



Investigating the Spatial and Temporal Variations of Evaporation Using the Climatic Parameters in Central Iran

H. Malekinezhad^{1*}, S. Pourmohammadi² and M.H. Rahimian³

Abstract

Evaporation is one of the most important climatic parameters in water resources management. This parameter depends on many other climatic factors and plays an important role in arid and semi-arid regions. In this study, 14 weather stations were selected in arid areas in central and southern parts of Iran. The climatic historical data including cloudiness, maximum and minimum temperatures, the differences between maximum and minimum temperatures, mean relative humidity, wind speed, and some other factors were provided. An attempt was made to determine the most important factors affecting evaporation by using Factor Analysis (FA). Then, by conducting Cluster Analysis (CA) through Minitab software, homogeneous regions were separated. Taking advantages of multiple regressions in each region, the relationship between climatic factors and evaporation on the basis of monthly routine was maintained. The verification and evaluation of derived regression equations was calculated using MAE or RMSE statistics. At the end, through applying the geo-statistic technique (Kriging) on calculated evaporation data of investigating stations, the monthly co-evaporation map for each homogeneous region was drawn and the resultant histograms were analyzed.

The results show factor analysis is an appropriate method for determining the relative importance of climatic parameters affecting evaporation. Also, division of a vast region to small subdivisions using cluster analysis increases the precision of derived evaporation equations. Results showed that the multiple regressions may be used in calculation of evaporation and consequently potential evaporation with great confidence. Utilization of geo-statistic technique is a proper approach for estimating potential evaporation in low or no data areas.

Keywords: Evaporation, Factor Analysis, Cluster Analysis, Multiple Regression, Geo-statistic.

بررسی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر بر اساس مهمترین عوامل هواشناختی مؤثر بر آن در ایران مرکزی

حسین ملکی نژاد^{۱*}، سمانه پورمحمدی^۲
و محمد حسن رحیمیان^۳

چکیده

تبخیر یکی از فراسنجه‌های مهم اقلیمی و متاثر از چندین عامل مختلف دیگر است. تبخیر علاوه بر تاثیرپذیری از عوامل دیگر گاهی اوقات خود نقش مهمتری در اقلیم منطقه‌ای بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. برآورد درست مقدار تبخیر نقش اساسی در مدیریت بهینه منابع آب و تعیین نیاز آبی ایفا می‌کند. در این تحقیق ۱۴ ایستگاه هواشناسی در مناطق خشک مرکزی و جنوبی ایران انتخاب شد. در این مرحله آمار دراز مدت مربوط به فراسنجه‌های اقلیمی مؤثر بر تبخیر که شامل ابرناکی، بیشینه، کمینه و میانگین دما، اختلاف بین بیشینه و کمینه دما، میانگین رطوبت، بیشینه و کمینه رطوبت نسبی و اختلاف بین بیشینه و کمینه رطوبت و سرعت باد مربوط به ایستگاه‌های فوق جمع‌آوری شد. سپس از بین فراسنجه‌های مذکور مهمترین عوامل مؤثر بر تبخیر با استفاده از روش تجزیه عاملی تعیین گردید. در مرحله بعد با انجام تحلیل خوشه‌ای به جداسازی مناطق همگن اقلیمی در مناطق مطالعاتی پرداخته شده است. با بکارگیری همبستگی چندگانه در هر یک از این مناطق همگن ارتباط بین عوامل هواشناختی با تبخیر در هر ماه تعیین گردید و در نهایت با استفاده از معادلات همبستگی بدست آمده، تبخیر پتانسیل محاسبه شد. بمنظور مقایسه دقت نتایج حاصل از روابط استخراجی با داده‌های مشاهداتی از آماره‌های MAE و RMSE استفاده شد. در پایان نیز با اعمال روش زمین آمار (کریجینگ) بر روی داده‌های تبخیر محاسباتی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقشه هم تبخیر برای هر منطقه همگن در ماه‌های مختلف سال ترسیم و سپس به تحلیل نمودارهای حاصل از این نقشه‌ها پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تحلیل عاملی روش مناسبی برای تعیین اهمیت نسبی فراسنجه‌های هواشناختی مؤثر بر تبخیر است. هم چنین تقسیم منطقه به مناطق همگن اقلیمی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای دقت برآورد تبخیر را افزایش می‌دهد. معادلات استخراج شده در این تحقیق برای برآورد تبخیر پتانسیل با روش همبستگی چند گانه می‌تواند با اطمینان زیادی مورد استفاده قرار گیرد. هم چنین نتایج استفاده از روش زمین آمار نشان داد که این تکنیک می‌تواند از راه کارهای مناسب جهت برآورد تبخیر برای مناطق فاقد آمار باشد.

کلمات کلیدی: تبخیر، تحلیل عاملی، خوشه بندی، رگرسیون چند گانه، زمین آمار

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳ آبان ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۷ آذر ۱۳۸۹

1- Assistant Professor, Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. Email: hmalekinezhad@yazduni.ac.ir
2 Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. Email: S.pourmohammadi@yahoo.com
3- National Center for Salinity Researches, Yazd, Iran. Email: mhrahimian@gmail.com
*- Corresponding Author

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد، ایران
۳- کارشناس مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد، ایران
*- نویسنده مسئول

می‌باشند و همچنین از روی ساختار حاکم بر متغیرهای مورد نظر، ایده‌ای را مبنی بر اهمیت نسبی عوامل مختلف تاثیرگذار بر روی پدیده مورد مطالعه ارائه می‌دهند (Matalas and Feyen, 1990). همچنین این روش برای قضاوت براساس بردارهای مقادیر ویژه یا Eigen vectors (Gray, 1981, Kidson, 1975) و نیز توابع تجربی قائم (Rao, 1990) کاربرد دارند. برخی از تحقیقات انجام شده در گذشته نزدیک نشان داده است که روش آماری تحلیل عاملی می‌تواند جهت بررسی پدیده‌های هیدرولوژیکی، هیدرواقلمی و هیدروشیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (Gadgil and Lyengar, 1980, Lyengar, 1991) روش PCA را جهت تعیین الگوی تغییرات زمانی بارش در منطقه‌ای از هند مورد استفاده قرار دادند. همچنین (Gadgil, S. and Joshi, 1983) داده‌های ماهانه بارندگی، درجه حرارت و شاخص رطوبت را جهت کلاسه‌بندی اقلیمی هند به کمک روش PCA مورد استفاده قرار دادند. همچنین محققانی مانند (Bedi Binderam, 1980) و (Gossen, 1985) از این تکنیک جهت تجزیه و تحلیل آمار بارندگی استفاده نموده‌اند. رضیعی و عزیز (۱۳۸۶) رژیم بارشی غرب ایران را با استفاده از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه بندی در قالب منطق همگن جداسازی کردند (Raziei et al., 2009). در این تحقیق ۱۰ فراسنجه مورد استفاده در تحلیل مولفه‌های اصلی به شیوه چرخش واریماکس (Varimax rotation) به چهار مولفه کاهش داده شد. سپس با بهره گیری از روش خوشه بندی سلسله مراتبی به شیوه وارد (Ward) و بر مبنای مقادیر نمرات استاندارد مولفه‌های بدست آمده، ایستگاههای مورد استفاده در تجزیه و تجلیل گروه بندی و غرب ایران به پنج زیر منطقه همگن تقسیم شد. همچنین در تحقیق دیگری که توسط موسوی و داوودی راد (۱۳۸۲) در حوزه آبخیز دریاچه نمک ایران صورت گرفت به شناخت عوامل موثر در خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی پرداخته شد. در این تحقیق پس از تعیین فراسنجه‌های مورفومتری و زمین شناسی تعدادی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از تحلیل عاملی مهمترین عوامل موثر در خشکسالی هیدرولوژیک تعیین شده و در مورد مدیریت آنها بحث شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که اطلاعات مورد استفاده می‌توانند حول سه محور خلاصه شوند. در این تحقیق محور (عامل یا فاکتور) اول به عنوان مساحت زیرحوزه‌ها، عامل دوم بارندگی و عامل سوم درصد سازندهای زمین شناسی تشخیص داده شد. همچنین در تحقیق دیگری که توسط مسعودیان (۱۳۸۲) انجام شد از تجزیه و تحلیل عاملی جهت بررسی پراکنندگی جغرافیایی بارش در ایران استفاده شد. در این تحقیق از تحلیل عاملی دوران یافته به عنوان ابزار سودمندی برای شناسایی پهنه‌های پربارش و تفکیک آنها از قلمروهای کم

