اثر ترتیب مقیاس مکانی در مطالعات علوم زمین و محیطی

ارشک حلی‌ساز [۱*] ، فهیمه بهرامی [۲]، سهراب استادهادی دهکردی [۱]

۱- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۳- استادیار گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۶

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۹

چکیده

مقیاس مکانی بحثی مورد توجه در تحقیقات محیطی سال‌های اخیر بوده است. در این بین اثرات متفاوت مقیاس بر پدیده‌ها و فرآیندهای محاط‌شده و شناخت آن‌ها چالشی اساسی در بررسی فرآیندهای محیطی محسوب می‌شود. لذا این تحقیق با بررسی مفاهیم بنیادین مرتبط با مقیاس و ارتباط آن‌ها با جنبه‌های عملیاتی و کاربردی این مفهوم در فن‌آوری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تلاش کرده‌است، وجود رابطه‌ی مرتّب مکانی بین اندازه‌ی کارتوگرافیک نقشه‌های توپوگرافی و محتوای اطلاعاتی آن‌ها را مورد آزمون قرار دهد. از این رو در ابتدا مبانی ریاضی مرتبط مرور شده است و سپس وجود ترتیب مقیاس مکانی در خروجی نقشه‌ی شیب، با اخذ و بررسی الگوریتم شیب در نرم‌افزار ArcGIS9.3 ، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از نقشه‌های شیب رستری تهیه‌شده از نقشه‌های رقومی ارتفاع در دو مقیاس (۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) با دو پیکسل‌سایز (۱۰و۱۰۰)، در دو نقطه‌ی مختلف از نقشه استفاده شده‌است. سپس همسایگی‌های ۳*۳ و ارقام مربوط به هر پیکسل در هر کدام از نقشه‌ها برداشت و در الگوریتم شیب جایگذاری شدند و سپس نتایج حاصل از آن جهت برآورد تغییرات شیب در دیفرانسیل کلّ معادله‌ی شیب قرار داده‌شد. میزان دیفرانسیل کلّ نتیجه‌شده در هیچ‌یک از حالات مذکور صفر نگردید که می‌تواند مبیّن وجود عدم ثبات در تغییرپذیری نقشه-های شیب باشد و به بیانی کاربردی، تغییر مقیاس هندسی نقشه‌ها نه تنها حجم و اندازه‌ی اطلاعات در دسترس بلکه درک و دریافت از آن‌ها را نیز کاملاً تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در انتها پیشنهاد شده است که انتخاب مقیاس کارتوگرافیک نقشه‌ها در مراحل مختلف مطالعاتی تنها بر مبنای ترتیب کارتوگرافیک آن‌ها نباشد و تحقیقات آتی بر تعیین چگونگی دست‌یابی به مقیاس بهینه متمرکز شود.

واژه های کلیدی: مقیاس مکانی، ترتیب اثر مقیاس مکانی، دیفرانسیل، مطالعات زمین.

*- نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۹۳۲۹۷۳۱ Email: holisaz@hormozgan.ac.ir

مقدمه

تجسّم مقیاس، اغلب حتی در ذهن متخصصان تداعی‌کننده‌ی مفهوم رایج مقیاس کارتوگرافیک می‌باشد که به شکل ساده‌ای فاصله‌ی دو نقطه روی نقشه به فاصله‌ی همان دو نقشه روی زمین تعریف می‌شود (آتکینسون و تات،۲۰۰۰؛ هریس، ۲۰۰۶) اما تغییر این مفهوم در طول دهه‌ی ۱۹۹۰، در شاخه‌های مختلف علوم محیطی رواج بسیار یافته است (وینز،۱۹۸۹؛ لوین، ۱۹۹۲؛ اِلرینگر و فیلد،۱۹۹۳؛ پترسون و پارکر، ۱۹۹۸؛ گاردنر و همکاران، ۲۰۰۱) و باعث شده‌است با گسترش چارچوب‌های مفهومی، مفهوم مقیاس از یک افسانه‌ی عبرت‌آموز بوم‌شناسی رایج (لوین،۱۹۹۲) به یک ابزار علمی هرچه مؤثرتر تکامل یابد (اشنایدر،۲۰۰۱؛ اسکات و همکاران، ۲۰۰۳).

مقیاس به صورت ابعاد زمانی، مکانی، کمّی یا تحلیلی برای اندازه‌گیری اشیاء یا فرآیندها استفاده می‌شود (گیبسون و همکاران،۲۰۰۰). درک نشانه‌ی تفکیک مکانی در محدوده‌ی دامنه‌ی یک کمّیت اندازه‌گیری‌شده (اشنایدر،۲۰۰۱) نیز تعبیری از مفهوم مقیاس در مطالعات بوم‌شناختی است. نیز تغییر در الگو، هنگامی که به وسیله‌ی گستره‌ی مکانی یا زمانی اندازه‌گیری مورد نیاز برای شناسایی تفاوت‌های مهم در تغییرپذیری کمّی مورد نظر تعیین می‌شود (گاردنر، ۱۹۹۸) و فاصله‌ای که پایش یک کمیّت درون آن امکان‌پذیر باشد (پائول،۱۹۸۹)، از تعابیر دیگر مفهوم مقیاس هستند.

