

بررسی روش های ترکیبی زمین آمار در افزایش دقت طبقه بندی اقلیمی و نیز پهنه بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران

نگار سیابی^{۱*}، سید حسین ثنایی نژاد^۲

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار هواشناسی، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۸/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۵/۵

چکیده

متغیر های اقلیمی به یکدیگر و نیز به وضعیت سطح زمین مانند ارتفاع و پوشش گیاهی وابسته اند. این در حالی است که این متغیر ها به صورت نقطه ای در ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری می شوند. برای انجام مطالعات محیطی و تحقیقات کشاورزی، داشتن درک صحیحی از تغییرات پیوسته مکانی و زمانی این متغیر ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. از طرفی طبقه بندی های اقلیمی به دلیل استفاده از روابط ساده و متغیر های کم از دقت بالایی برخوردار نیستند، از این رو در این تحقیق دو هدف دنبال شده است: اول اینکه از الگوریتم های زمین آمار برای درون یابی، ارزیابی و تهیه نقشه های تغییرات مکانی و زمانی متغیر های اقلیمی در شمال شرق ایران استفاده شد و آنگاه روش تورنت وایت^۱ برای طبقه بندی اقلیمی انتخاب و درجه تاثیر هر متغیر اقلیمی در افزایش دقت طبقه بندی اقلیمی با استفاده از روش های چند متغیره بررسی شد. روش های درون یابی در این تحقیق کریجینگ معمولی (OK^۲)، کو کریجینگ (COK^۳)، روش وزن دهی عکس فاصله (IDW^۴) و روش (KED^۵) بود. با استفاده از روش های چند متغیره (COK, KED)، وابستگی متغیر هایی مانند (تبخیر، دمای هوا، بارندگی و رطوبت نسبی) به ارتفاع به عنوان متغیر ثانویه با گام های زمانی ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. مقدار MSE برای مقایسه نتایج مدل ها استفاده شد و نتایج متفاوتی برای هر متغیر به دست آمد. روش COK برای دمای هوا نتایج بهتری را نشان داد، در حالی که روش KED برای بارندگی نتایج دقیق تری را حاصل کرد. به عنوان مثال MSE برای برای دما از روش های K, COK و KED در ماه ژانویه به ترتیب مقادیر ۲/۱۹، ۰/۰۴ و ۱، در ماه فوریه ۲/۶۳، ۰/۰۵ و ۱/۲۷ و در ماه مارس ۲/۵۱، ۰/۰۴ و ۱/۳۳ به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر MSE از ماه مارس تا جولای افزایش می یابد، بدین معنی که استفاده از ارتفاع در این مدل برای تخمین دما در این ماه ها دقت کمتری دارد. همچنین مشاهده شد که توزیع زمانی و مکانی بارندگی نسبت به سایر متغیر های مورد مطالعه، بیشترین تاثیر پذیری را از تغییرات ارتفاع دارد. قابل ذکر است که بر اساس این تحقیق تبخیر در طول ماه های سرد از ارتفاع تاثیر می پذیرد (اکتبر تا مارس). و از میان متغیر های محیطی به ترتیب تبخیر، ارتفاع، رطوبت نسبی و بارندگی در تغییر پذیری زمانی و مکانی اقلیم در منطقه مورد مطالعه بیشترین تاثیر را دارند. دما نتایج متفاوتی بسته به شاخص اقلیمی مورد استفاده برای پهنه بندی اقلیمی حاصل کرد.

واژگان کلیدی: ارزیابی دقت، تحلیل مکانی، عناصر اقلیمی، زمین آمار، طبقه بندی اقلیمی

Email: negarsiabi63@gmail.com

1. Thornthwaite
2. Ordinary kriging
3. Co-Kriging
4. Inverse Distance Weighted
5. Kriging with an External Drift

مقدمه

داده های پیوسته مکانی در مطالعات اقلیمی و محیطی از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند. از طرفی آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی متغیر های هواشناسی و بویژه تغییرات مکانی اقلیم مناطق مختلف، ضروری می باشد. طبقه بندی اقلیمی و دسته بندی مناطقی که ویژگی های اقلیمی یکسانی دارند از سال های دور مورد توجه بشر بوده است (جعفرپور، ۱۳۷۱). اغلب روش های موجود در محاسبه کمی اقلیمی از دو متغیر بارندگی و دما و روابط تجربی برای این منظور بهره گرفته، و محاسبات به صورت نقطه ای انجام می شود. در نتیجه دستیابی به روش هایی که بتوان سایر متغیر های هواشناسی و محیطی را در روابط طبقه بندی اقلیمی دخیل کرده و چگونگی تغییرات مکانی اقلیمی را پهنه بندی نمود، مورد نیاز شدید است. یکی از ابزار های سودمند در این مورد روش های درون یابی مکانی است. برای دست یابی به الگوی توزیع مکانی متغیر ها، روش های متعددی وجود دارند که یکی از آن ها روش های زمین آمار می باشد (Matheron, 1963). روش های زمین آمار به دو صورت تک متغیره و چند متغیره مورد استفاده قرار گرفته و داده ها اغلب به صورت شبکه هایی درون یابی می شوند (Guisan & Zimmermann, 2000). در این میان قابلیت روش های زمین آمار به طور قابل ملاحظه ای با به کار بردن متغیر های همبسته ثانویه بالا می رود (Daly et al, 1994). در روش های کریجینگ، متغیر های با نمونه برداری کم تراکم میتوانند توسط متغیر های ثانویه که متراکم تر هستند کامل شوند. از این میان توپوگرافی و داده های مشاهدات رادار می تواند به عنوان داده کمکی در این مدل ها به کار رود. هوسی و همکاران (Goovarets, 1999; Hevesi et al, 1992 a,b); گوارتز (Goovarets, 1999) ، ارتفاع را در آنالیز های تخمین بارندگی با استفاده از روش کوکریجینگ دخیل کردند. اچید و همکاران (Eischeid et al, 2000) ، از ۶ روش مختلف درون یابی برای تهیه داده های روزانه دما و بارندگی در آمریکا استفاده کردند. هر یک

