

ارزیابی روشهای زمین آماری در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع و مقایسه با نتایج موجود حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در مرکز و شمال استان خوزستان

سهراب حجام - دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران - گروه هواشناسی کشاورزی
* مژده جامعی - کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران - گروه
هواشناسی کشاورزی

ساسان بابائی کفاکی - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران - گروه جنگلداری

چکیده :

هدف بررسی حاضر سنجش دقت روشهای مختلف زمین آماری در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان و مقایسه با نتایج موجود حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه می‌باشد. در این تحقیق تبخیر و تعرق مرجع از روش فائو پنمن مانیتیت و با استفاده از داده‌های ثبت شده در ۳۸ ایستگاه منطقه مطالعاتی محاسبه گردید. جهت تعمیم تبخیر و تعرق نقطه‌ای به منطقه‌ای، دقت روش‌های زمین آماری: وزن‌دهی عکس فاصله با توانهای ۱ تا ۵ و تعداد همسایگی‌های ۳ الی ۳۰، اسپیلاین، کریجینگ کروی و نمایی و کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی نتایج روشهای زمین آماری بر اساس معیارهای: ریشه میانگین مربع خطا، میانگین خطای انحراف، خطای مطلق میانگین و رگرسیون ساده خطی صورت پذیرفت. نتایج بدست آمده بیانگر این بود که کریجینگ کروی در مقیاس ماهانه و کریجینگ نمایی در مقیاس سالانه بهترین روش‌ها برای منطقه‌ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع در منطقه می‌باشند. مقایسه نتایج زمین‌آمار و سنجش از دور نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده در زمین‌آمار دقیق‌تر بوده و کاربرد عملی دارند.

کلید واژه‌ها: تبخیر و تعرق مرجع، زمین‌آمار، کریجینگ کروی و نمایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور، خوزستان.

۱- مقدمه :

در این روشها از مقادیر معلوم نمونه‌برداری شده برای پیش‌بینی مقادیر مجهول در محل‌های نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود. لانجری^۱ و همکاران پهنه‌بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در اسپانیا را با استفاده از درون‌یابی داده‌های مکانی و درجه حرارت انجام دادند که نتایج حاصله بیانگر اطمینان بالایی بودند. [۱] گونگ^۲ و همکاران در چین روش کریجینگ معمولی را که بیشترین دقت در اعتبار سنجی را دارا بود برای درون‌یابی تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به روش

تبخیر و تعرق یکی از مولفه‌های اصلی بیلان آب در هر منطقه است که تعیین دقیق آن برای مطالعات بیلان آبی، مدیریت منابع آب، تعیین نیاز آبی و ... اهمیت زیادی دارد. در روشهای معمول و متداول، تبخیر و تعرق بصورت نقطه‌ای در محل ایستگاهها محاسبه می‌گردد و در مناطقی که ایستگاهی وجود ندارد نمی‌توان میزان تبخیر و تعرق را برآورد نمود. امروزه بکمک روش‌های زمین آماری می‌توان تبخیر و تعرق منطقه‌ای را در سطوح وسیع بدست آورد.

1 - Lanjeri
2 - Gong

پنمن مانیتیت انتخاب نمودند [۲]. ماردیکیس^۱ و همکاران برای پیش‌بینی مکانی میانگین روزانه تبخیر و تعرق مرجع حاصله از معادله پنمن مانیتیت در یونان، روش‌های باقیمانده کریجینگ و شیب مثبت عکس مربع فاصله را که دقت بالاتری داشتند توصیه نمودند [۳]. نتایج مطالعه دالزیوس^۲ و همکاران بیانگر آن است که مقادیر برآورده شده تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از کریجینگ نمایی در سطح وسیعی از یونان قابل قبول می‌باشند [۴]. نظری‌فر و همکاران جهت بررسی تغییرات منطقه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل در استان همدان، کریجینگ را در مقیاس ماهانه و وزن-دهی عکس فاصله را در مقیاس سالانه توصیه کردند [۵]. شهابی‌فر تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای را در استان تهران با استفاده از کریجینگ و کوکریجینگ برآورد نمود و بر اساس نتایج حاصله، روش کریجینگ در اولویت قرار گرفت [۶]. مهدیان و حسینی ابری (۱۳۸۲) در بررسی تغییرات ناحیه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل در حوزه آبخیز کارون، میانگین متحرک وزنی و اسپلاین‌های پیرایشی را در مقیاس ماهانه و کوکریجینگ را در مقیاس سالانه توصیه کردند [۷]. پس نمی‌توان یک روش زمین‌آماري خاص را برای درون‌یابی یک پدیده در همه مناطق معرفی نمود. بنابراین یکی از اهداف این مطالعه ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی برای منطقه‌ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان است. از دیگر روش‌های برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق، استفاده از تکنولوژی سنجش از دور می‌باشد. مابشری میزان تبخیر و تعرق را در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و مدل سبال برآورد نمود [۸]. بررسی مقایسه‌ای نتایج حاصل از زمین‌آمار و سنجش از دور از دیگر اهداف این تحقیق است. در سال ۱۹۹۰ سازمان خواروبار جهانی روش ترکیبی فائوپنمن مانیتیت را به عنوان یک استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع پیشنهاد داد [۹]. وزارت کشاورزی در تهیه سند ملی نیاز آبی کشور روش فائوپنمن مانیتیت را بعنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در تمام

نقاط ایران استفاده کرده است [۱۰]. کشکولی و همکاران جهت تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه شمال خوزستان، روش پنمن مانیتیت را به دلیل تطابق آن با داده‌های لایسیمیتری توصیه نمودند [۱۱]. بنابراین در مطالعه حاضر برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاهها، روش فائوپنمن مانیتیت بکار برده شده است.

۲- مواد و روش‌ها :

استان خوزستان با مساحت ۶۴۷۴۶ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی، در جنوب غربی ایران واقع است. متوسط بارندگی سالانه استان حدود ۲۶۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن حدود ۳۱/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. برای انجام این تحقیق از آمار ۳۸ ایستگاه (۱۱ اسینوپتیک، ۵ کلیماتولوژی و ۲۲ تبخیرسنجی) طی یک دوره آماری ۲۶ ساله (سالهای ۲۰۰۵-۱۹۸۰ میلادی) استفاده گردید.