به‌خصوص مقیاس به علّت تغییر در کل زمان و مکان، به عنوان مشکلی مفهومی مورد توجه قرارگرفته است (وینز،۱۹۸۹). لوین (۱۹۹۲) مشکل پدیده‌های وابسته را در سراسر مقیاس‌ها، مشکل اصلی همه‌ی علوم می‌داند و اشاره می‌کند که مقیاس، مشکل اصلی در بوم‌شناسی است چرا که مقیاس، همه‌ی دیگر مشکلاتی که بوم‌شناسان سعی در حل آن داشته‌اند را تحت‌تأثیر قرار داده‌است. از سویی محققین با زمینه‌ی سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی نیز مقیاس را یکی از مهمترین جنبه‌های ساختاری هر تحقیق می‌دانند (گودچایلد و کوآتروچی، ۱۹۹۷). به‌عبارتی پذیرفته‌شده است که تقریباً همه‌ی فرآیندهای محیطی وابسته به مقیاس هستند (دیویس و همکاران،۱۹۹۱؛ دیویس و سیمونت، ۱۹۹۸). چالش آشنا، تلاش برای درک الگوهای مشاهده‌شده در یک سطح جزئیات در مناسبات سازوکارهایی است که در حال به کارگیری در دیگر مقیاس‌ها هستند (لوین،۱۹۹۲). موضوع مهمّ دیگر در رابطه با تبیین مقیاس، پاسخ به این پرسش است که آیا متغیّرهای استفاده شده برای تشریح یک الگو خودشان در سطح مشابهی با آن الگو قرار دارند و یا در سطوح متفاوتی هستند (گیبسون و همکاران،۲۰۰۰). با توجه به اینکه تعداد زیادی از دانشمندان روی سؤالات کوچک مقیاس خود که تابع آزمون‌های تجربی است تمرکز می‌کنند و از فرآیندهای بزرگ مقیاس‌تری که ممکن است برای الگوهایی که مطالعه می‌کنند اهمیت بسیاری داشته باشند، غافل می‌مانند (دیتون و تنگر، ۱۹۸۴) پاسخ به این پرسش، ضروری به‌نظر می‌رسد.

مسأله آن است که انتخاب‌ها در کلّ مقیاس‌ها، گستره‌ها و تفکیک‌های مکانی، به‌صورت جدّی نوع الگوهایی را که مشاهده خواهندشد تحت تأثیر قرارمی‌دهند، زیرا الگوها در سطحی از تفکیک مکانی یا گستره‌ای ظاهر می‌شوند که ممکن است در سطح بالاتر یا پایین‌تر مشاهده نشوند (گیبسون

و همکاران،۲۰۰۰). به‌نظرمی‌رسد مفهوم ترتیب مقیاس مکانی و اثرات آن بحثی است که مدّت‌ها مورد توجه دانشمندان علوم زمین و محیطی بوده‌است. از دهه‌ی ۱۹۸۰، نتایج برخی مطالعات (فُرمن و گادرن، ۱۹۸۶؛ تِرنِر و همکاران،۱۹۸۹) نشان داده‌اند که تغییر دانه‌بندی (قدرت تفکیک مکانی) و گستره‌ی منطقه‌ی مطالعه، در طول آنالیز زمین‌سیما می‌تواند به صورت معناداری نتایج نهایی را تحت‌تأثیر قرار دهد. دانشمندان با تعداد زیادی کار علمی در حوزه‌های مختلف (سالِمِن و همکاران،۱۹۸۰؛ سالینز و همکاران،۱۹۸۳؛ استیل، ۱۹۸۵؛جرویس و مکناگتون،۱۹۸۶؛آدیکِت و همکاران،۱۹۸۷؛ گِتیس و فرانکلین، ۱۹۸۷؛ مینتِمِیر و باکس، ۱۹۸۷) دریافته‌اند که پیش‌بینی‌هایشان وابسته به سطح و مقیاس است و تأیید این نگاه که یک سازوکار واحد به ندرت الگوهایی را که در سطوح متفاوت یافت می‌شوند، شرح می‌دهد (تِرنِر و همکاران، ۱۹۸۹؛ مِنگ و اُلسون،۱۹۹۰؛ وسمن، ۱۹۹۲؛گوئرون و لوین، ۱۹۹۵). نظر به این که هیچ مقیاس ساختاری محقّقی وجود ندارد، مطالعه‌ی پویایی مقیاس‌ها در یک زمین‌سیما لازم است با درنظرگرفتن مقیاس‌های مشاهده‌ای مختلف انجام شود: یک زمین‌سیمای انتخابی می‌تواند در یک مقیاس، ناهمگن و در مقیاس دیگری، همگن باشد (آلن و هوکسترا ،۱۹۹۰؛ گاسز، ۱۹۹۲)؛ بنابراین شاید حتی تصور مدیریّت عرصه‌ها در یک مقیاس خاص بدون مبذول داشتن توجه ویژه به دیگر مقیاس‌ها و یا تعمیم اثرات، فرضی نابخردانه باشد. مطالعه‌ی یک فرآیند در مقیاس کوچک لزوماً بیان نمی‌کند چه اتفاقی در مساحت‌های بزرگ‌تر رخ می‌دهد (بانل و هاگارد، ۱۹۹۹). اشنایدر (۲۰۰۱) نیز بیان می‌کند :" نه الگوهای اندازه‌گیری‌شده در مقیاس‌های کوچک لزوماً در مقیاس‌های بزرگ‌تر جا می‌گیرند و نه فرآیندهایی که در مقیاس کوچک غالب می‌شوند، لزوماً در مقیاس‌های بزرگ [نیز] غالب می‌شوند". هیچ یک از قلمروهای مقیاسی نمی‌توانند برای پیش‌بینی [سایر قلمروهای مقیاسی] استفاده شوند (فیشر،۲۰۱۰). مقیاس‌های مختلف ممکن است به پیامدها و نتایج مختلفی ختم شوند (هریس، ۲۰۰۶). مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (تفکیک‌های مکانی مختلف)، در یک مقیاس، همگنی متغیّرها و در مقیاس دیگر ناهمگنی آن‌ها را نشان می‌دهند، در یک مقیاس، نظم و در دیگری بی‌نظمی نمود می‌یابد (آتکینسون و تات ،۲۰۰۰). بنابراین هر آنالیزی بر پایه‌ی یک مقیاس واحد ممکن است اطلاعات کمی روی کل ساختار زمین‌سیمای تحت مطالعه فراهم کند (یا حتی ما را گمراه سازد) (وو و لاکس، ۱۹۹۵؛ جلینسکی و وو، ۱۹۹۶). براین اساس آیا با بررسی یک متغیّر در یک مساحت و تعمیم آن به مقیاس دیگری (بزرگ‌تر یا کوچک‌تر) می‌توان نائل به نتایج درستی گردید؟ آیا با علم به این که مقیاس مکانی دارای ترتیب است قائل به ترتیب شدن برای اثرات آن به‌صورت کلی یا جرئی نیز فرض صحیحی است؟ به عبارتی تعمیم اثر در بیان ریاضی آن شکل مشخصی دارد؟ با تکیه بر آن چه مشروح گردید این فرض که اثر مقیاس مکانی دارای ترتیب نیست قوت گرفت. از این رو است که بانل و هاگارد (۱۹۹۹) از نگاه تنوع زیستی درمقیاس‌های مختلف تحقیق کرده‌اند و تأکید دارند باید در مورد هر قانون، سیاست یا دستورالعملی که روی موارد مشابهی در همه‌جا تمرکز می‌کند محتاط بود (بانل و هاگارد، ۱۹۹۹). تعمیم نتایج به مقیاس‌های مختلف، بدون بررسی علمی و مدوّن و با فرض دارای ترتیب بودن مقیاس مکانی، ممکن است منتج به تصمیم‌گیری-