از ۶ روش با داده های ماهانه برای هر ایستگاه مقایسه شد. آنها از مدلی با همبستگی بالا با داده های هر ایستگاه استفاده کردند تا داده های گم شده تخمین زده شده و در موقیت های مربوط قرار گیرند. جفری و همکاران (Jeffery et al, 2001) ، با استفاده از روش اسپیلاین^۱ برای درون یابی داده های هواشناسی و روزانه بارش و از روش کریجینگ برای درون یابی داده های روزانه و ماهانه بارندگی استفاده کردند. سوبیانی (Subyani, 2004) از زمین آمار چند متغیره برای آنالیز و پیش بینی بارندگی برای جنوب غربی عربستان سعودی استفاده کرد. در این مطالعه ارتفاع به عنوان متغیر کمکی برای روش کوکریجینگ در نظر گرفته شد، و نتایج نشان داد که استفاده از ارتفاع به عنوان داده کمکی تخمین های کوکریجینگ را بهبود می بخشد. گواس و همکاران (Gouvas et al, 2009) ، با توجه به روش های زمین آمار، به بررسی رابطه بین ایستگاه های هواشناسی و میانگین بارش ماهانه و سالانه پرداختند. روگلیس و ورنر (Rogelis & Werner, 2013) برای برآورد بارش واقعی در مناطق با توپوگرافی پیچیده از روش های زمین آمار استفاده کردند. مهدی زاده و همکاران (۱۳۸۵) کارایی روش های زمین آمار را در پهنه بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند، و با مقایسه خطای روش ها به این نتیجه رسیدند که روش های زمین آمار از روش های کلاسیک بهتر است. ناد و همکاران (۱۳۸۹) روش های جدید زمین آمار را برای میان یابی بارش در منطقه چهار باغ گرگان استفاده کردند و روش ها را از نظر دقت درون یابی مورد مقایسه قرار دادند. طاوسی و دل آرا (۱۳۸۹) با استفاده از داده های ایستگاه های همیدی استان اردبیل و نرم افزار ArcGIS به پهنه بندی اقلیمی استان اردبیل پرداختند. تیموری و همکاران (۱۳۹۰)، تغییرات اقلیمی ایران را در ۳۶ ایستگاه هواشناسی با استفاده از شاخص خشکی/ رطوبتی و روش تورنت وایت مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. تقفیان و همکاران (۱۳۹۰)، میانگین بارش ۱۲ ایستگاه

همدیدی استان فارس را با استفاده از روش های کریجینگ و کوکریجینگ درون یابی کردند و متغیر ثانویه ارتفاع را به کار بردند.

روش های متعددی برای پهنه بندی و طبقه بندی اقلیمی وجود دارند، اما اکثر این روش ها از میانگین بلند مدت متغیر های آب و هوایی اندکی بهره می گیرند و به همین دلیل از دقت کافی برای استفاده در مطالعات اقلیمی برخوردار نمی باشند. در زمینه مطالعه تغییرات مکانی متغیر های هواشناسی و پهنه بندی اقلیمی مناطق مختلف تحقیقات متعددی توسط پژوهشگران ایرانی و خارجی صورت گرفته است. اما در مورد بررسی روش های زمین آمار چند متغیره در افزایش دقت پهنه بندی های اقلیمی تحقیقات کمی انجام شده است. با توجه به اینکه روابط مربوط به شاخص های اقلیمی اغلب فقط متغیر های دما و بارندگی را در نظر می گیرد و سایر متغیر ها مانند رطوبت نسبی و یا ارتفاع را در نظر نمی گیرد، به همین علت هدف از این تحقیق استفاده از روش های چند متغیره با توجه به توپوگرافی و تغییرات مکانی متغیر های هواشناسی روی شاخص اقلیمی برای افزایش دقت پهنه بندی ها می باشد. همچنین در این تحقیق تاثیر هر یک از متغیر ها به صورت جداگانه و همزمان در افزایش دقت پهنه بندی و طبقه بندی اقلیمی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه شمال شرق ایران، (طول ۵۵ غربی تا ۶۱ شرقی و عرض ۳۸ جنوبی تا ۳۰ شمالی) شامل استان های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی با مساحت ۲۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد (احمدیان و همکاران، ۱۳۸۱). در این تحقیق مجموعه داده های میانگین ماهانه و سالانه متغیر های هواشناسی از جمله دمای متوسط، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی و بارندگی، برای دوره ۱۹۹۳-۲۰۱۰

از سازمان هواشناسی دریافت شد. این اطلاعات به صورت داده های مکانی و به عنوان داده های ورودی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای محاسبه شاخص اقلیمی تورنت وایت از داده های بارندگی و دما استفاده شد. سپس با استفاده از الگوریتم زمین آمار و استفاده از روش های چند متغیره کارایی هر کدام از روش ها در بهبود دقت پهنه بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه، بررسی گردید. همچنین تاثیر کاربرد متغیر های ثانویه (کمکی) نیز در میزان افزایش دقت پهنه بندی اقلیمی با استفاده از شاخص تورنت وایت مورد بررسی قرار گرفت.