۲-۱- محاسبه تبخیر و تعرق مرجع نقطه‌ای :

برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاههای مورد بررسی، از روش فائوپنمن مانیتیت و برای انجام محاسبات آن از نرم‌افزار کراپ وات^۳ استفاده شد. سازمان خواروبار جهانی برنامه کامپیوتری مذکور را بر اساس روش فائوپنمن مانیتیت برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع معرفی کرده است [۱۲]. ورودی نرم‌افزار پنج پارامتر متوسط حداقل دما، متوسط حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش می‌باشد. بررسی آمار ایستگاههای منتخب مشخص نمود که در برخی سالها خلاء آماری وجود دارد. از این رو قبل از محاسبه تبخیر و تعرق، تکمیل و بازسازی داده‌ها با استفاده از آمار ایستگاههای هم‌شرط با داده کامل صورت پذیرفت. آنگاه تبخیر و تعرق مرجع در ۳۸ ایستگاه مطالعاتی به روش فائوپنمن مانیتیت و به کمک نرم‌افزار کراپ وات محاسبه گردید و داده‌ها جهت انجام درون‌یابی آماده شدند.

۲-۲- روش‌های درون‌یابی :

1 - Mardikis
2 - Dalezios

اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهند شرط استفاده از کریجینگ نرمال بودن داده‌ها می‌باشد [۱۴]. رابطه کریجینگ معمولی به صورت زیر است:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

Z^* : مقدار تخمینی، λ_i : وزن یا اهمیتی که به نمونه i ام نسبت داده شده است.
 $Z(x_i)$: مقدار نمونه i ام

در این مطالعه برای بررسی نرمال بودن داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق محاسبه شده در ایستگاهها، از آزمون اکتشافی کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و درون‌یابی داده‌ها با دو مدل کروی و نمایی کریجینگ انجام گردید.

روش کوکریجینگ^۴: اساس این روش همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی می‌باشد. این روش هنگامی که ضریب همبستگی بین دو متغیر معنی‌دار باشد استفاده می‌شود، معادله کوکریجینگ به شرح زیر است [۱۴].

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i Z(x_i)) + \sum_{k=1}^n (\lambda_k y(x_k)) \quad (3)$$

$Z^*(x_i)$: مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i
 λ_i : وزن مربوط به متغیر Z ، λ_x : وزن مربوط به متغیر کمکی y ، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی، $y(x_k)$: مقدار مشاهده شده متغیر کمکی.
 شایان ذکر است که برای انجام همه درون‌یابی‌ها در این مطالعه، تحلیل‌گر زمین‌آماره^۵ در نرم‌افزار ArcGIS 9.2 بکاربرده شد.

۲-۳ روش و معیار ارزیابی: به منظور بررسی دقت روشهای زمین‌آماره بکار گرفته از روش اعتبارسنجی حذفی^۶ استفاده شد. در این روش مقدار یک نقطه حذف شده و با روش درون‌یابی از مقادیر نقاط دیگر برآورد می‌گردد. سپس مقدار نقطه دوباره به آن داده شده و این کار برای تمام نقاط مورد بررسی انجام می‌شود که در نتیجه آن می‌توان دقت برآوردهای حاصل از درون‌یابی را محاسبه کرد [۱۵].

درون‌یابی تکنیکی است که از مقادیر معلوم نمونه‌برداری شده، برای پیش‌بینی مقادیر مجهول در محل‌های نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود. در واقع هدف از درون‌یابی آن است که با استفاده از یک مجموعه نقاط، سطحی پیوسته ایجاد شود. انتخاب روش درون‌یابی به طبیعت متغیر و تغییرات آن بستگی دارد و باید توجه شود که برای حالات مختلف هیچگاه استفاده از یک مدل به عنوان مدل بهینه پیشنهاد نمی‌شود، چون یک مدل خاص در شرایط مختلف دقت‌های متفاوتی را حاصل می‌کند.

روش وزن‌دهی عکس فاصله^۱ (IDW): در این روش برای پیش‌بینی مقدار مجهول یک موقعیت نمونه برداری نشده، از مقادیر معلوم اندازه‌گیری شده نقاط اطراف (نقاط همسایگی) استفاده می‌شود. بدین منظور به مقدار معلوم نقاط مجاور به نسبت فاصله آنها از نقطه مجهول، وزنی اعمال شده است. این روش بصورت عکس فاصله به توان (P) بیان می‌گردد که توان نشان دهنده میزان اهمیت نقطه است رابطه این روش در زیر آمده است [۱۳].

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad \lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (1)$$

$Z(x, y)$: مقدار نقطه مجهول، λ_i : وزن مربوط به نقطه i ام در تعیین مقدار نقطه مجهول
 Z_i : مقدار نقطه معلوم، p : توان
 d : فاصله نقطه مجهول تا نقطه i ام.
 در این مطالعه توان‌های ۱ الی ۵ و ۱۰ مدل همسایگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش اسپیلاین^۲ (TPS): اسپیلاین‌ها همواره، توابع پیچیده‌ای شامل قطعاتی از چند جمله‌ای با درجات مختلف بین هر دو نقطه از مکان می‌باشند که در محل تقاطع هموار شده‌اند.

روش کریجینگ معمولی^۳: در روش کریجینگ نیز همانند روش وزن‌دهی عکس فاصله برای برآورد نقطه نمونه برداری نشده به هر یک از نمونه‌های

4 - CoKriging
 5 - Geostatistic Analyst
 6- Cross validation

1 - Inverse Distance Weight
 2 - Thin Plate Spline
 3 - Ordinary Kriging

های توزیع مکانی تبخیر و تعرق تهیه و مقایسه‌های مربوط صورت گرفته است.

۳- نتایج و بحث :

۱-۳- بررسی نتایج روشهای زمین آماری در برآورد ماهانه تبخیر و تعرق مرجع :

- روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) : با استفاده از اعتبارسنجی حذفی و ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا مشخص گردید که از بین توانهای ۱ تا ۵، توان ۳ در بیشتر ماهها کمترین خطا را دارد، بنابراین توان ۳ بعنوان توان بهینه معادله IDW برای ادامه مراحل انتخاب گردید. جهت تعیین تعداد نقاط بهینه در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع، درون‌یابی این داده‌ها در ماههای مختلف با تعداد نقاط همسایگی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰ و با توان بهینه ۳ انجام گردید. نتایج ارزیابی معیارهای مختلف خطا مشخص نمود که در بیشتر ماهها درون‌یابی با ۶ ایستگاه کمترین خطا را دارا می‌باشد. نتایج ارزیابی خطاها در جدول (۱) ارائه شده است.

