



## دسته‌بندی مناطق همگن خشکی به کمک روش‌های گشتاور خطی و تحلیل خوشه‌ای

محمد زارع<sup>\*</sup>: استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سمانه پورمحمدی: دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد، ایران

حمید سودایی‌زاده: استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۴/۹ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳، صص ۱۱۸-۱۰۳

### چکیده

مناطق خشک از نظر شکل اراضی، خاک، جامعه گیاهی و جانوری و منابع آب و اقلیم بسیار متنوع هستند. یکی از مؤلفه‌های معرف اقلیم، تعیین شاخص‌های خشکی در هر منطقه است. اطلاع از دامنه و شدت خشکی، در مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب منابع طبیعی و پایداری زیست‌بوم (اکوسیستم) هر منطقه، به‌ویژه مناطق خشک مفید است. استفاده از روش‌های گشتاورهای خطی و تحلیل خوشه‌ای در تعیین مناطق همگن اقلیمی نقش مؤثری دارد. هدف اصلی این پژوهش، استفاده از روش‌های گشتاورهای خطی و تحلیل خوشه‌ای در تعیین مناطق همگن اقلیمی با استفاده از شاخص خشکی یونپ در نیمه شرقی ایران است. به این منظور، داده‌های اقلیمی ۲۰ ایستگاه هواشناسی همدیدی در نیمه شرقی کشور جمع‌آوری و برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از مدل فائو-پنمن-مانتیت استفاده شد. سپس شاخص خشکی یونپ<sup>۱</sup> برای هر ۲۰ ایستگاه محاسبه شد. در مرحله بعد، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، منطقه مورد مطالعه به پنج منطقه همگن تقسیم و با بهره‌گیری از تحلیل عاملی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شاخص خشکی یونپ در هر منطقه همگن تعیین شد. براساس نتایج، تخمین منطقه‌ای گشتاور خطی، بهترین تابع توزیع منطقه‌ای برای هر منطقه همگن تعیین شد. نتایج این پژوهش کارآیی مناسب ترکیب روش‌های گشتاور خطی و تحلیل خوشه‌ای را برای تعیین مناطق همگن نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بهتر است در ابتدا مناطق همگن با روش تحلیل خوشه‌ای تعیین و سپس به کمک روش گشتاورهای خطی بررسی و تأیید شود.

واژه‌های کلیدی: متغیرهای اقلیمی، شاخص خشکی، تبخیر-تعرق گیاه مرجع، توزیع احتمال، ایران

<sup>۱</sup> UNEP

## مقدمه

استفاده از شاخص‌های خشکی در هر منطقه به شناسایی اقلیم آن کمک زیادی می‌کند. این امر موجب افزایش آگاهی کارشناسان و دست‌اندرکاران برنامه‌ریزی‌های کلان و مدیریت پایدار منابع طبیعی می‌شود. از طرفی، تعیین مناطق همگن اقلیمی، نقش مؤثری در شناخت اقلیم در مناطق بدون داده‌های مورد نیاز یا آمار ناقص دارد. به عبارت دیگر، از روابط منطقه‌ای با دقت قابل قبولی، اقلیم آن منطقه شناسایی می‌شود. در ارتباط با تعیین مناطق همگن با استفاده از روش گشتاور خطی و تحلیل خوشه‌ای، مطالعات زیادی در سطح ملی و بین‌المللی صورت گرفته است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

اسلامیان و چاووشی (۱۳۸۲) به بررسی کاربرد نظریه گشتاورهای خطی در تحلیل تناوبی سیل در حوزه آبخیز ایران مرکزی پرداختند. در این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های ۲۷ ایستگاه هیدرومتری و با استفاده از گشتاورهای خطی، نخست ایستگاه‌های ناهمگن حذف و در هر گروه همگن با استفاده از آزمون بهترین برازش (Z)، بهترین توزیع آماری و مناسب‌ترین متغیرهای منطقه‌ای، تعیین شد. در پژوهشی، ملکی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، به جداسازی مناطق همگن در ایران مرکزی پرداختند. در مرحله بعد، در هر منطقه همگن، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق با استفاده از روش تحلیل عاملی تعیین شد. در پایان نیز با استفاده از روش زمین‌آمار، نقشه‌های همگن تبخیر-تعرق ترسیم شد. قهرمان و همکاران (۱۳۸۹) نیز با استفاده از گشتاورهای خطی، معادلات منطقه‌ای شدت-مدت-فروانی را در دو منطقه همگن در استان خراسان رضوی بررسی کردند. سپس با توجه به بهترین تابع توزیع احتمال، معادله‌های مناسب منطقه‌ای استخراج شد. اسلامیان و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده

از داده‌های اقلیمی مربوط به پنج ایستگاه باران‌سنجی، به مقایسه روش‌های حداکثر درست‌نمایی و گشتاور خطی در تحلیل منطقه‌ای بارش پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، روش گشتاور خطی برای تعیین متغیرهای سیل، بارش و خشکی در این ایستگاه‌ها مناسب است. پورمحمدی و ملکی‌نژاد (۱۳۹۲) نیز با استفاده از روش گشتاور خطی به بررسی و طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی ایران تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم پرداختند. در این پژوهش، ابتدا به کمک روش تحلیل خوشه‌ای، مناطق همگن اولیه اقلیمی شناسایی و سپس با روش گشتاور خطی، مناطق همگن بررسی و تأیید شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر تغییرات اقلیمی بر جداسازی مناطق همگن اقلیمی در ایران است. پیل و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از روش گشتاورهای خطی، علت تفاوت‌های منطقه‌ای و اقلیمی تغییرات رواناب سالانه را در مناطق معتدله و خشک آفریقای جنوبی بررسی کردند. اختلاف در مقدار بارش، درصد پوشش گیاهی و درجه حرارت، علت‌های اصلی این تفاوت‌ها اعلام شد. جینگی و هال (۲۰۰۴) از روش گشتاور خطی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوزه آبخیز رودخانه مینگ استفاده کردند. در این پژوهش، توزیع پیرسون نوع سوم به‌عنوان توزیع آماری مناسب تعیین شد. در پژوهشی، تأثیر ایستگاه‌های ناهمگن (ناجور) بر روی پیش‌بینی دبی پیک با دوره بازگشت‌های مختلف در یکی از حوزه‌های آبخیز ترکیه بررسی شد. به این منظور، ابتدا با استفاده از گشتاورهای خطی مناطق همگن جداسازی شد. سپس دو شاخص ناجوری با استفاده از توزیع کاپا محاسبه شد (بتولا، ۲۰۱۰). یانگ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش گشتاور خطی به بررسی و جداسازی مناطق همگن در حوزه آبخیز

1-Peel

2-Jingy and Hall

### داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی این پژوهش، در نیمه شرقی کشور ایران شامل ۲۰ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۳۶ سال است (شکل ۱). ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های سمنان و شاهرود (استان سمنان)، ایستگاه‌های سبزه‌وار و تربت حیدریه (استان خراسان رضوی)، ایستگاه بیرجند (خراسان جنوبی)، ایستگاه‌های اصفهان و کاشان (استان اصفهان)، ایستگاه یزد (استان یزد)، ایستگاه‌های شیراز و فسا (استان فارس)، ایستگاه بوشهر (استان بوشهر)، ایستگاه‌های بندرعباس، بندر لنگه و جاسک (استان هرمزگان)، ایستگاه‌های کرمان و بم (استان کرمان) و ایستگاه‌های زاهدان، چابهار و زابل (استان سیستان و بلوچستان) هستند.



