

## ارزیابی و مقایسه مکانی - زمانی مدل MM5 با استفاده از الگوریتم تشابه

نگار سیابی<sup>\*۱</sup> - سید حسین ثنایی نژاد<sup>۲</sup> - بیژن قهرمان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

### چکیده

داشتن درک درستی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای هواشناسی در مطالعات محیطی از اهمیت بسزایی برخوردار است. اخیراً از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی هواشناسی در تحقیقات بسیاری استفاده می‌شود. با این وجود برای بررسی چگونگی تغییرات زمانی و مکانی نتایج حاصل از مدل‌ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. بر این اساس و با توجه به اهمیت این موضوع یک رویکرد زمانی - مکانی در این مقاله بررسی می‌شود. در این رویکرد نتایج پیش‌بینی مدل میان مقیاس MM5 با مجموعه داده‌های مشاهده‌ای، برای میانگین ماهانه و سالانه دما و بارش در دوره سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۰ در منطقه شمال شرق ایران مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این تحقیق ارزیابی کمی شباهت مکانی و زمانی بین مجموعه داده‌ها و مدل آب و هوایی، و نیز شناسایی مناطق جغرافیایی و فصولی که در مدل سازی‌ها مشکل‌ساز می‌باشند انجام شده است. این کار با استفاده از نقشه‌های تهیه شده بر مبنای الگوریتم تشابه<sup>۵</sup> جبری، که یک روش موثر برای تحلیل مجموعه داده‌های مکانی مختلف، نقشه‌ها و مدل‌ها می‌باشد، انجام شد. مشخص شد که شباهت داده‌های واقعی با نتایج مدل برای متغیر دما بیش‌تر از بارندگی است. نتایج حاصل از مدل برای بارش و دما در فصل‌های گرم سال در مقایسه با داده‌های واقعی از لحاظ پراکندگی مقادیر تشابه، تناقض داشت. همچنین در فصل‌های سرد سال پیش‌بینی دقیق‌تری به وسیله مدل ارائه شده است. علاوه بر این چند منطقه که در آنجا خطای پیش‌بینی بیش‌تر بود به وسیله الگوریتم نقشه‌پردازی تشابه شناسایی شدند. این تحلیل نشان داد که در محدوده‌های کوچکی از جنوب و ناحیه مرکزی منطقه مورد مطالعه بین مدل و داده‌های واقعی تشابه کم‌تری وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم، تغییرات مکانی - زمانی، مدل پیش‌بینی عددی، مقایسه تشابه

### مقدمه

تغییرپذیری ناحیه‌ای به صورت موفقیت‌آمیزی از حدود چهل سال پیش در درون‌یابی متغیرهای مختلف محیطی مورد استفاده قرار گرفت (۱۶). این فرضیه تغییرات را به صورت نیمه تغییر نما و یک تکنیک درون‌یابی که کریجینگ نام دارد، ارائه می‌دهد (۶). روش‌های مختلف استفاده از تکنیک زمین‌آمار در علوم محیطی توسط محققان مورد استفاده و مقایسه قرار گرفته است. گوارتز (۷)، ارتفاع را در تحلیل‌های تخمین بارندگی با استفاده از روش کوکریجینگ دخیل کرد. اچید و همکاران (۴)، از شش روش مختلف درون‌یابی برای تهیه داده‌های روزانه دما و بارندگی در آمریکا استفاده کردند. هر یک از این روش‌ها با داده‌های ماهانه برای هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها از مدلی با ضریب همبستگی زیاد با داده‌های هر ایستگاه استفاده کردند تا مقادیر گم شده را تخمین زده و در موقعیت‌های مربوط قرار دهند. گواس و همکاران (۸)، با روش‌های زمین‌آمار، به بررسی رابطه بین ایستگاه‌های هواشناسی و میانگین بارش ماهانه و سالانه پرداختند. روگلیس و ورنر (۲۰) برای برآورد بارش واقعی در مناطق با ناهمواری پیچیده از روش‌های زمین‌آمار استفاده کردند. مهدی‌زاده و همکاران (۱۷) کارایی روش‌های زمین

مدل‌سازی آب و هوا، همگون‌سازی داده‌ها و اعتبار سنجی مدل نقش مهمی در درک پیچیدگی سیستم‌ها ایفا می‌کند. نتایج خروجی مدل‌های پیش‌بینی عددی مانند MM5 به صورت نقشه‌های مکانی در زمینه‌های فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرفی آگاهی از چگونگی تغییرات متغیرهای هواشناسی و محیطی در طول زمان و در مکان‌های مختلف در بسیاری از مطالعات محیطی و کاربردی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. به همین علت روش‌های مختلفی برای بررسی الگوهای تغییر مکانی و زمانی متغیرها مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، روش‌های زمین‌آمار است، تئوری

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* نویسنده مسئول: (Email: negarsiabi63@gmail.com)

4- Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research mesoscale model  
5- Similarity Algorithm

شبیه‌سازی سامانه‌های میان مقیاس در منطقه می‌باشد. با افزایش تراکم شبکه و ریز تر شدن مقیاس شبکه، میدان بارش به دست آمده از دقت بیش‌تری برخوردار می‌شود. با این حال برای صحت‌سنجی دقیق‌تر مدل ایجاد شبکه‌های دیدبانی با تراکم بالاتر ضروریست. هدایتی دزفولی و آزادی (۱۰)، پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 را روی ایران مورد بررسی قرار داده و راستی‌آزمایی کردند. آن‌ها با توجه به ویژگی‌های ناهمواری، اقلیمی و میانگین بارش، کشور را به ۹ منطقه تقسیم کردند و برای هر منطقه جداگانه تحلیل راستی‌آزمایی انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که توانایی مدل برای آستانه‌های بارش بسیار کم و زیاد در مناطق جنوبی و شمالی بیش‌تر است و خروجی مدل دقت بیش‌تری دارد. با توجه به موارد ذکر شده هدف از این تحقیق بررسی هم‌زمان تغییرات مکانی - زمانی نتایج مدل MM5 و مقایسه آن با داده‌های واقعی بر اساس الگوریتم تشابه می‌باشد. به عبارت دیگر تلفیق تکنیک‌های زمین‌آمار و الگوریتم تشابه برای بررسی مکانی زمانی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل MM5 با داده‌های واقعی در دستور کار این تحقیق قرار گرفت. هم‌چنین در این مقاله بعد دیگری از تحلیل زمانی به صورت فصلی برای فصل تابستان و زمستان در نظر گرفته شد. به طور خلاصه سوالات اساسی در اعتبار سنجی مکانی زمانی مدل MM5 در این مقاله به شرح زیر می‌باشد: تا چه اندازه و در چه جاهایی مجموعه داده‌ها با نتایج مدل هم‌خوانی دارد؟ اختلاف بین داده‌ها و مدل چگونه با مناطق جغرافیایی تغییر می‌کند؟ تاثیرهای فصلی تا چه اندازه بوده و پراکنندگی مکانی آن‌ها چگونه می‌باشد؟ از این رو اهداف تحقیق عبارتند از: ۱- دستیابی به تشابه کمی بین مجموعه داده‌ها و مدل اقلیمی، برای دما و بارندگی در یک محدوده خاص. ۲- مشخص کردن نواحی جغرافیایی که در مدل سازی مشکل ساز می‌باشند ۳- جستجو درباره اختلافات فصلی در توافقات و تناقضات داده‌های مدل.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) شمال شرق ایران (استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی) می‌باشد که در محدوده طول جغرافیایی ۵۵ تا ۶۱ درجه و عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۸ درجه قرار دارد. وسعت این منطقه ۳۱۳۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و بلندترین نقطه با ۳۳۰۰ متر ارتفاع در قله بینالود واقع است. پایین‌ترین نقطه با ارتفاع ۲۵۰ متر بالاتر از سطح دریا در محل خروجی دشت سرخس قرار گرفته است. آب و هوای منطقه مورد مطالعه بسیار متنوع و بیش‌تر نیمه خشک تا خشک است (۱).

