

## بکارگیری سنجش از دور در تعیین بهترین مدل زمین آماری جهت درون یابی اطلاعات میدانی

جلال عبداللهی<sup>1</sup>، محمدحسن رحیمیان<sup>2</sup>

1- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

2- کارشناس مرکز ملی تحقیقات شوری پست الکترونیک: jaabdollahi@yahoo.com

تاریخ دریافت: 1384/12/06 تاریخ پذیرش: 1385/11/30

### چکیده

داده های سنجش از دور قادر به نمایش خصوصیات برخی از پدیده های زمینی و همچنین نحوه توزیع مکانی آنها در مقیاسهای مختلف می باشند. از طرفی دیگر، اولین و مهمترین گام در انجام درون یابی داده های کسب شده صحرائی، بررسی همبستگی مکانی آنها و معرفی مدل بهینه جهت اعمال عامل وزنی مناسب برای درون یابی آن متغیر در منطقه است. بنابراین، با کمک داده های سنجش از دوری که مشابه متغیر مورد مطالعه باشند، امکان بررسی نحوه توزیع مکانی و تغییرات آن شاخص وجود دارد. در تحقیق حاضر از تغییرات مکانی داده های باند ترمال (باند 6) ماهواره لندست 7 استفاده و الگوی تغییر درجه حرارت سطحی در منطقه اردکان واقع در استان یزد تعیین شده است. این الگو که به صورت یک مدل ریاضی بیان شده است، می تواند جهت درون یابی داده های درجه حرارت کسب شده از ایستگاههای هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، استفاده گردد. بدین منظور از یک شبکه منظم 108 نقطه ای بر روی باند ترمال نمونه گیری شد و سپس به کمک زمین آمار، نقاط واریوگرام تجربی محاسبه و مدل های مختلفی مانند گوسی، نمایی، دایره ای و کروی بر آنها برازش گردید. سپس با استفاده از کریجینگ ساده و به کارگیری هر کدام از این مدل ها، نقشه های جداگانه ای ایجاد و دقت هر یک محاسبه شد. نتایج بدست آمده نشان داد که اطلاعات باند ترمال دارای مدلی نمایی (exponential) هستند و تغییرات مکانی آنها با این مدل قابل توجیه است. لذا این مدل می تواند در درون یابی داده های درجه حرارت ایستگاههای هواشناسی استفاده شود و نقشه درجه حرارت منطقه را با دقت بالایی ترسیم نماید. روش ذکر شده در این تحقیق می تواند برای سایر شاخصهای محیطی نظیر دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق نیز قابل بررسی باشد.

**واژه های کلیدی:** زمین آمار، درون یابی، کریجینگ، همبستگی مکانی، مدل بهینه، سنجش از دور.

### مقدمه

آوری، ورود، ثبت، ذخیره سازی، فراخوانی، بکارگیری و تحلیل اطلاعات و نهایتاً تهیه مدل می باشد. بنابراین شناخت منبع، میزان و ماهیت هرخطا اولین استراتژی جهت کاهش خطا می باشد. از جمله خطاهایی که بر روی داده های نقطه ای بار می شود، خطای مربوط به نحوه درون یابی آنها جهت تهیه یک نقشه رستری برای ورود به

امروزه قابلیت و پتانسیل های سیستم اطلاعات جغرافیایی در تحلیل زمانی و مکانی داده های زمینی بر هیچ کس پوشیده نیست. با افزایش توجه به این شاخه از علم، صحت و دقت داده ها نیز اهمیت ویژه ای یافته است. منابع خطا در GIS به طور عمده مربوط به جمع

نتیجه رسیدند که انتخاب بهترین تکنیک برای درون‌یابی تحت تأثیر مستقیم دامنه تغییرات درجه حرارت، واریانس آنها و میزان همبستگی درجه حرارت با ارتفاع منطقه است. همچنین گفته‌اند که مقیاس مورد مطالعه، تراکم نسبی نقاط و توزیع مکانی ایستگاهها بر روی انتخاب بهترین روش تأثیر زیادی می‌گذارد. در این تحقیق بر استفاده از داده های کمکی نظیر مدل رقومی ارتفاعات (DEM)، شیب و جهت جغرافیایی و نیز اطلاعات باند ترمال ماهواره لندست در محل ایستگاههای هواشناسی منطقه جهت درون‌یابی و تخمین درجه حرارت تأکید شده است (Collins & Bolstad, 1994).

درون‌یابی در سایر شاخصهای محیطی از جمله شوری خاک، هدایت هیدرولیکی، خصوصیات ژئومورفولوژی منطقه و غیره صورت گرفته است. به طوری که حسینی و همکاران چندین روش درون‌یابی را برای تخمین هدایت هیدرولیکی خاک مورد مقایسه قرار دادند تا خطوط هم‌میزان را برای منطقه جنوب‌غربی ایران ترسیم کنند (Hosseini et al. 1993). لاسلت و همکاران به مقایسه روشهای مختلف درون‌یابی در تخمین اسیدیته خاک سطحی پرداخته‌اند و بهترین روش که منجر به ارائه نتایج بهتری می‌شود را گزارش کرده‌اند (Laslett et al. 1978). همچنین ولتز و گولارد سه روش مختلف درون‌یابی را برای تعیین منحنی رطوبتی خاک مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده‌اند (Voltz & Goulard, 1994).

با اشاره به منابع ذکر شده در این تحقیق اهمیت انتخاب روش درون‌یابی برای هر پدیده طبیعی مشخص می‌شود و نیز چنین استنباط می‌گردد که هر یک از شاخصهای محیطی دارای رفتاری در طبیعت هستند که

می‌باشد. عمده این نوع خطا مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت درون‌یابی می‌باشد. محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روشهای مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می‌باشد.

