | ۹۹/۵ | ۱۴۴/۳ | قمشه | |
| ۱۸ | ۹۱/۴ | ۹۳/۱ | ۹۶ | ۱۰۲/۹ | ۱۱۲/۹ | ۱۴۴/۹ | حجت آباد | |
| ۱۹ | ۳/۶ | ۲۳/۵ | ۴۷ | ۴۸۶ | ۱۲۶/۶ | ۲۳۱/۹ | لار فارس | |
| ۲۰ | ۷۸/۹ | ۸۵ | ۹۲/۸ | ۱۰۷/۲ | ۱۲۳/۴ | ۱۶۲/۵ | میمه | |
| ۲۱ | ۱۵ | ۲۳/۳ | ۳۱/۰۱ | ۴۵/۹ | ۶۱/۵ | ۱۰۴/۹ | نائین | |
| ۲۲ | ۵۷/۷ | ۶۷/۹ | ۸۰/۹ | ۱۰۴/۷ | ۱۳۱/۵ | ۱۹۶/۲ | نیریز | |
| ۲۳ | ۷۷/۶ | ۸۲/۸ | ۸۹/۳ | ۱۰۱/۳ | ۱۱۴/۸ | ۱۴۷/۳ | ذوب آهن | |
| ۲۴ | ۱۱۰/۲ | ۱۳۲ | ۱۶۶ | ۱۹۷/۵ | ۲۳۷/۴ | ۲۷۳/۴ | پل زمانخان | |
| ۲۵ | ۴۳/۹ | ۷۱/۶ | ۱۰۳/۱ | ۱۵۱/۳ | ۱۹۵/۸ | ۲۷۵/۸ | همگین | |
| ۲۶ | ۲۷/۸ | ۳۳ | ۳۹/۲ | ۴۹/۶ | ۶۰/۲ | ۸۳ | ورزنه | |
| ۲۷ | ۰ | ۵/۱ | ۲۸/۳ | ۶۷/۲ | ۱۰۷ | ۱۹۲/۵ | کیش | |
| ۲۸ | ۳۴/۳ | ۴۷/۳ | ۶۲/۲ | ۸۵/۸ | ۱۰۹ | ۱۵۴/۴ | نطنز | |
| ۲۹ | ۱۴/۹ | ۲۴/۹ | ۳۶/۹ | ۵۷/۴ | ۷۸/۹ | ۱۲۶/۳ | آباده | |
| ۳۰ | ۱۴/۹ | ۱۹/۱ | ۲۴/۲ | ۳۲/۸ | ۴۱/۸۵ | ۶۱/۷ | بم | |
| ۳۱ | ۴/۷ | ۲۰/۵ | ۳۹/۳ | ۷۱/۶ | ۱۰۶/۲ | ۱۸۷/۶ | بندر عباس | |
| ۳۲ | ۳۳/۶ | ۳۴ | ۳۵ | ۳۸/۸ | ۴۷/۵ | ۹۰/۳ | چابهار | |
| ۳۳ | ۲۵/۶ | ۳۸/۷ | ۵۳ | ۷۴/۳ | ۹۳/۵ | ۱۲۴/۱ | اصفهان | |
| ۳۴ | ۰ | ۴/۷ | ۲۶ | ۵۰/۳ | ۷۵/۴ | ۱۲۳/۴ | ایرانشهر | |
| ۳۵ | ۲۰/۳ | ۲۳ | ۲۷/۸ | ۳۹/۸ | ۵۸/۳ | ۱۲۰/۳ | جاسک | |
| ۳۶ | ۲۹/۷ | ۳۹/۵ | ۵۱/۲ | ۷۰/۷ | ۹۰/۶ | ۱۳۳/۶ | کاشان | |
| ۳۷ | ۵۱/۵ | ۶۱/۸ | ۷۳/۶ | ۹۲/۷ | ۱۱۱/۵ | ۱۵۴/۹ | کرمان | |
| ۳۸ | ۳۱/۳ | ۳۹/۷ | ۴۹/۵ | ۶۵/۳ | ۸۰/۸ | ۱۱۲/۶ | شرق اصفهان | |
| ۳۹ | ۰ | ۳/۸ | ۱۳۰/۰ | ۲۷/۲ | ۴۰/۳ | ۶۳/۸ | یزد | |
| ۴۰ | ۰ | ۲ | ۱۲ | ۲۷/۲ | ۴۱۰ | ۶۴/۵ | زابل | |
| ۴۱ | ۱۶/۲ | ۲۰/۷ | ۲۶/۳ | ۳۶/۸ | ۴۸/۵ | ۷۶/۸ | زاهدان | |

جدول ۳: نسبت P با دوره بازگشت‌های مختلف