در این مطالعه داده‌های مشاهده‌ای (واقعی) مربوط به دو متغیر دما و بارندگی برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۰ به صورت ماهانه و سالانه از

آمار را در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار داده و با مقایسه خطای آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آمار از روش‌های کلاسیک بهتر است. نادری و همکاران (۱۹) روش‌های جدید زمین‌آمار را برای میان‌یابی بارش در منطقه چهار باغ گرگان استفاده کردند و روش‌ها را از نظر دقت درون‌یابی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج روش‌های زمین‌آمار به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی است، اما این نقشه‌ها به صورت کیفی و چشمی و برای تعداد محدودی از نقشه‌ها و به صورت تک متغیره قابل مقایسه است (۱۵). برای مقایسه کمی هم‌زمان تعداد زیادی از نقشه‌ها با چندین متغیر و نیز انجام این مقایسه به صورت تلفیقی مکانی و زمانی، روش‌های مختلفی پیشنهاد می‌شود. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم تشابه می‌باشد. الگوریتم تشابه یک روش مقایسه کمی هم‌زمان تعداد زیادی داده است که می‌تواند در قالب نقشه‌ها و یا خروجی مدل‌ها باشد. این الگوریتم اولین بار برای اکتشاف نفت مورد استفاده قرار گرفت (۱۱). الگوریتم تشابه با استانداردسازی مقادیر هر نقشه در نقاط شبکه و مقایسه اختلاف مقادیر از هر تعداد دلخواه نقشه، امکان بررسی هم‌زمان چندین متغیر و تعداد زیادی نقشه را به صورت کمی فراهم می‌کند. بنابراین این الگوریتم می‌تواند یکی از روش‌های موثر برای تحلیل مکانی و زمانی هم‌زمان متغیرها باشد (۱۸). این در حالی است که تحقیقات اندکی در این زمینه در کشور صورت گرفته است.

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عددی مانند MM5 در مطالعات مختلف افزایش یافته است. اما تحقیق زیادی در مورد چگونگی تغییرات مکانی و زمانی نتایج مدل و مقایسه تشابه مکانی - زمانی آن با داده‌های واقعی به صورت کمی انجام نگرفته است. یامازاکی و ارگاژ (۲۴)، بارش میان مقیاس را با استفاده از مدل MM5 و با تکنیک داده‌گواری چهار بعدی برای قسمت شرقی آتلانتیک شمالی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد این روش به طور قابل ملاحظه‌ای توان و دقت مدل را در پیش‌بینی بارش برای محدوده‌های مختلف افزایش می‌دهد. اکثر و اسلام (۳) از مدل MM5 برای پیش‌بینی وضع هوا در منطقه بنگلادش استفاده کردند. آن‌ها مدل را با دو تفکیک مکانی ۴۵×۴۵ و ۱۵×۱۵ کیلومتر مربع اجرا کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل MM5 با هر دو تفکیک مکانی، قابلیت خوبی برای پیش‌بینی بارش حداکثر برخوردار است. سیلوا و همکاران (۲۱)، از داده‌های خروجی مدل پیش‌بینی عددی آب و هوا برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع در شیلی مرکزی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده‌های تصحیح شده مدل MM5 برای تخمین تبخیر و تعرق در بهبود و افزایش دقت محاسبات موثر بوده است. وظیفه و همکاران (۲۳)، تفکیک افقی مدل میان مقیاس منطقه‌ای MM5 و اثر آن را در پیش‌بینی برخی کمیت‌های جوی برای سه مورد از سامانه‌های هم‌دیدگی فصل سرد سال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل به خوبی قادر به

در دسترس محاسبه می‌شوند به طوری که کمترین انحراف معیار به دست آید. میزان تغییرات انحراف نقاط فضایی توسط نیمه تغییر نما<sup>۴</sup> تعیین می‌شود. این پارامتر تابعی است که از محاسبه نصف مجموع مربعات اختلاف مقادیر به دست می‌آید (۱۴).

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

که در آن  $\gamma(h)$  مقادیر نیمه تغییر نمای تجربی در فواصل  $h$  و  $N(h)$  تعداد جفت نقاط در طبقه خاصی از فاصله و جهت،  $X_i + h$  و  $X_i$  مکان های نمونه برداری که با فاصله  $h$  از هم جدا شده اند و  $Z(X_i + h)$  و  $Z(X_i)$  مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر  $Z$  در مکان های ذکر شده می‌باشند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر ناهمواری و ارتفاع در مدل‌سازی از روش های چند متغیره برای تهیه نقشه‌های تحلیل مکانی ورودی استفاده شد. لایه مدل ارتفاعی رقومی<sup>۵</sup> منطقه مورد مطالعه نیز، به عنوان متغیر ثانویه (کمکی) برای درون یابی متغیرهای اصلی دما و بارندگی به کار گرفته شد.

### کریجینگ با روند خارجی (KED<sup>۶</sup>)

در این روش امید ریاضی متوسط طولانی مدت هر پارامتر هواشناسی و هر متغیر به صورت تابع تصادفی  $Z(x)$  که تابع خطی از ارتفاع یا هر متغیر دیگر می‌باشد در نظر گرفته شده است (۲، ۱۲).

$$E[Z(x)] = a_1 + a_2 h(x) \quad (2)$$

### کوکر جینگ (COK<sup>۷</sup>)

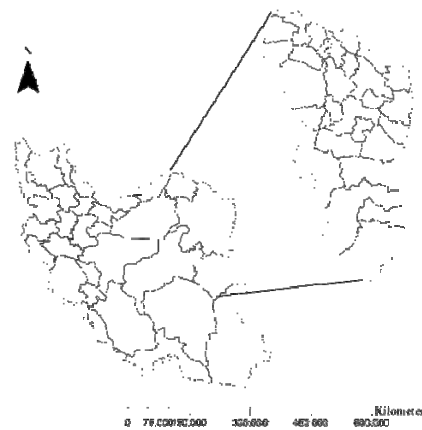
روش کوکر جینگ نسخه اصلاح شده روش کریجینگ است. که برای ترکیب یک یا چند متغیر تصادفی به کار می‌رود. در روش کوکر جینگ متغیر اولیه با متغیر ثانویه همبستگی دارد. در این روش از نیم تغییر نمای عرضی استفاده می‌شود (۱۳). این گونه نیم تغییر نما به منظور عددی کردن تقاطع مکانی بین متغیرهای خود همبسته اصلی به کار می‌رود و از رابطه<sup>۳</sup> به دست می‌آید.

$$\gamma_{zs}(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x) - Z(x+h))(Y(x) - Y(x+h))] \quad (3)$$

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. از ساختار همبسته عرضی برای تخمین  $Z(x_0)$  بر اساس متغیر اولیه  $Z: Z(x_1), \dots, Z(x_n)$  و متغیرهای ثانویه:  $Y: Y(x_1), \dots, Y(x_m)$  استفاده شد. بهترین تخمین خطی مقادیر  $Z$  در مکان  $x_0$  از معادله زیر محاسبه شد (۶، ۷):

سازمان هواشناسی و وزارت نیرو دریافت شد. مجموعه داده‌های ماهانه میانگین بارندگی و دمای مربوط به پیش‌بینی مدل MM5، با تفکیک مکانی  $0.5 \times 0.5$  درجه برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۰ نیز از سایت سازمان‌های<sup>۱</sup> NASA،<sup>۲</sup> NOAA و<sup>۳</sup> UCAR بر اساس طول و عرض منطقه مورد مطالعه تهیه شدند (۵). این سازمان‌ها از معتبرترین مراکز ارائه دهنده داده در زمینه علوم محیطی می‌باشند و مجموعه‌ای از داده‌های مختلف، به صورت روزانه، ماهانه و کاربردهای مختلف در سایت این سازمان‌ها قرار داده شده است. به دلیل فرمت‌های مختلف داده‌ها، تبدیل فرمت انجام شد تا همه مجموعه داده‌ها از فرمت یکسانی برخوردار باشند (۲۲).