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش

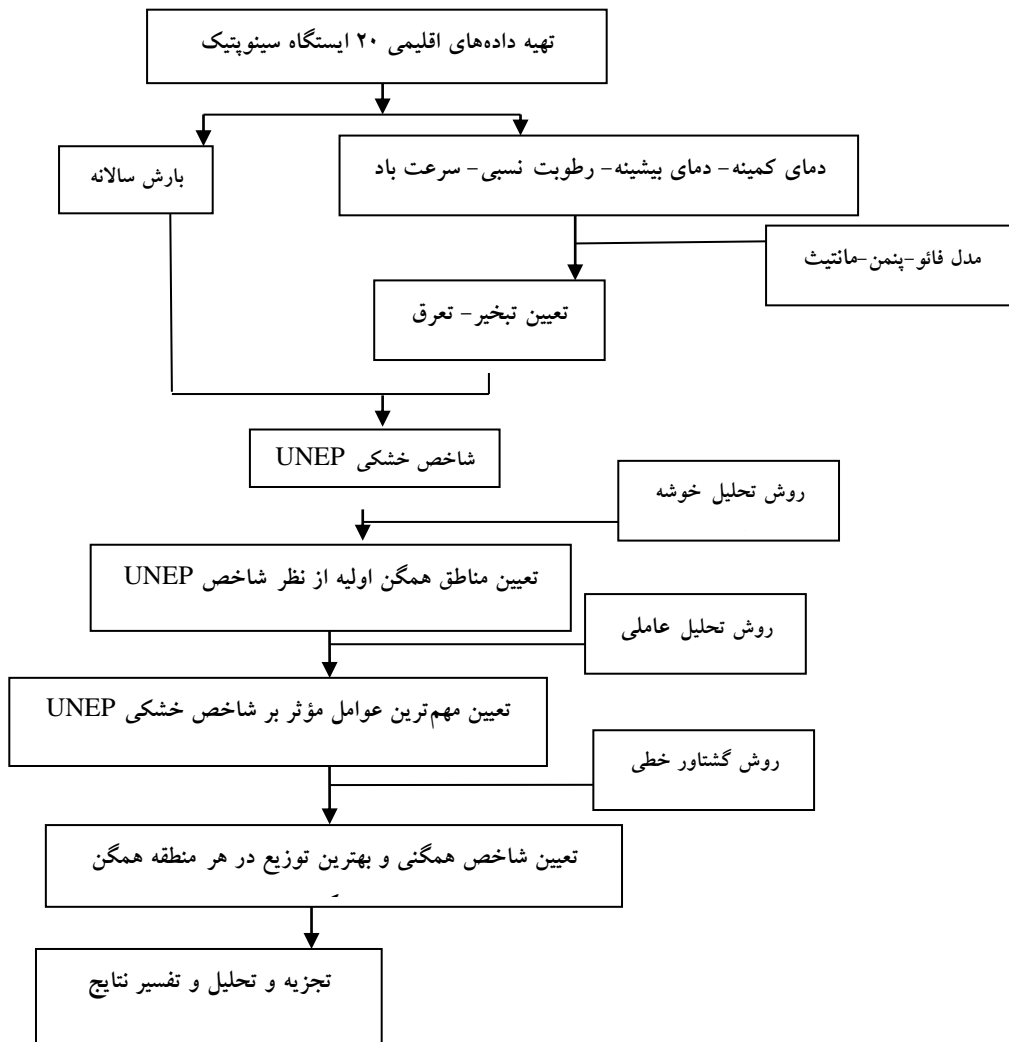
رودخانه پیرل پرداختند. با جداسازی این حوزه آبخیز به شش منطقه همگن و با استفاده از بهترین توزیع آماری در هر منطقه همگن، بارش با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد شد. بوستالا و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی دبی سیلاب در چهار زیرحوزه در ایرلند پرداختند. نتایج آنالیز حساسیت دبی‌های سیلابی نسبت به متغیرهای دما، بارش و تبخیر و تعرق نشان داد، دبی پیک بیشترین حساسیت را نسبت به بارش دارد. در گام بعدی، با استفاده از گشتاورهای خطی مناطق همگن جداسازی شد. سپس با بهره‌گیری از سناریوهای مختلف اقلیمی (AR4)، دبی اوج در آینده تعیین و با استفاده از توزیع مقادیر حد تعمیم‌یافته در هر زیرحوزه، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۲۰ برآورد شد. بدرالدین و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از گشتاور خطی و روش تحلیل خوشه‌ای، مناطق همگن را در حوزه آبخیز خشک لانجه تعیین کردند. در این پژوهش از داده‌های ۲۰ ایستگاه همدیدی با دوره آماری ۴۸ سال استفاده شد. در آخر، برای هر منطقه همگن با توجه به بهترین توزیع آماری روابط منطقه‌ای به دست آمد.

هدف از این پژوهش، تعیین مناطق همگن خشکی با استفاده از روش‌های گشتاور خطی و تحلیل خوشه‌ای و تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر متغیر خشکی به کمک روش تحلیل عاملی در نیمه شرقی کشور ایران است. تعیین مناطق همگن اقلیمی برای تحلیل‌های منطقه‌ای امری ضروری به نظر می‌رسد. جداسازی مناطق همگن از نظر اقلیمی در بازسازی ایستگاه‌های هواشناسی دارای خلأ آماری و حتی مناطق بدون آمار و بدون ایستگاه هواشناسی بسیار مهم و حیاتی است. با استفاده از نتایج جداسازی مناطق همگن از نظر اقلیمی، می‌توان متغیرها و شاخص‌های مختلف را با توجه به ایستگاه‌های موجود در آن منطقه همگن بازسازی کرد.

روش پژوهش

در این پژوهش پس از جمع‌آوری داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک نیمه شرقی کشور (۲۰ ایستگاه)، با استفاده از مدل فائو-پنمن-مانتیت، تبخیر-تعرق مرجع در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک برآورد شد. سپس با استفاده از دو متغیر تبخیر-تعرق مرجع و بارش، شاخص خشکی یونپ محاسبه شد. در مرحله بعد، به کمک روش تحلیل خوشه‌ای ایستگاه‌های همگن خشکی به صورت اولیه در نرم‌افزارهای مینی‌تب و SPSS مشخص شد. به کمک روش تحلیل عاملی

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شاخص خشکی یونپ در هر منطقه همگن تعیین شد. در آخر، به کمک روش گشتاور خطی، مناطق همگن اولیه بررسی و توزیع آماری در هر منطقه همگن و احتمال وقوع و همچنین میزان همگنی ایستگاه‌ها مشخص شد. در این پژوهش، از داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد در ایستگاه‌های همدیدی استفاده شد. شکل ۲، نمودار جریان‌ی مراحل انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش

u2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه) است.