روش های درون یابی

در همه روش های درون یابی نتایج، از میانگین وزنی داده های در دسترس محاسبه می شود، به طوریکه کمترین انحراف معیار به دست آید. سرعت تغییرات انحراف نقاط فضایی توسط نیمه تغییر نما^۱ تعیین می شود که به صورت تابعی است که نصف مجموع مربعات اختلاف مقادیر را محاسبه می کند (McBratney & Webster, 1983).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i + h) - Z(X_i)]^2 \quad (1)$$

که $\gamma(h)$ مقادیر نیمه تغییر نمای تجربی در فواصل h و $N(h)$ تعداد جفت نقاط در طبقه خاصی از فاصله و جهت می باشد. $X_i + h$ و X_i مکان های نمونه برداری که با فاصله h از هم جدا شده اند. $Z(X_i + h)$ و $Z(X_i)$ مقادیر اندازه گیری شده متغیر Z در مکان های ذکر شده می باشد. نیمه تغییر نما تابعی از فاصله و جهت است، بنابراین برای متغیرهایی که وابسته به جهت هستند (الگوی فضایی ناهمسانگرد) می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

روش وزن دهی عکس فاصله (IDW^۲)

1. Semivariogram

2. Inverse Distance Weighted

در این تحقیق امید ریاضی متوسط طولانی مدت هر متغیر هواشناسی و هر متغیر به صورت تابع تصادفی $Z(x)$ که به صورت تابع خطی از ارتفاع یا هر متغیر دیگر در نظر گرفته شده است.

$$E[Z(x)] = a_1 + a_2 h(x) \quad (۶)$$

وزن های λ_i با حل سیستم معادلات KED به دست می آید (Ahmed & De Marsily, 1987 ; Hudson & Wackernagel, 1994)

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma_z(x_i - x_j) + \mu_1 + \mu_2 Y(x_i) = \gamma(x_i - x_0) i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_j) = Y(x_0) \quad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

واریانس تخمین از رابطه زیر به دست می آید :

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_z(x_i - x_0) + \mu_1 + \mu_2 Y(x_0) \quad (۸)$$

کوکریجینگ (COK^۳)

روش کوکریجینگ نسخه اصلاح شده روش کریجینگ می باشد. که برای ترکیب یک یا چند متغیر تصادفی به کار می رود. برای استفاده از این روش ما نیاز به یک متغیر اولیه با تراکم تعداد نقاط کم و یک یا چند متغیر ثانویه که از تراکم بالاتری برخوردار می باشد داریم. یکی از کاربردهای مهم این روش در حالتی است که اندازه گیری متراکم متغیر مورد نظر زمان بر و هزینه بالایی نیاز دارد. در روش کوکریجینگ متغیر اولیه با متغیر ثانویه همبستگی دارد در این روش از تغییر نمای عرضی استفاده می شود (Journel & Huijbregts, 1978). این گونه نیم تغییر نما به منظور عددی کردن تقاطع مکانی بین متغیر های خود همبسته اصلی به کار می رود. و از رابطه ی ۹ به دست می آید.

$$\gamma_{zs}(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x) - Z(x+h))(Y(x) - Y(x+h))] \quad (۹)$$

روش IDW بر این فرض استوار است که مقادیر در مکان های نمونه برداری نشده، میانگین وزن داده شده ی نقاط نمونه برداری شده در یک همسایگی می باشد. معادله درون یابی به صورت زیر می باشد (Burrough & McDonnell, 1998).

$$\hat{Z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}} \quad (۱)$$

که x_0 نقطه تخمین زده شده و x_i نقاط داده ها در یک همسایگی انتخابی می باشد. وزن های (r) بستگی به d_{ij} ، فاصله بین نقطه تخمین زده شده و نقطه مشاهده شده دارد. این روش برای نقاط نزدیک به نقاط نمونه برداری وزن بیشتر و برای نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می دهد.

کریجینگ معمولی (OK^۱)

تخمین گر کریجینگ $\hat{Z}(x_0)$ مجموع خطی مشاهدات وزن دهی شده در داخل یک همسایگی می باشد که با معادله ۳ نشان داده می شود :

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot Z(x_j) \quad (۲)$$

در این معادله وزن های λ_i با حل دستگاه معادلات کریجینگ (معادله ۴) به دست می آید (Journel & Huijbregts, 1978)

$$\begin{cases} j = 1n \lambda_j \cdot \gamma_z(x_i, x_j) + \mu = \gamma_z(x_i - (x_0)) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} ; i = 1, \dots, n \quad (۳)$$

واریانس تخمین با استفاده از معادله ۵ به دست می آید.

$$\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \gamma_z(x_i - x_0) + \mu \quad (۴)$$

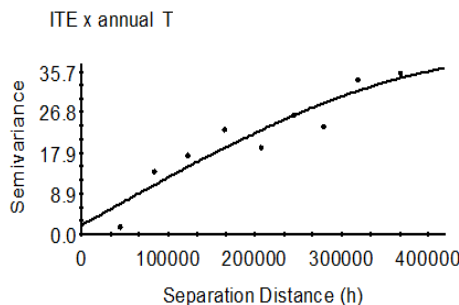
که μ ضریب لاگرانژ، $\gamma_z(x_i, x_j)$ تابع واریوگرام بین نقطه x_i و x_j ، $\gamma_z(x_i - x_0)$ تابع متوسط تغییر نما بین نقطه x_i و x_0 و γ_z نشان دهنده تغییر نمای متوسط متغیر های مورد مطالعه می باشد.

کریجینگ با روند خارجی (KED^۲)

1 . Ordinary kriging

2 . Kriging with an External Drift

یک نیم تغییر نمای عرضی نمونه از دو متغیر انتخابی در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - نیمه تغییر نمای عرضی شاخص I_{TE} و دمای سالانه

به منظور داشتن یک نیم تغییر نمای عرضی داشتن رابطه همبستگی قوی بین متغیر های اولیه و ثانویه ضروری است. به عنوان مثال برای دما این همبستگی به فاکتور های مختلفی مانند زمان اندازه گیری داده ها، کیفیت و نوع داده های ثانویه، شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و شرایط و ویژگی های جغرافیایی منطقه بستگی دارد. در این تحقیق توابع همبسته تصادفی $Z(x)$ و $Y(x)$ به عنوان سیستم معادلات برای تخمین مقادیر ناشناخته $Z(x_0)$ در مکان x_0 در نظر گرفته شد. و از ساختار همبسته عرضی برای تخمین $Z(x_0)$ بر اساس متغیر اولیه $Y: Y(x_k), \dots, Z: Z(x_i), \dots, Z(x_n)$ استفاده شد. با توجه به اینکه $m \geq n$ می باشد معادله زیر به دست آمد:

$$E[Z(x_i)] = m_z \quad (10)$$

$$E[Y(x_k)] = m_y$$

که m_y و m_z به ترتیب میانگین ثابت $Z(x_i)$ و $Y(x_k)$ می باشند. بهترین تخمین خطی مقادیر Z در هر مکان x_0 میتواند از معادله زیر محاسبه شود:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{k=1}^m \omega_k Y(x_k) \quad (11)$$