با استفاده از نرم افزار GS+ و ArcGis نقشه‌های تحلیل مکانی هر یک از متغیرها در سال‌های مورد مطالعه (۲۰ سال) به صورت ماهانه و سالانه برای دو متغیر دما و بارندگی (برای ۱۲ ماه سال دوره آماری و دو سری داده مدل و داده‌های واقعی) تهیه شدند. بدین صورت در مجموع ۹۶۰ نقشه تحلیل مکانی ورودی الگوریتم تشابه تهیه شد. سپس الگوریتم‌های استاندارد سازی و تحلیل‌ها با برنامه‌نویسی در نرم افزار MATLAB برای هر نقطه شبکه از نقشه‌ها اجرا شد. برنامه الگوریتم تشابه نیز در نرم افزار MATLAB نوشته شد و بر روی تمامی نقشه‌ها اجرا شد تا تشابهات در بین مجموعه داده‌ها و نتایج مدل از لحاظ تحلیل مکانی و زمانی کشف شود. در نهایت نتایج به صورت نقشه توسط نرم افزار MATLAB ترسیم شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Figure 1- Location of the study area

### روش‌های زمین آمار

در همه روش‌های درون یابی، نتایج از میانگین وزنی داده‌های

4- Semivariogram

5 - Digital Elevation Model

6 - Kriging with an External Drift

7- Co-Kriging

1- National Aeronautic and Space Administration

2- National Oceanic and Atmospheric Administration

3- University Corporation for Atmospheric Research

می‌باشد. اگر  $M$  نشان دهنده منطقه نقشه و  $n$  تعداد نقشه‌های ورودی، و  $M_1, \dots, M_n$  نقشه‌های ورودی با  $\overline{m_k(x)}$  مقدار استاندارد شده نقشه  $M_k$  در مکان  $x$  باشد. برای هر نقطه شبکه  $x \in M$  ماتریس اختلاف  $D(x) \in R^{n,n}$  با آرایه‌های  $d_{st}(x) = \overline{m_s(x)} - \overline{m_t(x)}$  شکل می‌گیرد. بین  $M_t, M_s$  که  $t = 1, \dots, n, s = 1, \dots, n$  می‌باشد، همان‌طور که  $x$  در منطقه مطالعه تغییر می‌کند،  $D(x)$  به صورت یک ماتریس تابعی تعریف می‌شود. اکنون یک تابع برداری اکیدا مثبت بزرگ‌تر مساوی صفر در  $R^{n,n}$  به صورت زیر تعریف می‌کنیم

$$F(x) = \frac{1}{k} \sum_{s < t, t=1}^n |d_{st}(x)| \quad (۶)$$

که در آن  $k = \frac{n(n-1)}{2}$  تعداد مقایسه‌های مختلف دو به دو در میان  $n$  نقشه می‌باشد.  $F(x)$  میانگین اختلاف بین نقشه‌ها در مکان  $x$  را نشان می‌دهد و بنابراین مقدار  $F(x)$  کم خواهد بود چنانچه نقشه‌ها مشابه باشند و زیاد خواهد بود اگر نقشه‌ها متفاوت باشند.

با محاسبه  $F(x)$  برای تمام منطقه مورد مطالعه، برای هر موقعیت  $x \in M$  یک مدل شبکه‌ای برای نقشه تشابه  $F$  ساخته شد. این مدل شبکه می‌تواند به عنوان یک نقشه که مقادیر نسبی را نشان می‌دهد در نظر گرفته شود. اگر نسبت محدوده استانداردسازی به کار رود، پس مقادیر در نقشه تشابه بین مقادیر ۰ و ۱ خواهد بود. مقادیر زیر ۰/۲ تشابه خوب در مقایسه ۹ نقشه یا بیش‌تر، و مقدار بالای ۰/۴ تشابه ضعیف را نشان می‌دهد (۱۱).

## نتایج و بحث

در این مطالعه شبکه دما و بارندگی مدل MM5 برای سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفته و با داده‌های مشاهده‌ای که در تحقیقات مختلف از آن‌ها استفاده می‌شود، مقایسه شده است. ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ و ۲ آمده‌اند.

## روش‌های زمین آمار

با توجه به هدف پژوهش، یعنی در نظر گرفتن ناهموازی و اثرات ارتفاع در پیش‌بینی مدل MM5، از روش‌های زمین آمار چند متغیره (کوکرینجینگ و کرینجینگ با روند خارجی) برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های مکانی استفاده شد. هر دو الگوریتم روی داده‌ها اجرا شد، و با توجه به مقادیر مربع میانگین خطا (MSE) بهترین روش درون‌یابی برای هر متغیر انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بررسی دقت این روش‌ها و مقادیر MSE متغیر دما و متغیر بارندگی، به ترتیب در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. هر چه مقدار MSE کم‌تر و به صفر نزدیک‌تر باشد، روش مورد استفاده خطای کم‌تری در شبیه‌سازی داشته است. طبق جدول ۳ در شبیه‌سازی مقادیر دما، روش کوکرینجینگ (COK) با مقادیر MSE کم‌تر، نسبت به روش

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{k=1}^m \omega_k Y(x_k) \quad (۴)$$

که  $Z(x_i)$  مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر اولیه  $Z$  در مکان  $(x_i)$ ،  $i = 1, \dots, n$  و  $Y(x_k)$  مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر ثانویه  $Y$  در مکان  $(x_k)$ ،  $k = 1, \dots, m$  می‌باشند.  $\lambda_i$  و  $\omega_k$  وزن‌های کوکرینجینگ هستند که باید تنظیم شوند.

## نقشه‌های حاصل از تشابه جبری

به طور خلاصه، الگوریتم مقایسه‌ی نقشه از یک عملگر نقطه به نقطه بهره می‌گیرد، که در مقایسه جفتی هر تعداد نقشه، ترکیبی از اختلاف بین مقادیر استاندارد شده را محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر عملگر تشابه در سراسر منطقه مورد مطالعه حرکت کرده و مقادیر تشابه را در هر نقطه شبکه مربوط به انبوهی از نقشه‌ها بیرون می‌کشد. زمانی که داده‌ها از منابع مختلف، یا متغیرها دارای واحدهای متفاوت باشند، لازم است استاندارد سازی انجام شود. در این تحقیق از تبدیل خطی محدوده داده‌ها به فواصل (۰،۱) استفاده شد و محاسبات در داخل مرز جغرافیایی محدوده مورد مطالعه انجام گردید. در این مقاله نسبت محدوده استانداردسازی<sup>۱</sup> به کار رفت که به صورت زیر تعریف می‌شود:

## تعریف نسبت محدوده استاندارد سازی

اگر  $y_{maxj}$  و  $y_{minj}$  مقادیر بیشینه و کمینه باشند که در متغیر  $y_j$  مشاهده شده هستند (برای  $j = 1, \dots, n$  که  $n$  تعداد متغیر هاست، مانند دما، بارندگی، رطوبت)، و  $y_{ij}$  مشاهدات  $y_j$  هستند (برای  $i = 1, \dots, T_j$  که  $T_j$  تعداد مشاهدات روی  $y_j$  است)، پس نسبت محدوده استانداردسازی با معادله (۵) تعریف می‌شود (۹، ۱۱):

$$z_p(y_{ij}) = \frac{y_{ij} - y_{minj}}{y_{maxj} - y_{minj}} \quad (۵)$$

با این روش اهمیت تمام داده‌ها یکسان است و با توزیع یکنواخت همراه می‌باشد. توزیع واقعی متغیرها بستگی به انتخاب منطقه مورد مطالعه دارد و اغلب از پیچیدگی فراوانی برای متغیرهای محیطی مکانی یا داده‌های آب و هوایی و اقلیمی در مناطق با ناهموازی پیچیده برخوردار می‌باشد. در چنین مواردی فرض توزیع یکنواخت نسبت به توزیع گوسن، معمولاً به نتایج بهتری در تحلیل‌ها می‌انجامد (۹).

## الگوریتم تشابه

الگوریتم مقایسه جبری نقشه بر اساس محاسبه میانگین‌های وزنی تخصیص یافته بین مقادیر استاندارد شده هر جفت نقشه، برای هر نقطه از نقشه (در عمل، برای هر گره یک شبکه زمینه مشترک)

بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ تغییر کرده و بخش زیادی از مساحت منطقه را در بر گرفته است.

جدول ۱- آماره‌های عمومی متغیر دما

Table 1- General statistics of temperature variable

period	دما Temperature (°C)			
	Mean	Std.dev	Min	Max
Jan	3.56	1.94	0.50	6.80
Feb	5.55	2.28	1.70	9.30
Mar	10.06	2.25	6.40	13.40
Apr	16.66	2.49	13.10	20.50
May	21.49	2.83	17.40	25.80
Jun	26.35	2.88	22.20	30.60
Jul	28.18	2.66	24.30	32.10
Aug	26.56	2.56	23.10	30.70
Sep	22.38	2.50	18.90	26.50
Oct	16.51	2.28	13.60	20.10
Nov	10.59	1.94	8.10	13.80
Dec	5.76	1.78	3.10	9.00
Annual	16.14	2.32	12.80	19.80

جدول ۲- آماره‌های عمومی متغیر بارندگی

Table 2- General statistics of precipitation variable

period	بارندگی (میلی متر) Precipitation (mm)			
	Mean	Std.dev	Min	Max
Jan	28.03	6.06	19.09	41.88
Feb	29.37	7.38	14.08	43.72
Mar	40.93	13.49	17.58	63.91
Apr	26.84	9.95	10.81	43.41
May	12.54	10.36	1.151	31.72
Jun	2.94	3.13	0.15	9.52
Jul	1.10	1.90	0	7.51
Aug	0.51	1.15	0	4.81
Sep	1.82	2.77	0.02	11.49
Oct	4.35	3.51	0.82	12.68
Nov	13.87	8.22	2.81	32.03
Dec	20.73	6.41	10.44	38.98
Annual	183.02	62.45	88.06	297.91