تبخیر از عوامل پیچیده و در عین حال موثر در اقلیم هر منطقه می‌باشد و به شدت تحت تاثیر فراسنجه‌های اقلیمی متفاوت دیگر می‌باشد. تبخیر در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب و تعیین نیاز آبی گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است. تبخیر یکی از پدیده‌های هیدرومتئولوژی است که به دلیل وابسته بودن به چندین متغیر مختلف، یک پدیده چند بعدی محسوب می‌گردد. به طور کلی متغیرهایی که بر روی پدیده تبخیر تاثیرگذارند شامل بارندگی، سرعت باد، تابش خورشیدی، فشار سطحی زمین، رطوبت، ساعات آفتابی، میزان ابرناکی، جریانهای همرفتی، پوشش سطح زمین، خصوصیات خاک، گیاه، کیفیت آب در دسترس و غیره می‌شوند، اما از آنجایی که تمامی این داده‌ها ممکن است که برای منطقه ای در دسترس نباشند، لذا تعیین اهمیت نسبی متغیرها و عوامل موثر بر تبخیر نقش زیادی در ارتباط با تعیین نیاز آبی گیاهان و میزان آبیاری در این مناطق ایفا می‌نماید. هم چنین لازم به اشاره است که ساختار اصلی داده‌هایی که بر روی میزان تبخیر نقش اساسی ایفا می‌کنند به صورتی است که از چندین مولفه یا عامل (فاکتور) تشکیل شده اند. نکته حائز اهمیت در این راستا این است که سهم و میزان اثربخشی هر یک از این مولفه‌ها یا عوامل بسیار مهم بوده و هم چنین هر یک از این عوامل در ارتباط نزدیک با یکی از فراسنجه‌های فیزیکی کنترل کننده تبخیر می‌باشند. بررسی این فراسنجه بویژه در مناطق گرم و خشک و کم آب ضرورت بیشتری پیدا می‌کند.

بررسی و شناخت بیشتر از عوامل موثر بر تبخیر در کشور پهناور ایران با آب و هوای غالباً خشک و نیمه خشک و وجود تبخیر بالای سالانه لازم و حیاتی به نظر می‌رسد. از آنجایی که محاسبه تبخیر کار ساده‌ای به نظر نمی‌رسد در این مقاله سعی شده است با شیوه نوین به تحلیل تبخیر و عوامل موثر بر آن پرداخته شود. در ادامه ابتدا روش تحلیل عاملی که در این تحقیق برای تعیین اولویت تاثیر عوامل مختلف بر تبخیر مورد استفاده قرار گرفته پرداخته می‌شود و سپس هدف و مراحل مختلف تحقیق مختصراً توضیح داده شده است. از آنجایی که روشهای آماری ساده و تک متغیره قادر به بررسی اینگونه روابط نمی‌باشند، لذا بایستی از روشهای آماری چند متغیره استفاده گردد. روشهای آماری تجزیه مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) که اختصاراً با PCA نمایش می‌دهند و روش تحلیل عاملی (Factor Analysis) که با FA نمایش داده می‌شود، از مشهورترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل داده به صورت چند متغیره محسوب می‌شوند. این تکنیکها قادر به نمایش ارتباط موجود بین چندین متغیر به صورت روابط نسبتاً ساده

بارش یاد شده است. تلفیق شدن تکنیک تجزیه و تحلیل عاملی با تکنیک‌های دیگر مثل زمین آمار می‌تواند جهت تحلیل مکانی تبخیر در مناطق مطالعاتی موثر باشد. با استفاده از تکنیک زمین آمار برآورد داده‌های اقلیمی که یا اندازه‌گیری آنها ساده نمی‌باشد یا به هر دلیلی مثل شرایط توپوگرافیک منطقه یا عوامل دیگر در تمامی نقاط قابل اندازه‌گیری نیست، می‌توان با داشتن چند نقطه از اطراف منطقه مورد نظر با استفاده از نرم افزارهای مربوطه اقدام به ترسیم نقشه تغییرات آن فراسنجه نمود. کریجینگ یکی از روشهای زمین آماری است که استفاده از آن جهت درون یابی فراسنجه‌های محیطی از جمله شوری خاک، هدایت هیدرولیکی، خصوصیات ژئومورفولوژی منطقه و غیره امری متداول گشته است. همچنین این روش برای درون یابی سایر فراسنجه‌های محیطی نظیر دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر نیز قابل استفاده می‌باشد (عبداللهی و رحیمیان، ۱۳۸۶).

در تحقیق حاضر سعی شده است که در مرحله اول با استفاده از تکنیک تجزیه عاملی مهمترین فراسنجه‌های اقلیمی موثر بر تبخیر در ماه‌های مختلف سال شناسایی شود. سپس جهت افزایش دقت روابط استخراجی به کمک تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis)، مناطق مطالعاتی به مناطق همگن کوچک‌تر دسته‌بندی و در هر منطقه همگن مهمترین فراسنجه‌های اقلیمی موثر بر تبخیر مشخص شوند. در پایان معادلات رگرسیونی بین تبخیر و عوامل اصلی شناسایی شده در هر منطقه همگن استخراج و صحت و دقت آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هم چنین در محدوده مطالعاتی در ماه‌های مختلف، نقشه‌های هم تبخیر با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ ترسیم می‌شود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مطالعه و داده‌ها

محدوده این مطالعه بیش از نیمی از گستره ایران که شامل مناطقی از حوزه مرکزی و جنوب کشور می‌شود را دربرمی‌گیرد. این گستردگی و تنوع اقلیم باعث می‌شود که بطور کلی از دیدگاه اقلیمی و هیدرولوژیکی نتوان آن را بصورت یک منطقه همگن (Homogeneous region) در نظر گرفت. بمنظور بررسی و تعیین مهمترین عوامل موثر بر تبخیر در قالب مناطق همگن اقلیمی ۱۴ ایستگاه هواشناسی دارای داده‌های هوا و اقلیمی ثبت شده حدود ۵۰ ساله (۲۰۰۳-۱۹۵۳) مورد گزینش نهایی قرار گرفت. سپس آمار دراز مدت مربوط به فراسنجه‌های اقلیمی موثر بر تبخیر که شامل ابرناکی، بیشینه، کمینه و میانگین دما، اختلاف بین بیشینه و کمینه

دما، میانگین رطوبت، بیشینه و کمینه رطوبت نسبی و اختلاف بین بیشینه و کمینه رطوبت و سرعت باد مربوط به ایستگاه‌های فوق جمع آوری شد. بر اساس داده‌های اقلیمی و به روش تجزیه عاملی اقدام به شناسایی مهمترین فراسنجه‌های اقلیمی موثر بر تبخیر گردید. در شکل ۱ مراحل مختلف انجام این تحقیق نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر از آمار اقلیمی ایستگاههای مطالعاتی مختلف شامل بم، بندر عباس، بوشهر، چابهار، اصفهان، فسا، جیرفت، کاشان، کرمان، شیراز، طبس، یزد، زابل و زاهدان استفاده شده است.