که $Z(x_i)$ مقادیر اندازه گیری شده متغیر اولیه Z در $Z(x_i)$ ، $i=1, \dots, n$ و $Y(x_k)$ مقادیر اندازه گیری شده متغیر ثانویه Y ، در $Y(x_k)$ ، $k=1, \dots, m$ می باشد. λ_i و ω_k وزن های کوکریجینگ هستند که باید تنظیم شوند. برای حالت مقارن دو معادله قبلی میتواند به صورت زیر نوشته شود:

$$E[\hat{Z}(x_0)] = E[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{k=1}^m \omega_k Y(x_k)]$$

$$= \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z(x_i)] + \sum_{k=1}^m \omega_k E[Y(x_k)]$$

(۱۲)

$$= m_z \sum_{i=1}^n \lambda_i + m_y \sum_{k=1}^m \omega_k$$

وزن های کوکریجینگ باید از روابط زیر تبعیت کند:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ و } \sum_{k=1}^m \omega_k = 0 \quad (13)$$

بنابراین معادله ۱۲ به رابطه ۱۴ تبدیل می شود:

$$[\hat{Z}(x_0)] = m_z \sum_{i=1}^n \lambda_i + m_y \sum_{k=1}^m \omega_k = m_z$$

(۱۴)

وزن های λ_i و ω_k از حل سیستم معادلات کوکریجینگ به دست می آید:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma_z(x_i - x_j) + \sum_{k=1}^m \omega_k \gamma_{zy}(x_i - x_k) + \mu_1 = \gamma_z(x_i - x_0), & i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{zy}(x_i - x_k) + \sum_{l=1}^m \omega_l \gamma_y(x_l - x_k) + \mu_2 = \gamma_{zy}(x_k - x_0), & k = 1, \dots, m \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \\ \sum_{k=1}^m \omega_k = 0 \end{cases} \quad (15)$$

که μ_1 و μ_2 پارامترهای لاگرانژ، $\gamma_y(h)$ تغییر نمای متغیر ثانویه، $\gamma_{zy}(h)$ نیم تغییر نمای عرضی متوسط های اقلیمی و متغیر ثانویه و $\gamma_z(h)$ تابع نیم تغییر نمای متوسط اقلیمی مورد مطالعه می باشد.

در این مطالعه میانگین مربعات خطا (MSE) برای تمام متغیرهای مورد مطالعه و روش های (IDW, OK, COK, KED) محاسبه گردید. اگر الگوتیم به کار رفته در روش های مورد استفاده صحیح باشد، مقدار MSE نزدیک صفر خواهد بود.

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج به دست آمده از روش های درون یابی مختلف و دقت هر روش بر متغیرهای هواشناسی و محیطی بارندگی (P)، دما (T)، رطوبت نسبی (RH) و تبخیر پتانسیل (Ep) مقایسه شد و میزان همبستگی متغیرها نسبت به هم مورد بررسی قرار گرفت. سپس تاثیر هر متغیر در افزایش دقت طبقه بندی اقلیمی مقایسه شد. بدین منظور برای ۴ روش درون یابی، متغیرهای بارندگی (P)، دما (T)، رطوبت نسبی (RH) و تبخیر پتانسیل (Ep) با گام های زمانی ماهانه و روزانه به کار گرفته شدند. برای شاخص تورنت وایت رطوبت نسبی و تبخیر پتانسیل نیز علاوه بر ارتفاع، بارندگی و دما، به عنوان متغیر ثانویه در روش های کو کریجینگ و کریجینگ با روند خارجی در نظر گرفته شدند و نتایج حاصل با هم مقایسه گردیدند.

شاخص اقلیمی تورنت وایت (Thornthwaite)

در شاخص تورنت وایت از داده های بارندگی و دما استفاده می گردد که روابط مربوطه در ادامه آورده شده است (Thornthwaite, 1984).

$$I = 115 \left(\frac{P}{T-10} \right)^{\frac{10}{9}} \quad I_{PE} = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (16)$$

$$I'_i = \frac{T-32}{4} \quad I_{TE} = \sum_{i=1}^{12} I'_i$$

که در این روابط T میانگین ماهانه دما به درجه فانهایت و P بارندگی متوسط ماهانه به اینچ میباشد.

کارایی روش های درون یابی

در این تحقیق درون یابی ها با استفاده از اعتبار سنجی عرضی یا متقاطع (cross-validation) ارزیابی می شوند. در این روش یکی از داده ها از مجموع کل داده ها ابتدا حذف شده و سپس با استفاده از تخمین گر های متفاوت برای داده های باقیمانده محاسبات به انجام می رسد (Isaaks & Srivastava, 1989). سپس میانگین مربع اختلاف داده های اندازه گیری شده $z(x_i)$ و پیش بینی شده $\hat{z}(x_i)$ به دست می آید و به عنوان معیار مقایسه برای متغیرهای مورد مطالعه استفاده می شوند.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - \hat{z}(x_i))^2 \quad (17)$$

جدول ۱- مقادیر MSE روش های مختلف برای درون یابی دما

Temperature	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Annual
OK	2.19	2.63	2.51	4.78	4.78	5.39	5.05	5.19	4.33	3.39	2.45	1.98	3.30
COK	0.004	0.005	0.004	0.006	0.008	0.009	0.008	0.009	0.005	0.006	0.004	0.003	0.006
KED	1.00	1.27	1.33	2.01	2.61	3.06	2.92	3.46	3.05	2.44	1.45	1.27	1.87
IDW	3.6	3.7	4.1	4.8	4.9	6.7	5.1	5.6	4.5	4	3.7	3.6	5.4