جدول ۳- مقادیر MSE روش‌های مختلف درون‌یابی دما

Table 3-. MSE values of different interpolation methods for temperature

Temperature	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Annual
COK	0.003	0.004	0.003	0.006	0.007	0.008	0.007	0.009	0.005	0.006	0.003	0.003	0.006
KED	1.10	1.20	1.30	2.11	2.51	3.26	2.92	3.41	3.15	2.34	1.25	1.17	1.57

جدول ۴- مقادیر MSE روش‌های مختلف درون‌یابی بارندگی

Table 4-. MSE values of different interpolation methods for precipitation

Precipitation	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Annual
KED	0.25	0.26	0.27	0.05	0.29	0.68	0.55	0.21	0.12	0.14	0.22	0.25	0.49
COK	0.43	0.44	0.47	0.37	0.53	0.78	0.67	0.23	0.17	0.34	0.23	0.51	0.77

کریجینگ با روند خارجی (KED) دقیق‌تر است. لذا برای درون‌یابی مقادیر دما از روش COK استفاده شد.

با توجه به جدول ۴ در شبیه‌سازی مقادیر بارندگی، تفاوت بین دقت دو روش در بعضی از ماه‌ها معنی‌دار نیست، اما به طور کلی روش KED مقادیر MSE کم‌تری نسبت به روش COK دارد. بنابراین در این مطالعه برای درون‌یابی و تحلیل مکانی بارندگی روش KED مورد استفاده قرار گرفت.

### ارزیابی و مقایسه مکانی-زمانی نتایج مدل MM5 با مجموعه داده‌های مشاهده‌ای

در مطالعه حاضر بعد از استانداردسازی نقشه‌های ورودی و اجرای الگوریتم تشابه و حل ماتریس تابعی الگوریتم، نقشه‌های تشابه حاصل شد. سپس با مقایسه نقشه‌های نتایج مدل و سایر مجموعه داده‌ها با یکدیگر، تشابهات و توافقات مدل MM5 و داده‌های واقعی دما و بارندگی به دست آمد. با توجه به نقشه‌های تشابه تولید شده و مقادیر F حاصل از رابطه ۶ که میانگین اختلاف هر نقطه شبکه بین نقشه‌های مقایسه شده را نشان می‌دهد، مناطق جغرافیایی که در مدل‌سازی مشکل ساز بودند شناسایی و اختلافات فصلی در پیش‌بینی مدل مورد بررسی قرار گرفت. آنچه در تحلیل نقشه‌های تشابه مد نظر قرار می‌گیرد مقدار F و یکنواختی مکانی توزیع این مقادیر است. هر چه عدد F کمتر و توزیع آن یکنواخت‌تر باشد، تشابه میان پیش‌بینی و داده واقعی بیش‌تر خواهد بود. طبقه‌بندی مقادیر F در جدول ۵ نشان داده شده است.

### مقایسه داده‌های مشاهده‌ای دما و نتایج مدل MM5

شکل ۲ مقادیر F و چگونگی توزیع جغرافیایی آن را در منطقه مورد مطالعه برای متغیر دما نشان می‌دهد. این مقادیر از مقایسه نقشه‌های استاندارد شده مقادیر واقعی و مدل حاصل شده است. شکل (۲- الف) مربوط به فصل‌های سرد و شکل (۲- ب) مربوط به فصل‌های گرم می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در فصل سرد (شکل ۲- الف) مقادیر F در منطقه مورد مطالعه بیش‌تر

تغییر کرده است و بیان گر این مورد می باشد که تشابه بین مدل و داده های واقعی در فصل های گرم سال و در نواحی مرکزی نسبتاً ضعیف بوده و بالاترین مقادیر یعنی  $F > 0/3$  در این نواحی حاکی از وجود خطا در پیش بینی های مدل است. با توجه به شکل ۲- الف و ۲- ب می توان گفت که تفاوت مقادیر تشابه در فصل گرم خیلی بیش تر از فصل های سرد بوده است و این می تواند به علت وجود تغییرات درون سالانه داده های مدل MM5 برای دما باشد. اما به طور کلی مدل، دما را برای منطقه چه در فصل گرم و چه در فصل سرد خوب پیش بینی کرده و تشابه بین مدل و داده های واقعی در فصل سرد و نواحی شمالی و جنوبی منطقه زیاد بوده است که نشان دهنده تطابق نتایج مدل و داده های واقعی از نظر توزیع مکانی می باشد. بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که تفاوت های بین داده های مدل و داده های واقعی ناشی از پیچیدگی های اقلیمی ناحیه مرکزی و تغییرات درون سالانه این متغیر در مدل طی سال های ۱۹۹۰-۲۰۱۰ می باشد.

#### مقایسه داده های مشاهده ای بارندگی و نتایج مدل MM5

شکل ۳ مقادیر F و چگونگی توزیع جغرافیایی آن را در منطقه مورد مطالعه برای متغیر بارندگی نشان می دهد. این مقادیر از مقایسه نقشه های استاندارد شده مقادیر واقعی و مدل حاصل شده است. شکل (۳- الف) مربوط به فصل های سرد و شکل (۳- ب) مربوط به فصل های گرم می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که در فصل سرد (شکل ۳- الف) مقادیر F در منطقه مورد مطالعه، بیشتر بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ تغییر داشته و اغلب مساحت منطقه را در بر گرفته است. همچنین پراکندگی مقادیر تشابه در منطقه توزیع یکنواختی ندارد که نشان دهنده تشابه متوسط پیش بینی های مدل و داده های واقعی می باشد (شکل ۳- الف).

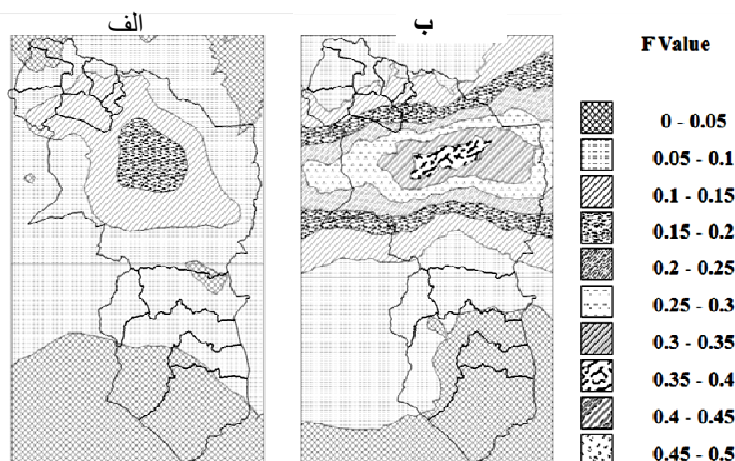
جدول ۵- طبقه بندی مقدار F

Table 5- The F classification

F value	میزان تشابه Similarity rate
0.0 - 0.1	خوب Good
0.1-0.2	نسبتاً خوب Fairly good
0.2-0.3	متوسط Fair
0.3-0.4	نسبتاً ضعیف Relatively poor
0.4-0.5	ضعیف Poor

همچنین پراکندگی مقادیر تشابه در منطقه از توزیع یکنواختی برخوردار می باشد که این نشان دهنده تشابه خوب پیش بینی های مدل و داده های واقعی می باشد (شکل ۲- الف). بیش ترین مقادیر تشابه بین ۰/۱ تا ۰/۲ و در نواحی کوهستانی منطقه تغییر می کند که این امر نشان دهنده تطابق کم تر پیش بینی های مدل با داده های واقعی در مناطق مرکزی ناحیه مورد مطالعه می باشد.