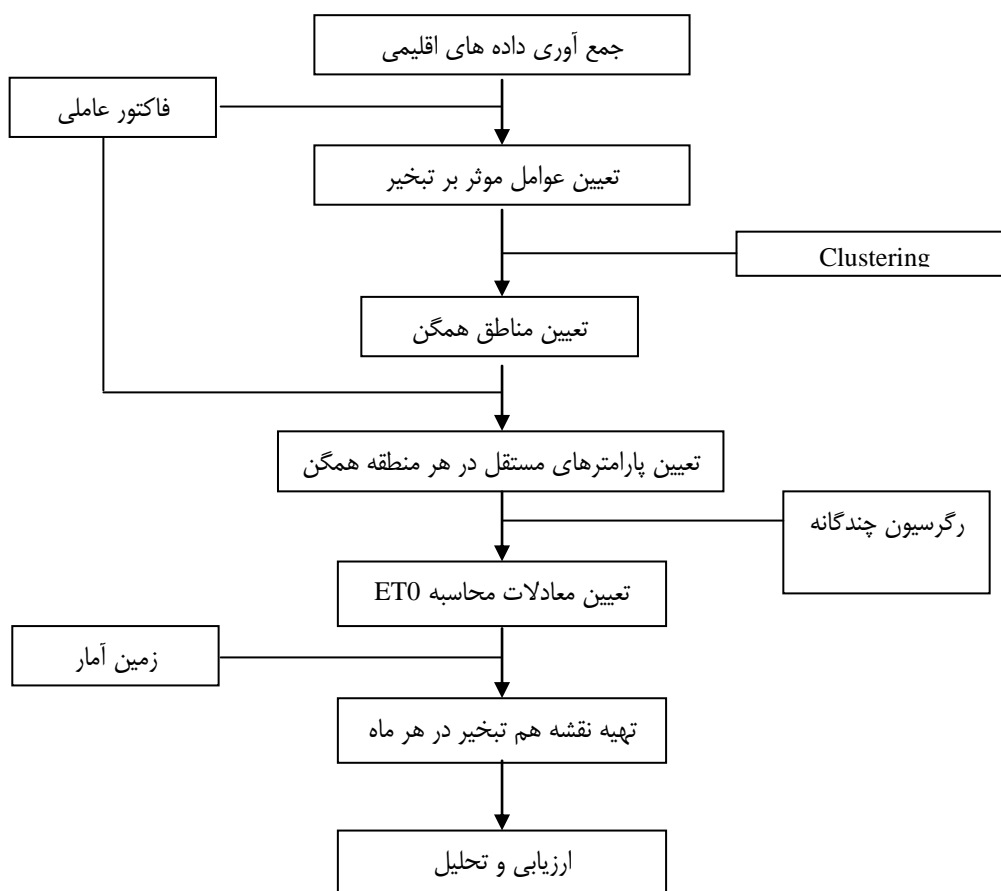
بمنظور تعیین مناطق همگن از روش تحلیل خوشه‌ای و هم چنین برای تعیین اولویت و اهمیت نسبی عوامل موثر بر تبخیر از روش تجزیه عاملی استفاده شد. با بکارگیری روش رگرسیون چند متغیره روابط همبستگی بین تبخیر و مهمترین سه عامل موثر بر آن در هر منطقه همگن استخراج شد.

۲-۲- تعیین اهمیت نسبی عوامل موثر بر تبخیر

در این مرحله برای استخراج معادلات منطقه ای بایستی تعداد عوامل موثر بر تبخیر کاهش داده شود و میزان و اولویت تاثیر عوامل مهم تر بر تبخیر شناسایی شود. برای این منظور از تکنیک تجزیه عاملی برای کاهش متغیرهای و روی استفاده شد. اولین مرحله در تجزیه و تحلیل عاملی استاندارد کردن داده‌هاست. لذا به کمک نرم افزار Minitab ابتدا به استانداردسازی داده‌ها پرداخته شده است. سپس برای تجزیه عاملی فراسنجه‌های اقلیمی مورد مطالعه (متغیرها) و تعیین عوامل موثر بر تبخیر اقدام شد. تعداد عامل‌های مورد انتظار در این تحقیق چهار عامل انتخاب و همچنین از دوران نوع Varimax استفاده شد. با انجام تجزیه عاملی، چهار عامل که در هر یک از آنها یکی از فراسنجه‌های اقلیمی نقش مهمتری دارد مشخص گردید.

۲-۳- تعیین مناطق همگن اقلیمی

پس از مشخص شدن فراسنجه‌های موثر بر پدیده تبخیر در هر ماه، مناطق همگن از لحاظ این فراسنجه‌ها مشخص شدند. این کار به کمک تحلیل دسته بندی (یا خوشه‌ای) صورت پذیرفت. پس از انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های دراز مدت ماهیانه ایستگاههای هواشناسی مورد مطالعه (۱۴ ایستگاه)، سه منطقه همگن از دیدگاه فراسنجه‌های اقلیمی شناسایی شدند. با دسته بندی اطلاعات در قالب سه منطقه همگن، مجدداً اقدام به تعیین مهمترین فاکتورهای موثر بر تبخیر در هر یک از آنها شد. انجام این کار نیز به کمک تجزیه عاملی صورت پذیرفت.

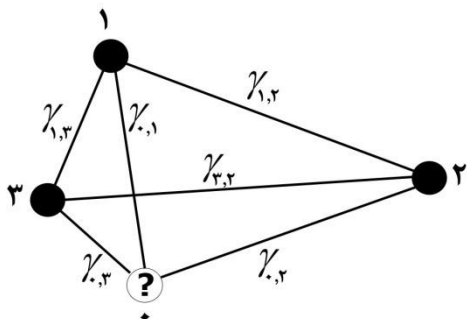


شکل ۱- نمودار مربوط به مراحل مختلف انجام تحقیق

۴-۲- استخراج روابط رگرسیونی در هر منطقه همگن

با مشخص شدن سه عامل اقلیمی غالب بر فرآیند تبخیر در هر ماه و در هر منطقه همگن، به کمک رگرسیون چندگانه ارتباط موجود بین تبخیر (به عنوان فراسنجه وابسته) و عوامل شناسایی شده در هر ماه (به عنوان فراسنجه‌های مستقل) تعیین و روابط رگرسیونی استخراج گردید.

در این فرمول $Z(x)$ مقدار تخمین زده شده متغیر Z در یک نقطه مشخص (x) ، $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده شده در نقاط X_i ها و λ_i فاکتور وزنی اختصاص داده شده به متغیر Z در نقطه X_i می باشد. در این فرمول مقادیر i از یک تا N (تعداد مشاهدات) تغییر می کند. شکل ۲ نحوه اختصاص مقادیر مختلف وزنی جهت تخمین مقدار در نقطه مجهول به روش کریجینگ را به خوبی نشان می دهد.



شکل ۲- نحوه اختصاص مقادیر وزنی جهت تخمین مقدار در نقطه مجهول

هم چنین برای هر ماه و در تمامی ایستگاههای مورد مطالعه مقادیر تبخیر از روابط بدست آمده، محاسبه و سپس اقدام به درون یابی مقادیر تبخیر محاسباتی ایستگاههای مطالعاتی شد. در این زمینه روشهای مختلفی برای درون یابی وجود دارد که معروف ترین و پرکاربرد ترین آنها روش کریجینگ می باشد که به عنوان بهترین تخمین گر خطی نارایب (Unbiased linear estimator) شناخته شده است (حسنی پاک، ۱۳۷۷). شکل عمومی معادله تخمین در این روش به صورت زیر است:

نقشه‌های هم تبخیر برای هر یک از ماههای سال ترسیم شدند. دقت درون‌یابی نیز به کمک آماره‌های MAE و RMSE تعیین شد. در انتها با محاسبه نمودار نقشه‌ها در هر ماه، تغییرات زمانی تبخیر در هر یک از مناطق همگن بررسی و تحلیل گردیدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عوامل غالب بر فرآیند تبخیر

پس از استانداردسازی داده‌ها و ورود آنها به Minitab به کمک تجزیه عاملی اقدام به تعیین مهمترین عوامل اقلیمی موثر بر تبخیر در هر یک از ماههای سال گردید. جدول ۱ نتایج این تجزیه را برای ماههای مختلف سال در کل منطقه مطالعاتی قبل از تفکیک منطقه به مناطق همگن نشان می‌دهد. در مراحل بعد بمنظور افزایش دقت در جداسازی مناطق همگن از این چهار عامل مهم استفاده می‌شود. عامل ۱ موثرترین عامل اقلیمی در هر ماه در محدوده مطالعاتی تشخیص داده شد و عوامل ۲ تا ۴ در رده‌های بعدی قرار دارند. نتایج نشان داد که عامل ۱ به تنهایی بیش از ۸۵ درصد واریانس داده‌ها را تحت پوشش قرار می‌دهد. ولی در اینجا جهت نشان دادن تاثیر کم عوامل دوم به بعد، چهار عامل در نظر گرفته شد.