آقایان ناوم و سانیس در کشور سوئیس دوازده تکنیک مختلف درون‌یابی را برای تهیه نقشه هم‌باران مورد مقایسه قرار داده و در نهایت بهترین مدلها برای درون‌یابی اطلاعات بارندگی سالانه آن منطقه را مدل‌های کریجینگ نمایی (exponential) و کریجینگ عمومی (universal) معرفی نموده‌اند. آنها در پایان تأکید کرده‌اند که چنانچه داده های بارندگی از حالت سالانه به ماهانه، روزانه یا غیره تغییر کنند، مدل‌های معرفی شده قطعیت نخواهند داشت و بایستی دوباره تست شوند (Naoum & Tsanis, 2004). درون‌یابی آمار بارندگی توسط آقای گنتون و فورر نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است (Genton & Furrer, 1998).

آقای مهدیان و همکاران خود در تحقیقی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران انجام داده‌اند، اقدام به شناسایی بهترین روش جهت درون‌یابی آمار درجه حرارت ماهانه و سالانه و نیز تبخیر و تعرق ایستگاههای هواشناسی منطقه مورد مطالعه نموده‌اند. آنها از میان چندین روش مختلف، روش TPSS (Thin Plate Smoothing Spline) را مناسب برای درون‌یابی آمار ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق و درجه حرارت معرفی کرده‌اند (Mahdian et al., 2001).

آقایان کولینز و بولستاد روشهای مختلفی را جهت درون‌یابی داده های درجه حرارت حداقل و حداکثر در آمریکا مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده‌اند. آنها به این

در نقاط مورد نظر صورت گیرد. از طرفی، تعیین مدل مناسب، به داشتن یک آمار دقیق و کافی از شاخص مورد مطالعه نیازمند است. همچنین، محل‌های نمونه‌گیری بایستی نماینده خوبی از شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه باشند. رعایت همه موارد یاد شده جهت منطبق نمودن مشاهده‌ها (نمونه‌ها) با طبیعت حاکم بر آن منطقه صورت می‌گیرد. بنابراین چنانچه منبعی وجود داشته باشد که بتواند طبیعت و نحوه تغییرات مکانی شاخص مورد مطالعه را نشان دهد، می‌تواند باعث کاهش خطای تخمین در عملیات درون‌یابی شود. تصاویر ماهواره ای دارای چنین قابلیت‌هایی هستند، به‌طوری‌که که قادر به نمایش نحوه تغییر برخی شاخص‌های زمینی می‌باشند. بنابراین، با بکارگیری سنجش از دور می‌توان رفتار کلی یک پدیده را مطالعه و روند تغییرات آن را مشاهده نمود. لازمه استفاده از این تکنیک، شناخت ماهیت تصاویر گرفته شده توسط سنجنده‌های مختلف ماهواره ای و نیز نحوه ارتباط آن با عامل محیطی و شاخص مورد مطالعه می‌باشد. در شکل شماره 1 مراحل مختلف انجام این کار با استفاده از روش پیشنهادی نشان داده شده است.

چنانچه بخواهیم آنها را پیش‌بینی کنیم و یا تخمین بزنیم نیازمند گزینش روشی خاص هستیم. روش انتخاب شده تابعی از شرایط حاکم بر همان مجموعه از داده‌هاست، به‌طوری‌که برای شاخص‌های دیگر و یا شرایط محیطی دیگر صادق نخواهد بود.

از بین روش‌های مختلفی که برای درون‌یابی استفاده می‌شود روش کریجینگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. طبق نظر آقایان دلفینر و دلهومه و کرسیس، این روش به عنوان بهترین روش درون‌یابی و تخمین زده در نقاط فاقد آمار در مناطق همگن می‌تواند عمل نماید (Delfiner & Delhomme, 1975; Cressies, 1991). در ایران هم از کریجینگ استفاده‌های فراوانی می‌شود و برای ساخت نقشه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نیاز به محاسبات قبلی و تعیین نحوه همبستگی مکانی داده‌های صحرائی دارد که با ترسیم سمی واریوگرام تجربی و انتخاب مدل ریاضی مناسب که بتواند بر نقاط آن برازش شود قابل انجام است. انتخاب نامناسب مدل بهینه باعث می‌شود تا وزن اختصاص یافته به هر یک از نقاط نقشه غیردقیق شود و در نهایت تخمین نادرستی از آن شاخص



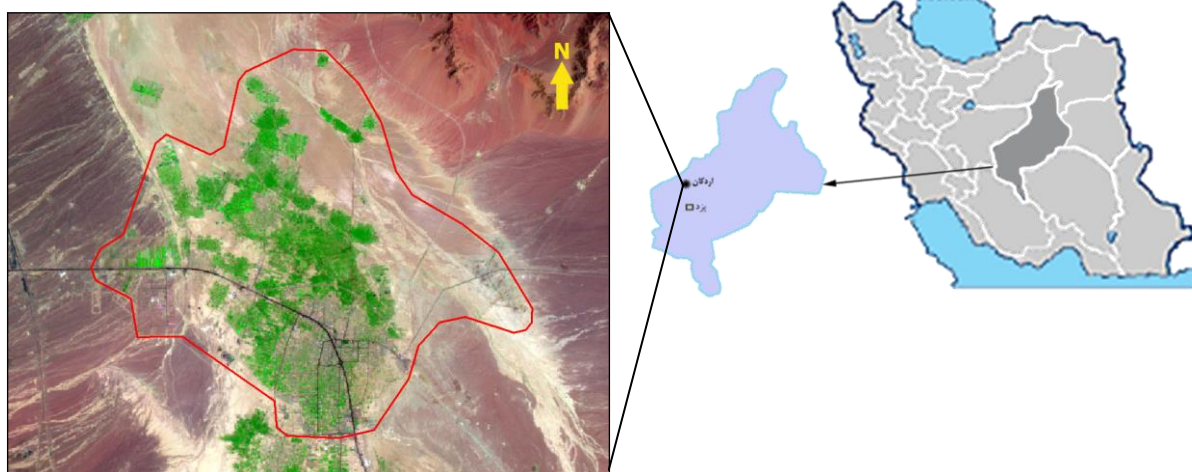
میدانی استفاده نخواهد شد؛ بلکه اطلاعات سنجش از دور این نقش را ایفا خواهند نمود. این مرحله دارای اهمیت فوق العاده ای جهت درون‌یابی آمار میدانی با استفاده از روش کریجینگ می باشد.