| ردیف | دوره بازگشت | | | | | | نام ایستگاه | توزیع مناسب |
|------|-------------|-------|------|------|------|------|-------------|-------------|
| | ۱۰۰ | ۵۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۵ | ۲ | | |
| ۱ | ۰/۲۲ | ۰/۳۲ | ۰/۴۱ | ۰/۵۳ | ۰/۶۷ | ۰/۹۷ | انارک | |
| ۲ | ۰/۳۳ | ۰/۳۸ | ۰/۴۳ | ۰/۵۴ | ۰/۶۵ | ۰/۹۴ | اشکذر | |
| ۳ | ۰/۰۶ | ۰/۱۶ | ۰/۳۱ | ۰/۴۸ | ۰/۶۶ | ۱ | بافت | |
| ۴ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | ۰/۲۹ | ۰/۴۷ | ۰/۹۳ | باهوکلات | |
| ۵ | ۰/۲۹ | ۰/۳۵ | ۰/۴۱ | ۰/۵۲ | ۰/۶۴ | ۰/۹۳ | بیاضه | |
| ۶ | ۰/۱۱ | ۰/۲۲ | ۰/۳۴ | ۰/۵۲ | ۰/۶۹ | ۰/۹۹ | چغارت | |
| ۷ | ۰/۱۱ | ۰/۱۷ | ۰/۲۵ | ۰/۳۸ | ۰/۵۴ | ۰/۹۲ | حاجی آباد | |
| ۸ | ۰/۳۷ | ۰/۳۸ | ۰/۴۰ | ۰/۴۵ | ۰/۵۳ | ۰/۸۳ | کارواندا | |
| ۹ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۳۳ | ۰/۴۲ | ۰/۵۵ | ۰/۸۸ | خاش | |
| ۱۰ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰/۱۶ | ۰/۳۲ | ۰/۵۰ | ۰/۹۰ | میانکن | |
| ۱۱ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | ۰/۳۲ | ۰/۵۲ | ۰/۹۵ | سرباز | |
| ۱۲ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | ۰/۳۴ | ۰/۵۵ | ۰/۹۸ | سیرجان | |
| ۱۳ | ۰/۱۶ | ۰/۲۱ | ۰/۳۱ | ۰/۴۰ | ۰/۵۵ | ۰/۹۱ | تاشکویه | |
| ۱۴ | ۰/۲۱ | ۰/۳۱ | ۰/۴۰ | ۰/۵۱ | ۰/۶۶ | ۰/۹۷ | اردستان | |
| ۱۵ | ۰ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۹ | ۰/۲۸ | ۰/۴۸ | ۰/۹۳ | بندر لنگه | |
| ۱۶ | ۰/۰۹ | ۰/۱۸ | ۰/۳۳ | ۰/۵۰ | ۰/۶۷ | ۱ | داراب | |
| ۱۷ | ۰/۲۲ | ۰/۳۲ | ۰/۴۱ | ۰/۵۲ | ۰/۶۷ | ۰/۹۷ | قمشه | |
| ۱۸ | ۰/۵۷ | ۰/۵۸ | ۰/۶۰ | ۰/۶۴ | ۰/۷۱ | ۰/۹۱ | حجت آباد | |