همانطوری که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، فراسنجه دما نقش اساسی در تبخیر تمامی ماههای سال ایفا نموده و به عنوان مهمترین فراسنجه در عامل اول شناخته شده است. فراسنجه دما عمدتاً به صورت اختلاف بیشینه و کمینه دما (Tmax-Tmin) نیز نقش داشته و در برخی از ماههای سال نیز دمای بیشینه (Tmax) بیشترین تاثیر را به جای گذاشته است. در بسیاری از ماهها مانند ماه مارس (اسفند)، آپریل (فروردین)، ژوئن (خرداد) و سپتامبر تا دسامبر عامل سرعت باد به عنوان دومین متغیر اقلیمی موثر بر تبخیر شناخته شد. جدول عوامل سوم و چهارم را نیز نشان می‌دهد.

۳-۲- نتایج همگن سازی با تحلیل خوشه ای

پس از تعیین عوامل اصلی، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای اقدام به دسته‌بندی مناطق همگن از لحاظ فاکتورهای اقلیمی موثر بر تبخیر شد و نتایج مربوط به آن به صورت یک نمودار شاخه درختی (دندروگرام) حاصل شد. شکل ۴ این نمودار را نمایش می‌دهد.

بر این اساس سه منطقه همگن تعیین گردید. منطقه همگن ۱ شامل ایستگاههایی که در نزدیکی یا امتداد سواحل جنوبی کشور قرار دارند. بقیه ایستگاهها که در مناطق مرکزی و شرقی واقع شده‌اند به دو گروه همگن تفکیک شدند. در شکل ۵ نتایج این دسته بندی بر

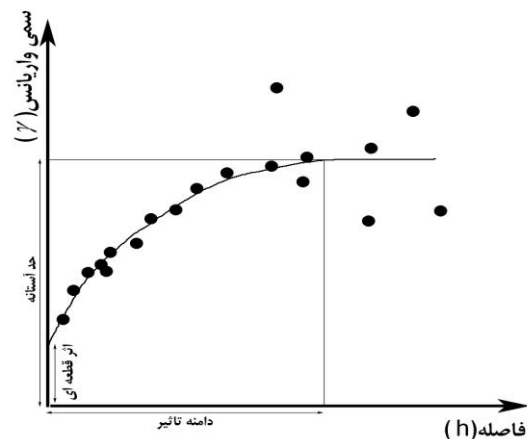
که مقادیر γ تحت عنوان " شبه پراش " (semi variance) شناخته می‌شود و طبق فرمول زیر بدست می‌آید (حسنی پاک، ۱۳۷۷):

$$\gamma_h = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

در این فرمول $Z(x_i)$ و $Z(x_{i+h})$ مقادیر مشاهده شده در نقاط i و $i+h$ می باشد که h فاصله بین این جفت نقطه است. رابطه بین مقادیر γ و فاکتورهای وزنی λ مربوط به هر یک از فواصل، بصورت ضرب ماتریسی زیر است.

$$\begin{bmatrix} \gamma_{1,1} & \gamma_{1,2} & \gamma_{1,3} \\ \gamma_{2,1} & \gamma_{2,2} & \gamma_{2,3} \\ \gamma_{3,1} & \gamma_{3,2} & \gamma_{3,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{0,1} \\ \lambda_{0,2} \\ \lambda_{0,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{0,1} \\ \gamma_{0,2} \\ \gamma_{0,3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

پس از محاسبه مقادیر γ برای مقادیر مختلف فاصله، نموداری تحت عنوان " شبه واریوگرام تجربی " بدست می‌آید که شکل عمومی آن بصورت شکل ۳ می باشد.



شکل ۳- شکل عمومی شبه واریوگرام تجربی به همراه فراسنجه‌های مختلف

شبه واریوگرام نتیجه بررسی همبستگی مکانی^۱ بین مجموعه مشاهدات صحرائی نرمال می‌باشد و بهترین مدلی که می‌تواند این همبستگی را نشان دهد باید دارای حداکثر برازش بر نقاط این نمودار باشد. مدل مربوطه دارای فراسنجه‌هایی از قبیل دامنه تاثیر^۲، اثر قطعه‌ای^۳ و حد آستانه^۴ می‌باشد که بایستی با دقت تعیین شوند.

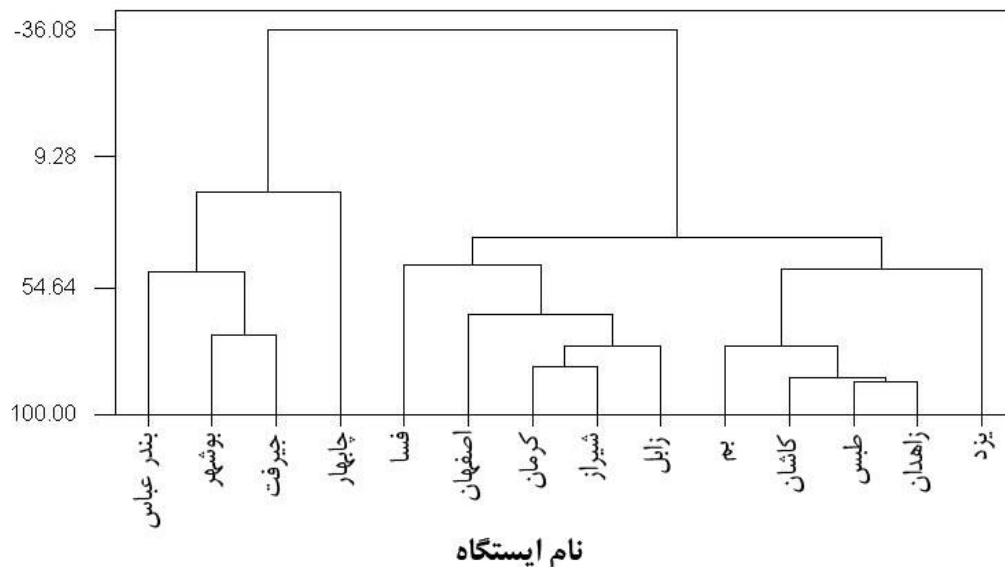
در این تحقیق به کمک نرم افزار الویس (ILWIS)، کریجینگ نوع ساده^۵ اعمال شد و با توجه به اینکه که مدل نمایی^۶ در اکثر درون‌یابی‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار است، از این مدل جهت برازش بر نقاط واریوگرام استفاده شد. با انجام این کار مقادیر تبخیر برای کل منطقه مطالعاتی به صورت ماهانه درون‌یابی شدند و

جدول ۱- فراسنجه‌های موثر بر تبخیر توسط تحلیل عاملی برای ماههای مختلف*

ماه	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴
ژانویه	Tmax - Tmin	Hmax - Hmin	C	W
فوریه	Tmax	Hmax - Hmin	C	Tmax - Tmin
مارس	Tmax	W	C	Tmax - Tmin
آوریل	Tmax	W	Hmax - Hmin	C
می	Tmax	Tmax - Tmin	W	C
ژوئن	Tmax	W	Tmax - Tmin	Tmax
ژولای	Tmax - Tmin	C	W	Tmean
آگوست	Tmax - Tmin	Tmean	W	C
سپتامبر	Tmax - Tmin	W	Tmax	C
اکتبر	Tmax	W	Tmax - Tmin	C
نوامبر	Tmax	W	Tmax - Tmin	C
دسامبر	Tmax	W	C	Hmax - Hmin