شاخص خشکی یونپ: شاخص عددی به منظور توصیف خشکی اقلیم در یک منطقه مشخص جغرافیایی است. این شاخص خشکی که نسبت بین بارش و تبخیر و تعرق مرجع است را برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (یونپ) به صورت زیر تعریف کرده است:

$$AIUNEP = P/PET \quad (2)$$

که در آن:

PET: تبخیر- تعرق مرجع (mm)

P: میانگین بارش سالانه (mm)

و AIUNEP: شاخص خشکی است.

در جدول ۱، درجه خشکی مناطق با توجه به شاخص UNEP مشاهده می‌شود.

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشکی مناطق بر

اساس شاخص یونپ

محدوده	اقلیم منطقه
$P/PET < 0.05$	فرا خشک
$0.05 < P/PET < 0.2$	خشک
$0.2 < P/PET < 0.5$	نیمه خشک
$0.5 < P/PET < 0.75$	خشک نیمه مرطوب

می‌شود. مسئله خوشه‌بندی به دو صورت انجام می‌شود: (۱) یک ماتریس  $n \times n$  بی‌شبه‌ای؛ یا (۲) یک ماتریس  $d \times n$  که هر سطر آن یک شیء را توصیف می‌کند. خروجی الگوریتم به دو شکل صورت می‌گیرد: گروه‌بندی اشیاء به مجموعه‌های مجزا و

مدل فائو- پنمن- مانیتث: یکی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع استفاده از مدل فائو- پنمن- مانیتث است که از نظر دقت و صحت از اعتبار جهانی برخوردار است. در این مدل از متغیرهای زیادی برای محاسبه تبخیر- تعرق استفاده می‌شود و همه جنبه‌های اقلیمی، حتی عرض جغرافیایی را نیز در نظر می‌گیرد (آلن و همکاران، ۲۰۰۵؛ ملکی‌نژاد و پورمحمدی، ۱۳۹۲). شکل اصلی رابطه مدل فائو- پنمن- مانیتث به صورت زیر است (فائو ۱۹۹۸):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

که در آن:

$ET_0$ : شار گرمای نهان تبخیر (بر حسب میلی‌متر در روز)

$R_n$ : شار تابش خالص در سطح (مگاژول بر مترمربع در روز)

$G$ : شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)

$T$ : میانگین دمای هوای روزانه در ارتفاع ۲ متری

(درجه سلسیوس)

$(e_s - e_a)$ : کمبود فشار بخار آب اشباع بر حسب کیلو پاسکال

$\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)

$\gamma$ : ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)

تعیین همگنی اولیه ایستگاه‌های همدیدی با استفاده از آنالیز خوشه‌ای ۱: به‌طور کلی، خوشه‌بندی یا تحلیل خوشه‌ای به فرآیند گروه‌بندی اشیاء مشابه گفته

اساسی در آن، توصیف مجموعه‌ای از  $p$  متغیر  $x_1, x_2, \dots, x_p$  برحسب تعداد کمتری از شاخص‌ها و عوامل، به‌منظور روشن کردن رابطه بین این متغیرهاست. روش تجزیه و تحلیل عاملی را نخستین بار چارلز اسپیرمن<sup>۳</sup> ارائه کرد. در این روش هرچه مقدار همبستگی داخلی بین متغیرها نزدیک‌تر باشد، تعداد عامل‌های پدیدآمده کمتر خواهد بود. در تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه، رابطه عددی بیش از دو متغیر را در یک‌زمان می‌توان بررسی کرد، ولی با افزایش تعداد متغیرها، معادله رگرسیون چندگانه به‌طور فزاینده‌ای کنترل می‌شود. هرچند این مشکل در تجزیه و تحلیل عاملی وجود ندارد و در ضمن اهمیت و وزن هر عامل نشان داده می‌شود. برای انجام تجزیه عاملی مراحل استانداردسازی داده‌ها، تعیین ماتریس وزن عامل‌ها<sup>۴</sup>، انتخاب تعداد عامل‌ها و دوران عامل‌ها<sup>۵</sup> انجام می‌شود. برای تجزیه عاملی مشخصه‌های اقلیمی مورد مطالعه و تعیین عوامل مؤثر بر شاخص خشکی یونپ از روش مؤلفه‌های اصلی<sup>۶</sup> و از دوران نوع «واریماکس» استفاده شد. با انجام تحلیل عاملی، دو عامل مشخص شد که در هر یک از آنها یکی از متغیرهای اقلیمی نقش مهم‌تری دارد. در این روش ۱۰ مشخصه اقلیمی در سه مؤلفه گروه بندی شد. از بین مشخصه‌های قرارگرفته در هر مؤلفه، مشخصه دارای بیشترین وزن<sup>۷</sup> تعیین شد (مورتی و همکاران، ۱۹۹۰).

جداسازی مناطق همگن با استفاده از روش گشتاور

یاخوشه‌بندی سلسله‌مراتبی که یک درخت برای تقسیم‌بندی اشیاء پیدا می‌کند. الگوریتم‌های نوع اول (با زمان  $O$ ) در مقایسه با زمان خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی  $((n) \log^2 n)$  سریع‌تر هستند. از الگوریتم‌های مشهور برای خوشه‌بندی می‌توان به  $k$ -means اشاره کرد.

در این پژوهش برای تعیین مناطق همگن اولیه از روش آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. از این روش هنگامی استفاده می‌شود که به دسته‌بندی مشاهده‌ها به گروه‌های مشخص نیاز باشد. در این روش فرض می‌شود که در ابتدا هیچ اطلاعی از وضعیت دسته‌بندی موجود نیست و گروه‌ها ناشناخته‌اند. در این فرآیند، با در نظر گرفتن هر یک از مشاهده‌ها به‌عنوان یک دسته مجزا، به‌کار می‌رود. در مرحله اول، هر دو مشاهده‌ای که به همدیگر نزدیک‌تر باشند (شباهت بیشتری بین متغیرهای مورد نظر در آن مشاهده وجود داشته باشد)، در یک دسته قرار می‌گیرند. مقدار همبستگی بین دسته‌های ایجادشده به‌صورت یک نمودار پلکانی به‌نام دندروگرام<sup>۱</sup> نمایش داده می‌شود (میبر و همکاران، ۱۹۹۱). لازم به‌گفتن است که در این پژوهش از روش  $K$ -mean با بهره‌گیری از دو نرم‌افزار آماری مینی‌تب و SPSS برای تعیین مناطق همگن استفاده شد. در نرم‌افزار SPSS از ۲۰ بار تکرار و محدوده همگرایی ۰/۰۱ و آزمون انانیززواریانس یک‌طرفه<sup>۲</sup> کمک گرفته شد.

کاربرد روش تجزیه عاملی در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر شاخص خشکی یونپ: روش تجزیه عاملی از جمله روش‌های آماری چندمتغیره است که هدف

3- Charles Spearman  
4- Factor loading matrix  
5- Rotation  
6- Principal Components  
7- Loading

1 -Dendrogram  
2 -ANOVA

(۷)

$$\beta_3 = \sum_{i=1}^{n-3} \left[ \frac{(n-i)(n-i-1)(n-i-2)}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \right] X_{(i)}$$

که در آن:

$X_i$  داده‌های مرتب‌شده برای مثال دمای کمینه با

$X_1$  بزرگ‌ترین داده مشاهده‌ای، و  $X_n$  کوچک‌ترین داده است.