های غلط و بروز مشکلات بزرگ مدیریّتی شود. تغییر اقلیم جهانی و تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای، اثرات بزرگی روی الگوهای پوشش گیاهی در مقیاس‌های محلّی و ناحیه‌ای خواهند داشت (مک‌آرتور، ۱۹۷۲؛ کلارک، ۱۹۸۵)؛ در نتیجه، تغییراتی که در مقیاس‌های بسیار ریز به وقوع می‌پیوندند، مثل تناوب‌هایی که در نرخ باز و بسته شدن روزنه‌ها وجود دارد، نهایتاً تأثیراتی در مقیاس‌های بسیار وسیع‌تر خواهند داشت (جرویس و مک‌ناگتن، ۱۹۸۶). هدف غایی این پژوهش که تلاش دارد سلسله‌وار به بررسی خود ادامه دهد، کمّی کردن الگوها جهت ایجاد زمینه‌ای برای تولید مدل مقیاسی قابل اتّکا برای مطالعات محیطی است. پژوهش حاضر هدف خود را در درک وجود یا عدم وجود ترتیب مقیاسی در مبحث نقشه‌پردازی قرار داده‌است.

مبانی نظری

۱-ترتیب مقیاس مکانی

بحث ترتیب از مبانی پایه‌ای حساب می‌باشد. طبق تعریف ریاضی اگر $a\leq b$ و $b\leq a$ باشد آنگاه $a=b$، یک رابطه‌ی ترتیبی جزئی و هرگاه برای هر دو عنصر a وb که عضو این مجموعه هستند $a\leq b$ یا $b\leq a$ باشد، یک رابطه‌ی ترتیبی کلی برقرار است. اعداد ترتیبی نیز به طور ساده همان اعداد مرتبه‌ای؛ اولین، دومین، سومین و ... هستند (رسولیان، ۱۳۸۶). با برقراری تناظر بین مفهوم ترتیب انتزاعی ریاضی و واقعیات عینی، مجموعه‌ی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های کارتوگرافیک مختلف اعضای یک مجموعه و اثرات و تفاسیر حاصل از آن‌ها، اعضای مجموعه‌ای دیگر در نظرگرفته می‌شوند و سپس تلاش می‌شود امکان تعمیم نتایج حاصل از یک مقیاس به مقیاس دیگر بررسی شود و به بیانی روشن‌تر فرضیه‌ی مرتّب‌بودن اثرات مقیاس مکانی مورد آزمون گذاشته‌شود. در حقیقت نتایج آنالیز در یک منطقه‌ی یکسان به علّت تفکیک‌های مکانی متفاوت، می‌توانند متنوع باشند (جانسون و هاوارث، ۱۹۸۷) و یا برعکس برخی الگوها و فرآیندها تنها در یک تفکیک مکانی خاص، می‌توانند شناخته شوند (جلینسکی و وو، ۱۹۹۶) و چارچوب مفهومی نظریه‌ی سلسله مراتب بوم‌شناختی (آلِن و هوکسترا، ۱۹۹۲) که بیان می‌کند یک فرآیند بوم‌شناختی که در مقیاس کوچک اتفاق می‌افتد جزئی از یک فرآیند بوم‌شناختی دیگر در یک مقیاس بزرگ‌تر است و فرآیندهای بزرگ‌تر در یک نسبت سلسله‌مراتبی، فرآیندهای کوچک مقیاس را شامل می‌شوند (آلِن و استار، ۱۹۸۴؛ اُنیل و همکاران، ۱۹۸۶؛ وو و لاکس، ۱۹۹۵) در تحلیل‌های مکانی صادق است. در برخی نمونه‌ها، الگوها باید به عنوان رفتار گروهی از واحدهای مقیاسی کوچک‌تر که مجموعه‌های بزرگی را تشکیل می‌دهند، درک شوند. در برخی دیگر امّا الگوها به وسیله‌ی الزام‌های بزرگ مقیاس‌تر وضع شده‌اند (لوین، ۱۹۹۲).