## مواد و روشها

### محل مورد مطالعه

محل مورد مطالعه شهرستان اردکان در استان یزد می باشد که در طول جغرافیایی  $53^{\circ} 55' E$  تا  $54^{\circ} 05' E$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 17' N$  تا  $32^{\circ} 24' N$  واقع شده است. مساحت این محدوده 11000 هکتار می باشد. متوسط سالانه درجه حرارت این منطقه 19 درجه سانتیگراد گزارش شده است. شکل شماره 2، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

درجه حرارت است؛ بنابراین به خوبی می تواند جهت مطالعه روند و نحوه تغییرات مکانی درجه حرارت سطحی نیز مورد استفاده قرار گیرد. با درک این مطلب، می توان اطلاعات این باند را جایگزین مناسبی جهت تعیین نحوه پراکندگی مکانی آمار درجه حرارت روزانه ایستگاههای هواشناسی نیز دانست. با مشخص شدن مدل ریاضی همبستگی مکانی اطلاعات باند 6، درون‌یابی داده های درجه حرارت کسب شده از ایستگاههای هواشناسی یک منطقه با اطمینان بیشتری صورت می گیرد و خطاهای ناشی از نامناسب بودن احتمالی مدل اعمال شده به حداقل خواهد رسید و نقشه درجه حرارت که مبنای بسیاری از محاسبات دیگر است با دقت بیشتری ساخته می شود. مزیت اصلی این روش، این است که جهت انتخاب بهترین مدل بیانگر همبستگی یک شاخص، از اطلاعات

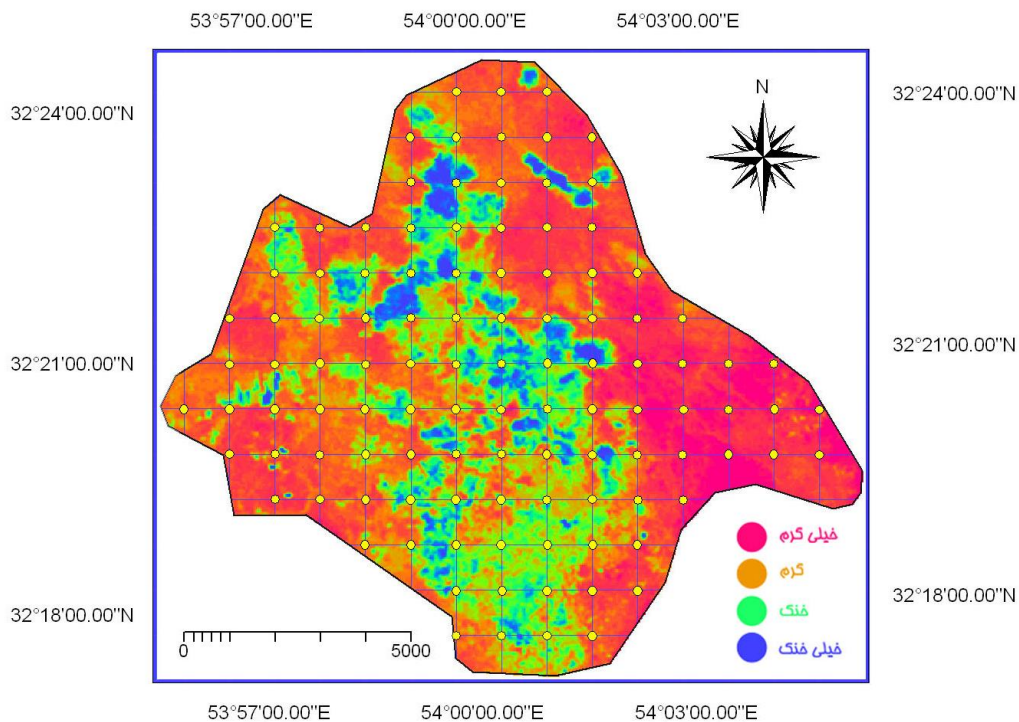


شکل 2- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران، نقشه استانی و نقشه ترکیب رنگی مربوط به سال 1381

## روش تحقیق

پس از انتخاب باند 6 ماهواره لندست ETM<sup>+</sup> در تیرماه سال 1381 به عنوان نقشه بیان کننده نحوه توزیع درجه حرارت سطحی، با ترسیم یک شبکه منظم با رعایت فواصل 1000 متری تعداد 108 نقطه به عنوان محل‌های

نمونه برداری مشخص شد. شکل شماره 3 باند حرارتی ماهواره لندست به همراه نقاط نمونه‌گیری بر روی آن را نشان می‌دهد. سپس با انجام عملیات کراسینگ در محیط نرم افزاری الویس، اقدام به جداسازی مقادیر عددی باند 6 در نقاط مورد نظر گردید.