برای ارزیابی روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر و انتخاب بهترین روش زمین‌آماری از معیارهای ارزیابی: ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)^۱، میانگین خطای انحراف (MBE)^۲، خطای مطلق میانگین (MAE)^۳ و رگرسیون ساده خطی استفاده شد که روابط آنها عبارتند از :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2}{N}} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]}{N} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)|}{N} \quad (6)$$

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر i ام

$\hat{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر i ام، N : تعداد داده‌ها

۲-۴- بررسی مقایسه‌ای نقشه‌های تبخیر و تعرق حاصل از زمین‌آمار و داده‌های ماهواره‌ای:

مباشری پهنه‌بندی نسبی تبخیر و تعرق را در مناطقی از خوزستان شمالی و مرکزی که دارای کشاورزی دایر بوده و یا مستعد کشاورزی می‌باشد، با استفاده از مدل سبال^۴ انجام داد. این مدل یکی از الگوریتم‌هایی است که تبخیر و تعرق را با استفاده از تصاویر ماهواره و داده‌های هواشناسی برآورد می‌نماید. وی از تصاویر سه گذر ماهواره لندست ۷ در تاریخ‌های می ۲۰۰۲، آگوست ۲۰۰۲ و ژانویه ۲۰۰۵ برای تولید تصاویر دیگر ماهها استفاده شده است. در این مطالعه نتایج بدست آمده برای ماهی که تصویر متعلق به آن است از صحت کافی برخوردار بوده ولی برای سایر ماهها و فصول مختلف، نتایج بدست آمده دقت مطلق را نداشته و بطور نسبی قابل استناد هستند [۸]. در تحقیق حاضر تنها به بررسی نقشه‌های تبخیر و تعرق ماهانه‌ای که گذر ماهواره در آن زمان رخ داده است پرداخته می‌شود. برای این منظور نقشه

1 -Root Mean Square Error (RMSE)

2 - Mean Bias Error (MBE)

3 - Mean Absolute Error (MAE)

4 -SEBAL

(جدول-1): نتایج ارزیابی خطای روش IDW3 با تعداد همسایگی های بهینه در برآورد منطقه ای ETo

ماه	تعداد ایستگاه	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	پارامترهای معادله رگرسیون		
					r	a	b
ژانویه	6	0/144	0/006	0/105	0/82	0/51	0/67
فوریه	6	0/186	0/001	0/130	0/89	0/55	0/76
مارس	21.24.27	0/245	-0/001	0/182	0/90	0/78	0/78
آوریل	6	0/443	-0/021	0/319	0/85	1/22	0/77
می	6	0/599	-0/020	0/430	0/82	1/98	0/73
ژوئن	6	0/615	0/058	0/446	0/89	1/97	0/77
ژوئیه	3	0/610	0/059	0/461	0/89	1/68	0/80
آگوست	3	0/595	0/050	0/428	0/87	1/71	0/77
سپتامبر	3	0/471	0/033	0/320	0/86	1/46	0/75
اکتبر	6	0/403	0/005	0/283	0/81	1/30	0/68
نوامبر	6	0/271	0/004	0/177	0/86	0/67	0/72
دسامبر	6	0/166	0/009	0/120	0/83	0/51	0/66

- روش اسپیلاین (TPS): درون یابی تبخیر و تعرق - مرجع با روش اسپیلاین در ماههای مختلف انجام شده و نتایج تبخیر و تعرق برآورد شده، بوسیله معیارهای مختلف ارزیابی خطا مورد بررسی قرار گرفتند (جدول-2).

(جدول-2): نتایج ارزیابی خطای روش TPS در برآورد منطقه ای ETo ماهانه

ماه	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	پارامترهای معادله رگرسیون		
				r	a	b
ژانویه	0/196	-0/007	0/150	0/72	0/34	0/79
فوریه	0/314	-0/018	0/218	0/75	0/40	0/84
مارس	0/348	0/013	0/254	0/81	0/51	0/85
آوریل	0/603	-0/018	0/479	0/79	0/54	0/90
می	0/766	0/007	0/603	0/76	1/11	0/85
ژوئن	0/701	-0/019	0/576	0/88	0/31	0/97
ژوئیه	0/651	-0/021	0/525	0/89	0/28	0/97
آگوست	0/669	-0/059	0/543	0/86	0/66	0/92
سپتامبر	0/595	-0/058	0/465	0/83	0/38	0/95
اکتبر	0/530	-0/059	0/394	0/77	0/40	0/92
نوامبر	0/419	-0/040	0/278	0/76	0/19	0/94
دسامبر	0/223	-0/010	0/163	0/74	0/30	0/81

پذیرفت. نتیجه بررسی سنجه های دو مدل کریجینگ مشخص نمود که در مدل کروی مقدار خطا در همه ماهها با اختلاف ناچیزی کمتر از مدل نمایی است (جدول-3). بنابراین مدل کروی کریجینگ برای ادامه مطالعات انتخاب شد.

- روش کریجینگ معمولی: در برآورد ماهانه تبخیر و تعرق مرجع به روش کریجینگ، از دو مدل معمول سمی واریوگرام کروی و نمایی استفاده شده است. پس از انجام درون یابی ها، اعتبارسنجی حذفی و ارزیابی سنجه های مختلف خطای دو مدل صورت

(جدول-۳) : نتایج ارزیابی خطای دو مدل کریجینگ در برآورد منطقه‌ای ETO ماهانه

ماه	کریجینگ کروی			کریجینگ نمایی		
	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)
ژانویه	۰/۱۴۲	-۰/۰۰۲	۰/۱۰۴	۰/۱۴۶	-۰/۰۰۲	۰/۱۱۰
فوریه	۰/۱۸۸	-۰/۰۰۶	۰/۱۴۰	۰/۱۹۳	-۰/۰۰۶	۰/۱۴۳
مارس	۰/۲۴۳	-۰/۰۰۶	۰/۱۸۱	۰/۲۴۸	-۰/۰۰۷	۰/۱۸۷
آوریل	۰/۴۴۰	-۰/۰۰۹	۰/۳۱۹	۰/۴۳۸	-۰/۰۱۵	۰/۳۱۹
می	۰/۵۷۵	-۰/۰۰۷	۰/۴۰۹	۰/۵۸۵	-۰/۰۱۲	۰/۴۲۲
ژوئن	۰/۵۹۰	۰/۰۰۴	۰/۴۴۴	۰/۵۸۴	۰/۰۱۴	۰/۴۳۳
ژوئیه	۰/۵۷۵	۰/۰۱۰	۰/۴۳۷	۰/۵۷۴	۰/۰۲۳	۰/۴۳۸
آگوست	۰/۵۶۳	۰/۰۰۱	۰/۴۱۷	۰/۵۶۶	۰/۰۱۳	۰/۴۲۸
سپتامبر	۰/۴۵۵	۰/۰۰۰	۰/۳۳۲	۰/۴۵۹	۰/۰۰۷	۰/۳۳۹
اکتبر	۰/۴۱۱	-۰/۰۰۵	۰/۲۹۳	۰/۴۰۵	-۰/۰۰۶	۰/۲۹۴
نوامبر	۰/۲۷۷	-۰/۰۰۶	۰/۱۹۶	۰/۲۷۷	-۰/۰۰۷	۰/۱۹۶
دسامبر	۰/۱۶۵	-۰/۰۰۲	۰/۱۲۴	۰/۱۶۸	-۰/۰۰۲	۰/۱۲۸