در شکل ۲- ب که مقادیر تشابه دما برای فصل های گرم سال می باشد، مقادیر تشابه در جنوب و ناحیه کوچکی از شمال منطقه بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ تغییر می کند که نسبت به همین مقادیر در فصل های سرد سال یکسان است. بدین معنی که در این نواحی و برای فصل های گرم و سرد در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۰ مدل با دقت تقریباً یکسان پیش بینی ها را انجام داده است. همچنین با توجه به مقادیر تشابه، نتایج خروجی مدل MM5 و داده های مشاهده ای دما (شکل ۲- ب) مقادیر تشابه دارای توزیع یکنواخت است. با توجه به شکل ۲- ب در نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه مقادیر F بین ۰/۲ تا ۰/۴



شکل ۲- ارزیابی و مقایسه مکانی-زمانی دما در مدل MM5 با داده ای واقعی، الف: فصل سرد، ب: فصل گرم

Figure 2- Spatio-temporal evaluation and comparison of MM5 model temperature with real data, (a) cold season, (b) warm season



بین مدل و داده‌های واقعی در فصل‌های گرم سال و در نواحی مرکزی نسبتاً ضعیف بوده است و بالاترین مقادیر یعنی  $F > 0.35$  در این نواحی حاکی از وجود خطا در پیش‌بینی‌های مدل است. با توجه به شکل ۳-الف و ۳-ب می‌توان گفت که تفاوت مقادیر تشابه در فصل گرم خیلی بیش‌تر از فصل‌های سرد بوده است و این امر به دلیل تغییرپذیری متغیر بارندگی در فصل‌های مختلف سال باشد. اما به طور کلی مدل، بارندگی را برای منطقه چه در فصل گرم و چه در فصل سرد نسبتاً خوب پیش‌بینی کرده و بجز چند ناحیه کوچک تشابه خوبی بین مدل و داده‌های واقعی در فصل سرد و در نواحی شمالی و جنوبی منطقه وجود داشته است که نشان‌دهنده تطابق نتایج مدل و داده‌های واقعی از نظر توزیع مکانی می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت‌های بین داده‌های مدل و داده‌های واقعی ناشی از پیچیدگی‌های اقلیمی و ناهمواری ناحیه مرکزی می‌باشد. هم‌چنین با توجه به شکل (۲-ب) متغیر دما و شکل (۳-ب) و با مقایسه مقادیر تشابه در کل منطقه و چگونگی تغییرات مکانی مقادیر  $F$ ، می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی مدل، متغیر دما را در فصل گرم با دقت بیش‌تری نسبت به متغیر بارندگی پیش‌بینی کرده است.

#### ارزیابی و مقایسه مکانی-زمانی مدل MM5 با داده‌های واقعی سالانه متغیر دما و بارندگی

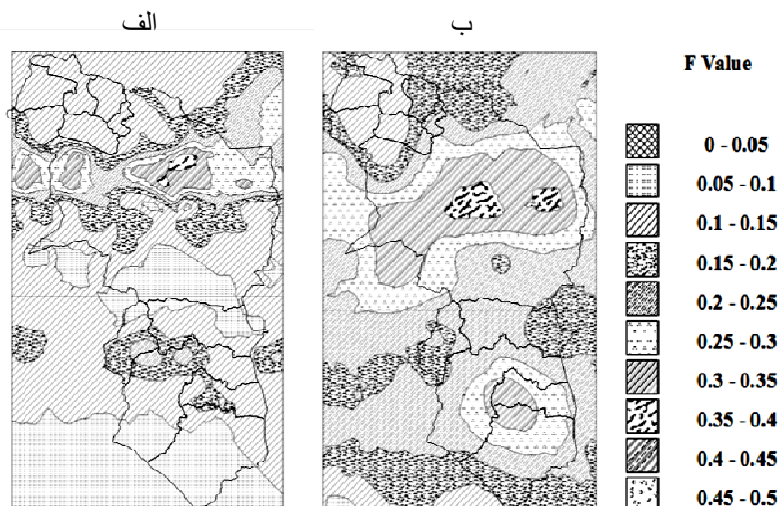
شکل ۴ مقادیر  $F$  و چگونگی توزیع جغرافیایی آن را در منطقه مورد مطالعه برای متغیر دما (۴-الف) و بارندگی (۴-ب) در بازه زمانی سالانه نشان می‌دهد.

هم‌چنین بیش‌ترین مقادیر تشابه بین  $0.3/0.35$  تا  $0.4/0.45$  و به صورت لکه‌های کوچک نقطه‌ای  $0.4/0.4$  در نواحی کوهستانی منطقه تغییر می‌کند که نشان‌دهنده تطابق کم پیش‌بینی‌های مدل با داده‌های واقعی در مناطق مرکزی ناحیه مورد مطالعه می‌باشد.

نکته قابل توجه در مورد متغیر بارندگی، مقادیر نقطه‌ای زیاد  $F$  در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه است که نشان می‌دهد مدل در مورد بارندگی در این مناطق نیز بر عکس دما (شکل ۲-الف) پیش‌بینی‌های ضعیف‌تری ارائه داده است. به طور کلی با توجه به مقادیر تشابه و چگونگی توزیع مکانی این مقادیر و مقایسه نقشه شکل ۲-الف برای دما و نقشه شکل ۳-الف برای بارندگی، مشاهده می‌شود که مدل دمای فصل سرد را بهتر از بارندگی در منطقه پیش‌بینی کرده است.

در شکل ۳-ب که مقادیر تشابه بارندگی برای فصل‌های گرم سال می‌باشد، مقادیر تشابه در جنوب و ناحیه‌ی کوچکی از شمال منطقه بین  $0.1/0.15$  تغییر می‌کند که نسبت به مساحت همین مقادیر در فصل‌های سرد سال کم‌تر است. بدین معنی که مدل در این نواحی و برای فصل‌های گرم در دوره زمانی  $1990-2010$  با دقت کم‌تری پیش‌بینی‌ها را انجام داده است. بیش‌ترین مساحت منطقه دارای مقادیر تشابه بین  $0.2/0.25$  تا  $0.25/0.3$  می‌باشد. هم‌چنین با توجه به مقادیر مقایسه تشابه نتایج خروجی مدل MM5 و داده‌های مشاهده‌ای بارندگی (شکل ۳-ب) توزیع مقادیر تشابه غیر یکنواخت و پراکنده می‌باشد.

با توجه به شکل ۳-ب نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه از مقادیر تشابه بالاتری برخوردار بوده و مقادیر  $F$  در این ناحیه بین  $0.25/0.35$  تا  $0.35/0.45$  تغییر کرده است و بیانگر این مورد می‌باشد که تشابه



شکل ۳- ارزیابی و مقایسه مکانی-زمانی بارندگی در مدل MM5 با داده‌های واقعی، الف: فصل سرد، ب: فصل گرم

Figure 3- Spatio-temporal evaluation and comparison of MM5 model precipitation with real data, (a) cold season, (b) warm season

به دلیل توزیع یکنواخت تر مقادیر تشابه، پیش بینی مدل برای داده‌های سالانه بارندگی بهتر از داده‌های ماهانه بوده است. همچنین با مقایسه شکل‌های ۴- الف و ۴- ب می توان گفت که تفاوت مقادیر تشابه بارندگی خیلی بیشتر از دما بوده است.

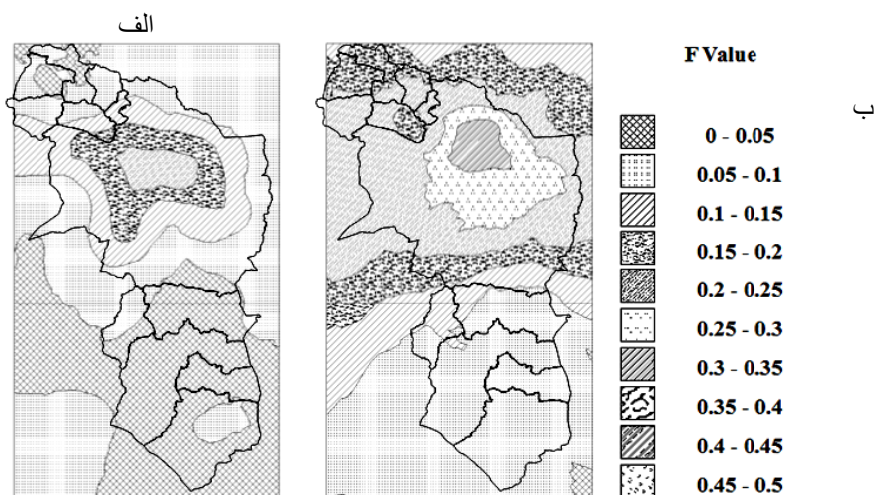
#### بررسی بیشینه مقادیر تشابه در منطقه مورد مطالعه

یافتن حداکثر تناقضات در تحلیل‌های مکانی منجر به شناسایی مناطقی می‌شود که در آنجا به دلایل مختلف خطای مدل سازی بالاست. هر چه مقدار F بزرگتر باشد، تشابه بین نقاط شبکه‌های نقشه‌های مورد مقایسه کم‌تر است. یعنی پیش بینی مدل در این نقاط با داده‌های واقعی تفاوت بیشتری دارد. مقادیر حداکثر F در جدول ۶ آورده شده است. این مقادیر در ناحیه مرکزی و بخش‌های کوچکی از جنوب منطقه مورد مطالعه دیده شد که در گام‌های زمانی مختلف و بسته به نوع متغیر متفاوت بود. با توجه به جدول ۶ ملاحظه می‌شود که مقدار  $F_{max}$  در فصل سرد کمتر است و مدل دمای فصل سرد را بهتر از سایر بازه‌های زمانی پیش بینی کرده است. با توجه به جدول ۶ پیش بینی بارندگی مدل در بازه‌های زمانی مختلف تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد. اما به طور کلی مقدار  $F_{max}$  در فصل گرم بیشتر است. با مقایسه مقادیر  $F_{max}$  بارندگی و دمای جدول ۶ ملاحظه می‌شود که مقادیر  $F_{max}$  دما در هر سه بازه زمانی کمتر است و در نتیجه تشابه پیش بینی مدل برای متغیر دما در ناحیه مرکزی بیش‌تر از بارندگی می‌باشد.