چهار روش مشابه بود، بطوریکه از ماه ژانویه تا جون مقدار MSE افزایش یافت که نشان می دهد دقت مدل ها از ماه های سرد به ماه های گرم کاهش یافته است (جدول ۱). با توجه به جدول (۲) در مورد بارندگی دو روش OK و IDW در ماه های گرم خطای بیشتری داشته اند اما روش های

متغیرهای هواشناسی

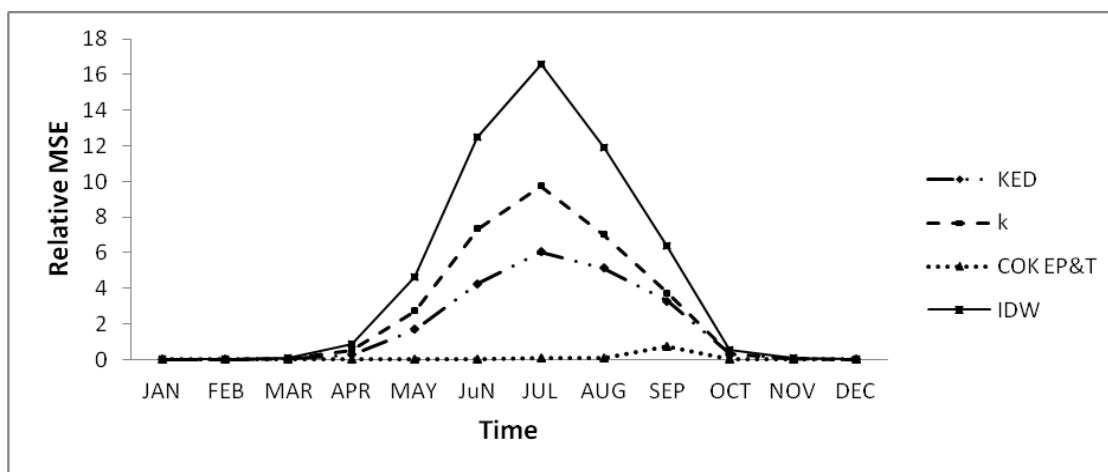
با توجه به مقادیر MSE در مورد دما روش COK از بین سایر روش ها بیشترین دقت و IDW کمترین دقت را داشتند (جدول ۱). همچنین الگوی تغییرات MSE برای هر

کوکرینجینگ دقیق تر از سه روش قبلی بود و مقادیر MSE کمتری داشت. همچنین با توجه به نمودار شکل ۲ مانند متغیر های قبلی در ماه های گرم مقدار MSE افزایش یافته است. اما یک استثنا در روش COK تبخیر پتانسیل (Ep) با دما به عنوان متغیر ثانویه دیده می شود که در ماههای گرم نیز مقدار MSE با ماه های سرد خیلی تفاوت ندارد، با توجه به این مورد می توان نتیجه گرفت که برای Ep استفاده از دما به عنوان متغیر ثانویه همانند ارتفاع دقت درون یابی ها را افزایش می دهد (شکل ۲).

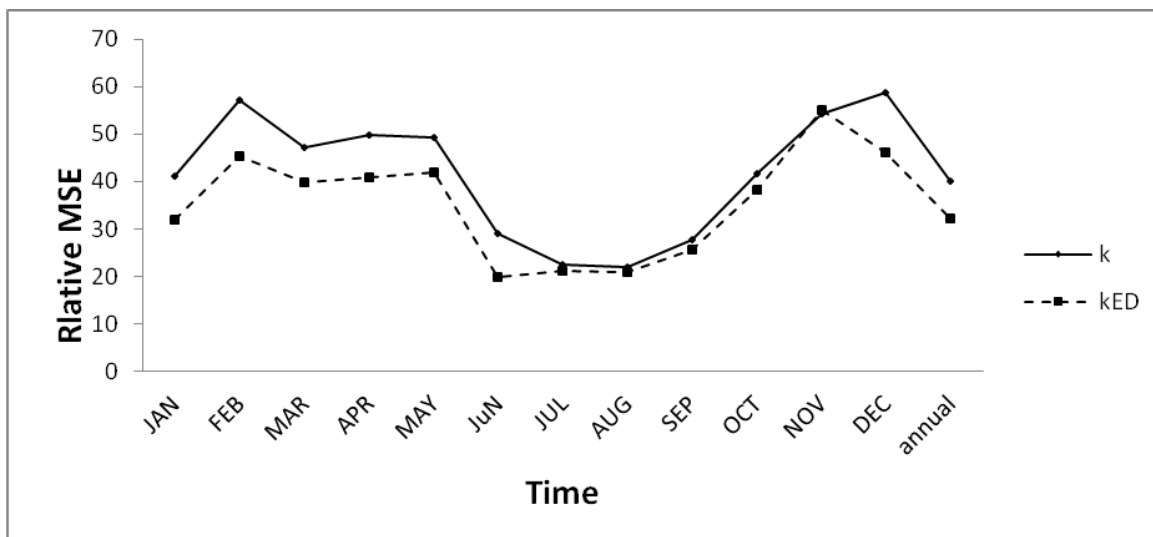
KED و COK که ارتفاع و DEM را به عنوان داده کمکی در نظر گرفته اند نتایج بهتری را نشان داد که مشابه نتایج (Goovaerts, 1999) می باشد و آن هم به این دلیل است که بارندگی های همرفتی در فصل بهار و تابستان در این منطقه بیشتر تحت تاثیر توپوگرافی های منطقه می باشند (جزوه درس سینوپتیک دکتر ثنایی نژاد، عزتیان، ۱۳۸۲، لشکری و امینی، ۱۳۸۹). به طور کلی روش KED از همه ی روش ها دقیق تر درون یابی بارندگی را انجام داده است (جدول ۲). در حالی که طبق شکل ۲ برای Ep روش