معنی‌دار می‌باشد. پس از بررسی رابطه همبستگی، درون‌یابی داده‌های تبخیر و تعرق مرجع با متغیر کمکی انجام گردیده و مانند روش‌های دیگر، ارزیابی خطای روش با معیارهای مختلف صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

روش کوکریجینگ : در این روش تبخیر و تعرق مرجع به عنوان متغیر اصلی و ارتفاع ایستگاه از سطح دریا متغیر کمکی در نظر گرفته شد. بررسی رابطه همبستگی این دو متغیر با استفاده از آزمون معنی‌دار بودن ضریب همبستگی مشخص نمود که در همه ماهها همبستگی بین دو متغیر حداقل در سطح ۹۵٪

(جدول-۴) : نتایج ارزیابی خطای روش کوکریجینگ در برآورد منطقه‌ای ETO ماهانه

ماه	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	پارامترهای معادله رگرسیون		
				r	a	b
ژانویه	۰/۱۵۵	۰/۰۰۳	۰/۱۱۹	۰/۷۹	۰/۴۹	۰/۶۸
فوریه	۰/۲۰۹	-۰/۰۰۷	۰/۱۶۱	۰/۸۶	۰/۵۰	۰/۷۹
مارس	۰/۲۹۳	-۰/۰۰۸	۰/۲۳۰	۰/۸۵	۰/۶۸	۰/۸۰
آوریل	۰/۴۹۳	-۰/۰۱۰	۰/۳۷۰	۰/۸۲	۱/۲۵	۰/۷۶
می	۰/۶۳۵	-۰/۰۰۹	۰/۴۷۰	۰/۸۰	۱/۹۸	۰/۷۳
ژوئن	۰/۶۵۷	۰/۰۲۱	۰/۵۱۵	۰/۸۷	۱/۷۸	۰/۷۹
ژوئیه	۰/۶۲۱	۰/۰۲۵	۰/۴۸۲	۰/۸۸	۱/۸۶	۰/۷۸
آگوست	۰/۶۰۰	۰/۰۱۲	۰/۴۵۷	۰/۸۷	۱/۸۷	۰/۷۶
سپتامبر	۰/۴۸۱	۰/۰۰۹	۰/۳۵۷	۰/۸۶	۱/۶۳	۰/۷۳
اکتبر	۰/۴۲۴	۰/۰۰۰	۰/۳۱۴	۰/۷۹	۱/۴۸	۰/۶۴
نوامبر	۰/۳۰۴	-۰/۰۰۱	۰/۲۲۴	۰/۸۲	۰/۷۰	۰/۷۲
دسامبر	۰/۱۷۹	۰/۰۰۳	۰/۱۴۰	۰/۸۰	۰/۴۸	۰/۶۸

تعیین بهترین روش زمین‌آماري در برآورد ماهانه ETO، معیارهای خطا در روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج آنها به شرح زیر می‌باشد :

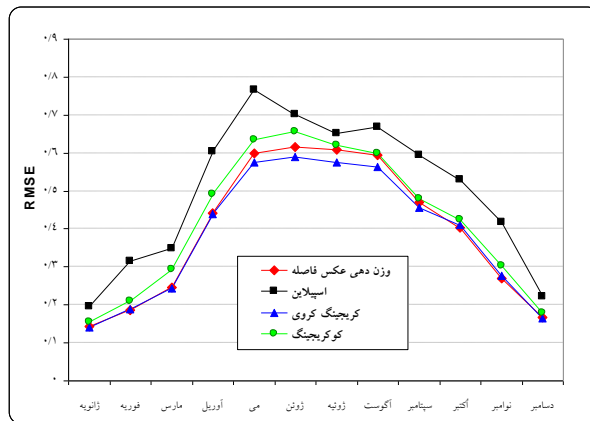
۳-۲- بهترین روش زمین‌آماري برای منطقه- ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع ماهانه : به منظور

❖ از مقایسه خطای RMSE و MAE روش‌های مختلف مشخص گردید که کریجینگ کروی در بیشتر ماهها کمترین خطا را داشته و بالاترین دقت فضایی را در بین همه روش‌ها دارا می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

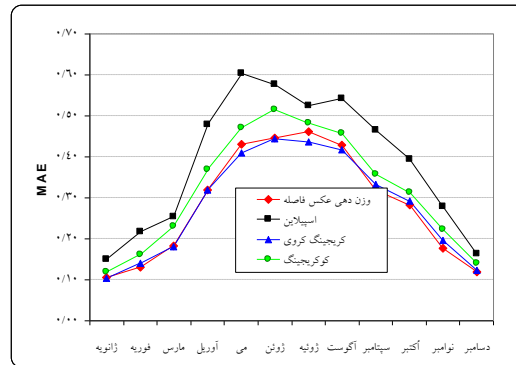
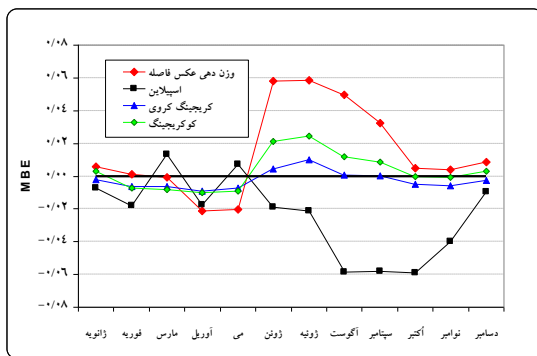
❖ بررسی شاخص MBE مشخص نمود که در کریجینگ کروی مقدار خطای انحراف کمترین بوده و به عبارت دیگر متوسط اختلاف مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده ETO ماهانه در کریجینگ کروی کمترین است (شکل-۳).

❖ مقایسه معادله‌های خط رگرسیون نشان می‌دهد که در کریجینگ کروی، همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق مرجع ماهانه بیشترین می‌باشد.

❖ بنابراین بر اساس یافته‌های این تحقیق، کریجینگ کروی بعنوان بهترین روش برای منطقه‌ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در استان خوزستان معرفی می‌گردد. زیرا این روش بالاترین دقت فضایی را در بین روش‌ها به خود اختصاص داده است و دارای کمترین خطا در برآورد تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد.



(شکل-۱): مقایسه خطای RMSE در برآورد ماهانه تبخیر و تعرق مرجع



(شکل-۲): مقایسه خطای MAE در برآورد ماهانه ETO (شکل-۳): مقایسه خطای MBE در برآورد ماهانه ETO

نقش مولفه ساختار دار تبخیر و تعرق در همه ماهها بیشتر از مولفه بی ساختار آن است. این سنج بر ایده آل بودن ساختار فضایی تبخیر و تعرق ماهانه در استان خوزستان دلالت دارد.