با توجه به شکل ۴-الف، مقادیر F در منطقه مورد مطالعه بیشتر بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ تغییر داشته و بیش‌تر مساحت منطقه را در بر گرفته است. همچنین پراکندگی مقادیر تشابه در منطقه از توزیع یکنواختی برخوردار می‌باشد که این نشان دهنده تشابه زیاد پیش بینی‌های مدل و داده‌های واقعی دما می‌باشد. بیش‌ترین مقادیر تشابه بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ و در نواحی کوهستانی منطقه تغییر می‌کند که این امر نشان دهنده تطابق نسبتاً خوب پیش بینی‌های مدل با داده‌های واقعی در مناطق مرکزی ناحیه مورد مطالعه برای متغیر دما به صورت سالانه می‌باشد. به طور کلی با توجه به نقشه‌های دما به صورت فصلی (شکل‌های ۲ الف و ب) و مقایسه آن‌ها با شکل (۴-الف) می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع پیش بینی مدل برای داده‌های سالانه بهتر از داده‌های فصل گرم و با دقت بیش‌تری بوده است.

شکل ۴-ب مقادیر تشابه بارندگی سالانه می‌باشد. مقادیر تشابه در جنوب منطقه بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ تغییر می‌کند. همچنین با توجه به مقادیر تشابه نتایج خروجی مدل MM5 و داده‌های مشاهده‌ای بارندگی توزیع مقادیر تشابه یکنواخت است. با توجه به شکل، نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه از مقادیر تشابه بالاتری برخوردار بوده و مقادیر F در این ناحیه بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ تغییر کرده که بیانگر وجود تشابه متوسط بین مدل و داده‌های واقعی متغیر بارندگی در نواحی مرکزی بوده و بالاترین مقادیر یعنی  $F > 0/3$  در این نواحی حاکی از وجود خطا در پیش‌بینی‌های مدل است.

بر اساس نقشه‌های بارندگی فصلی (شکل‌های ۳-الف و ب) و مقایسه آن‌ها با شکل (۴-ب) می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع



شکل ۴- ارزیابی و مقایسه مکانی-زمانی مدل MM5 با داده‌های واقعی سالانه، الف: دما، ب: بارندگی

Figure 4- Spatio-Temporal evaluation and comparison of MM5 model with real annually data, (a) temperature, (b) precipitation



مقدار در ماه سپتامبر برای متغیر بارندگی به دست آمد. روند نمودار نشان داد که مقادیر تشابه از ماه آوریل تا ماه سپتامبر افزایشی است و از ماه سپتامبر روند کاهشی دارد. می توان دریافت که در مجموع برای ماه های گرم مقادیر تشابه بین مدل و داده های بارندگی بالا بوده و دقت پیش بینی مدل در ماه های گرم کم است. نمودار های دو شکل ۵ و ۶ نشان داد که مقادیر تشابه دما به طور کلی از مقادیر تشابه بارندگی در ماه های مختلف و سالانه کمتر است.

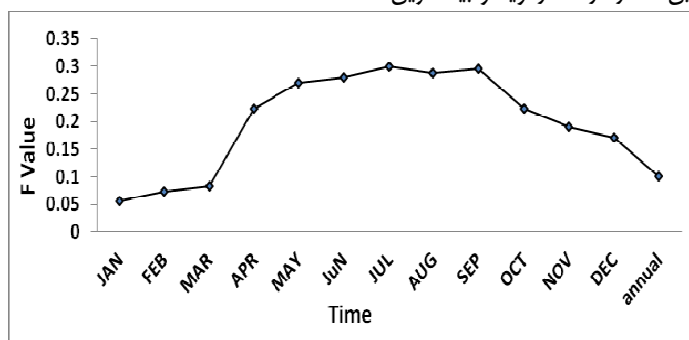
جدول ۶- حداکثر مقادیر F

Table 6- Maximum values of F

F <sub>max</sub>	فصل سرد	فصل گرم	سالانه
	Cold season	Warm season	Annual
دما	0.15-0.2	0.35-0.4	0.2-0.25
بارندگی	0.3-0.35	0.35-0.45	0.3-0.35

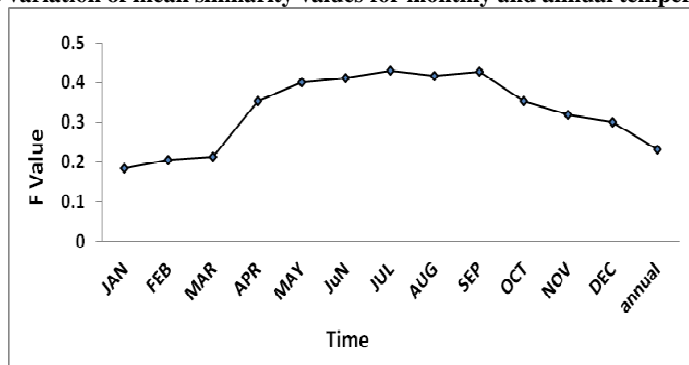
### بررسی نسبت مساحت مقادیر تشابه

در تحلیل های مکانی مبتنی بر الگوریتم تشابه، علاوه بر مقدار عددی تشابه (F) و چگونگی توزیع این مقادیر، مساحت هر بازه نیز حائز اهمیت است. طبقه بندی مقادیر F در جدول ۶ آورده شده است. چگونگی توزیع مقادیر F در شکل های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شد.



شکل ۵- تغییرات میانگین مقادیر تشابه متغیر دما به صورت ماهانه و سالانه

Figure 5- The variation of mean similarity values for monthly and annual temperature variable



شکل ۶- تغییرات میانگین مقادیر تشابه متغیر بارندگی به صورت ماهانه و سالانه

Figure 6- The variation of mean similarity values for monthly and annual precipitation variable

### بررسی تغییرات میانگین مقادیر تشابه به صورت ماهانه و سالانه

#### مقادیر میانگین تشابه دما

مقادیر تشابه متغیر دما برای هر ماه در طول دوره ۱۹۹۰ - ۲۰۱۰ و برای تک تک نقطه شبکه منطقه مورد مطالعه از ماتریس نقشه های مقایسه ای با استفاده از نرم افزار MATLAB استخراج شد و میانگین این مقادیر برای ماه های مختلف و کل سال محاسبه شد. نتایج به صورت نمودار رسم گردید شکل (۵). با توجه به این نمودار کمترین مقدار F در ماه ژانویه و بیشترین مقدار در ماه جولای برای متغیر دما به دست آمد. نمودار روند افزایشی مقادیر F را از ماه آوریل تا ماه جولای نشان می دهد و از ماه سپتامبر روند کاهشی است. با توجه به این نکته می توان دریافت که در مجموع برای ماه های گرم مقادیر تشابه بین مدل و داده های دما بالا بوده و دقت پیش بینی مدل در ماه های گرم کمتر است.