جدول ۲- مقادیر MSE روش های مختلف برای درون یابی بارندگی

precipitation	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	annual
KED	0.2	0.21	0.27	0.06	0.3	0.7	0.6	0.2	0.1	0.1	0.24	0.2	0.53
COK	0.4	0.41	0.47	0.36	0.5	0.8	0.65	0.2	0.15	0.3	0.2	0.5	0.75
IDW	1.6	1.7	2.1	1.8	1.8	4.7	3.1	1.4	2.5	2	1.7	1.6	3.4
OK	1.2	1.27	1.7	1.4	1.5	3.5	0.7	0.3	2	1.7	1.2	1.3	1.62



شکل ۲- نمودار MSE روش های درون یابی مختلف برای درون یابی تبخیر پتانسیل



شکل ۳- نمودار MSE روش K و KED به کار رفته برای درون یابی رطوبت نسبی (RH)

در مورد RH بین روش های K و KED تفاوت قابل ملاحظه ای مشاهده نشد (شکل ۳) و در این مورد نیز روش COK دقیق تر و IDW، با MSE بیشتر، کمترین دقت را نسبت به سایر روش ها داشت. با توجه مقادیر MSE روش کوکریجینگ (COK)، می توان نتیجه گرفت که رطوبت نسبی با ارتفاع همبستگی بالایی در این منطقه دارد. نکته مهم در درون یابی این متغیر کاهش مقادیر MSE در ماه های گرم بر عکس سایر متغیر ها و افزایش دقت درون یابی در این ماه ها بود، شاید به این دلیل که تغییرات رطوبت نسبی در تابستان منطقه مورد مطالعه به دلیل اقلیم خشک و نیمه خشک آن، قابل ملاحظه نیست.

شاخص اقلیمی تورنت وایت

از بین روش های طبقه بندی اقلیمی روش ساده تورنت وایت که متغیر های اصلی آن میانگین بارش و دما می باشند، انتخاب شد. این روش برای نشان دادن تاثیر کاربرد سایر متغیر های هواشناسی مانند رطوبت نسبی در پهنه بندی اقلیمی با استفاده از روش های چند متغیره زمین آمار به کار گرفته شد. همچنین دقت روش های درون یابی مختلف در پهنه بندی اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، برای شاخص اقلیمی در بین ۴ روش درون یابی به ترتیب

این OCK, KED, K, IDW دارای کمترین مقدار MSE بود. بدین معنی است که میزان خطای روش کوکریجینگ از سایر روش ها کمتر بود، و روش عکس فاصله (IDW) دارای بیشترین خطا در درون یابی شاخص اقلیمی بود (جدول ۳). در بررسی تاثیر متغیر های مختلف با استفاده از روش های چند متغیره (COK و KED)، مشاهده شد که به طور کلی دخیل کردن متغیر های هواشناسی همراه با تغییرات مکانی این متغیر ها در برآورد شاخص اقلیمی به بهبود نتایج کمک قابل ملاحظه ای می کند. و هنگامی که از متغیر هایی مانند ارتفاع یا رطوبت نسبی به عنوان متغیر ثانویه استفاده شد، دقت پهنه بندی اقلیمی افزایش یافت و تغییرات مکانی اقلیم در منطقه مورد مطالعه بیشتر نمایان شد. در این حالت به دلیل در نظر گرفتن تغییرات محلی متغیر های تاثیر گذار در اقلیم منطقه، معادلات مربوط به شاخص های تجربی اقلیمی به مقدار قابل ملاحظه ای دقیق تر شد. بنابراین با استفاده از روش های زمین آمار چند متغیره، دقت پهنه بندی اقلیمی افزایش یافت که با نتایج (مهدی زاده و همکاران، ۱۳۸۵) مشابه بود. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که مقدار MSE زمانی که ارتفاع، دما و E_p به عنوان متغیر ثانویه در نظر گرفته می شود، کاهش می یابد (جدول ۳). با توجه به)

نمودار ۴) مشخص شد که تاثیر بارندگی از بین متغیر های (دما، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر، ارتفاع) که به عنوان متغیر ثانویه در ترکیب با رابطه شاخص اقلیمی تورنت وایت در روش های درون یابی به کار رفت، در افزایش دقت درون یابی شاخص I_{TE} از بقیه موارد کمتر و در مورد شاخص I_{PE} دما کمترین تاثیر را در افزایش دقت درون یابی ها داشته است، چرا که مقادیر MSE بالاتری را نسبت به بقیه متغیر ها دارد. با توجه به نقشه های پهنه بندی اقلیمی حاصل از ۴ روش درون یابی، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، مشخص شد که روش های کوکریجینگ و کریجینگ با روند خارجی، نسبت به روش وزنی عکس فاصله و کریجینگ