۲-ارتباطات مقیاسی

نشان داده شد که توافق کلّی درخصوص تحت تأثیر قرارگرفتن استنباط‌های متفاوت از طریق مقیاس‌های مشاهده‌ای مختلف وجود دارد امّا بیش از آن حتّی تغییر اندازه، شکل یا گستره‌ی آنالیز، استنباط‌ها را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (دانگِن و همکاران، ۲۰۰۲). رویکردهای مدل‌سازی علوم محیطی و نتایج حاصل از آن‌ها که مبنای تصمیم‌گیری هستند به شدّت تحت تأثیر این تغییرها هستند. در این بین انتقال اطلاعات از یک مقیاس به مقیاس دیگر در حال تبدیل شدن به یک بحث کلیدی برای بوم‌شناسان زمین‌سیما و تحلیل‌گران GIS می‌باشد (راکینی، ۲۰۰۵)؛ این در حالی است که مطالعاتGIS، اغلب توسط

محققان، با استفاده از داده‌های مکانی ایجادشده به وسیله‌ی دیگران انجام می‌شوند و محققان کنترل کمی [برروی آن‌ها] دارند و تصمیم‌ها و تفسیرها اغلب بر پایه‌ی مقیاس‌ها و واحدهای جغرافیایی تعیین‌شده در دیگر گروه‌ها هستند و همواره با واحدهای مساحتی تعریف‌شده به وسیله‌ی اهداف اداری یا سیاسی، تراز یا تنظیم می‌شوند. بنابراین مقیاس داده‌های استفاده شده در *GIS*، اغلب خارج از کنترل نقشه‌پردازان هستند و از تلاش‌ها یا فعالیت‌های مجموعه داده-های طراحی‌شده برای اهداف مختلف، تعیین‌شده و یا به ارث رسیده‌اند (هریس، ۲۰۰۶). لذا از آن-جا که اخیراً استعمال تکنیک‌های آماری مکانی در تحقیقات سنجش از دوری و *GIS*ای با هدف مشخص‌کردن مدل‌سازی بستگی‌های مکانی، افزایش یافته‌است (دیویس و همکاران، ۱۹۹۱) و یکی از خصوصیات عملی قدرتمند*GIS*، ظرفیتش در تلفیق داده‌های چندمقیاسه‌ی ثبت‌شده در تنوعی از مقیاس‌ها است (مقیاس اثر معناداری روی نتایج یک تحلیل *GIS*ای دارد) (هریس، ۲۰۰۶) با انتخاب جزء مهم شیب به عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر نقشه‌پردازی(مخدوم، ۱۳۸۵) در فن‌آوری نوین ساج، الگوریتم شیب موجود در نرم‌افزار *ArcGIS9.3* به عنوان متغیّر مورد بررسی انتخاب شد. به‌عبارتی شیب دامنه به عنوان عامل مهم متواتر در بخش اعظم تحقیقات علوم زمین و با در برداشتن الگوریتمی به نسبت ساده و قابل فهم، بهترین الگو برای عینی‌کردن حدس‌های نظری تشخیص داده شد.

اساس الگوریتم شیب برگرفته از نرم‌افزار، در تطابق با تکنیک آماری ماکزیمم میانگین است (بُروق و مَک‌دانِل، ۱۹۹۸) و بر اساس آن‌چه در این بخش شرح داده خواهد شد فرمول نهایی برای محاسبه‌ی نرخ تغییرات شیب به شکل دیفرانسیل می‌باشد. نظر به این‌که الگوریتم شیب، نرخ تغییر سطح در جهت افقی و عمودی و دارای دو متغیّر است، دیفرانسیل کل نیز دارای دو متغیّر است که براساس مفاهیم حدّ و پیوستگی، مشتق‌گیری و مشتقات جزئی تبیین می‌شود.

اساس الگوریتم شیب در نرم‌افزار*ArcGIS* (برگرفته از سایت *ESRI*)

الگوریتم شیب: نرخ تغییر (Δ) سطح در جهت افقی (dz/dx) و عمودی (dz/dy) از سلول مرکزی شیب را تعیین می‌کند. الگوریتم پایه‌ای که شیب را محاسبه می‌نماید به‌صورت رابطه ۱ است:

رابطه ۱) $slope\text{-}radians = Arctang [\sqrt{(dz/dx)2+(dz/dy)2}]$

شیب معمولاً به‌صورت درجه اندازه‌گیری می‌شود که الگوریتم رابطه ۲ را استفاده می‌کند:

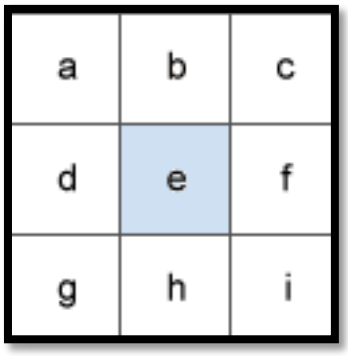
رابطه ۲) $Slope\text{-}degree = Arctang [\sqrt{(dz/dx)2+ (dz/dy)2}*57.29578$

الگوریتم شیب می‌تواند به‌صورت رابطه ۳ نیز تفسیر شود:

رابطه ۳) $slope\text{-}degree = Arctang (rise\text{-}run)*57.29578$

که مقدار۵۷/۲۹۵۷۸ حاصل محاسبه‌ی۱۸۰/π است؛ لذا رابطه ۴ مقادیر سلول مرکزی و هشت همسایه‌ی آن، تغییرات افقی و عمودی را تعیین می‌کنند. همسایه‌ها به‌صورت حروفی از a تا i، شناسایی شده‌اند و سلول مرکزی با حرف e نمایش داده شده‌است (شکل ۱).