شکل 3- باند حرارتی ماهواره لندست مربوط به محل مورد مطالعه به همراه شبکه بندی و نقاط نمونه‌گیری

جهت تحلیل مکانی داده‌ها از (سمی واریوگرام) یا واریوگرام تجربی استفاده گردید. داده‌های واریوگرام تجربی در این تحقیق با استفاده از نرم افزار الویس محاسبه و سپس بهترین مدل‌های ریاضی که قابلیت برازش بر نقاط آن را داشتند شناسایی گردیدند. مدل‌های مورد استفاده جهت برازش بر نقاط واریوگرام شامل مدل‌های گوسی، کروی، نمایی، دایره‌ای، توانی، موجی و چهار وجهی منتظم بودند که مشخصات آنها در جدول شماره 1 بیان شده است.

با بدست آمدن یک مجموعه داده که هر یک دارای مقادیر طول و عرض جغرافیایی و اطلاعات باند 6 می‌باشند، اقدام به تجزیه و تحلیل آماری و مکانی آنها گردید. با توجه به ضرورت نرمال بودن مشاهده‌ها (نمونه‌ها) در بررسی‌های آماری، با استفاده از نرم‌افزار Minitab، تست نرمالیت Kolmogorov-Smirnov روی داده‌ها صورت گرفت و مقدار P-value برای آنها محاسبه گردید. با حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تحلیل مکانی آنها آغاز گردید.

جدول 1- مدل‌های مختلف برازش شده بر نقاط واریوگرام تجربی در این تحقیق و فرمول آنها

نام مدل	فرمول مورد استفاده
گوسی (Gaussian)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left( 1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right)$
کروی (Spherical)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad \text{برای } 0 < h \leq a$ $\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{برای } h > a$
نمایی (Exponential)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left( 1 - e^{-\frac{h}{a}} \right)$
دایره‌ای (Circular)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} * \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right\} \quad \text{برای } 0 < h \leq a$ $\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{برای } h > a$
توانی (power)	$\gamma(h) = C_0 + k * h^m$
موجی (wave)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left( 1 - \frac{\sin\left(\frac{h}{a}\right)}{\frac{h}{a}} \right)$
چهار وجهی منتظم (rational quadratic)	$\gamma(h) = C_0 + C * \left( \frac{\frac{h^2}{a^2}}{1 + \frac{h^2}{a^2}} \right)$

در فرمول‌های فوق منظور از  $h$  فاصله و  $\gamma(h)$  سمی واریانس است.  $C_0$  اثر قطعه ای،  $C_0 + C$  حد آستانه،  $a$  دامنه یا شعاع تأثیر،  $k$  شیب خط در تابع توانی و  $m$  درجه تابع توانی (بین 0 تا 2) می باشد. مقادیر اثر قطعه ای، حد آستانه و شعاع تأثیر توسط کاربر تعیین می شوند.

جهت ارزیابی و تعیین بهترین مدل، دقت هر یک از نقشه‌های تولید شده محاسبه گردید. بدین منظور مقادیر تخمین زده شده در محل نقاط (108 نقطه) از روی نقشه‌ها استخراج و با مقادیر اولیه ای که در ساخت این نقشه‌ها بکار برده شدند (اطلاعات برداشت شده از باند 6) بر روی یک نمودار قرار گرفتند. با برازش خط مستقیم بر آنها و محاسبه ضریب تبیین ( $R^2$ )، میزان دقت هر کدام از

با مشخص شدن مدل‌های مناسب قابل برازش و تعیین شاخصهای آنها (دامنه تأثیر، اثر قطعه‌ای و حد آستانه)، ارتباط مکانی داده‌ها با همدیگر و نحوه اختصاص عامل وزنی به آنها تعیین گردید و به فرمول‌های مختلف ریاضی تبدیل شد. سپس عملیات تخمین زده به روش کریجینگ ساده به عنوان بهترین تخمینگر خطی نااریب صورت گرفت و با اعمال هر مدل، نقشه جداگانه ای ترسیم شد.

## نتایج

### آنالیز آماری مشاهدات

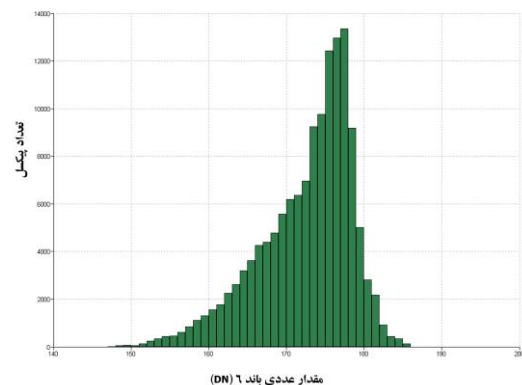
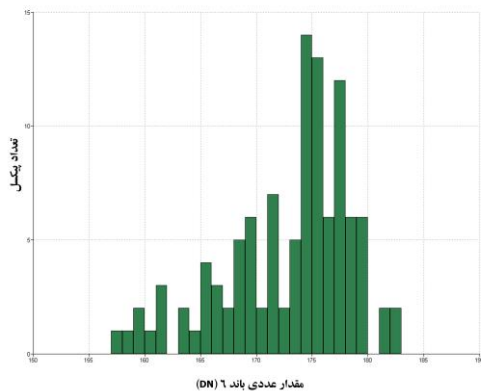
شکل شماره 4 هیستوگرامهای مربوط به اطلاعات برداشت شده از باند 6 ماهواره لندست مربوط به کل منطقه مطالعاتی و نیز نقاط برداشت شده انتخابی را نشان می دهد. جهت حصول اطمینان از نرمال بودن اطلاعات مورد استفاده، با اعمال تست نرمالیت Kolmogorov-Smirnov نرمال بودن اطلاعات برداشت شده از باند 6 ماهواره لندست بررسی و مقدار p-value برابر 0/001 محاسبه گردید که بیانگر نرمال بودن داده ها می باشد (p-value < 0.01). نمودار توزیع نرمال داده های برداشت شده (108 نقطه) در شکل شماره 5 نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می شود نقاط این نمودار تشکیل یک خط نسبتاً مستقیم را داده اند. بنابراین، داده های مورد استفاده در این تحقیق نرمال می باشند. سایر شاخصهای آماری این داده ها نیز محاسبه گردید که در جدول شماره 2 آمده است.