| ۱۹ | ۰/۰۱ | ۰/۱۰ | ۰/۲۱ | ۰/۳۸ | ۰/۵۷ | ۱ | لاز فارس | |
| ۲۰ | ۰/۴۶ | ۰/۴۹ | ۰/۵۴ | ۰/۶۲ | ۰/۷۲ | ۰/۹۵ | میمه | |
| ۲۱ | ۰/۱۵ | ۰/۲۲ | ۰/۳۰ | ۰/۴۵ | ۰/۶۱ | ۱/۰۴ | نائین | |
| ۲۲ | ۰/۲۷ | ۰/۳۲ | ۰/۳۸ | ۰/۵۰ | ۰/۶۲ | ۰/۹۳ | نیریز | |
| ۲۳ | ۰/۵۰ | ۰/۵۳ | ۰/۵۸ | ۰/۶۵ | ۰/۷۴ | ۰/۹۵ | ذوب آهن | |
| ۲۴ | ۰/۳۴ | ۰/۴۰ | ۰/۵۱ | ۰/۶۱ | ۰/۷۳ | ۰/۸۴ | پل زمانخان | |
| ۲۵ | ۰/۱۶ | ۰/۲۵ | ۰/۳۷ | ۰/۵۴ | ۰/۷۰ | ۰/۹۹ | همگین | |
| ۲۶ | ۰/۳۵ | ۰/۴۲ | ۰/۵۰ | ۰/۶۳ | ۰/۷۶ | ۱/۰۵ | ورزنه | |
| ۲۷ | ۰ | ۰/۰۲ | ۰/۱۴ | ۰/۳۳ | ۰/۵۳ | ۰/۹۵ | کیش | |
| ۲۸ | ۰/۲۲ | ۰/۳۰ | ۰/۳۹ | ۰/۵۴ | ۰/۶۹ | ۰/۹۸ | نطنز | |
| ۲۹ | ۰/۱۱ | ۰/۱۸ | ۰/۲۷ | ۰/۴۳ | ۰/۵۹ | ۰/۹۵ | آباده | |
| ۳۰ | ۰/۲۳ | ۰/۲۹ | ۰/۳۷ | ۰/۵۱ | ۰/۶۵ | ۰/۹۵ | بم | |
| ۳۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۸ | ۰/۳۴ | ۰/۵۱ | ۰/۹۰ | بندر عباس | |
| ۳۲ | ۰/۲۵ | ۰/۲۶ | ۰/۲۷ | ۰/۳۰ | ۰/۳۷ | ۰/۷۱ | چابهار | |
| ۳۳ | ۰/۲۰ | ۰/۳۰ | ۰/۴۲ | ۰/۵۹ | ۰/۷۴ | ۰/۹۸ | اصفهان | |
| ۳۴ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۲۱ | ۰/۴۰ | ۰/۶۱ | ۱ | ایرانشهر | |
| ۳۵ | ۰/۱۳ | ۰/۱۵ | ۰/۱۸ | ۰/۲۶ | ۰/۳۸ | ۰/۷۹ | جاسک | |
| ۳۶ | ۰/۲۱ | ۰/۲۸ | ۰/۳۷ | ۰/۵۱ | ۰/۶۵ | ۰/۹۶ | کاشان | |
| ۳۷ | ۰/۳۳ | ۰/۴۰ | ۰/۴۸ | ۰/۶۰ | ۰/۷۳ | ۱/۰۱ | کرمان | |
| ۳۸ | ۰/۲۷ | ۰/۳۴ | ۰/۴۳ | ۰/۵۷ | ۰/۷۰ | ۰/۹۸ | شرق اصفهان | |
| ۳۹ | ۰ | ۰/۰۶ | ۰/۲۰ | ۰/۴۲ | ۰/۶۲ | ۰/۹۹ | یزد | |
| ۴۰ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۴۱ | ۰/۶۲ | ۰/۹۸ | زابل | |
| ۴۱ | ۰/۱۹ | ۰/۲۵ | ۰/۳۱ | ۰/۴۴ | ۰/۵۸ | ۰/۹۲ | زاهدان | |