- بررسی پارامترهای سمی واریوگرام کریجینگ کروی: جهت تشریح ساختار فضایی ETO در منطقه مطالعاتی، نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (C_0/σ^2) از طریق بررسی پارامترهای سمی واریوگرام کروی در کریجینگ ارزیابی شد. بر اساس نتایج جدول (۵)، در مدل کروی

(جدول ۵-): نتایج ارزیابی پارامترهای نیم تغییرنما در کریجینگ کروی

ماه	اثر قطعه ای(C ₀)	سقف σ ²	$\frac{C_0}{\sigma^2}$	ماه	اثر قطعه ای(C ₀)	سقف σ ²	$\frac{C_0}{\sigma^2}$
ژانویه	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۸	ژوئیه	۰/۰۰	۲/۷۴	۰/۰۰
فوریه	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۲	اگوست	۰/۰۵	۲/۴۰	۰/۰۲
مارس	۰/۰۲	۰/۵۰	۰/۰۴	سپتامبر	۰/۰۶	۱/۳۶	۰/۰۵
آوریل	۰/۰۰	۰/۸۹	۰/۰۰	اکتبر	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۱۶
می	۰/۱۲	۱/۷۲	۰/۰۷	نوامبر	۰/۰۴	۰/۴۳	۰/۰۹
ژوئن	۰/۰۰	۲/۸۰	۰/۰۰	دسامبر	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۹

کریجینگ نمایی کمترین خطاها را دارد. همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق سالانه در کریجینگ نمایی بیشترین است. بنابراین کریجینگ با مدل نمایی بعنوان بهترین روش برای منطقه‌ای نمودن تبخیر و تعرق مرجع سالانه در استان خوزستان معرفی می‌شود.

۲-۳- بررسی نتایج روشهای زمین آماری در برآورد سالانه تبخیر و تعرق مرجع: جهت برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع سالانه، درون‌یابی این پارامتر به صورت روشهای ذکر شده در مقیاس ماهانه صورت پذیرفت. نتایج ارزیابی خطای روشها (جدول ۶) بیانگر آن است که از میان روشهای مختلف،

(جدول ۶-): نتایج ارزیابی خطای روشهای مختلف زمین آماری در برآورد منطقه‌ای ETo سالانه

روش	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	رگرسیون معادله پارامترهای		
				r	a	b
کروی کریجینگ	۱۲۸/۷۸	-۱/۵۴	۹۰/۸۳	۰/۸۸۶	۴۲۶/۳	۰/۸
نمایی کریجینگ	۱۲۸/۵۴	-۰/۰۴	۹۰/۳۷	۰/۸۸۷	۴۵۳/۹	۰/۸
کوکریجینگ	۱۴۳/۳۳	۱/۱۰	۱۰۴/۴۹	۰/۸۵۷	۳۹۵/۴	۰/۸
اسپیلین	۱۵۶/۱۰	-۷/۹۷	۱۲۲/۱۱	۰/۸۵۸	۱۲۶/۹	۰/۹
IDW-3	۱۳۴/۲۶	۳/۲۷	۹۲/۱۰	۰/۸۷۵	۳۶۰/۲	۰/۸
IDW-6	۱۳۱/۷۱	۷/۰۰	۹۰/۳۷	۰/۸۸۰	۴۱۰/۰	۰/۸
IDW-9	۱۳۲/۴۳	۱۰/۴۵	۹۳/۳۴	۰/۸۸۰	۴۶۸/۸	۰/۷
IDW-12	۱۳۱/۹۳	۹/۰۱	۹۲/۱۰	۰/۸۸۰	۴۳۸/۷	۰/۸
IDW-15	۱۳۱/۶۴	۹/۷۰	۹۲/۳۰	۰/۸۸۱	۴۴۱/۵	۰/۸
IDW-18	۱۳۱/۵۵	۹/۵۱	۹۲/۰۴	۰/۸۸۱	۴۴۲/۸	۰/۸
IDW-21	۱۳۱/۵۷	۹/۵۴	۹۲/۰۴	۰/۸۸۱	۴۴۲/۹	۰/۸
IDW-24	۱۳۱/۵۷	۹/۵۴	۹۲/۰۴	۰/۸۸۱	۴۴۲/۹	۰/۸
IDW-27	۱۳۱/۵۷	۹/۵۴	۹۲/۰۴	۰/۸۸۱	۴۴۲/۹	۰/۸
IDW-30	۱۳۱/۵۷	۹/۵۴	۹۲/۰۴	۰/۸۸۱	۴۴۲/۹	۰/۸

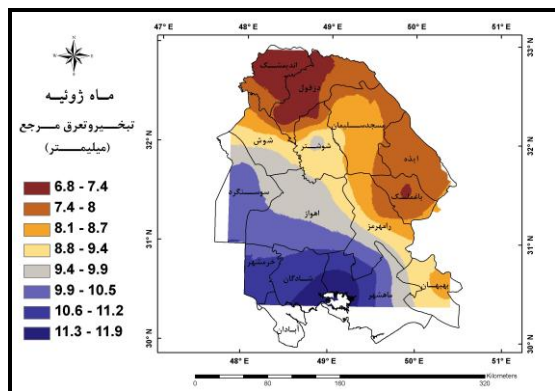
مقیاس ماهانه و سالانه، نقشه‌های توزیع مکانی این پارامتر به ترتیب با روشهای کریجینگ کروی و کریجینگ نمایی در منطقه مورد مطالعه تولید شدند. تهیه این نقشه‌ها به کمک تحلیل گر ژئواستاتستیک در محیط ArcGIS 9.2 انجام گردید. در این مقاله از بین نقشه‌های ماهانه، نقشه ماههای ژانویه، ژوئن و

۳-۳- تهیه نقشه‌های توزیع مکانی ETo در استان خوزستان و تفسیر آنها: پس از تعیین بهترین روشهای برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای در

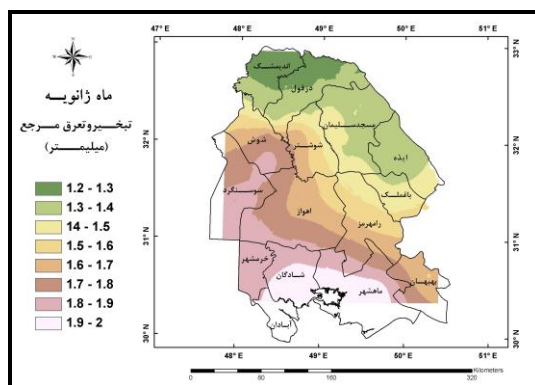
نقشه سالانه توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان نمایش داده شده است.