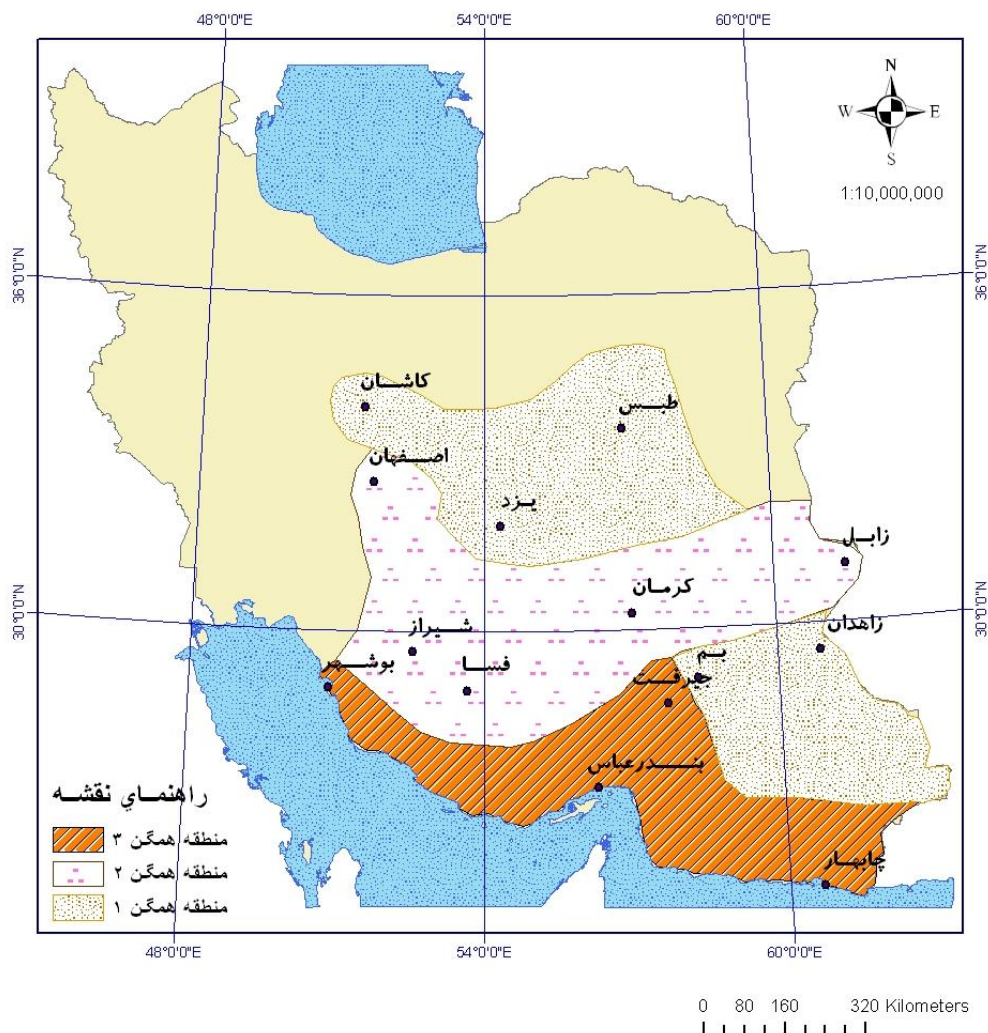
* منظور از Tmax, Tmin, Hmax, Hmin, W و C به ترتیب دمای میانگین (°C)، دمای بیشینه (°C)، دمای کمینه (°C)، رطوبت نسبی بیشینه (%)، رطوبت نسبی کمینه (%، سرعت باد (Knot) و میزان ابرناکی (%) میباشد.

Similarity



شکل ۴- تعیین مناطق همگن با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و فراسنجه‌های اقلیمی

روی نقشه کشور نشان داده شده که در آن ایستگاههای مطالعاتی واقع هر یک از مناطق همگن، در یک محدوده بسته قرار گرفته‌اند. این شکل بیانگر توزیع مکانی مشابهت‌های موجود بین ایستگاهها از نظر فراسنجه‌های مختلف اقلیمی نیز می‌باشد.



شکل ۵- نحوه دسته بندی ایستگاههای مطالعاتی به مناطق همگن

۳-۳- استخراج روابط رگرسیونی

بمنظور افزایش دقت روابط استخراجی بین تبخیر و فراسنجه‌های موثر، مجدداً در هر یک از این مناطق همگن شناسایی شده در هر یک از ماه‌های سال اقدام به تعیین مهمترین فراسنجه‌های موثر بر تبخیر به کمک تجزیه عاملی گردید و نهایتاً به کمک رگرسیون چند گانه ارتباط بین این فراسنجه‌های موثر و تبخیر تعیین شد. در جداول ۲، ۳ و ۴ معادلات همبستگی استخراج شده برای محاسبه تبخیر و هم چنین از روی عوامل موثر اقلیمی و ضریب تعیین (R^2) آنها درج شده است. بدلیل بالا بودن ضریب همبستگی در این معادلات در اغلب ماه‌های سال، می‌توان از آنها برای برآورد مقدار تبخیر در

مناطق فاقد آمار اندازه‌گیری شده تبخیر و یا دارای آمار کوتاه مدت در هر منطقه همگن نیز استفاده نمود.

۳-۴- تهیه نقشه‌های هم تبخیر

برای تهیه نقشه‌های هم تبخیر بر اساس معادلات ارائه شده در جداول ۲ تا ۴، تبخیر ماهانه تمامی ایستگاهها محاسبه و سپس نقشه خطوط هم تبخیر هر ماه به کمک روش کریجینگ ترسیم شد. در شکل ۶ نقشه‌های هم تبخیر برای چهار ماه از فصول مختلف سال (ماه‌های میانی هر فصل) آورده شده است. به کمک این نقشه‌ها می‌توان میزان تبخیر را در مناطق فاقد ایستگاه برآورد نمود.

جدول ۲- رابطه همبستگی بین تبخیر و عوامل موثر اقلیمی در منطقه همگن ۱

R ²	رابطه همبستگی	ماه
۷۱/۴	Log (E)= 6.1 - 0.18 Log (Tmax-Tmin)- 3.47 Log (Hmax-Hmin)+ 1.13 Log (C)	ژانویه
۹۶/۵	Log (E)= 2.3 + 1.10 Log (Tmax-Tmin)+ 0.3 Log (Hmax-Hmin)- 2.04 log(C)	فوریه
۸۹	Log (E)= 1.86 + 0.291 Log (Tmax)+ 0.0675 Log (W)- 0.128 Log (C)	مارس
۹۹	Log (E)= 2.28 + 0.00388 Log (Tmax)+ 0.0222 Log (W)+ 0.0298 Log (C)	آوریل
۹۹/۸	Log (E)= 2.51 + 0.0584 Log (Tmax-Tmin)- 0.148 Log (Hmax-Hmin)- 0.0108 Log (W)	می
۹۹	Log (E)= 2.28 + 0.00388 Log (Tmax)+ 0.0222 Log (W)+ 0.0298 Log (C)	ژوئن
۹۳/۷	Log (E)= 6.78 - 2.52 Log (Tmean)- 0.312 Log (Tmax-Tmin)- 0.085 Log (W)	ژولای
۹۶	Log (E)= 0.476 + 1.31 Log (Tmean) - 0.00470 Log (Tmax-Tmin)+ 0.0132 Log(C)	اگوست
۶۰	Log (E)= 5.54 - 2.01 Log (Tmax)+ 0.91 Log (W)- 0.19 Log (C)	سپتامبر
۹۹/۸	Log (E)= 0.21 + 0.761 Log (Tmax-Tmin)- 0.171 Log (W)+ 0.264 Log (C)	اکتبر
۹۰	Log (E)= 1.62 + 0.247 Log (Tmax)+ 0.0850 Log (W)+ 0.0811 Log (C)	نوامبر
۶۰/۱	Log (E)= 0.956 + 0.178 Log (Hmax-Hmin) + 0.497 Log (Tmax)t + 0.0784 Log (W)	دسامبر