چهار گشتاور خطی نخست که به‌عنوان ترکیبات خطی تابع گشتاور وزن‌دار احتمالاتی (۹) بیان می‌شوند، عبارت‌اند از:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (۸)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (۹)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (۱۰)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (۱۱)$$

با استفاده از  $\beta$  گشتاورهای خطی ( $\lambda$ ) به‌دست می‌آیند (رابطه‌های ۹ تا ۱۲). بر اساس این روابط، گشتاور خطی مرتبه اول معادل با میانگین و گشتاور خطی مرتبه دوم معادل با انحراف از معیار است. تحلیل منطقه‌ای با روش گشتاور خطی، با استفاده از نسبت‌های گشتاور خطی صورت می‌گیرد:

$$\tau = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (۱۲)$$

$$\tau_r = \lambda_r / \lambda_2 \quad \text{و} \quad r=3,4 \quad (۱۳)$$

گشتاور خطی مرتبه دوم ( $\tau_2$ ) معرف ضریب تغییرات (L-Cv) و نسبت گشتاور خطی مرتبه سوم و چهارم ( $\tau_3, \tau_4$ ) به‌ترتیب معرف ضریب چولگی (L-Skw) و ضریب کشیدگی (L-Kur) هستند.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T} \quad (۱۴)$$

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T s^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (۱۵)$$

خطی: بعد از تعیین مناطق همگن اولیه با روش تحلیل خوشه‌ای و تعیین مهم‌ترین متغیر اقلیمی تأثیرگذار بر روی جداسازی مناطق همگن، از روش گشتاور خطی برای تعیین مناطق همگن اولیه استفاده شد. به این منظور، مناطق همگنی که با استفاده از تحلیل خوشه‌ای جداسازی شده بود، به‌عنوان مناطق همگن اولیه در نظر گرفته شد و میزان همگنی آن با روش گشتاور خطی بررسی شد. در آخر، بهترین توزیع آماری که هر منطقه همگن از آن تبعیت می‌کند، مشخص گردید.

روش گشتاورهای خطی: روش گشتاورهای خطی را در سال ۱۹۹۰ میلادی هاسکینگ به‌صورت کنونی ارائه داد. از این روش در علم آب‌شناسی برای تعیین شاخص‌های توزیع آماری، تشخیص توزیع‌های آماری مناسب برای داده‌های نمونه، تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی و تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده می‌شود. گشتاورهای خطی، ترکیبات خطی گشتاورهای وزن‌دار احتمالاتی هستند (هاسکینگ، ۲۰۰۰).

$$\beta_r = E \left\{ [F_x(X_i)]^r \right\} \quad (۳)$$

که در آن:

$F(x)$  تابع توزیع تجمعی  $x$  است.

تخمین‌های نمونه نارایب از تابع گشتاورهای وزنی احتمالاتی برای هر توزیع از رابطه‌های ۴ تا ۷ به‌دست می‌آید:

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{(i)} \quad (۴)$$

$$\beta_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{n-i}{n(n-1)} \right] X_{(i)} \quad (۵)$$

(۶)

$$\beta_2 = \sum_{i=1}^{n-2} \left[ \frac{(n-i)(n-i-1)}{n(n-1)(n-2)} \right] X_{(i)}$$

تغییرات خطی و ضریب چولگی خطی و  $H_3$  آماره (۳) برای ترکیبی از ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی (هاسکینگ، ۲۰۰۴). هر یک از آماره‌های  $H$  دارای شکل عمومی همانند رابطه ۱۸ است:

$$H = \frac{(V_{obs} - \mu V)}{\sigma V} \quad (17)$$

$$V_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i (Lcv_i - \bar{Lcv})^2)}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (18)$$

$$V_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i [(Lcv_i - \bar{Lcv})^2 + (\tau_{3i} - \bar{\tau}_3)^2]^{1/2})}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (19)$$

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_i [(\tau_{3i} - \bar{\tau}_3)^2 + (\tau_{4i} - \bar{\tau}_4)^2]^{1/2})}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (20)$$

که در آن:

$\mu V$  و  $\sigma V$ : به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده متغیر مورد نظر و متغیر  $V_{obs}$  مقادیر محاسبه شده متغیر مورد نظر با استفاده از داده‌های منطقه‌ای و مبتنی بر آماره  $V$  است که برای هر یک از آماره‌های  $H$  (به ترتیب  $H_1, H_2, H_3$ ) با استفاده از روابط ۱۸ تا ۲۰ محاسبه می‌شود.

بر اساس تعریف، در صورتی که  $H$  کوچک‌تر از یک باشد، منطقه همگن و اگر بین ۱ و ۲ باشد، منطقه تاحدی همگن و اگر بزرگ‌تر از ۳ باشد، منطقه ناهمگن است؛ بنابراین، یک مجموعه از ایستگاه‌های مورد بررسی باید دارای متغیر  $H$  کمتر از ۱ باشند تا ناحیه احتمالاً همگن در نظر گرفته شوند.

افزون بر این، هاسکینگ و والیس (۲۰۰۴) مشاهده کردند، آماره‌های  $V_2$  و  $V_3$  توانایی لازم برای تفکیک نواحی همگن و ناهمگن را ندارند و آماره  $H_1$  بر اساس معیار  $V_1$  توان خیلی بهتری برای جداسازی دارد و شاخص اساسی برای ناهمگنی توصیه شده

برای تحلیل منطقه‌ای، آزمون‌های آماری بر اساس گشتاورهای خطی شامل معیار غیریکنواختی ۱، معیار همگنی ۲ و معیار بهترین برازش ۳ تابع توزیع ارائه شده است (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷).

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (16)$$

آزمون ناهمگنی: اگر ایستگاهی در نمودار گشتاورهای خطی در محدوده فضای دوبعدی ( $\tau_3$ ) و ( $\tau_4$ ) واقع نشود، آزمون ناهمگنی مبتنی بر گشتاورهای خطی به منظور بررسی حذف ایستگاه از مجموعه ایستگاه‌های مورد استفاده، صورت می‌گیرد. این آزمون با محاسبه آماره  $Di$  انجام می‌شود. فرض بر این است که تابع  $U_i$  برداری دربرگیرنده نسبت‌های گشتاورهای خطی برای ایستگاه  $i$  است (هاسکینگ، ۱۹۹۴).