رابطه ۴) $Rise\text{-}run = [\sqrt{(dz/dx)2+(dz/dy)2}]$



شکل ۱: شمایی از یک همسایگی۳*۳

نرخ تغییرات در جهت x و y به ترتیب برای سلول e با رابطه های ۵ و۶ محاسبه می‌شوند:

رابطه ۵) $[dz/dx] = [(c+2f+i) - (a+2d+g)]/8*x\text{-}cell\text{-}size$

رابطه ۶) $[dz/dy] = [(g+2h+i) - (a+2b+c)]/8*y\text{-}cell\text{-}size$

و در نهایت از آن‌جا که میزان تغییرات شیب برحسب دیفرانسیل قابل بیان است، دیفرانسیل کل براساس مفاهیم حد و مشتق‌پذیری، مشتقات جزئی و مفاهیم وابسته به آن حاصل شده است:

مشتقات جزئی (عالم‌زاده، ۱۳۸۵)

منظور از مشتق جزئی f نسبت به xi در $(x1,x2,\dots,xn)$ که با رابطه ۷ ($\partial f(x_1, x_2, \dots xn)/\partial x$) نموده می‌شود یعنی حد $lim_{\Delta x\to 0} f(x_2, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, xn) - f(x_1, \dots, x_i, \dots, xn)/\Delta x_i$ تابع دو متغیّره‌ی $f(x,y)$ دو مشتق جزئی دارد که عبارتند از (رابطه های ۸ و ۹):

رابطه ۸) $\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = lim_{\Delta x\to 0} f(x + \Delta x, y) - f(x,y)/\Delta x$

رابطه ۹) $\frac{\partial(x,y)}{\partial y} = \lim_{\Delta y\to 0} f(x, y + \Delta y) - f(x, y)/\Delta y$

مشروط بر این‌که این حدود موجود و متناهی باشند. اگر علامت $\partial / \partial x_i$ را موجود واحدی بگیریم که عملش تشکیل مشتق جزئی تابع آمده‌ی بعد از آن نسبت به x_i باشد می‌توان رابطه ۷ را به صورت زیر نوشت.

رابطه ۱۰) $\partial/\partial x_i f(x_1, \dots, xn)$

(درواقع تعریف تابع دو متغیّره‌ی $z=f(x,y)$ در نقطه‌ی $P_0=(x_0,y_0)$ مفروض است). در صورت وجود، حد زیر را مشتق تابع f نسبت به x (مشتق جزئی نسبت به x) در نقطه‌ی (x_0,y_0) می‌نامیم:

رابطه ۱۱) $lim_{\Delta x\to 0} f(x_0 + \Delta x, y_0) - f(x_0, y_0)/\Delta x$

مشتق تابع f نسبت به y در نقطه‌ی (x_0,y_0) به‌صورت مشابه قابل تعریف است (رابطه ۱۲).

رابطه ۱۲) $lim_{\Delta y\to 0} f(x_0, y_0 + \Delta y) - f(x_0, y_0)/\Delta y$

اگر این حد موجود باشد گوییم تابع (x_0,y_0) دارای مشتق جزئی f_y می‌باشد. رابطه های ۱۳ و۱۴ را می‌توان به‌صورت ذیل باشد.

رابطه ۱۳)

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = \lim_{x\to x_0} f(x, y_0) - f(x_0, y_0)/x - x_0$$

رابطه ۱۴)

$$\frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) = lim_{y\to y_0} f(x_0, y) - f(x_0, y_0)/y - y_0$$

لذا براساس الگوریتم شیب استخراجی از نرم‌افزار *ArcGIS* و مبانی ریاضیاتی دیفرانسیل کل، معادلات نهایی شیب به شکل دو رابطه ۱۵ و ۱۶ استخراج می‌شوند:

رابطه ۱۵)

$$slope=Arctang[\sqrt{(dz/dx)2+(dz/dy)2}]$$

رابطه ۱۶)

$$Slope= f(x,y)= Arctang\sqrt{x2+y2}$$

(به ترتیب x وy جایگزین dz/dx و dz/dyشده‌اند)؛ در این معادله زاویه بر حسب رادیان می‌باشد. اگر در این نقطه مقدار تغییرات x و y به‌ترتیب dx و dy باشد، آن‌گاه مقدار تغییرات یعنی همانdf با استفاده از دیفرانسیل زیر به‌دست خواهدآمد (رابطه های ۱۷ و ۱۸):

رابطه ۱۷)

$$df = \frac{\frac{2x}{2\sqrt{x^2+y^2}}}{1+(x^2+y^2)}dx + \frac{\frac{2y}{2(x^2+y^2)}}{1+(x^2+y^2)}dy$$

رابطه ۱۸)

$$df = x/\sqrt{x^2+y^2}+(x^2+y^2)^{3\ \prime 2}dx + y/\sqrt{x^2+y^2}+(x^2+y^2)^{3\prime 2}dy$$

روش کار

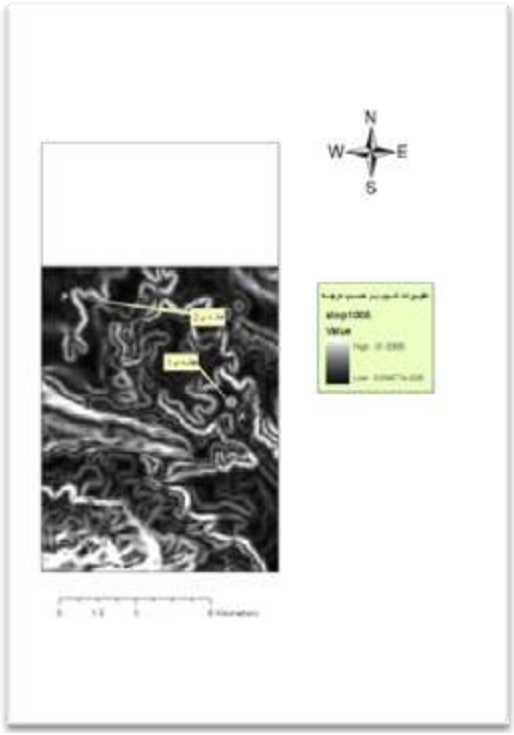
درراستای مفاهیم بیان‌شده‌ی فوق برای حصول به نتایج، اقدام به تهیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی منطقه‌ی جاماش در استان هرمزگان با داشتن شرایط توپوگرافیک متنوّع گردید. نقشه‌های توپوگرافی رقومی‌شده با مقیاس مکانی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری در دسترس بودند امّا نقشه-های توپوگرافی با مقیاس مکانی ۱:۵۰۰۰۰نقشه-های غیررقومی آن‌ها با وضوح ۳۰۰dpi اسکن شدند. حوزه‌ی آبخیز انتخاب شده دارای مساحتی حدود ۱۰۳۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۷۷۵ متر می‌باشد (احمدی‌دوست، ۱۳۹۲).