بر اساس این نقشه چنین نتیجه‌گیری می‌شود که: کمترین تبخیر و تعرق مرجع مربوط به ماه‌های ژانویه (شکل-۵) و دسامبر و بیشترین میزان تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان مربوط به ماه‌های ژوئن و

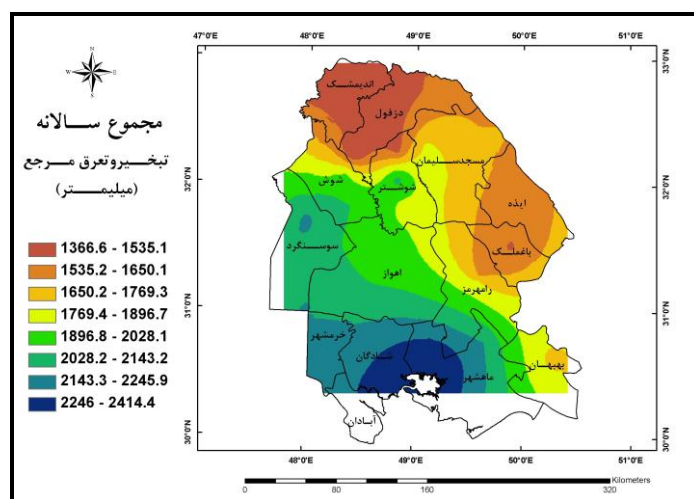
ژوئیه (شکل-۶) می‌باشد. به طور کلی در همه ماه‌ها و در مقیاس سالانه کمترین میزان تبخیر و تعرق در بخش‌های شمال و شمال غرب استان و بیشترین مقدار در نواحی جنوب و جنوب غرب خوزستان رخ می‌دهد. در شکل (۷): نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع سالانه ارائه شده است.



(شکل-۶): نقشه توزیع مکانی ET₀ در ژوئیه



(شکل-۵): نقشه توزیع مکانی ET₀ در ژانویه



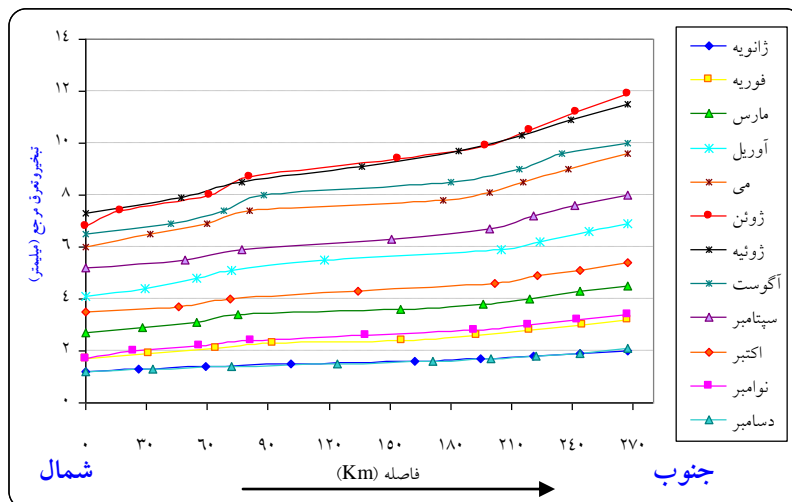
(شکل-۷): نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع سالانه

افزایش می‌یابد. بگونه‌ای که در جنوبی‌ترین بخش محدوده مطالعاتی که از نظرات ارتفاع نیز جزء پست‌ترین مناطق استان خوزستان محسوب می‌گردد، بیشترین تبخیر و تعرق رخ می‌دهد. در همه ماه‌ها کمترین مقدار تبخیر و تعرق مربوط به شمال استان می‌باشد.

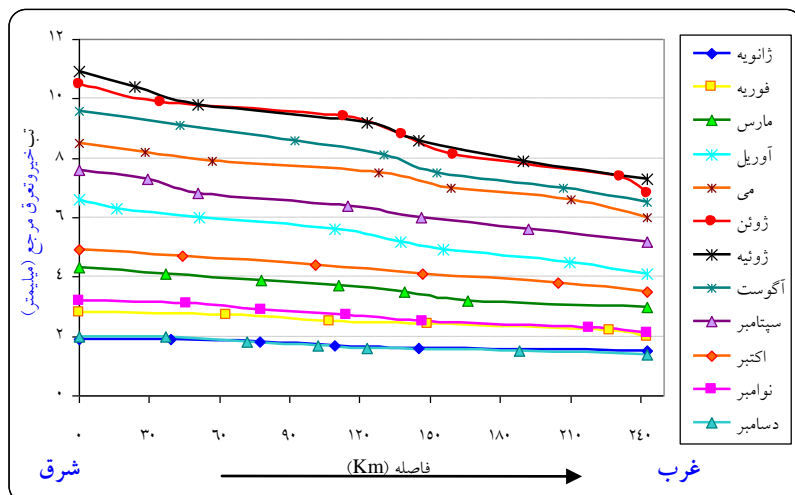
یک نیم‌رخ دیگر در عرض جغرافیایی ۳۰°: ۳۱° ترسیم گردید که بر اساس آن تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع از غرب به طرف شرق استان بررسی شد (شکل-۹). ارزیابی این نیم‌رخ نشان دهنده آن است که تبخیر و تعرق مرجع از غرب به سمت شرق استان مرتب کاهش می‌یابد، به نحوی که در همه

۳-۴- تهیه نیم‌رخ‌های تغییرات در طول جغرافیایی ۴۹° درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه و تحلیل آنها: برای داشتن دیدگاهی کلی از وضعیت تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان، یک نیم‌رخ بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی ماهانه در طول جغرافیایی ۴۹° تهیه گردید که در آن تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع از شمال به طرف جنوب استان مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل-۸). بررسی این نیم‌رخ بیانگر آن است که با کم شدن عرض جغرافیایی از شمال به طرف جنوب و کاهش ارتفاع از سطح دریا، میزان تبخیر و تعرق مرجع همواره

ماهها حداقل تبخیر و تعرق در شرق رخ می‌دهد. مناطق شرقی استان می‌باشد. یکی از علل آن افزایش ارتفاع و کوهستانی بودن



(شکل-۸): نیمرخ تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان - طول جغرافیایی 49°



(شکل-۹): نیمرخ تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع در استان خوزستان - عرض جغرافیایی 30° : 31°

❖ نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری برای منطقه‌ای نمودن ETo ماهانه و سالانه در استان خوزستان با پژوهش‌های دیگر متفاوت است. در این مطالعه سعی گردید تا حد امکان از تمامی روش‌های زمین‌آماری مورد بحث در تحقیقات مختلف استفاده گردد.

❖ استفاده از نیمرخ‌های طولی و عرضی جهت تفسیر گویاتر نقشه‌ها، یکی از برتری این مطالعه در مقایسه با مطالعات مشابه می‌باشد. از وجوه تمایز این مطالعه با تحقیقات مشابه، مقایسه نتایج زمین‌آمار با نتایج برآورد تبخیر و تعرق به روش سنجش از دور است که در ادامه نتایج حاصله از آن آمده‌اند.