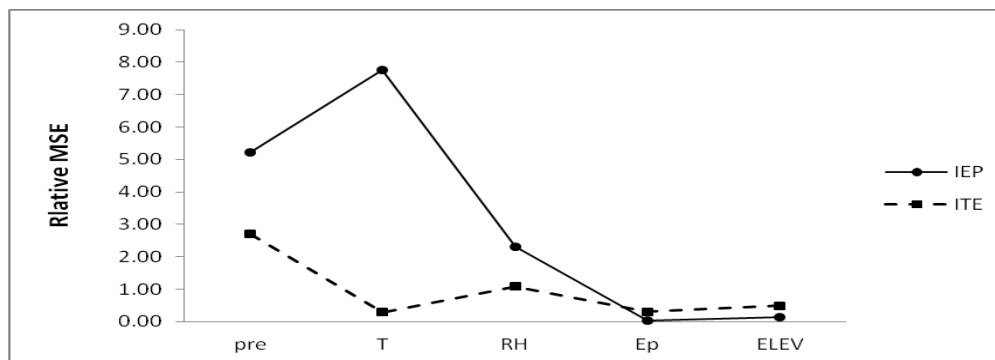
معمولی تغییرات مکانی اقلیم را بهتر نمایان ساخت. نقشه های پهنه بندی اقلیمی که با روش کریجینگ با روند خارجی (KED) بر اساس شاخص های کمی تورنت وایت به دست آمده است، در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴ که طبقه بندی اقلیمی روش تورنت وایت را نشان می دهد، قسمت های شمالی منطقه در اقلیم نیمه خشک و قسمت های جنوبی در اقلیم خشک قرار گرفته است که با نتایج (احمدیان وهمکاران، ۱۳۸۱) همخوانی دارد. در این تحقیق و با استفاده از روش های چند متغیره زمین آمار، تغییرات مکانی اقلیم با جزئیات بیشتری نمایان شده است (شکل ۵).

جدول ۳- مقادیر MSE روش KED برای ارزیابی میزان تاثیر هر کدام از متغیر های ثانویه در دقت درون یابی شاخص اقلیمی

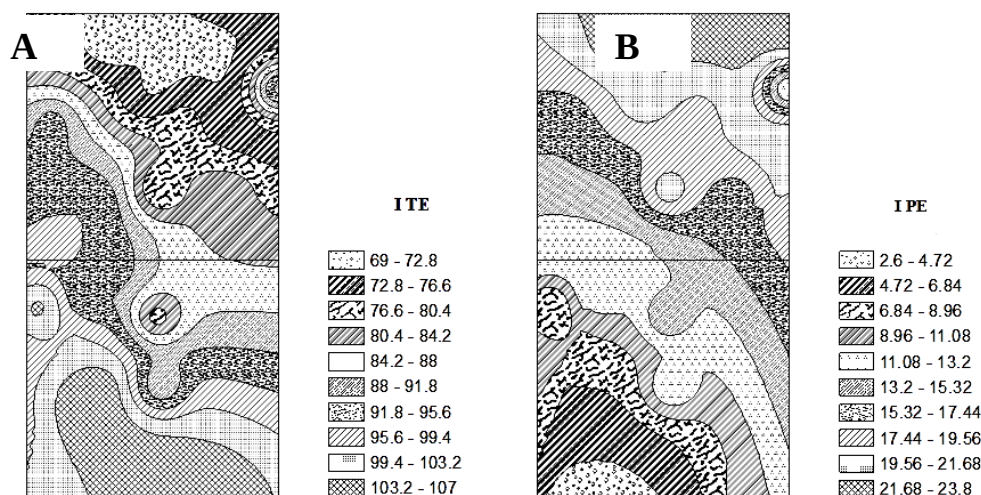
	pre	T	RH	Ep	ELEV
IEP	5.23	7.75	2.30	0.03	0.12
ITE	2.70	0.29	1.08	0.31	0.48

جدول ۴- تعیین اقلیم با استفاده از شاخص I_{PE} و شاخص I_{TE} روش تورنت وایت

I_{TE}	نام اقلیم	I_{PE}	نام اقلیم
≥ 128	حاره ای	≥ 128	خیلی مرطوب
64-127	معتدله	64-127	مرطوب
32-63	سرد	32-63	نیمه مرطوب
31-16,	تایگا	31-16,	نیمه خشک
<16	تندرا	<16	خشک



شکل ۴- نمودار MSE روش KED برای ارزیابی میزان تاثیر هر کدام از متغیر های ثانویه در دقت درون یابی شاخص اقلیمی



شکل ۵- پهنه بندی شاخص های کمی $I_{TE}(A)$ و $I_{PE}(B)$ تورنت وایت با روش KED و با کمک متغیر ثانویه DEM

نتیجه گیری

با سایر متغیرهای هواشناسی به عنوان متغیر ثانویه ترکیب میکند، با دقت بیشتری اجرا شد. همچنین متغیرهای ارتفاع و تبخیر به عنوان متغیرهای ثانویه نسبت به متغیر ثانویه بارندگی تاثیر بیشتری در افزایش دقت پهنه بندی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه داشت. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که با به کار بردن متغیرهای هواشناسی بیشتر و کمک گرفتن از روش های زمین آمار، می توان نقص کمبود متغیرهای هواشناسی و محیطی را در معادلات ساده و تجربی شاخص های اقلیمی تا حد زیادی جبران کرد و دقت پهنه بندی های اقلیمی را افزایش داد. که این یکی از مزیت های بسیار مهم این تحقیق به شمار می رود. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق پیشنهاد می شود که آنالیزهای مشابه برای سایر شاخص های اقلیمی در مناطق مختلف انجام گیرد. تا پهنه بندی های اقلیمی دقیق تری از لحاظ تغییرات مکانی به دست آید.

منابع

1. Adab, H., GH, Fallah ghalhary., R, Mirzabayati, 1387, Assessment kriging interpolation methods and linear regression based on DEM in mapping of

در این تحقیق کارایی روش های چند متغیره زمین آمار در افزایش دقت درون یابی و پهنه بندی متغیرهای هواشناسی و طبقه بندی اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طور کلی برای پهنه بندی متغیرهای هواشناسی روش های چند متغیره کوکریجینگ (COK) و کریجینگ با روند خارجی (KED)، نسبت به روش های تک متغیره، روش وزنی عکس فاصله (IDW) و کریجینگ معمولی (OK) دقت درون یابی بالاتری داشتند که با نتایج (Daly et al, 1994) مطابقت داشت. برای متغیر دما از بین ۴ روش درون یابی مورد استفاده، روش کوکریجینگ با متغیر ثانویه (رطوبت نسبی و ارتفاع)، دقیق تر از سایر روش ها بود. برای متغیر بارندگی روش کریجینگ با روند خارجی با متغیر ثانویه ارتفاع و DEM در بین ۴ روش مورد استفاده از دقت بالاتری برخوردار بود. برای متغیرهای رطوبت نسبی و تبخیر نیز روش کوکریجینگ درون یابی های دقیق تری را حاصل کرد. برای اغلب متغیرها دقت روش های درون یابی از ماه های سرد به ماه های گرم کاهش داشت. برای پهنه بندی اقلیمی با شاخص تورنت وایت نیز درون یابی مکانی با روش های چند متغیره که شاخص اقلیمی را برای هر ایستگاه محاسبه و