آزمون همگنی: اگر تغییرپذیری ایستگاه‌ها یا فضای پراکنش ایستگاه‌ها بزرگ باشد، احتمال تعلق آن ایستگاه به یک مجموعه واحد را می‌توان با این آزمون بررسی کرد. آزمون همگنی گشتاورهای خطی یک توزیع چهار متغیری کاپا را به سری داده‌های مشاهداتی منطقه برازش می‌دهد. این آزمون با شبیه‌سازی عددی، یک دسته ۵۰۰ تایی از داده‌های منطقه‌ای تولید و سپس تغییر پذیری گشتاورهای خطی ناحیه واقعی را با گشتاورهای خطی سری شبیه‌سازی شده مقایسه می‌کند. سه آماره ناهمگن در بررسی تغییرپذیری آماره‌های خطی مختلف به کار گرفته می‌شود: (۱) آماره  $H_1$  برای بررسی ضریب تغییرات خطی، (۲) آماره  $H_2$  برای ترکیبی از ضریب

- 1 -Discordancy Measure
- 2 -Heterogeneity Measure
- 3 -Goodness of fit Measure



مشخص شده با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای در ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه، به کمک نرم‌افزار مینی‌تب را نشان می‌دهد. با بررسی دسته‌های طبقه‌بندی شده، می‌توان ۵ دسته جداگانه را با دقت و شباهت بالا تشخیص داد. در این پژوهش، برای تحلیل خوشه‌ای از روش اتصال ۱ وارد ۲ و مقیاس فاصله ۳ اقلیدسی ۴ استفاده شد.

جدول ۲، نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌های همگن با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۲، شباهت بین ایستگاه‌های یک‌دسته بسیار نزدیک است و فاصله بسیار کمی از مرکز دسته دارند. با مقایسه خروجی‌های نرم‌افزارهای مینی‌تب و SPSS درمی‌یابیم، همپوشانی قابل‌قبولی در دسته‌بندی خوشه‌ها وجود دارد و تنها کلاس دو ایستگاه بیرجند و سمنان در خروجی دو نرم‌افزار مذکور متفاوت هستند. در خوشه‌بندی که با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب انجام شد، ایستگاه بیرجند در کلاس چهارم و با ایستگاه‌های اصفهان و کاشان همگروه است، در حالی که در طبقه‌بندی صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار SPSS، به‌جای ایستگاه بیرجند، ایستگاه سمنان قرار دارد. با توجه به شباهت ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه بیرجند به سبزه‌وار، شاهرود و تربت حیدریه و همچنین شباهت ایستگاه سمنان به ایستگاه‌های اصفهان و کاشان، نتایج خروجی نرم‌افزار SPSS معتبرتر از نتایج خروجی از نرم‌افزار مینی‌تب است و به آن استناد می‌شود.

است. همچنین آماره  $H_1$  شاخص بهتری برای ناهمگنی در نواحی بزرگ ارائه می‌کند، ولی برای همگنی نواحی کوچک، گرایش به سمت شاخص‌های غیرواقعی دارد و حالت شاخص‌های دروغین (کاذب) را ایجاد می‌کند (هاسکینگ، ۲۰۰۴).

معیار برازندگی برای هر توزیع براساس گشتاور خطی که آماره  $Z$  نام دارد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z^{\text{DIST}} = (\tau_4^{\text{DIST}} - t_4^R + B_4) / \sigma_4 \quad (22)$$

که در آن:

$Z^{\text{DIST}}$  توزیع موردنظر،  $B_4$  و  $\sigma_4$  به ترتیب مقدار اریب و انحراف معیار و  $TR_4$  یا ضریب کشیدگی خطی متوسط ناحیه‌ای است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$B_4 = N_{\text{sim}}^{-1} \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} (t_4^{[m]} - t_4^R) \quad (23)$$

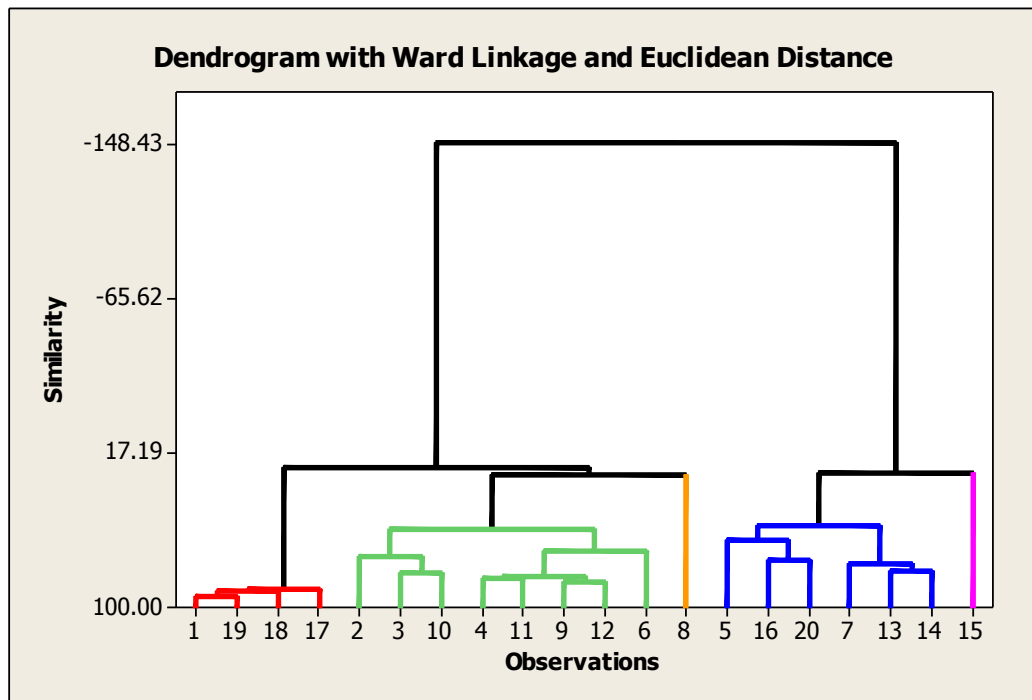
$$\sigma_4 = \left[ \frac{\left\{ \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{\text{sim}} B_4^2 \right\}}{(N_{\text{sim}} - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$N_{\text{sim}}$  تعداد سری داده‌های منطقه‌ای شبیه‌سازی شده است که با استفاده از روش کاپا تولید شده است. حرف  $m$  اشاره به  $m$  امین ناحیه شبیه‌سازی شده دارد.

## نتایج

تحلیل خوشه‌ای: شکل ۳، مناطق همگن اقلیمی

1. Linkage method
2. Ward
3. Distance measure
4. Euclidian



ایستگاه در منطقه خشک قرار می‌گیرند. مقدار بارش و تبخیر- تعرق مرجع در این سه ایستگاه نزدیک به هم است، هرچند که مقدار تبخیر- تعرق مرجع ایستگاه بوشهر با توجه به میزان دمای کمینه و بیشینه بیشتر و شرایط رطوبتی از دو ایستگاه فسا و شیراز بیشتر است. در خوشه ۳، ایستگاه‌های کرمان، چابهار، ایرانشهر، بندر لنگه، جاسک و بندرعباس قرار دارند. بجز ایستگاه چابهار که در اقلیم فراخشک قرار گرفته است، پنج ایستگاه دیگر با اعداد نزدیک به هم در اقلیم خشک واقع شده‌اند. کمترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع مربوط به ایستگاه کرمان و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه بندرعباس است. ایستگاه‌های سمنان، اصفهان و کاشان (دسته ۴) از نظر شاخص خشکی در محدوده خشک واقع شده‌اند. متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، بیشینه و بارش در این سه ایستگاه تقریباً نزدیک به هم است. در دسته همگن ۵، ایستگاه‌های سبزه‌وار، شاهرود، تربت حیدریه و بیرجند واقع شده‌اند. در این گروه سبزه‌وار و بیرجند در اقلیم