مقادیر تشابه متغیر بارندگی برای هر ماه در طول دوره ۱۹۹۰ - ۲۰۱۰ و برای تک تک نقاط شبکه منطقه مورد مطالعه از ماتریس نقشه های مقایسه ای با استفاده از نرم افزار مطلب استخراج شد و میانگین این مقادیر برای ماه های مختلف و کل سال محاسبه شد. نتایج به صورت نمودار رسم گردید (شکل ۶). با توجه به نمودار مقادیر F در ماه های مختلف، کمترین مقدار در ماه ژانویه و بیشترین

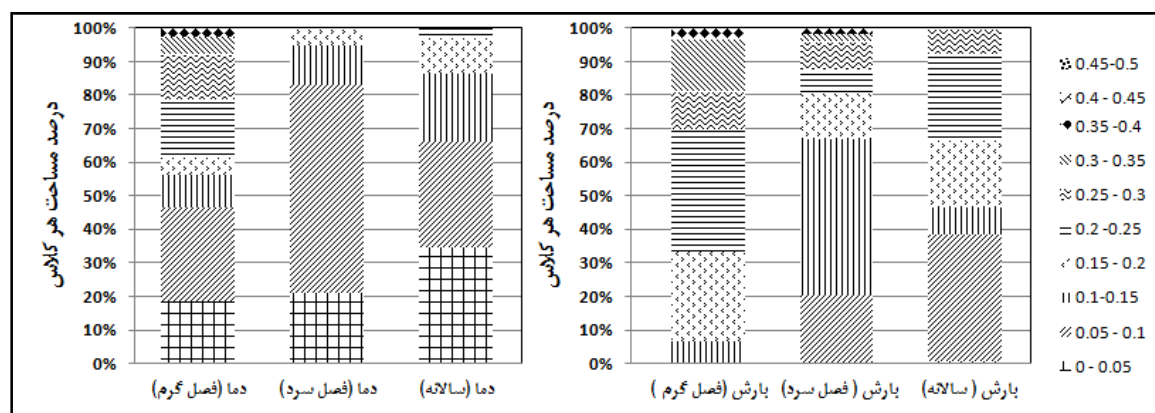
نسبتاً خوب و ۳۰ درصد باقیمانده متوسط است. با توجه به درصد مساحت‌های بازه های زمانی مختلف، مدل بارندگی سالانه را دقیق‌تر از فصل سرد و فصل گرم پیش‌بینی کرده است. چنان‌چه می‌توان در همین نمودار دید، دقت مدل به ترتیب از بارش سالانه به بارش فصل سرد و سپس به فصل گرم کاهش یافته است. هم‌چنین با مقایسه مساحت ستون های دما و بارش در هر سه بازه زمانی، دیده می‌شود که دما دقیق‌تر از بارش در مدل پیش‌بینی شده است.

### نتیجه گیری کلی

در این مطالعه نتایج پیش‌بینی مدل میان مقیاس و منطقه محدود MMS5 با داده‌های مشاهده شده ایستگاه‌های هواشناسی برای دو متغیر دما و بارندگی از نظر زمانی و مکانی با استفاده از الگوریتم تشابه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. برای متغیر دما مقادیر تشابه اغلب بین ۰/۱ و ۰/۱۵ قرار گرفت و در اصل تشابه بین مدل و داده‌های مشاهده‌ای خوب تشخیص داده شد. برای متغیر بارندگی مقادیر تشابه اغلب بین ۰/۲ و ۰/۲۵ قرار گرفت و تشابه بین مدل و داده‌های مشاهده‌ای نسبتاً خوب بود. الگوریتم نقشه‌پردازی تشابه چند منطقه مشکل ساز را شناسایی کرد. در مناطق کوچکی از جنوب منطقه مورد مطالعه و ناحیه مرکزی آن، مقادیر F بین ۰/۲ تا ۰/۴ به دست آمد که از لحاظ تشابه بین مدل و داده‌های واقعی، تشابه ضعیفی را نشان داد. دلیل این امر احتمالاً مربوط به تنوع آب و هوایی و تغییرات ناهمواری منطقه مورد مطالعه در این نواحی است. به طور خلاصه برای دو متغیر دما و بارندگی، با مقایسه بین داده‌های خروجی مدل MMS5 و سایر مجموعه داده‌ها، می‌توان گفت که مدل می‌تواند به صورت رضایت بخشی دما ی ارتفاع ۲ متری را برای فصل های سرد پیش‌بینی کند.

طبق جدول ۶ هر چه مقادیر کم‌تر از ۰/۲ مساحت بیشتری را به خود اختصاص دهد، تشابه نقشه‌های مقایسه شده بیشتر است. شکل ۷ درصد مساحت کلاس‌های مقادیر F را نسبت به مساحت کل منطقه نشان می‌دهد. محور افقی متغیرهای مورد مطالعه در گام زمانی مختلف می‌باشد. محور عمودی درصد مساحت مقادیر تشابه F است. با توجه به نمودار شکل ۷ سمت چپ، درصد مساحت ۰/۰۵ - ۰ در ستون دمای سالانه نسبت به سایر گام های زمانی بیشتر است. اما به طور کلی، مساحت مقادیر تشابه ۰/۱ - ۰ که نشان دهنده تشابه خوب می‌باشد، در ستون دمای فصل سرد بیشتر است. در این مورد مدل برای بیش از ۸۰ درصد از مساحت منطقه، پیش‌بینی دقیقی در فصل سرد انجام داده است. در ستون دما (فصل گرم)، تقریباً ۴۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس ۰/۱ - ۰ قرار گرفته است و ۴۰ درصد مساحت، مقادیر تشابه متوسط و نسبتاً ضعیف دارد. در ستون دما (سالانه)، ۶۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس ۰/۱ - ۰ قرار گرفته است. با توجه به نمودار درصد مساحت، تشابه خوب در دما (سالانه) بیش‌تر از دما (فصل گرم) بوده است. هم‌چنین باقی مساحت منطقه در بازه سالانه تشابه نسبتاً خوب تا متوسط دارد. این نمودار، نشان می‌دهد که دقت مدل از دمای فصل سرد به دمای سالانه و سپس دمای فصل گرم کاهش یافته است.

با توجه نمودار شکل ۷ سمت راست، در ستون بارش (فصل گرم) درصد مساحت مقادیر تشابه ۰/۱ - ۰ در منطقه صفر است. تقریباً ۵۰ درصد مساحت منطقه دارای مقادیر ۰/۳ - ۰/۲ و میزان تشابه متوسط است. ۲۰ درصد از مساحت نیز در بازه میزان تشابه نسبتاً ضعیف قرار دارد. در ستون بارش (فصل سرد)، ۲۰ درصد مساحت مربوط به میزان تشابه خوب است. در بیش از نیمی از مساحت منطقه (۶۰ درصد) میزان تشابه نسبتاً خوب بوده و ۲۰ درصد باقیمانده در بازه متوسط و نسبتاً ضعیف قرار گرفته است. در ستون بارش (سالانه) تقریباً ۴۰ درصد از مساحت دارای میزان تشابه خوب، ۳۰ درصد میزان تشابه



شکل ۷- نسبت مساحت مقادیر تشابه  
Figure 7- proportional area of similarity values

دادند که مناطق کوهستانی بیش تر مشکل ساز اند. به طور کلی دما نسبت به بارندگی در مدل MM5 از نظر توزیع زمانی و مکانی در منطقه مورد مطالعه دقیق تر پیش بینی شده بود و داده های مدل با داده های واقعی تشابه بیش تری را نشان داد. همچنین پیش بینی های مدل برای فصل سرد تشابه بیش تری با داده های واقعی نسبت به فصل گرم داشت.

علاوه بر این باید در ماه های گرم، مدل سازی دما و بارندگی با احتیاط بیش تری انجام شود. آب و هوا در منطقه مورد مطالعه با تغییرات مکانی و زمانی زیادی همراه است که باعث ایجاد اختلاف بین داده های مورد مطالعه شده است. این وضعیت به دلیل حرکات صعودی همرفتی ناحیه ای و تأثیرات ناهمواری ها می باشد. در متغیر بارندگی مقادیر بالا با F بزرگ تر از ۰/۴۵ در همه نقشه ها وجود داشت که می تواند حاصل خطا در گزارش داده های ایستگاهی یا گزارش های هواشناسی در این مناطق باشد. همچنین، نتایج این مطالعه نشان