نقشه‌های شیب در هر دو مقیاس فوق‌الذکر و با دو پیکسل‌سایز (۱۰ و ۱۰۰) از نقشه‌های توپوگرافیک تهیه شدند. این نقشه‌ها به‌صورت رستر و سپس براساس درجه ساخته شدند. سپس از هر یک از نقشه‌های شیب با پیکسل‌سایز ۱۰۰، سطحی معادل یک همسایگی ۳*۳ (متشکل از ۹ پیکسل) و به‌منظور بالا بردن دقت کار از دو نقطه روی نقشه‌ها و برای هر دو مقیاس دقیقاً از نقاط یکسان برداشت شد. در مرحله‌ی بعد سطحی معادل سلول مرکزی یک همسایگی ۳*۳ در هر یک از نقشه‌ها با پیکسل‌سایز ۱۰۰، از نقشه‌های دارای پیکسل‌سایز ۱۰ جداشد و سپس سطحی معادل یک همسایگی ۳*۳ دقیقاً از مرکز این سطحِ معادل سلول مرکزی، از نقشه‌هایی با پیکسل‌سایز ۱۰، انتخاب شد تا بتوان مقادیر حاصل از الگوریتم شیب و دیفرانسیل کل در هر دو پیکسل ۱۰۰ و ۱۰ را دقیقاً اخذ شده از یک نقطه‌ی واحد دانست. پس از آن، ارقام مربوط به ارزش هر یک از پیکسل‌ها در هریک از همسایگی‌های ۳*۳ و در هر دو پیکسل‌سایز ۱۰ و ۱۰۰ استخراج گردید. از آن‌جا که تمام مراحل فوق‌الذکر در دو نقطه انجام شد، در انتها ۸ تصویر خروجی پیکسلی به‌دست-آمد و پس از جاگذاری ارزش مربوط به هر پیکسل در فرمول‌های مربوط، ۸ رقم خروجی نهایی جهت مقایسه به‌دست‌آمد. لازم به ذکر است برای محاسبه‌یdx وdy، در هر نقطه، در یک مرحله با مقیاس‌های یکسان، پیکسل سایزها تغییر داده شده‌اند و سپس تغییرات آن محاسبه گردیده‌است. در مرحله‌ی بعد، پیکسل‌سایزها ثابت و مقیاس‌ها تغییر داده شد. سپس نتایج به‌دست‌آمده در هر بخش با یکدیگر مقایسه شدند.

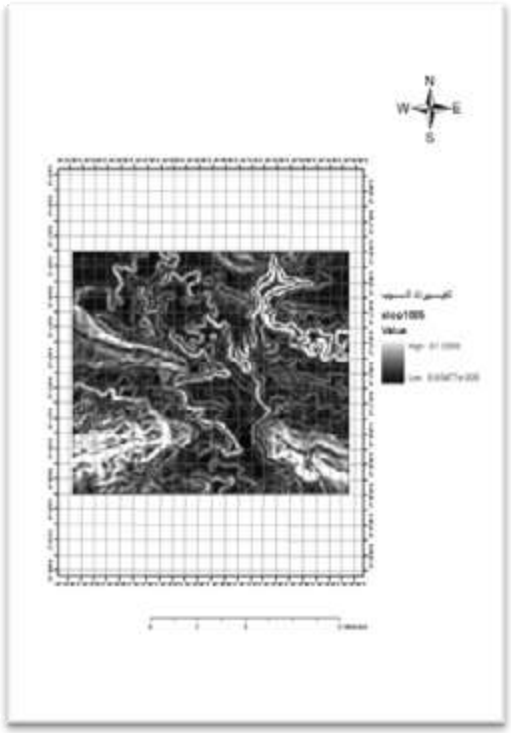
نتایج

نتایج حاصل، با جایگذاری ارقام استخراج شده‌ی متعلق به هر پیکسل در نرم‌افزار *ArcGIs9.3* به دست آمده‌اند. در هر نقطه‌ی مشخص‌شده در نقشه‌ی شیب، ۴ همسایگی ۳*۳ در دو مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ و در هر یک با دو پیکسل ۱۰۰ و ۱۰ می‌باشد. در این بخش نقشه‌های شیب