۳-۵- مقایسه نتایج این تحقیق با سوابق پژوهشی مشابه: از مقایسه نتایج زمین‌آمار در مطالعه حاضر با سوابق تحقیقاتی مشابه مانند: مطالعه نظری- فر و همکاران (۱۳۸۶) در همدان [۵]، شهابی‌فر (۱۳۸۳) در تهران [۶] و تحقیق مهدیان و حسینی ابری (۱۳۸۲) در حوضه آبریز کارون [۷] چنین استنباط می‌شود که: یک روش خاص زمین‌آماری را نمی‌توان برای همه متغیرها و در همه مکانها معرفی نمود. بنابراین روش‌های زمین‌آماری در مناطق مختلف نتایج متفاوتی به همراه داشته و نیاز است که در هر مکانی، ارزیابی صورت پذیرد.

۳-۶- نتایج بررسی مقایسه‌ای نقشه‌های ETO حاصل از زمین‌آمار و داده‌های ماهواره-ای:

الف) تهیه نقشه‌های زمین‌آمار در زمان گذر ماهواره: جهت مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج حاصله از داده‌های ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌آمار مانند نقشه‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای بر مبنای مجموع تبخیر و تعرق ماهانه و با ابعاد پیکسل ۲۸/۵*۲۸/۵ متر در تاریخ‌های می ۲۰۰۲، آگوست ۲۰۰۲ و ژانویه ۲۰۰۵ تولید شدند که در این مقاله منحصراً نقشه‌های تبخیر و تعرق ماه ژانویه نمایش داده می‌شود. در نقشه‌های زمین‌آمار مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده در هر پیکسل مشخص می‌باشد، در حالی که در نقشه‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای مقدار تبخیر و تعرق مطلق برآورد شده برای هر پیکسل مشخص نبوده و فقط کد مربوط به هر طبقه تبخیر و تعرق مشخص است که بیانگر دامنه‌ای از تغییرات تبخیر و تعرق می‌باشد.

❖ نقشه تبخیر و تعرق برآورد شده از تصویر ماهواره لندست-ژانویه ۲۰۰۵: این تصویر بخش‌های وسیعی از خوزستان مرکزی و شمالی را در بر گرفته است. برای تولید نقشه این ماه، داده‌های ایستگاه هواشناسی اهواز بکار برده شده‌اند (شکل-۱۰). در این نقشه مشاهده می‌شود که در بخش‌های شمالی و مرکزی خوزستان، مجموع تبخیر و تعرق ماهانه در بیشتر مناطق بین صفر تا ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد [۸].

❖ نقشه تبخیر و تعرق مرجع ماهانه حاصله از زمین‌آمار-ژانویه ۲۰۰۵: نقشه حاصل از زمین‌آمار کل استان خوزستان را پوشش داده و با استفاده از داده‌های هواشناسی تمام ایستگاه مطالعاتی تولید شده‌اند (شکل-۱۱). در این نقشه حداقل، حداکثر و متوسط تبخیر و تعرق به ترتیب برابر ۳۸/۴، ۵۷/۴ و ۴۷ میلی‌متر است. در محدوده غرب، جنوب غربی و جنوب استان بیشترین تبخیر و تعرق در ماه ژانویه و مناطق شمال غرب، شمال و شرق محدوده مطالعاتی کمترین میزان ETO را دارا می‌باشند [۸].

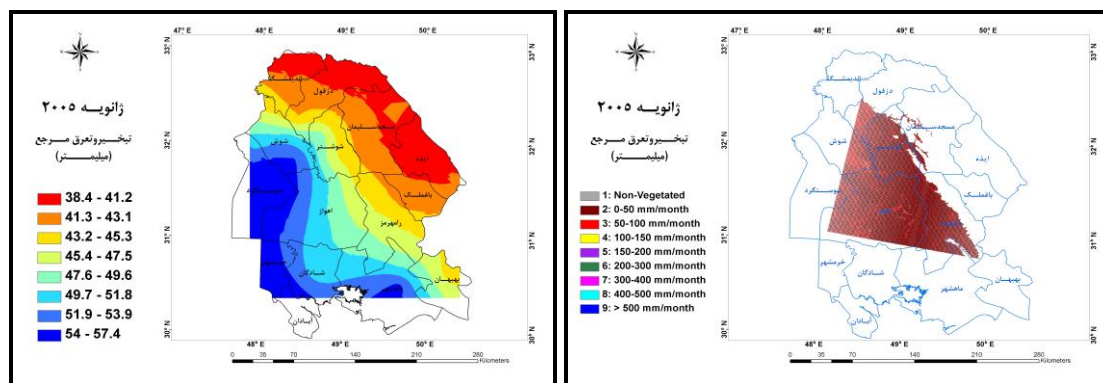
ب) بررسی میزان انطباق نقشه‌های حاصل از زمین‌آمار و سنجش از دور: برای بررسی انطباق دو سری نقشه با یکدیگر روشهای زیر بکار گرفته شدند.

روش اول: نقشه‌های تبخیر و تعرق سنجش از دور بر اساس یک طبقه‌بندی ۹ کلاسه تهیه شده‌اند و در آنها مقدار ETO مطلق برآورد شده برای هر پیکسل مشخص نمی‌باشد و فقط کد مربوط به هر طبقه مشخص است که بیانگر دامنه‌ای از تغییرات ETO می‌باشد. در حالی که در نقشه‌های زمین‌آمار در هر پیکسل مقدار تبخیر و تعرق مرجع مشخص می‌باشد و لازم بود برای امکان پذیر شدن مقایسه، نقشه مذکور بر اساس طبقات نقشه حاصل از داده ماهواره‌ای طبقه‌بندی گردد. بنابراین سعی گردید که طبقه‌بندی نقشه‌های زمین‌آمار تبدیل به طبقه‌بندی نقشه‌های سنجش از دور شود، این کار بدلیل عدم یکسان بودن دامنه تغییرات ETO دو سری نقشه امکان پذیر نبود، لذا از ادامه روش صرف نظر گردید.

روش دوم: در این روش لایه‌های جدیدی از نقشه‌های زمین‌آمار و سنجش از دور تولید گردید که در آنها، اطراف هر ایستگاه مطالعاتی بافری که در برگیرنده حدود ۳۰ پیکسل از نقشه اصلی (زمین‌آمار و سنجش از دور) باشد تشکیل گردید. در این بافرها میانگین تبخیر و تعرق را برآورد نموده و نتایج حاصله با مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده در ایستگاهها مقایسه شدند. در جدول (۷) این مقایسه برای ماه ژانویه ارائه شده است. براساس این روش:

❖ در همه ماه‌های مورد بررسی ETO برآورد شده در روش زمین‌آمار با اختلاف ناچیزی برابر مقادیر محاسبه شده در ایستگاهها می‌باشد. ETO برآورد شده به روش سنجش از دور بصورت دامنه تعریف شده که تنها در برخی موارد، مقادیر محاسبه شده در ایستگاهها در این دامنه قرار گرفته‌اند.