## منابع

- 1- Ahmadian J., Sheibani D., Iraqi H., Shirmohammadi R., and Mojarad M. 2002. agricultural Classification of climate for sustainable water resources management in developing countries. P. 593-605. Eleventh Meeting of the National Committee on Irrigation and Drainage, January 2002, Tehran, Iran. (in Persian)
- 2- Ahmed S., and De Marsily G. 1987. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resour. Res.*, 23(9):1717-1737.
- 3- Akter N., and Islam Md. N. 2007. Use of MM5 model for weather forecasting over Bangladesh region. *BRAC University Journal*, 4(1):75-79.
- 4- Eischeid J., Pasteris P., Diaz H., Plantico M., and Lott N. 2000. Creating a serially complete, national daily time series of temperature and precipitation for the western United States. *Journal of Applied Meteorology*, 39:1580-1591.
- 5- <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/> (visited 5 June 2013).
- 6- Goovaerts P. 1990. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1-2):1-45.
- 7- Goovaerts P. 1999. Performance Comparison of Geostatistical Algorithms for Incorporating Elevation into the Mapping of Precipitation. The IV International Conference on GeoComputation was hosted by Mary Washington College in Fredericksburg, 25-28 July 1999, VA, USA.
- 8- Gouvas M., Sakellariou N., and Xystrakis F. 2009. The relationship between altitude of meteorological stations and average monthly and annual precipitation. *Studies Geophysic and Geodaeta*, 53(4): 557-570.
- 9- Hamann I. M., and Herzfeld U. C. 1991. On the effects of pre-analysis standardization. *Journal of Geology*, 99:621-631.
- 10- Hedayati Dezfuli A., and Azadi M. 2009 . Verification of MM5 forecast precipitation over Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 36(3):115-129. (in Persian with English abstract)
- 11- Herzfeld U. C., and Merriam D. F. 1990. A map comparison technique utilizing weighted input parameters. *Computer Applications in Resource Estimation and Assessment for Metals and Petroleum*. Eds., *Computers and Geology*, 7:43-52.
- 12- Hudson G., and Wackernagel H. 1994. Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *Int. J. Climatology*, 14:77-91.
- 13- Journel A.G., and Huijbregts C.J. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York.
- 14- Kerry R., Oliver M.A. 2004. Average variograms to guide soil sampling for land management. *The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5:307-325.
- 15- Laslett G.M., McBratney A.B., Pahl P.J., and Hutchinson M.F. 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Journal of Soil Science*, 38(2):325-341.
- 16- Matheron G. 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology* 58(8):1246-1266.
- 17- Mehdizadeh M., Mahdiyan M.H., and Hjjam S. 2006. Performance of geostatistical methods in climate zoning of Urmia Lake Basin. *Journal of the Earth and Space Physics*, 32(1):103-116. (in Persian)
- 18- Merriam D. F., and Jewett D. G. 1988. Methods of thematic map comparison. *Current Trends in Geomathematics*, D. F. Merriam, Ed., Plenum Press, 9-18.
- 19- Nadi M., KHalili A., Poortahmasebi K., and Bazrafshan J. 2010. Evaluation of some new geostatistical methods for estimating precipitation in Chahar-Bagh district. P. 10-13. Fourteenth Conference on Geophysics, 11-13 May 2010, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- 20- Rogelis M. C., and 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.

- 21- Silva D ., Meza J. F., and Varas E. 2010. Estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) using numerical weather forecast data in central Chile. *Journal of Hydrology*, 382:64–71.
- 22- Snyder J. P. 1987. Map projections — A working manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395:383.
- 23- Vazifeh A., Azadi M., and Mazrae Farahani M. 2004. Checking the effect of Horizontal resolution changing in limited area MM5 model for simulate synoptic systems on Iran, Ninth Fluid Dynamics Conference, March 2004, Shiraz University, Department of Mechanical Engineering. ( in Persian)
- 24- Yamazaki Y., and Orgaz M. D. 2005. forecasting mesoscale precipitation using the MM5 model with the Four-Dimensional Data Assimilation (FDDA) technique. *Global NEST Journal*, 7(3):258-263.



## Spatio – Temporal Evaluation and Comparison of MM5 Model using Similarity Algorithm

N. Siabi<sup>1\*</sup> - S.H. Sanaeinejad<sup>2</sup> - B. Ghahraman<sup>3</sup>

Received: 25-10-2013

Accepted: 05-01-2015

**Introduction** temporal and spatial change of meteorological and environmental variables is very important. These changes can be predicted by numerical prediction models over time and in different locations and can be provided as spatial zoning maps with interpolation methods such as *geostatistics* (16, 6). But these maps are comparable to each other as visual, qualitative and univariate for a limited number of maps (15). To resolve this problem the *similarity algorithm* is used. This algorithm is a simultaneous comparison method to a large number of data (18). Numerical prediction models such as *MM5* were used in different studies (10, 22, and 23). But a little research is done to compare the *spatio-temporal* similarity of the models with real data quantitatively. The purpose of this paper is to integrate *geostatistical techniques* with *similarity algorithm* to study the spatial and temporal *MM5 model* predicted results with real data.

**Materials and Methods** The study area is north east of Iran. 55 to 61 degrees of longitude and latitude is 30 to 38 degrees. Monthly and annual temperature and precipitation actual data for the period of 1990-2010 was received from the Meteorological Agency and Department of Energy. *MM5 Model* Data, with a spatial resolution  $0.5 \times 0.5$  degree were downloaded from the *NASA* website (5). *GS+* and *ArcGis* software were used to produce each variable map. We used multivariate methods *co-kriging* and *kriging with an external drift* by applying topography and height as a secondary variable via implementing *Digital Elevation Model*. (6,12,14). Then the standardize and *similarity algorithms* (9,11) was applied by programming in *MATLAB* software to each map grid point. The spatial and temporal similarities between data collections and model results were obtained by F values. These values are between 0 and 0.5 where the value below 0.2 indicates good similarity and above 0.5 shows very poor similarity. The results were plotted on maps by *MATLAB* software.

**Results Discussion** In this study the *similarity* and *geostatistical algorithm* were combined to compare and evaluate *spatio-temporal* of predicted temperature and precipitation data by *MM5 model* with actual data. The analysis of the similarity map is based on the F values, the area and also the uniformity of distribution over the area. The similarity between predicted and actual data is higher when F values are low and distributed more uniform. The temperature similarity maps showed that F values are between 0.0 - 0.2 in cold seasons. It was shown that the values had spatial continuity and uniform distribution. A large part of area (almost 80%) is covered by lowest F value ( $F \leq 0.1$ ), which shows very high similarity among temperature datasets. The highest values ( $0.15 < F < 0.2$ ) occurred in the central of the study area. In the warm seasons F values were between 0.0 - 0.4. These values had spatial continuity and uniform distribution which is lower than cold season. The area of good similarity values ( $0.0 \leq F \leq 0.1$ ) is almost 45% of the whole region. The highest values ( $F > 0.3$ ) in the central region indicate errors in the model predictions data. But generally prediction of model in both seasons for the temperature was good. In annual time scale, F values are between 0.0 - 0.25. The area of good similarity value ( $0.0 \leq F \leq 0.1$ ) is almost 65% of the whole region with spatial continuity and uniform distribution. Accuracy of the model declined from temperature of the cold season to annual and then warm season respectively. The precipitation similarity maps showed that in cold season F values changes between 0.05 - 0.4. These values had less spatial continuity than temperature. In more than half of the area (60%) there was fairly good similarity where  $0.05 < F < 0.15$ . The maximum values ( $0.3 < F < 0.35$ ) occur in mountainous regions of the study area. In warm seasons F values are between 0.1- 0.45. These values are not uniformly distributed and dispersed. The area of good similarity values ( $0.0 \leq F \leq 0.1$ ) is zero percent. The highest values ( $F > 0.3$ ) in the central mountainous area and south part of region suggests the low similarity in the model predictions. Similarity between the cold seasons is much higher than the warm seasons, which is due to the variability of precipitation during the seasons. In the annual time scale, F values are between 0.05 - 0.3. F values ( $0.0 \leq F \leq 0.1$ ) are almost 40% of the whole region with uniform distribution. Overall, the higher uniform distribution of annual similarity values showed that prediction of model for annual precipitation data is better than seasonal. The maximum F values identified the

1, 2 , 3- PhD Student, Associate Professor and Professor of Agro meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively  
(\*- Corresponding Author Email: negarsiabi63@gmail.com)

areas with modeling error for various reasons. In this study the central and the southern parts had maximum F values at different time steps. Plotted mean monthly values of similarity indicated minimum and maximum temperature F values were occurred in January and July while for precipitation was taken place in January and September respectively. This shows that *MM5 model* prediction was good in January.

**Conclusion:** In this paper, the *similarity algorithm* discovered spatial and temporal similarities between the predicted and actual data for temperature and precipitation variables. According to the obtained F values, the model predicts temperature was better than precipitation. Due to the upward movement of the convective zone and the effects of topography for both variables, the similarity between predicted and actual data is low in warm seasons. In small areas of the south and the central region of the study area, F values are between 2.0 and 4.0, respectively, which could be considered as a weak similarity. The area with high f values ( $F > 0.45$ ) can be seen on every precipitation map, which suggests a large error values related to reporting of the station data.

**Keywords:** Algorithms, Numerical prediction models, Similarity comparison, Spatio- temporal