شکل ۳- تعیین مناطق همگن اقلیمی با استفاده از

روش تحلیل خوشه‌ای در ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه جدول ۳، مناطق همگن اولیه برای ایستگاه‌های مورد بررسی بر اساس شاخص خشکی یونپ را نشان می‌دهد. در منطقه همگن ۱، ایستگاه‌های بم، زاهدان، یزد و زابل واقع شده‌اند. هر چهار ایستگاه با توجه به شاخص خشکی یونپ در محدوده فراخشک قرار دارند. بیشترین میزان بارش در این دسته مربوط به ایستگاه زاهدان با ۸۴ میلی‌متر و در دیگر ایستگاه‌ها ۶۱ میلی‌متر است. بیشترین میزان تبخیر- تعرق مرجع مربوط به ایستگاه بم (۲۱۹۶ میلی‌متر در سال) و کمترین آن مربوط به ایستگاه زاهدان (۱۷۶۲ میلی‌متر در سال) است. با توجه به متغیرهای اقلیمی ارائه شده برای این چهار ایستگاه سینوپتیک و میزان تبخیر- تعرق و شاخص خشکی محاسبه شده، به نظر می‌رسد قرارگیری این چهار ایستگاه در یک منطقه همگن منطقی باشد. در دسته ۲، سه ایستگاه بوشهر، شیراز و فسا قرار دارند که از نظر شاخص خشکی هر سه

است. کمترین مقدار بارش مربوط به ایستگاه بیرجند و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه تربت حیدریه است.

جدول ۲- نتایج خوشه بندی ایستگاه های همگن با بهره گیری از نرم افزار SPSS

خشک، و شاهرود و تربت حیدریه در منطقه نیمه خشک قرار می گیرند. بیشترین مقدار تبخیر- تعرق و دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه سبزه‌وار و کمترین میزان دما و تبخیر- تعرق مربوط به ایستگاه سمنان

شماره ایستگاه	شماره خوشه	فاصله	شماره ایستگاه	شماره خوشه	فاصله
۱	۱	۰/۱۷۹	۱۱	۳	۰/۱۶۶
۲	۲	۰/۲۴۳	۱۲	۳	۰/۱۶۵
۳	۲	۰/۱۴۵	۱۳	۵	۰/۲۷۱
۴	۳	۰/۱۲۲	۱۴	۵	۰/۱۸۰
۵	۴	۰/۲۲۴	۱۵	۵	۰/۱۷۲
۶	۳	۰/۱۹۱	۱۶	۴	۰/۲۳۲
۷	۵	۰/۱۲۰	۱۷	۱	۰/۱۵۷
۸	۳	۰/۲۲۳	۱۸	۱	۰/۱۷۴
۹	۳	۰/۱۷۸	۱۹	۱	۰/۱۱۷
۱۰	۲	۰/۲۲۰	۲۰	۴	۰/۲۲۸

جدول ۳- مناطق همگن اولیه به همراه شاخص خشکی یونپ و متغیرهای اقلیمی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۰

مناطق همگن	نام ایستگاه	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	بارش (mm)	تبخیر- تعرق (mm)	شاخص UNEP
۱	بم	۱۶/۶	۲۹/۱	۶۱	۲۱۹۶	۰/۰۲
	زاهدان	۱۰	۲۶/۷	۸۴	۱۷۶۲	۰/۰۴
	یزد	۱۱/۷	۲۶/۴	۶۱	۱۸۲۹	۰/۰۳
۲	زابل	۱۴/۵	۲۹/۵	۶۱	۲۱۱۲	۰/۰۲
	بوشهر	۱۹/۵	۲۹/۶	۲۵۱/۶	۲۳۵۵	۰/۱۱
	شیراز	۹/۸	۲۵/۷	۳۳۰/۶	۱۷۰۴	۰/۱۹
۳	فسا	۱۰/۹	۲۷/۶	۳۰۹	۱۸۴۹	۰/۱۶
	کرمان	۶/۹	۲۴/۷	۱۵۲	۱۵۱۴	۰/۰۹
	چابهار	۲۲	۳۰	۱۰۵	۲۵۱۰	۰/۰۴
۴	ایرانشهر	۱۸/۳	۳۲/۶	۱۰۷	۲۴۴۰	۰/۰۹
	بندر لنگه	۲۲	۳۱/۱	۱۴۳	۲۵۴۹	۰/۰۵
	جاسک	۲۳	۳۰	۱۴۲	۲۵۷۸	۰/۰۵
۵	بندرعباس	۲۱/۸	۳۲/۱	۱۸۲/۵	۲۵۸۶	۰/۰۷
	سمنان	۲/۹	۱۲/۴	۱۴۰	۱۱۳۴	۰/۱۹
	اصفهان	۹/۳	۲۳/۳	۱۱۷	۱۵۶۲	۰/۰۸
۵	کاشان	۱۲	۲۶/۱	۱۴۰	۱۸۲۷	۰/۰۷
	سبزه‌وار	۱۰/۶	۲۴/۲	۱۹۰/۲	۱۶۷۰	۰/۱۱
	بیرجند	۸/۳	۲۴/۵	۱۷۰	۱۵۷۵	۰/۱
	شاهرود	۸/۵	۲۰/۷	۲۶۴	۱۴۰۲	۰/۲۲
	تربت حیدریه	۷/۲	۱۲/۷	۲۷۶/۹	۱۳۶۰	۰/۲۰

دارد. دمای کمینه هم به‌طور غیرمستقیم بر این شاخص خشکی (تأثیر بر روی تبخیر- تعرق مرجع) تأثیر دارد. با بررسی دقیق‌تر نتایج جدول ۳ نتیجه‌گیری می‌شود، در گروه‌های همگن تعیین‌شده در بیشتر ایستگاه‌ها، افزون بر نزدیکی مقادیر شاخص خشکی، مقدار بارش و دمای کمینه نزدیک به هم را دارا هستند.

جدول ۴- مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر در دسته‌بندی مناطق همگن به کمک روش تحلیل عاملی

مناطق همگن	عامل اول	عامل دوم
ناحیه ۱	بارش سالانه	دمای کمینه
ناحیه ۲	بارش سالانه	دمای کمینه
ناحیه ۳	بارش سالانه	دمای کمینه
ناحیه ۴	بارش سالانه	دمای کمینه
ناحیه ۵	بارش سالانه	دمای کمینه

و چهارم) در پنج منطقه همگن کم است. معیار غیریکنواختی همه مناطق همگن نیز پایین است. با توجه به اینکه این ضریب حاصل نسبت‌های گشتاورهای خطی است، مقدار ضریب کمتر از عدد ۳، نشان‌دهنده همگنی ایستگاه‌هاست (جدول ۵).