❖ بنابراین نقشه‌های زمین‌آمار و نقشه‌های پروژه سنجش از دور مورد بررسی انطباق کامل ندارد و روشهای زمین‌آمار برای مصارف عملی کاربردپذیرتر از پروژه سنجش از دور مورد بررسی در استان خوزستان می‌باشند.



(شکل ۱۰): نقشه ET₀ حاصل از تصویر ماهواره - ژانویه ۲۰۰۵ (شکل ۱۱): نقشه ET₀ حاصل از زمین آمار - ژانویه ۲۰۰۵

(جدول ۷): مقایسه مقادیر ET₀ محاسبه شده در ایستگاهها با مقادیر حاصل از زمین آمار و سنجش از دور -

ژانویه ۲۰۰۵

سنجش از دور <i>ET₀(mm/month)</i>	زمین آمار <i>ET₀(mm/month)</i>	نقطه‌ای در ایستگاه <i>ET₀(mm/month)</i>	نام ایستگاه
۰-۵۰	۵۱	۴۹/۹	اهواز
۵۰-۱۰۰	۴۴/۶	۴۲/۸	رامهرمز
—	۴۶/۲	۴۴/۳	شوشتر
۰-۵۰	۴۸/۹	۵۱/۲	اهواز (ملائانی)
—	۴۸/۷	۵۵/۸	کشت و صنعت کارون
۵۰-۱۰۰	۵۴/۳	۵۴/۶	حمیدیه
۵۰-۱۰۰	۵۴/۳	۵۸	عبدالخاں
۰-۵۰	۴۵/۸	۴۱/۲	عرب اسد
۵۰-۱۰۰	۵۴/۴	۵۵/۸	حمیدیه (تبخیرسنجی)
۵۰-۱۰۰	۴۴/۶	۴۷/۱	پاگچی رامهرمز
۰-۵۰	۴۳/۹	۴۳/۴	سدگتوند

سپاسگزاری: از دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران و همچنین دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان به عنوان حمایت کننده‌های پژوهش تشکر می‌نماییم.

منابع:

- [1] Lanjeri, S., Cuadrat, J.M., Vicente-Serrano, S.M. and García-Vera, M.A., "Mapping potential evapotranspiration using high resolution digital terrain models", geographical information systems and regression-based techniques: application in the Ebro valley (NE-Spain), Geophysical Research Abstracts, Volume 8, (2006).
- [2] Gong, L., Xu, Ch., Chen, D., "Spatial interpolation and analyses of reference evapotranspiration and its temporal trends in Changjiang (Yangtze River) Catchment, China", Geophysical Research Abstracts, Volume 7, European Geosciences Union, (2005)
- [3] Mardakis, M.G., KALIVAS, D. P. and KOLLIAS, V.J., "Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration - An Application in Greece", Journal Water Resources Management, Publisher Springer Netherlands, Volume 19, Number 3, (2005).

[4] Dalezios, N., Loukas, A. and Bampzelis, D., "Spatial variability of reference evapotranspiration in Greece", *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 27, Issues 23-24.* (2002).

[5] نظری فر، م. ه.، سیفی، ک. و مومنی، ر. ارزیابی روشهای زمین آماری و تیسسن در برآورد تغییرات منطقه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل-مطالعه موردی استان همدان، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۶).

[۶] شهابی فر، م. برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه ای با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان تهران، پایان نامه دکترای تخصصی علوم و مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۳).

[۷] مهدیان، م. ح و حسینی ابری. ع. بررسی تغییرات ناحیه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل در حوزه کارون، مجموعه مقالات هشتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۲).

[۸] مباحثی، م. پروژه برآورد میزان تبخیر و تعرق در دشت های مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ سنجه ETM+، سازمان آب و برق خوزستان، (۱۳۸۵).

[9] Allen, R., Pereira, L., Raes, D. and Smith, M, "Crop Evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper Number 56", FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (1998).

[۱۰] وزارت کشاورزی. آیین نامه مصرف بهینه آب در کشاورزی (سند ملی نیاز آبی) - نیاز آبی، الگوی کشت و راندمان آبیاری، جلد اول دشتهای استان خوزستان، (۱۳۷۸).

[۱۱] کشلولی، ح. ع، برومند نسب، س. و حسینی، ی. مقایسه روشهای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل پنمن، FAO و تورنت وایت در منطقه شمال خوزستان، اولین همایش منطقه ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد، (۱۳۸۵).

[12] Doorenbos, J. and Pruitt, W, " Guidelines for Predicting Crop Water Requirements, Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd Ed", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (1977).

[13] Johnston, K., J., Ver Hoef, K., Krivoruchko and N., Lucas, "ArcGIS9 Using ArcGIS Geostatistical Analyst", ESRI in the United States. Printed in the United States of America, (2001).

[۱۴] حسنی پاک، ع. ا، زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۷).

[۱۵] جامعی، م.، حجام، س. و بابایی کفاکی، س. ارزیابی روشهای درون یابی در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع و مقایسه با نتایج موجود حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در مرکز و شمال استان خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، (۱۳۸۷).

Assessment of Geostatistics methods to estimate regional reference evapotranspiration and comparison of results with those of satellite images in central and north Khuzestan

1-Sohrab Hajjam, Associate Professor, Department Agrometeorology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

2-Mozhdeh Jamei, Agrometeorology M.S.c, Department Agrometeorology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Mozhdeh.jamei@gmail.com

3-Sasan Babaei Kafaki, Assistant Professor, Department Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

Abstract:

This study aims at assessing the accuracy of various geostatistic methods used to estimate the regional reference evapotranspiration values in Khuzestan and comparing them with available results obtained from regional satellite images. In this research, the reference evapotranspiration value was calculated using FAO Penman-Monteith method and the collected data from 38 stations in case study. To change the pointed reference evapotranspiration to regional, the accuracy of geostatistic methods such as: Inverse Distance Weighted with the powers 1 to 5 and neighborhood points 3 to 30, Thin Plate Spline, Spherical and Exponential Kriging and Cokriging were assessed. The results evaluation of geostatistic methods were based on Root Mean Square Error, Mean Bias Error, Mean Absolute Error and simple linear regression. The outcome showed that Spherical Kriging in monthly scale and Exponential Kriging in annual scale are the best methods for determining the regional reference evapotranspiration. Comparing the results obtained from Remote Sensing and geostatistic demonstrated that the estimated evapotranspiration values from geostatistic are more accurate and practical.

Key word: *Reference Evapotranspiration, Geostatistic, Spherical and Exponential Kriging, Geographical Information System, Remote Sensing, Khuzestan.*