جدول ۳- رابطه همبستگی بین تبخیر و عوامل موثر اقلیمی در منطقه همگن ۲

R ²	رابطه همبستگی	ماه
۷۹/۹	Log (E)= - 7.45 + 4.97 Log (Tmax-Tmin) + 2.99 Log (Hmax-Hmin)- 0.766 Log (C)	ژانویه
۷۶	Log (E)= - 9.02 + 6.12 Log (Tmax-Tmin) + 2.97 Log (Hmax-Hmin)- 0.615 Log (C)	فوریه
۸۹/۹	Log (E)= - 0.399 + 1.96 Log (Tmax) + 0.303 Log (W)- 0.154 Log (C)	مارس
۹۶/۲	Log (E)= - 0.020 + 1.65 Log (Tmax) + 0.223 Log (W)- 0.0792 Log (C)	آوریل
۷۴	Log (E)= - 7.4 + 1.78 Log (Hmax-Hmin) + 5.09 Log (Tmax-Tmin) + 1.33 Log (W)	می
۹۶/۲	Log (E)= - 0.020 + 1.65 Log (Tmax) + 0.223 Log (W)- 0.0793 Log (C)	ژوئن
۹۹/۸	Log (E)= - 2.29 + 0.596 Log (W) - 0.891 Log (Tmax-Tmin)+ 3.79 Log (Tmean)	ژولای
۶۰	Log (E)= 1.04 + 0.824 Log (Tmax-Tmin) + 0.31 Log (Tmean) + 0.045 Log (C)	اگوست
۹۸	Log (E)= 20.6 - 0.877 Log (Tmax-Tmin)- 1.67 Log (C) - 10.0 Log (Tmax)	سپتامبر
۶۲	Log (E)= 4.42 - 3.93 Log (Tmax-Tmin) + 2.52 Log (W) + 0.986 Log (C)	اکتبر
۹۸/۲	Log (E)= 1.18 + 0.284 Log (Tmax) + 0.739 Log (W) + 0.107 Log (C)	نوامبر
۷۱/۵	Log (E)= 13.3 - 4.85 Log (Tmax) + 1.90 Log (W)- 3.98 Log (Hmax-Hmin)	دسامبر

جدول ۴- رابطه همبستگی بین تبخیر و عوامل موثر اقلیمی در منطقه همگن ۳

ماه	رابطه همبستگی	R ²
ژانویه	$\text{Log}(E) = 1.65 - 0.76 \text{Log}(C) - 4.92 \text{Log}(H_{\max} - H_{\min}) + 8.14 \text{Log}(T_{\max} - T_{\min})$	۹۷/۶
فوریه	$\text{Log}(E) = -5.28 + 7.35 \text{Log}(T_{\max} - T_{\min}) + 2.58 \text{Log}(C) - 2.48 \text{Log}(H_{\max} - H_{\min})$	۹۰/۹
مارس	$\text{Log}(E) = -0.166 + 2.56 \text{Log}(C) + 0.705 \text{Log}(W) - 0.750 \text{Log}(T_{\max})$	۹۲
آوریل	$\text{Log}(E) = -4.66 - 0.657 \text{Log}(C) + 0.643 \text{Log}(W) + 5.05 \text{Log}(T_{\max})$	۶۷/۳
می	$\text{Log}(E) = 0.668 - 0.415 \text{Log}(W) - 4.33 \text{Log}(H_{\max} - H_{\min}) + 6.91 \text{Log}(T_{\max} - T_{\min})$	۶۵/۶
ژوئن	$\text{Log}(E) = 0.097 + 1.60 \text{Log}(C) + 0.396 \text{Log}(T_{\max}) + 0.211 \text{Log}(W)$	۶۱
ژولای	$\text{Log}(E) = 5.26 + 0.067 \text{Log}(W) - 1.07 \text{Log}(T_{\max} - T_{\min}) - 0.94 \text{Log}(T_{\text{mean}})$	۷۹/۳
آگوست	$\text{Log}(E) = -2.4 + 0.117 \text{Log}(W) + 5.0 \text{Log}(C) - 1.5 \text{Log}(T_{\max})$	۶۷
سپتامبر	$\text{Log}(E) = 15.4 + 5.64 \text{Log}(T_{\max}) - 14.8 \text{Log}(C) + 0.061 \text{Log}(W)$	۶۵/۴
اکتبر	$\text{Log}(E) = -3.20 - 0.279 \text{Log}(W) - 0.187 \text{Log}(T_{\max} - T_{\min}) + 4.21 \text{Log}(C)$	۸۵
نوامبر	$\text{Log}(E) = -0.348 + 2.63 \text{Log}(T_{\max}) - 0.110 \text{Log}(W) - 0.670 \text{Log}(C)$	۷۳/۵
دسامبر	$\text{Log}(E) = 3.25 - 0.875 \text{Log}(H_{\max} - H_{\min}) + 0.106 \text{Log}(W) + 0.071 \text{Log}(T_{\max})$	۵۹/۸

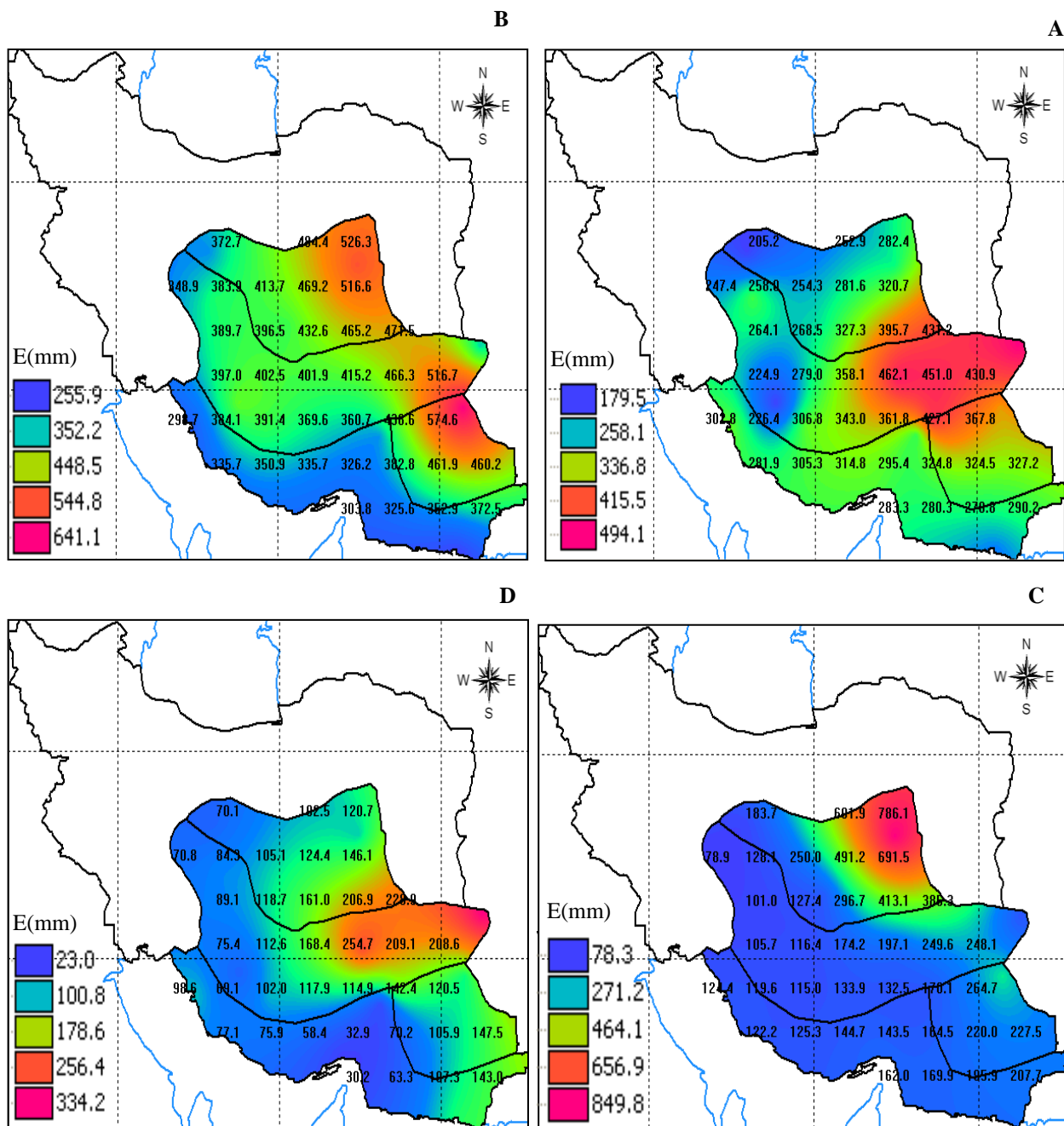
پست بودن و نداشتن ارتفاعات زیاد را شاید بتوان از عوامل موثر دیگر بر بالا بودن تبخیر در این مناطق دانست.