نقشه ها و یا مدل‌های اعمال شده تعیین شد. همچنین جهت مقایسه آماری مدلها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE) برای هر مدل استفاده گردید که به صورت زیر قابل محاسبه می باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE_i}{n}}$$

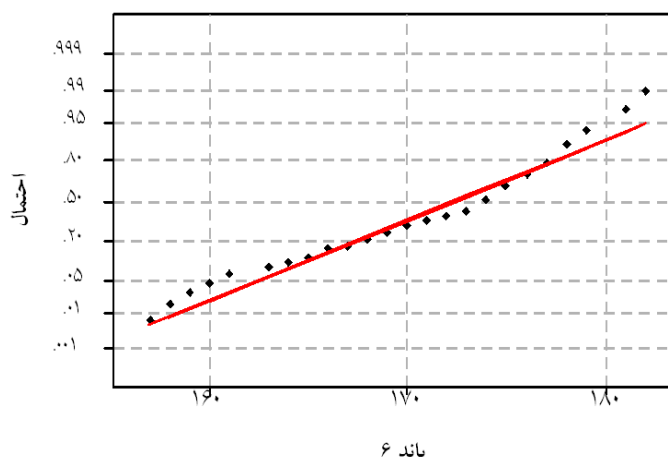
در این فرمول SSE، مجموع مربعات خطاها یا به عبارتی مربع تفاضل مقادیر، مشاهده و تخمین می باشد. n هم تعداد مشاهدات است (108 نقطه). هر چه مقدار RMSE کمتر باشد مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود.

با مشخص شدن بهترین مدلی که قادر به توجیه مکانی اطلاعات باند 6 ماهواره لندست می باشد، مدل بهینه جهت توجیه مکانی درجه حرارت سطحی نیز بدست آمد. بنابراین با اطمینان زیادی می توان این مدل را جهت برازش و تخمین داده های درجه حرارت منطقه مورد مطالعه، استفاده نمود.



شکل 4: هیستوگرام مقادیر عددی باند 6 مربوط به (الف) کل منطقه مطالعاتی و (ب) نقاط انتخاب شده





شکل 5- نمودار توزیع نرمال داده های مربوط به نقاط انتخابی از باند 6 ماهواره لندست در منطقه مورد مطالعه

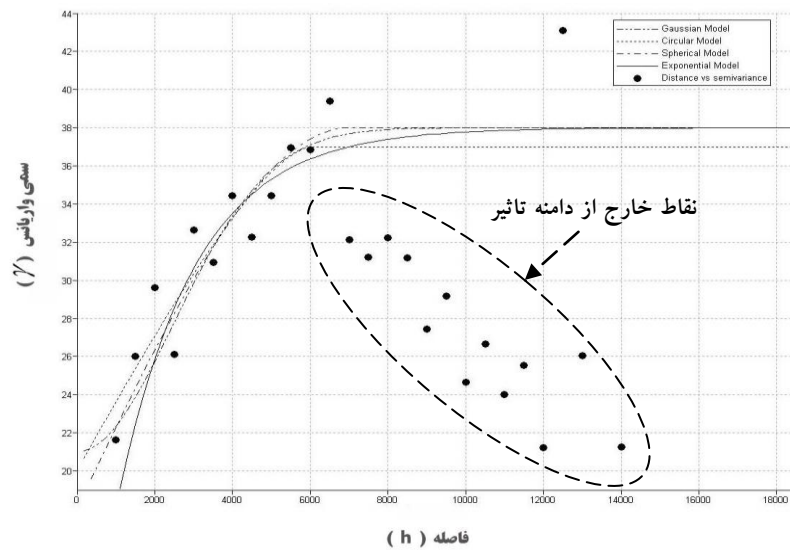
جدول 2- شاخصهای آماری داده های باند 6 ماهواره لندست مربوط به کل منطقه مطالعاتی و نقاط انتخابی در آن

مجموعه داده ها	تعداد نقاط/پیکسلها	مقدار حداقل	مقدار حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
کل منطقه مطالعاتی	137908	147	185	172/08	5/98	35/83	-0/95	0/18
نقاط انتخابی	108	157	182	172/38	5/66	32/01	-0/82	0/10

#### - برازش بهترین مدلها بر نقاط واریوگرام تجربی

با محاسبه واریوگرام، اقدام به برازش مدل‌های مختلف بر آن گردید. از بین مدل‌های موجود فقط مدل‌های کروی، دایره ای، نمایی و گوسی قابلیت برازش بر نقاط واریوگرام را داشتند و سایر مدلها نامناسب تشخیص داده شدند. شکل شماره 6 واریوگرام تجربی را نشان می‌دهد که مدل‌های مختلف بر نقاط آن برازش شده اند. معادله هر یک از این خطوط با تعیین شاخصهای آنها مشخص گردید و در اعمال روش کریجینگ مورد استفاده واقع شد. همانطوری که مشاهده می شود، نقاط واریوگرام در فواصل بیشتر از 6000 متر پراکنده شده اند و بر مدل‌های ترسیمی منطبق نمی گردند. بنابراین می توان گفت که مدل‌های برازش شده در محدوده ای خاص از فاصله (کمتر یا مساوی دامنه تاثیر) قابل استفاده می باشند. جهت