جدول ۵- گشتاورهای خطی دوم تا چهارم برای هر منطقه همگن به همراه ضریب ناجوری

مناطق همگن	گشتاور دوم (ضریب تغییرات، L- گشتاور سوم (کشیدگی) L- (CV)	گشتاور چهارم (ضریب چولگی، L- (D) (skewness)	ضریب ناجوری
۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۱
۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۱
۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۲
۴	۰/۱۲	۰/۰۷	۱
۵	۰/۱۱	۰/۰۵	۱

تحلیل عاملی: مهم‌ترین عوامل مؤثر در دسته‌بندی مناطق همگن به کمک روش تحلیل عاملی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۴، مهم‌ترین عامل مؤثر بر شاخص خشکی در پنج منطقه همگن، بارش و دمای کمینه هستند؛ بنابراین، چنین برداشت می‌شود که مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار برای تعیین خشکی به روش یونپ، متغیرهای بارش و دمای کمینه هستند. متغیر بارش، به‌طور مستقیم بر شاخص خشکی یونپ تأثیر

نتایج گشتاور خطی: نسبت گشتاورهای خطی دوم تا چهارم به همراه ضریب ناجوری برای هر منطقه همگن در جدول ۵ نشان داده شده است. در تمامی مناطق همگن، ضریب تغییرات که همان نسبت گشتاور خطی دوم است، مقادیر کمی دارد که نشان‌دهنده نزدیک بودن مقادیر شاخص خشکی یونپ در ایستگاه‌های مختلف در هر منطقه همگن است. مقدار ضریب کشیدگی و چولگی (گشتاور خطی سوم

همگن به همراه مقدار نرمال استاندارد ۱ در جدول ۶

نتایج آزمون گشتاور خطی برای تعیین مناطق

ایستگاه‌های دسته ۲ و ۴ بیشتر است. توزیع‌های احتمالاتی که ایستگاه‌های هر منطقه همگن از آن تبعیت می‌کنند، نیز در جدول ۶ مشخص شده است. منطقه همگن ۱ از توزیع پیرسون تیپ ۳، مناطق همگن ۲ و ۳ از توزیع آماری لجستیک تعمیم‌یافته و دسته همگن چهارم از توزیع نرمال تعمیم‌یافته و ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه همگن ۵ از توزیع مقادیر حد تعمیم‌یافته تبعیت می‌کنند.

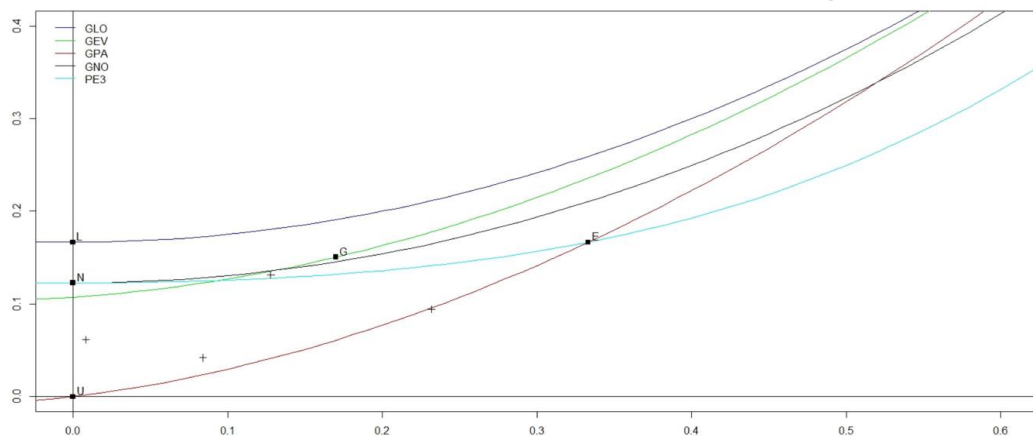
جدول ۶- نتایج آزمون گشتاور خطی برای تعیین مناطق همگن

منطقه همگن	بهترین توزیع آماری	میزان همگنی (H)	مقدار نرمال استاندارد (Z-value)
۱	پیرسون تیپ ۳	۰/۹	۱/۷
۲	لجستیک تعمیم‌یافته	۰/۷	۰/۵
۳	لجستیک تعمیم‌یافته	۰/۶	۱/۳۵
۴	نرمال تعمیم‌یافته	۰/۱۲	۰/۵۵
۵	مقادیر حد تعمیم‌یافته	۰/۳۱	۱/۷

ارائه شده است. مقادیر همگنی در همه دسته‌ها کمتر از عدد یک و نشان‌دهنده همگنی همه ایستگاه‌ها در هر دسته است. به عبارت دیگر، هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها پرت شناخته نشده‌اند (اسلامیان و چاوشی، ۱۳۸۲). مقدار نرمال استاندارد نیز هر چه کمتر باشد، ایستگاه‌های منتخب در هر دسته همگن‌تر خواهند بود. یک توزیع دارای بهترین برازش است، در صورتی که مقدار  $|Z^{Dist}| \leq 1.64$  باشد؛ بنابراین، با توجه به میزان همگنی و آماره مقدار نرمال استاندارد، هر چند همه دسته‌ها همگنی مناسبی دارند؛ ولی همگنی

همان‌گونه که در شکل ۴ نیز مشخص است، پنج توزیع آماری متداول برای هر منطقه همگن شامل توزیع‌های پیرسون، لجستیک تعمیم‌یافته، نرمال تعمیم‌یافته، مقادیر حد تعمیم‌یافته و پرتو تعمیم‌یافته هستند.

شکل ۴، به عنوان نمونه، نسبت گشتاور خطی سوم در برابر گشتاور خطی چهارم برای پنج توزیع متداول در منطقه همگن یک را نشان می‌دهد. با توجه به نسبت گشتاور خطی سوم به چهارم در هر منطقه همگن، بهترین توزیع آماری مشخص می‌شود.



شکل ۴- نسبت گشتاور خطی سوم در برابر گشتاور خطی چهارم برای پنج توزیع متداول در منطقه همگن ۱

مقادیر تخمینی شاخص یونپ برای هر منطقه همگن خشکی در احتمال وقوع‌های ۰/۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۹ در جدول ۷ نشان داده شده است. این مقادیر با توجه به تابع توزیع در هر منطقه همگن و در هر

ایستگاه تعیین شده است.

جدول ۷- مقادیر تخمینی شاخص خشکی UNEP برای هر منطقه همگن خشکی

احتمال وقوع			ایستگاه	منطقه همگن
۰/۹۹۹	۰/۹۹	۰/۹		
۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴	بم	۱
۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۷	زاهدان	
۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۴	زابل	
۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۵	یزد	
۰/۶	۰/۴	۰/۲	شیراز	۲
۰/۳	۰/۲	۰/۱	بوشهر	
۰/۵	۰/۳	۰/۲	فسا	
۰/۶	۰/۳	۰/۱	بندرعباس	۳
۰/۵	۰/۲	۰/۱	بندرلنگه	
۰/۴	۰/۲	۰/۰۹	جاسک	
۰/۴	۰/۱	۰/۰۸	چابهار	
۰/۸	۰/۴	۰/۱	ایرانشهر	
۰/۸	۰/۴	۰/۱	کرمان	
۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۲۷	سمنان	۴
۱/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۱	اصفهان	
۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	کاشان	
۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۱۶	سبزه وار	۵
۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۳۱	شاهرود	
۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۲۹	ترت حیدریه	
۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۶	بیرجند	