۳-۵- تعیین دقت نقشه‌های هم تبخیر

در این تحقیق به کمک نرم افزار الویس (ILWIS)، کریجینگ نوع ساده اعمال شد و با توجه به اینکه که مدل نمایی در اکثر دورن‌یابی‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار است، از این مدل جهت برازش بر نقاط واریوگرام استفاده شد. با انجام این کار مقادیر تبخیر برای کل منطقه مطالعاتی به صورت ماهانه درون‌یابی شدند و نقشه‌های هم تبخیر برای هر یک از ماههای سال ترسیم شدند. دقت درون‌یابی نیز به کمک آماره‌های MAE و RMSE تعیین شد. جدول ۶ مقدار آماره‌های MAE و RMSE مربوط به مقایسه تبخیر واقعی و تبخیر پیش‌بینی شده توسط معادلات رگرسیونی (نقشه‌ها) را برای هر یک از ماه‌های سال در هر یک از مناطق همگن مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان طوری که در این جدول مشاهده می‌گردد، در برخی از ماه‌ها مقدار آماره‌های خطا کمی بیشتر از سایر ماه‌ها بدست آمده است. به عنوان نمونه در منطقه همگن ۱ که بخش جنوبی منطقه مطالعه را در بر می‌گیرد دقت برآورد در ماه‌های مارس تا ژوئن که ماه‌های اصلی فصل رشد را تشکیل می‌دهند، بسیار مناسب است. این موضوع در خصوص دو منطقه همگن دیگر نیز تا حدودی صدق می‌کند.

پس از ترسیم نقشه‌های هم تبخیر ماهانه برای کل منطقه مطالعاتی، تغییرات زمانی آنها به کمک هیستوگرام‌های مربوطه بررسی شد. در جدول ۵ پارامترهای آماری استخراج شده از این هیستوگرام‌ها آورده شده است. همچنین به عنوان نمونه تغییرات زمانی تبخیر ماهانه در هر ماه میانی هر یک از سه منطقه همگن به صورت مجزا در شکل ۷ آورده شده است.

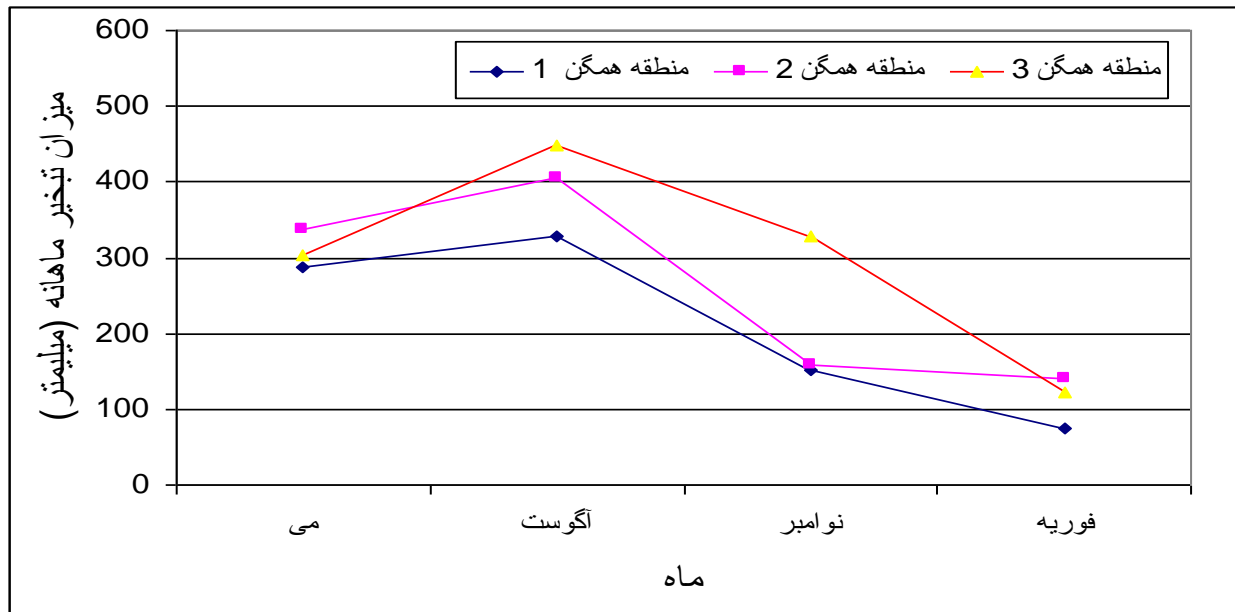
همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در هر ۳ منطقه همگن روند تبخیر به این شکل می‌باشد که از فصل بهار تبخیر به سمت تابستان افزایش یافته به طوری که در هر سه منطقه در تابستان به اوج خود می‌رسد و به سمت پائین و زمستان سیر نزولی را طی می‌کند. مشاهده می‌شود که بیشترین تبخیر در منطقه همگن ۳ می‌باشد، بعد از آن منطقه همگن ۲ و سپس منطقه همگن ۱ می‌باشد، که این مورد علاوه بر اینکه به ماهیت پارامترهای ذکر شده موثر بر تبخیر مربوط می‌شود، می‌توان آن را به شرایط توپوگرافی و ارتفاع منطقه مرتبط دانست زیرا عوامل موثر بر تبخیر خود بنوعی متاثر از شرایط اقلیمی و ارتفاع نیز می‌باشند. منطقه همگن ۱ که از بقیه تبخیر کمتری دارد به علت نزدیک بودن این منطقه همگن به دریا می‌باشد. بالا بودن رطوبت نسبی از عوامل موثر بر کاهش تبخیر در این منطقه می‌باشد. اما در منطقه همگن ۳ علاوه بر نقش موثر و مثبت فراسنجه‌های اقلیمی موثر بر تبخیر، شکل توپوگرافی منطقه،



شکل ۶- نقشه‌های تبخیر در چند ماه از سال در سه منطقه همگن، الف- می (اواسط بهار) ب- آگوست (اواسط تابستان) ج- نوامبر (اواسط پاییز) د- فوریه (اواسط زمستان)

جدول ۵- پارامترهای آماری مربوط به متوسط تبخیر در هر یک از فصول سال

منطقه همگن ۳				منطقه همگن ۲				منطقه همگن ۱				منطقه همگن
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	فصل
۲/۵۵	۲/۸۴	۶/۳۳۵	۵/۱۷۹	۶/۵۶	۳/۷۸	۸/۳۳۲	۶/۱۸۲	۰/۲۳	۹/۹۸	۰/۳۳۲	۶/۲۳۷	حداقل
۷/۲۲۷	۸/۸۴۹	۱/۶۴۱	۰/۴۴۴	۲/۳۳۴	۷/۳۹۳	۴/۵۸۶	۱/۴۹۴	۷/۱۷۳	۳/۲۱۵	۰/۶۳۷	۵/۴۲۲	حداکثر
۴/۱۴۱	۸/۴۶۵	۵/۴۸۷	۸/۳۱۱	۴/۱۹۵	۵/۲۳۵	۳/۴۵۹	۶/۳۳۸	۳/۹۸	۱/۱۵۷	۰/۴۹۱	۶/۳۲۵	میانگین
۸/۴۹	۳/۲۲۰	۷/۸۷	۴/۷۶	۱/۸۰	۸/۹۰	۰/۷۳	۷/۸۹	۵/۴۳	۶/۳۳	۰/۱۸۲	۲/۵۱	انحراف معیار