کاهش و یا حذف فاصله بیش از حد نقاط با مدل‌های انتخابی، بایستی از سایر روش‌های بررسی همبستگی مکانی مانند مادوگرام (Madogram)، رودوگرام (Rodogram)، کورلوگرام (Correlogram) و یا واریوگرامهای غیر همگن (Anisotropic) استفاده و همبستگی مکانی آنها را به روابط ریاضی قابل استفاده جهت درون یابی تبدیل نمود. در این تحقیق انجام عملیات درون یابی توسط این مدلها محدود به نقاط فاقد داده یعنی نقاط بین فواصل نمونه گیریهای اولیه (1000 متر) است. لذا اعمال فاکتور وزنی توسط این مدلها برای نقاط خارج از دامنه تاثیر (بیشتر از 6000 متر) عملاً رخ نخواهد داد و نیازی به تغییر روش بررسی همبستگی مکانی داده ها نیست.



شکل 6: واریوگرام تجربی و مدل‌های مختلف برازش شده بر نقاط آن

7 این نقشه‌ها به همراه نمودارهای تعیین دقت آنها نشان داده شده‌اند. همچنین ضریب تبیین این نمودارها ( $R^2$ ) و نیز مقدار آماره RMSE برای نقشه‌های حاصل از مدل‌های مختلف در جدول شماره 3 آمده است.

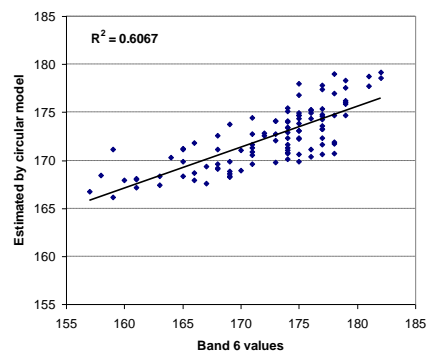
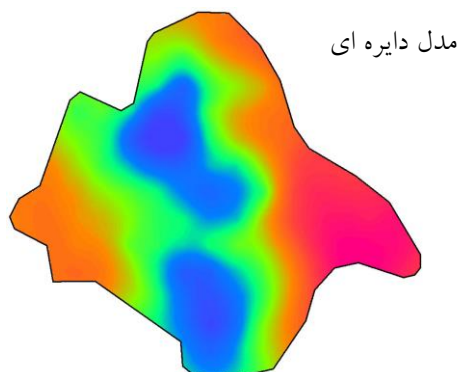
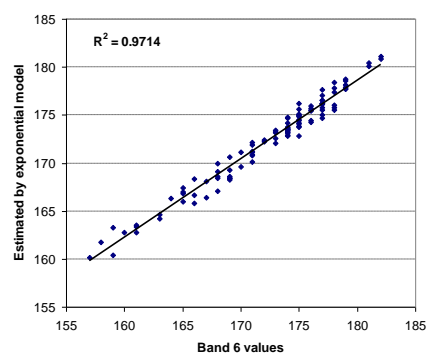
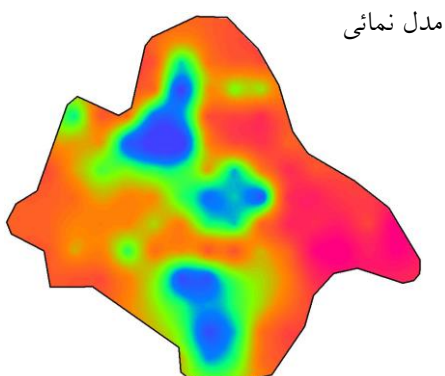
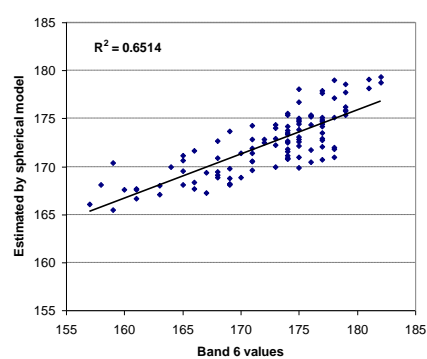
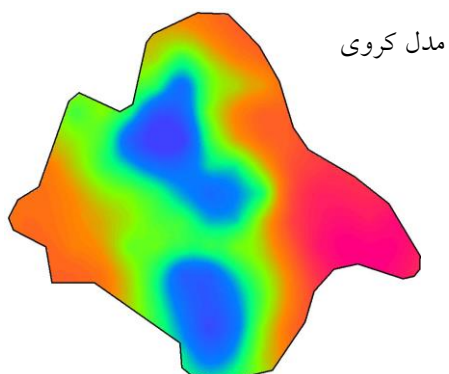
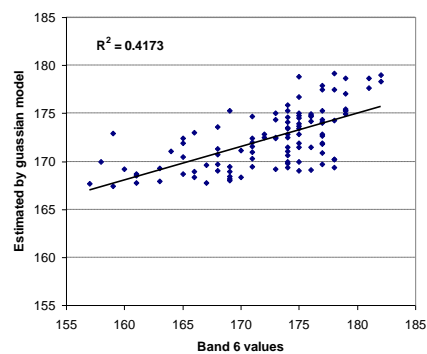
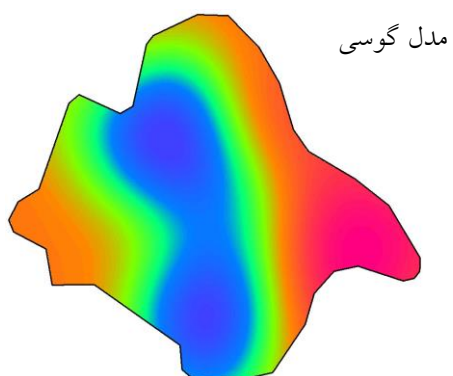
#### تهیه نقشه و ارزیابی هر مدل