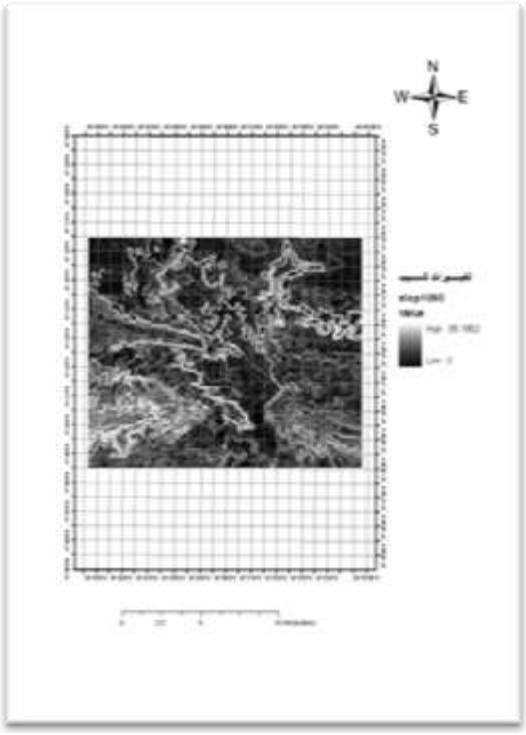
و تصویر نقشه‌های مربوط به هریک از همسایگی-های ۳*۳ و جداول مربوط به ارزش پیکسل‌ها در ۸ همسایگی و همچنین جداول مربوط به جاگذاری ارزش هر پیکسل در الگوریتم شیب و دیفرانسیل کل ارائه گردیده است. شکل (۲) نمایانگر موقعیت دو نقطه‌ی انتخابی بر روی نقشه-ی شیب می‌باشد. شکل های (۳) تا (۶) نشان-دهنده‌ی نقشه‌های شیب تهیه‌شده در دو مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ و با دو پیکسل‌سایز ۱۰۰ و ۱۰ می‌باشند. تصاویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ برای هر یک از مقیاس‌ها با پیکسل‌سایز ۱۰۰، در هر دو نقطه‌ی انتخابی روی نقشه نیز به‌ترتیب در تصاویر شماره‌ی (۷) تا (۱۰) نمایش داده شده‌اند. همچنین ارزش مربوط به هر پیکسل متعاقب تصاویر پیکسل‌های مربوط به آن در جداول (۱) تا (۴) ارائه گردیده‌اند.



شکل ۲: موقعیت دو نقطه‌ی انتخابی، مشخص‌شده در نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

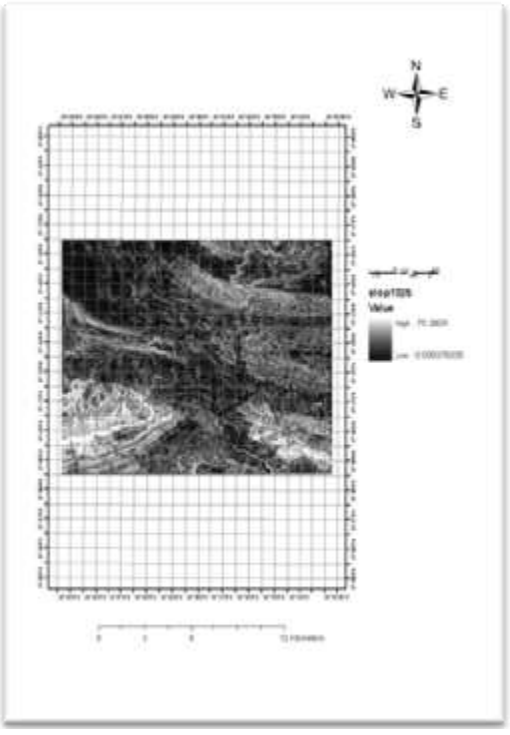


شکل۳: تصویر نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰

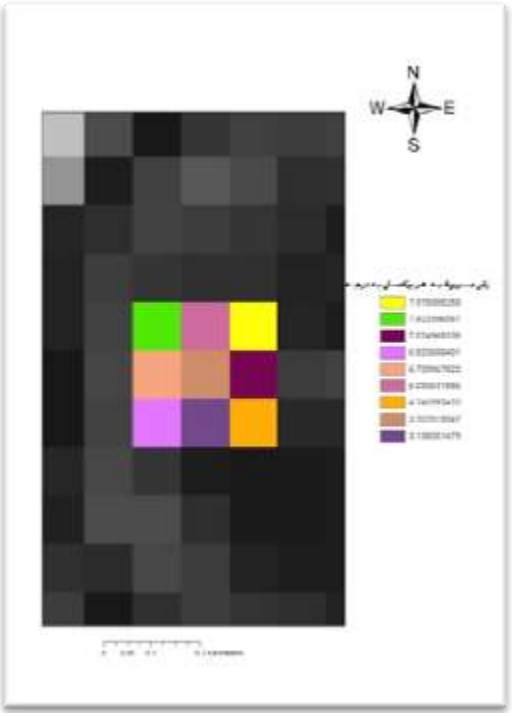


شکل ۴: تصویر نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰

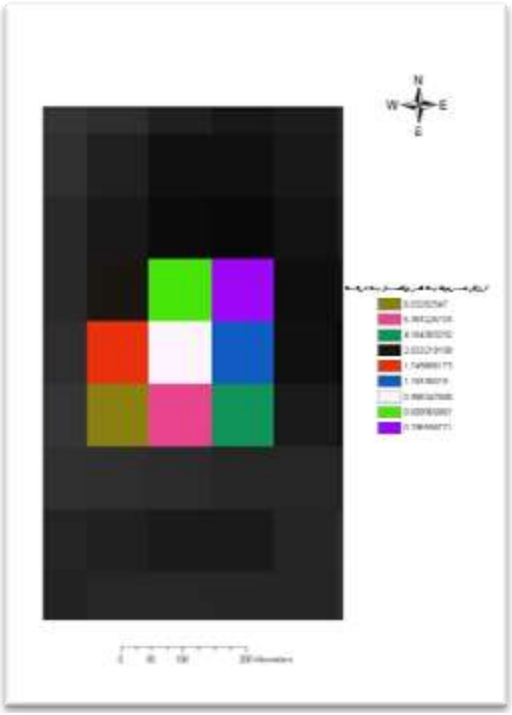
شکل ۵: تصویر نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰