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی، مقایسه و کارآیی روش‌های تحلیل خوشه‌ای و گشتاور خطی برای تعیین مناطق همگن خشکی در نیمه شرقی کشور پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد، روش تحلیل خوشه‌ای به‌خوبی، ایستگاه‌های مستقر در یک منطقه همگن

(دارای خصوصیات آماری مشابه) را طبقه‌بندی می‌کند، به‌طوری‌که نتایج گشتاورهای خطی همگنی بالای هر دسته را نشان داد. نتایج پژوهش اسلامیان و همکاران (۲۰۱۱) و پورمحمدی و ملکی‌نژاد (۲۰۱۴) نیز این واقعیت را تأیید می‌کند. در ضمن، استفاده تلفیقی از دو روش گشتاور خطی و تحلیل خوشه‌ای

## منابع

اسلامیان، س.، و س. چاووشی، (۱۳۸۲). کاربرد تئوری گشتاور خطی در تحلیل تناوبی سیل حوزه‌های آبخیز مرکزی ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷(۱): ۱-۱۶.

اسلامیان، س.، فتحیان، ف.، و ه. حسن‌زاده، (۱۳۹۱). ارزیابی مقایسه‌ای گشتاور خطی با روش حداکثر درست‌نمایی و غیرمتغیری به منظور تحلیل فروانی بارندگی در ۵ ایستگاه ایران. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴(۲): ۶۳-۷۲.

پورمحمدی، س.، و ح.، ملکی‌نژاد، (۱۳۹۲). طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی کشور ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از تکنیک گشتاور خطی. مجله علمی پژوهشی پژوهشنامه حوزه آبخیز، دانشگاه ساری، ۳(۳): ۶۷-۸۵.

قهرمان، ب.، شامکوئیان، ح.، و ک.، مرادی، (۱۳۸۹). استخراج معادلات منطقه‌ای شدت-مدت-فروانی بارش به کمک گشتاورهای خطی (مطالعه موردی: استان‌های خراسان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۴): ۱۳۲-۱۴۲.

ملکی‌نژاد، ح.، پورمحمدی، س.، م. ح. رحیمیان، (۱۳۸۹). تهیه نقشه خطوط هم‌تبخیر بر اساس مهم‌ترین عوامل هواشناختی مؤثر بر آن در ایران مرکزی. مجله علمی پژوهشی منابع آب، وزارت نیرو، ۱۳۸۹، ۵۴-۳۲.

ملکی‌نژاد، ح.، و س.، پورمحمدی، (۱۳۹۲). مدل‌سازی برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، تجزیه عاملی و رگرسیون خطی چندمتغیره در ایران مرکزی. مجله علمی پژوهشی مرتع و بیابان، ۱۰۲-۹۰.

Allen, R.G., Tasumi, M., Morseand, A.T., and R.Trezza. (2005). A Landsat- based Energy Balance and Evapotranspiration Model in Western US Water Rights Regulation and Planning. Journal of Irrigation and Drainage

برای آسانی تشخیص در ایستگاه‌های مربوط به هر منطقه همگن، از نتایج مهم دیگر این پژوهش است که منطبق با نتایج پژوهش بدرالدین و همکاران (۲۰۱۲) است. از یافته‌های دیگر این پژوهش، تعیین توزیع‌های احتمالاتی در هر منطقه همگن خشکی با روش گشتاورهای خطی و تعیین شاخص خشکی یونپ در احتمال وقوع‌های مختلف است. همچنین، این پژوهش نشان داد از میان ۲۰ ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی در نیمه شرقی کشور، چهار ایستگاه بم، زاهدان، زابل و یزد با توجه به شاخص خشکی یونپ جزء محدوده فراخشک (منطقه همگن شماره ۱) قرار دارد و تنها دو ایستگاه تربت‌حیدریه و شاهرود (منطقه همگن ۵) در منطقه نیمه‌خشک واقع شده‌اند. سایر ایستگاه‌ها در اقلیم خشک واقع شده‌اند که این امر نشان‌دهنده قرارگیری بیشتر مساحت نیمه شرقی کشور در محدوده خشک و فراخشک است. از دیگر نتایج این پژوهش، تعیین مهم‌ترین عامل‌های اقلیمی مؤثر بر شاخص خشکی یونپ در نیمه شرقی کشور، با استفاده از روش تحلیل عاملی است، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، دو متغیر بارش و دمای کمینه مهم‌ترین عامل مؤثر در تعیین خشکی منطقه با توجه به شاخص یونپ هستند. از آنجاکه تعیین تبخیر-تعرق مرجع نیاز به متغیرهای مختلف اقلیمی دارد که تنها در ایستگاه سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شود، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیشتری در زمینه استفاده از تنها دو متغیر بارش و دمای کمینه انجام شود تا از داده‌های ایستگاه‌های بیشتری از جمله اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی نیز برای تعیین اقلیم منطقه استفاده و پهنه‌بندی دقیقی از شرایط اقلیمی منطقه ارائه شود.

spatio- temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 380 (3-4): 386- 405.

- Systems, 19(3- 4):251- 268.
- Badreldin, G., Hassan., H., and F. Ping. (2012). Regional Rainfall Frequency Analysis for the Luanhe Basin – by Using L- moments and Cluster Techniques, *APCBEE Procedia*1, 12: 126 – 135.
- Bastola, S., Murphy, J., and C. Sweeney. (2011). The sensitivity of fluvial flood risk in Irish catchments to the range of IPCC AR4climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, STOTEN- 12863 PP: 13.
- Betüla S.F. (2010). Assessment of the effects of discordant sites on regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 380:362–375.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. (2004). Regional Flood Frequency Analysis: An approach Peel, M. C., T. A. McMahon, and B. L. Finlayson. Continental Differences in the Variability of Annual Runoff- Update and Reassessment. *Journal of Hydrology*, (295):185- 197.
- Hosking, J. R. M. (1994) The 4- parameter Kappa distribution. IBM Research Division, Yorktown Heights, NY.
- Hosking, J. R. M. (1997). Fortran routines for use with the method of L- moment. Version 3.03, IBM Research Division, Yorktown Heights, (320):125- 136.
- Jingyi, Z., and M. J. Hall. (2004).Regional Flood Frequency Analysis for the Gan-Ming River Basin in China. *Journal of Hydrology*,(296): 98- 117.
- Meyer, .S. J., Hubbard, K.G., and D. A. Wilhite. (1991). The relationship in climate indices and valuable to corn yield: A Principal Component Analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55: 59- 84.
- Murthy, G., Nagabhusanam, T. D. J., and K. C. Hiremath. (1990).Performance of the MARKFED. Karantaka – Factor analysis approach. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 45(4): 447- 485.
- Peel, M. C., McMahon, T. A., and B. L. Finlayson.( 2004). Continental Differences in the Variability of Annual Runoff- Update and Reassessment. *Journal of Hydrology*, (295):185- 197.
- Yang, T., Quanxi, S., Zhen- Chun, H., Xi C., Zengxin Z., Chong,Y. X., and S. Limin (2010). Regional frequency analysis and