پس از تعیین مدل‌های قابل برازش بر نقاط واریوگرام تجربی، با استفاده از تخمینگر کریجینگ، نقشه‌های درون‌یابی شده برای هر مدل ترسیم گردیدند. در شکل شماره

جدول 3 - مقایسه آماری دقت نقشه‌های حاصل از درون‌یابی به روش کریجینگ و اعمال مدل‌های مختلف

نام مدل	ریشه متوسط مجذور خطاها (RMSE)	ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده و تخمین ( $R^2$ )
گوسی	4/31	0/41
کروی	3/57	0/65
نمایی	1/29	0/97
دایره‌ای	3/76	0/60

بکارگیری سنجش از دور در تعیین بهترین مدل...



شکل 7- نقشه های حاصل از درون یابی به روش کریجینگ و نمودارهای ارزیابی مدل های مختلف

مقیاس وسیع اقدام به پیش‌بینی یک مشخصه یا فرآیند اکولوژیکی می‌نمایند حائز اهمیت می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل‌های انتخابی، فقط برای همان منطقه مورد اعتماد هستند. اما چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن مدل می‌تواند با اطمینان زیادی برای شرایط مشابه دیگر نیز مورد استفاده واقع شود.

مبنای ساخت واریوگرام در بسیاری از تحقیقات مشابه، نقاطی است که به صورت صحرایی اندازه‌گیری شده‌اند. چنانچه محل این نقاط مناسب و تعداد داده کافی باشد و داده‌ها از دقت لازم برخوردار باشند، مدل برازش شده قابل اعتماد خواهد بود. در حالی که این کار بدلیل صرف وقت و هزینه صورت نمی‌گیرد و بنابراین مدل مشخص شده با آنچه که در طبیعت وجود دارد، متفاوت خواهد شد.

در بیشتر تحقیقات مشابه، معرفی یک مدل براساس نمونه‌گیری از چند نقطه خاص صورت می‌گیرد. در حالی که روش پیشنهادی امکان نمونه‌گیری از بی‌نهایت نقطه را فراهم می‌کند. فراوانی بالای نقاط منجر به برازش بهتر مدل بر نقاط واریوگرام تجربی شده و دقت تعیین مدل بهینه را افزایش می‌دهد.

دقت درون‌یابی در مناطقی که تغییرات ارتفاعی زمین زیاد باشد بسیار مهم است، زیرا متغیر مورد نظر ممکن است در مقیاسهای کوچک مکانی تغییرات زیادی داشته باشد. توصیه می‌شود که جهت درون‌یابی داده‌های درجه حرارت در چنین مناطقی از روش‌های دیگر مانند کوکریجینگ استفاده گردد. زیرا تعیین درجه حرارت در این روش با استفاده از نحوه تغییرات داده‌های کمکی دیگر از قبیل ارتفاع صورت می‌گیرد. منطقه

با توجه به نمودارهای ترسیم شده در شکل شماره 6 و نیز مقایسه آماری صورت گرفته در جدول شماره 3، مدل نمایی (exponential) با بیشترین میزان ضریب تبیین (0/97) و کمترین مقدار ریشه متوسط مجذور خطا (1/29) به‌عنوان بهترین مدل تشخیص داده شده است. این مدل قادر به بازسازی و ایجاد نقشه باند ترمال ماهواره ای (باند 6) با دقت حدود 97 درصد است. بنابراین مدل نمایی دارای بالاترین کارایی در تعیین توزیع و روند حاکم بر تغییرات مکانی داده‌های این باند در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

با توجه به مشابهت بسیار زیاد بین اطلاعات این باند و درجه حرارت سطحی زمین، می‌توان چنین استنباط نمود که توزیع مکانی بین داده‌های درجه حرارت ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه نیز از مدل نمایی تبعیت خواهند نمود. بنابراین، با اطمینان مضاعفی می‌توان از مدل نمایی (و شاخصهای آن) برای درون‌یابی اطلاعات درجه حرارت ایستگاه‌های هواشناسی موجود استفاده و نقشه درجه حرارت منطقه را با اطمینان زیادی ترسیم کرد.

## بحث

با توجه به نتایج حاصل، پیشنهاد می‌گردد در مطالعاتی که نیاز به تهیه نقشه درون‌یابی است و همچنین اطلاعات سنجش از دور قادر به بیان تغییرات مکانی آن شاخص‌های می‌باشند، از مراحل بیان شده در شکل شماره 1 به‌عنوان یک روش استفاده گردد. شاخص‌های هواشناسی از قبیل تبخیر و تعرق، دمای حداکثر و دمای حداقل از موارد قابل توصیه است. تعیین مقادیر عددی بسیاری از این شاخصها در نقاط فاقد ایستگاه، برای ایجاد و توسعه مدل‌هایی که در

باشد، انجام تصحیحات مختلف بر روی آن ضروری خواهد بود.

در این تحقیق از داده های باند ترمال low gain مربوط به ماهواره لندست 7 استفاده گردیده است. در صورتی که تشخیص محقق بر استفاده از اطلاعات high gain در تعیین پراکنش مکانی درجه حرارت یک منطقه خاص باشد، خللی در انجام روش پیشنهادی بوجود نخواهد آمد. لازم به ذکر است که استفاده از low gain در مناطق همگن و مسطح مانند بیابانها که دارای روشنایی سطحی (surface brightness) زیادی هستند توصیه شده است (Landsat product anomalies, 2003).