شکل ۷- تغییرات زمانی تأخیر در ماههای میانی چهار فصل سال در سه منطقه همگن

جدول ۶- مقادیر MAE و $RMSE$ در ماههای مختلف سال در هر یک از مناطق همگن

منطقه همگن ۳		منطقه همگن ۲		منطقه همگن ۱		ماه
MAE	$RMSE$	MAE	$RMSE$	MAE	$RMSE$	
۷۲/۸	۱۳/۰	۷۹/۱۲	۱۲/۰	۹۵/۱۵	۲۳/۰	ژانویه
۶۹/۳	۰۵/۰	۴۲/۹	۰۹/۰	۷۴/۴۷	۵۲/۰	فوریه
۸۲/۱	۲۱/۰	۶۰/۶	۰۵/۰	۶۷/۱	۱۱/۰	مارس
۰۶/۳	۱۱/۰	۹۵/۳	۰۲/۰	۴۴/۱	۲۱/۰	آوریل
۴۱/۱	۰۴/۰	۲۱/۶۲	۲۶/۰	۴۸/۳	۲۴/۰	می
۴۴/۵	۲۳/۰	۹۷/۳	۰۲/۰	۴۴/۱	۱۴/۰	ژوئن
۸۴/۴۷	۱۵/۰	۲۷/۲	۲۱/۰	۵۷/۴۶	۱۷/۰	ژولای
۷۷/۶۶	۱۸/۰	۵۴/۱۱	۰۴/۰	۰۹/۳	۲۱/۰	آگوست
۴۹/۲۷	۱۱/۰	۸۶/۲۴	۱۶/۰	۸۷/۷۷	۴۱/۰	سپتامبر
۰۸/۱۴	۰۶/۰	۱۱/۴	۲۲/۰	۹۹/۱۷۹	۳۵/۰	اکتبر
۹۷/۴	۱۳/۰	۱۴/۲	۱۲/۰	۳۴/۰	۱۳/۰	نوامبر
۶۲/۴	۱۵/۰	۱۸/۵۷	۴۸/۰	۰۳/۰	۱/۰	دسامبر

بیان آبی و تعیین نیاز آبی از امتیازات نتایج حاصل از این تحقیق محسوب می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نتایج تحلیل آماری در این تحقیق نشان می‌دهد که نه تنها تاثیر عوامل مختلف اقلیمی بر فرآیند تأخیر در مناطق مختلف با اقلیم‌های

در واقع نتایج نشان می‌دهد که دقت برآورد تأخیر در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های فصول سرد سال یعنی پاییز و زمستان است. در این فصول بنظر می‌رسد که فراسنجه‌های انتخابی در مدل رگرسیونی به تنهایی قادر به پیش بینی مقدار واقعی تأخیر نبوده و باید فراسنجه‌های مهمتری را جستجو نمود که در ورودی‌های این تحقیق منظور نشده است. اما بالا بودن دقت برآورد تأخیر در ماه‌های فصل رشد گیاه و نیاز به تعیین دقیق تر این پارامتر در مطالعات

پی‌نوشت‌ها

- 1-Spatial Correlation
- 2-Range
- 3-Nugget Effect
- 4-Sill
- 5-Simple Kriging
- 8- Exponential

۵- مراجع

حسینی پاک، ع. ا. (۱۳۷۷)، "زمین آمار (ژئواستاتستیک)"، انتشارات دانشگاه تهران.

رضیعی، ط. و عزیز، ق. (۱۳۸۶)، "منطقه بندی رژیم بارشی غرب ایران با استفاده از روشهای تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی"، *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۳(۲) (مسلسل ۸) صص ۶۵-۶۲.

عبداللهی ج. و رحیمیان، م. ح. (۱۳۸۶)، "بکارگیری سنجش از دور در تعیین بهترین مدل زمین آماری جهت درون یابی اطلاعات میدانی"، *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان*، ۱۴(۲) (پیاپی ۲۷)، صص ۱۵۶-۱۷۰.

مسعودیان. س. ا. (۱۳۸۲)، "بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته"، *مجله جغرافیا و توسعه*، بهار و تابستان. صص ۸۸-۷۹.

موسوی ع. ا. و داودی راد، ع. ا. (۱۳۷۸)، "شناخت عوامل موثر در خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی (مطالعه موردی در حوزه آبخیز دریاچه نمک ایران)"، *دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، سازمان هواشناسی کشور، مرکز ملی اقلیم شناسی*.

Bedi, H.S., Binderam M.S. (1980). "Principle components of monsoon rain fall", *Tellus*. 32. pp. 296 - 298.

Gadgil, S., And Joshi, N.V., (1983). "Climate Cluster of the India origin". *J. CLIMATOL*. 3. pp. 47 - 63.

Gadgil, S. And Lyengar, R. N. (1980). "Cluster analysis of rainfall station of India peninsula", *Meteorol. Soc. 106 (450)*, pp. 873 - 896.

Gray, b.m. (1981), "On the stability of temperature eigenvectors", *J. Climato1*, pp. 273-281.

Goossen, C. (1985). "Principal component analysis of Mediterranean rainfall". *J. CLIMATOL* .5, pp. 379-388.

مقاومت یکسان نیست بلکه میزان و اولویت تاثیر این عوامل در ماههای مختلف سال نیز متفاوت می‌باشد. به عبارت دیگر میزان تاثیر عوامل اقلیمی بر تبخیر تابع تغییرات زمانی و مکانی است. بنابراین شناخت عوامل موثرتر بر پدیده تبخیر در هر مان و در هر منطقه می‌تواند در طرح‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مدیریت منابع آبی کشور می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. شناخت مهمترین عوامل بر فرآیند تبخیر در فصول مختلف سال بویژه در فصل رشد نقش مهمی در اجرای طرحهایی دارد که برای کاهش مقدار تبخیر پیش بینی می‌شود. به عنوان نمونه در مناطق و ماههایی که عامل دما یا سرعت باد بیشترین نقش را در میزان تبخیر دارند استفاده از مالچ‌های مختلف سطحی و یا بادشکن می‌تواند در کاهش تبخیر موثر باشد. نتایج هم چنین نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای برای تعیین مناطق همگن اقلیمی دقت برآورد مقدار تبخیر را افزایش می‌دهد و روابطی که در یک منطقه همگن استخراج می‌شوند، دارای دقت بالاتری نسبت به روابط استخراجی برای کل منطقه می‌باشند.

از آنجا که عوامل بسیار زیادی بر فرآیند تبخیر اثر می‌گذارند بایستی در استخراج روابط سعی شود که عوامل کم اثرتر حذف شوند زیرا وجود تعداد زیادی پارامتر ورودی به یک مدل برای استخراج رابطه نمی‌تواند باعث افزایش دقت معادله استخراجی در برآورد تبخیر شود. نتایج نشان داد که روش تجزیه عاملی در بررسی روابط بین تبخیر و فراسنجه‌های اقلیمی و تعیین اهمیت نسبی آنها و هم چنین کاهش ورودی‌های مدل کارایی بسیار خوبی دارد و روابط همبستگی بدست آمده بین تبخیر و عوامل اقلیمی اصلی موثر بر آن در هر یک از مناطق همگن تفکیک شده در برخی ماههای سال، دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی می‌باشد. بدلیل بالا بودن ضریب همبستگی در این معادلات در اغلب ماههای سال در مناطق همگن، می‌توان از این معادلات برای برآورد مقدار تبخیر در مناطق فاقد آمار اندازه‌گیری شده تبخیر در هر منطقه همگن نیز استفاده نمود.

براساس نتایج این تحقیق مشخص گردید که در هر یک از سه منطقه همگن مشخص شده در ماههای مختلف سال یکی از فراسنجه‌های اقلیمی مورد مطالعه نقش موثرتری بر میزان تبخیر داشته که در این میان نقش عوامل وابسته به دما (دمای بیشینه، اختلاف بین دمای بیشینه و کمینه و دمای متوسط ماهانه)، سرعت باد و میزان ابرناکی از بقیه مشهودتر بوده است. با استفاده از تکنیک زمین آمار و تعیین نقشه هم تبخیر نیز مشخص گردید که در هر سه منطقه همگن تابستان بیشترین تبخیر را داشته و منطقه همگن سه بالاترین میزان تبخیر را شامل بوده است.

- principal component analysis". *J. APL. Meteorol*, 29, pp. 892-910.
- Rao, A.R. (1990). "Empirical orthogonal function analysis of rainfall and run off series". *Water resources manage.* 4, pp. 235 - 250.
- Raziei. T., Saghafian, B., Paulo, A.A., Pereira, L.S. and Bordi, I. (2009). "Spatial Patterns and Temporal Variability of Drought in Western Iran". *Water Resour Manage.* 23: pp. 439 – 455.
- Kidson, J. W. (1975). "Eigen Vector analyses of monthly mean surface data", *monthly Weather Rev.*103, pp. 639-649.
- Lyengar, R.N. (1991). "Application of principal component and factor analysis variability of rainfall", *proc. Indian Acad. Sc.* 100(2), pp. 105 - 126.
- Matalas, D. and Feyen, J. (1990). "Defining homogenous precipitation regions means of