- into the Mapping of Precipitation. The IV International Conference on GeoComputation was hosted by Mary Washington College in Fredericksburg, VA, USA, on 25-28 July 1999.
10. Gouvas, M., Sakellariou, N., Xystrakis, F. (2009) The relationship between altitude of meteorological stations and average monthly and annual precipitation. *Studia Geophysica et Geodaetica* 53:4, 557-570
 11. Guisan, A., NE. Zimmermann, 2000, Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, No. 135, pp. 147-186.
 12. Hevesi, J.A., A.L. Flint and J.D. Istok, 1992b, Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II: Isohyetal maps. *Journal of Applied Meteorology*, No. 31, pp. 677-688.
 13. Hevesi, J.A., J.D. Istok and A.L. Flint, 1992a, Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, No. 31, pp. 661-676.
 14. Hudson, G., and H. Wackernagel, 1994, Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *Int. J. Climatol*, No.14, pp. 77-91.
 15. Isaaks, E. H., R. M. Srivastava, 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press: Oxford.
 16. Jafarpuor, A., 1371, *Climatology*, Tehran University, 332 pages.
 17. Jeffrey, S.J., J.O. Carter, K.B. Moodie, A.R. Beswick, 2001, Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of australian climate data. *Environmental Modelling and Software* No.16, 309-330.
 18. Journel, A.G., C.J. Huijbregts, 1978, *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York.
 - the annual rainfall in Khorasan Razavi province, *Geomatics* 87, Tehran, national mapping agency.
 2. Ahmadiyan, J., D. Sheibani., H. Araghi., R. Shirmohamadi., M. Mojarad., 1381, Agriculture Climate classification for water resources management in the country's sustainable development, the Eleventh Congress of the Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Tehran December 1381, Pages 593-605.
 3. Ahmed, S., G. De Marsily, 1987, Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resourc.Res*, No. 23(9), pp. 1717-1737.
 4. Alijani, B., M. Kaviyani, 1377, *Principles of Meteorological Tehran*, the Organization study books codification; Humanities University.
 5. Burrough, P.A., R.A. McDonnell, 1998, Creating continuous surfaces from point data. In: Burrough, P.A. Goodchild, M.F. McDonnell, R.A. Switzer, P. Worboys, M. (Eds.), *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, UK.
 6. Daly, C., R.P. Neilson and D.L. Phillips, 1994, A statistical topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, No. 33 (2), pp. 140-158.
 7. Eischeid, J., P. Pasteris, H. Diaz, M. Plantico, N. Lott, 2000, Creating a serially complete, national daily time series of temperature and precipitation for the western United States. *Journal of Applied Meteorology*, No. 39, 1580-1591.
 8. Ezatiyan, V, 1382, The role of physical processes in the atmospheric resonance instability, the Iranian Geophysical Conference
 9. Goovaerts, P., 1999, Performance Comparison of Geostatistical Algorithms for Incorporating Elevation

19. Lashkari, H., M, Amini, 1389, Synoptic analysis and zonation of hail precipitation data for the period (1996-2005) in the Greater Khorasan, Journal of Geography and Planning, Tabriz University, No. 31, pp. 51-108.
20. Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics. Economic Geology 58 (8), 1246-1266. Mueller, T.G., Pierce, F.J., Schabenberger, O., Warncke, D.D., 2001. Map quality for site-specific fertility management. Soil Science Society of America Journal 65, 1547-1558
21. McBratney, A. B. and Webster, R. 1983. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties. V. Coregionalization and multiple sampling strategy. European Journal of Soil Sciences. 34: 137-162
22. Mehdizadeh, M., M, H, Mahdian., S, Hajjam, 1385, the performance of Geostatistical methods in climate zoning Lake Basin, Earth and Space Physics, Volume 32, Issue 1, pp. 103-116.
23. Nadi, M., AS, KHalili., K, Puortahmasebi, G, Bazrafshan, 1389, Assessing new methods for geostatistical interpolation of rainfall data in Chahar Bagh Gorgan, Geophysics Conference of Iran, Tehran, 11-13 may, Institute of Geophysics, oral literature, physics, space, page 10-13.
24. Rogelis, M. C. Werner, M. G. F (2013) Spatial Interpolation for Real-Time Rainfall Field Estimation in Areas with Complex Topography. Journal of Hydrometeorology 14:1, 85-104.
25. Saghafiyan, B., H, Razmkhah., B, GHermeszcheshmeh, 1390, Investigation of regional variation of annual rainfall with geostatistical methods (Case Study: Fars Province), Journal of Water Resources Engineering, fourth year, 29-38 pages.
26. Subyani. A, (2004) Geostatistical study of annual and seasonal mean rainfall patterns in southwest Saudi Arabia / Distribution geostatistique de la pluie moyenne annuelle et saisonniere dans le Sud-Ouest de l'Arabie Saoudite. Hydrological Sciences Journal 49:5, 803-817
27. Tavoosi, T., Gh, Delara, 1389, Climatological zoning of Ardabil Province, scientific and technical journals Nyvar, No. 71, -70.
28. Teimory, M., M, Abdollahi, B, Hasannezhad., P, Gerai, 1390, The drought index trend in Iran, the first national conference on drought and climate change, May 1390, water shortages and drought Research Center for Agriculture and Natural Resources.
29. Thornthwaite, C. W., 1948, An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, Vol. 38, No. 1. (Jan., 1948), pp. 55-94.