مطالعاتی در این تحقیق فاقد تغییرات زیاد توپوگرافی است. بنابراین روش کریجینگ برای این منطقه مناسب به نظر می رسد.

همانطوری که در مقدمه ذکر گردید تعیین درجه حرارت سطحی زمین به کمک داده های باند ترمال ماهواره ای از مواردی است که نیازمند انجام تصحیحات دقیق و کالیبره نمودن طیفی آنها می باشد. هدف تحقیق حاضر تعیین نحوه تغییرات مکانی درجه حرارت بوده و نه تعیین درجه حرارت سطحی زمین. اما در صورتی که تصویر گرفته شده برای انجام روش پیشنهادی دارای خطاهای واضح نظیر لکه های ابر و یا غبارهای محلی

GeoComputation, University of Queensland, Brisbane, Australia.

10. Markham, B. L. and Barker, J. L., 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic rangers, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. EOSAT Landsat Tech. Notes (Aug.): 3-8.
11. Nakamura, M., Hirano, Y., Ochi, Sh. and Yasuoka, Y., 2002. Characterization of Urban Heat Radiation Flux Using Remote Sensing Imagery, Yasuoka Laboratory Institute of Industrial Science University of Tokyo.
12. Naoum, S. and Tsanis, I.K., 2004. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS, Global Nest: the Int. J. Vol 6, No 1, pp 1-20.
13. Norman, J. M., Chen J. L. and Goel N. S., 1990. Thermal emissivity and infrared temperature dependence of plant canopy architecture and view angle, proceeding of 10th Annual International Geoscience Remote Sensing Symposium, Vol. III, pp. 1747-1750. IEEE, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854.
14. Norman, J. M., Divakarla, M. and Goel N. S., 1995. Algorithms for extracting information from remote thermal-IR observations of the Earth's surface, Remote Sensing Environment journal, 51: 157-168.
15. Roth, M., Oke, T. R. and Emery W. J., 1989. Satellite derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology, International Journal of Remote Sensing,
16. Voltz, M. and Goulard, M., 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma 62:109-123.
17. Yang, J. and Wang, Y.Q., 2002. Estimation of Land Surface Temperature using Landsat-7 ETM+ Thermal Infrared and weather station Data, [http://www.ltrs.uri.edu/research/LST\\_page](http://www.ltrs.uri.edu/research/LST_page)

## منابع مورد استفاده

1. Collins, Jr. F. C. and Bolstad, P. V., 1994. A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation, [http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/gis\\_environmental\\_modeling/sf\\_papers](http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/gis_environmental_modeling/sf_papers)
2. Cressies, N., 1991. Statistics for spatial data, John Wiley and Sons, New York, N.Y.
3. Delfiner, P. and Delhomme, J.P., 1975. Optimum interpolation by kriging. In: J.D.Davis and M.J.McCullagh (eds), Display and Analysis of Spatial Data. New York, John Wiley and Sons, pp 96-114.
4. Genton, M.G. and Furrer, R., 1998. Analysis of Rainfall Data by Simple Good Sense: Is Spatial statistics Worth The Trouble?, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 2, 11-17.
5. Hutchinson, M.F., 1993. On thin plate splines and kriging. In: M.E. Tarter and M.D. Lock (eds), Computing Science and Statistics, Vol. 25, Interface Foundation Of North America, University of California, Berkeley, pp 104-113.
6. Hosseini, e., Gallichand, j. and Caron, J., 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in South West Iran. Transactions of the ASAE 37(6):1799-1807.
7. Landsat product anomalies, 2003, [http://earth.esa.int/pub/ESA\\_DOC/landsat\\_product\\_anomalies](http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/landsat_product_anomalies)
8. Laslett, G.M., Mcbratney, A.B., Phal, P.I. and Hutchinson, M.F., 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. Journal of Soil Science 38:325-341.
9. Mahdian, M.H, Hosseini, E. and Matin, M., 2001. Investigation of Spatial Interpolation Methods to Determine the Minimum Error of Estimation: Case Study, Temperature and Evaporation, Proceedings of the 6th International Conference on

## Determination of the best geo-statistical model for field data interpolation using Remote Sensing

J.Abdollahi<sup>1</sup> and M.H. Rahimian<sup>2</sup>

1-Yazd Agriculture and Natural Resources Research Center

2-National Salinity Research Center P.O. Box 89195-315 Yazd, Iran. Tel. 0351 7212414 E-mail: jaabdollahi@yahoo.com

Received: 25/02/2006 Accepted:19/02/2007

### Abstract

Remotely sensed data are able to monitor some characteristics of the environment and also their spatial structure. The latter one is the first and main step in field data interpolations. Therefore, spatial analysis of some field data is possible by employing of related satellite data bands. In this study, as an example, Landsat ETM<sup>+</sup> thermal band (band 6) was acquired to determine the spatial structure of surface temperature distribution. For the purpose of evaluation and selection of the best interpolation model, the band 6 data was crossed with a regular sampling grid and therefore, a dataset was constructed. Using geo-statistical analysis, empirical semi-variogram was calculated and various mathematical models were fitted to its points (e.g. gaussian, exponential, circular and spherical). Afterwards, the fitted models were applied to generate different temperature distribution maps using kriging interpolation approach. Finally, the optimum model which could better predict temperature changes and distribution was recognized. Result of the study shows that the exponential model would be better to predict and estimate surface temperature in un-sampled locations in the area of studied. So, the model can be used for interpolation of field temperature data with a high confidence level. The represented method can be developed for all the other environmental factors which could better characterized by remotely sensed data, like minimum and maximum temperature, evapotranspiration and so on.

**Key words:** geo-statistics, interpolation, kriging, spatial correlation, best fitted model, remote sensing.