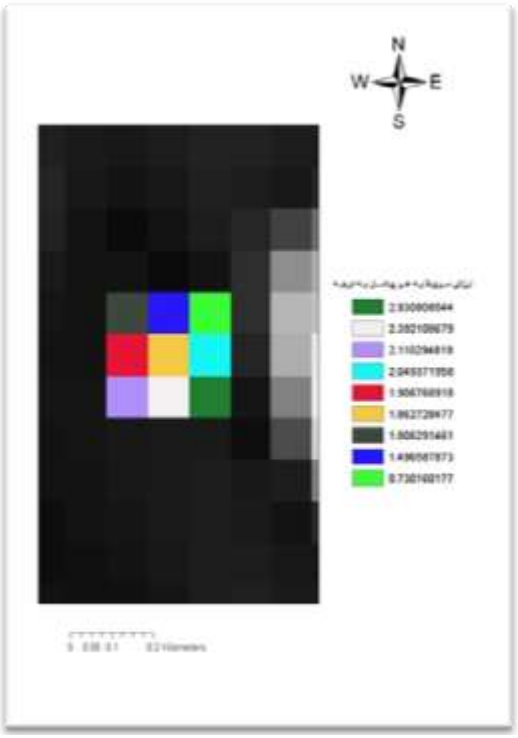
شکل ۶: تصویر نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰



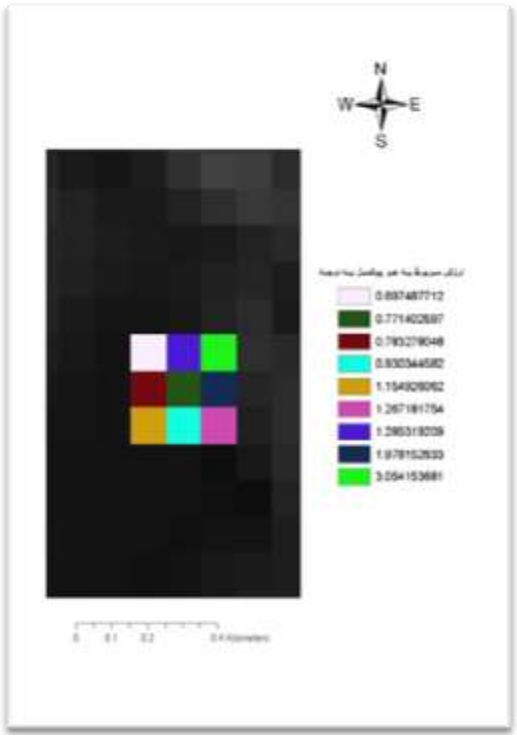
شکل۷: تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه ی ۱:۵۰۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۱



شکل ۸: تصویر پیکسل‌هایدربرگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳
در نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۱



شکل ۹: تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۲



شکل ۱۰:تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۲

جدول ۱: ارزش مربوط به هر پیکسل درنقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۱

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۷/۹۲۳۳۹۷
b	۶/۰۳۰۶۴۲
c	۷/۹۷۵۰۸۵
d	۶/۷۳۹۹۶۸
e	۳/۷۰۷۰۲۰
f	۷/۰۷۴۹۶۸
g	۶/۸۲۳۶۸۰
h	۳/۱۳۸۳۵۲
i	۴/۷۴۰۵۹۳

جدول ۲: ارزش مربوط به هر پیکسل در نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۱

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۲/۰۲۳۲۱۹
b	۰/۶۰۹۹۶۶
c	۰/۲۹۶۵۵۷
d	۱/۷۴۵۶۸۶
e	۰/۹۸۸۳۴۸
f	۱/۱۸۴۴۸۰
g	۶/۰۳۲۸۲۵
h	۵/۴۸۴۲۲۷
i	۴/۱۶۴۳۶۵

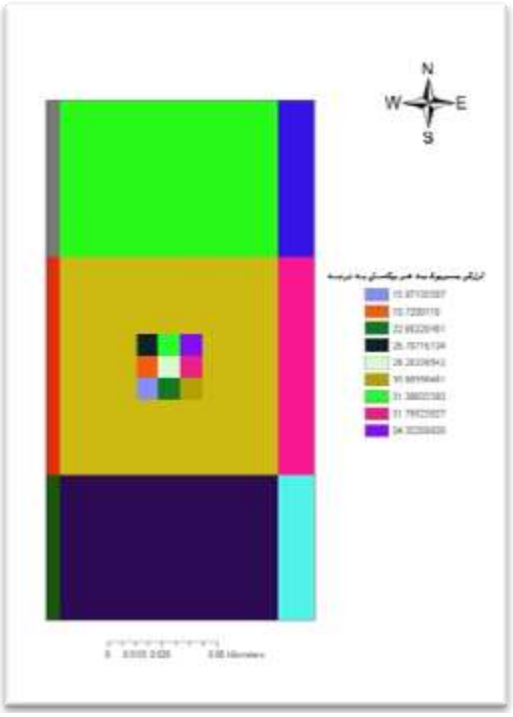
تصاویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ برای هریک مقیاس‌ها و با پیکسل‌سایز ۱۰ و در هر دو نقطه‌ی انتخابی روی نقشه به ترتیب در اشکال (۱۱) تا (۱۴) نمایش داده شده‌اند و ارزش مربوط به هر پیکسل نیز در جداول (۵) تا (۸) مشخص آمده‌است و متعاقب آن جداول (۹) و (۱۰) نشان‌دهنده‌ی نتایج مربوط به جاگذاری ارزش مربوط به هر پیکسل در الگوریتم شیب در دو جهت افقی (dz/dx) و عمودی (*dz/dy*) هستند. جداول (۱۱) و (۱۲) نیز در برگیرنده‌ی نتایج مربوط به محاسبه‌ی تغییرات شیب و دیفرانسیل کل است که به‌شکل نرخ تغییرات شیب بیان شده‌است.

جدول۳: ارزش مربوط به هر پیکسل درنقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۲

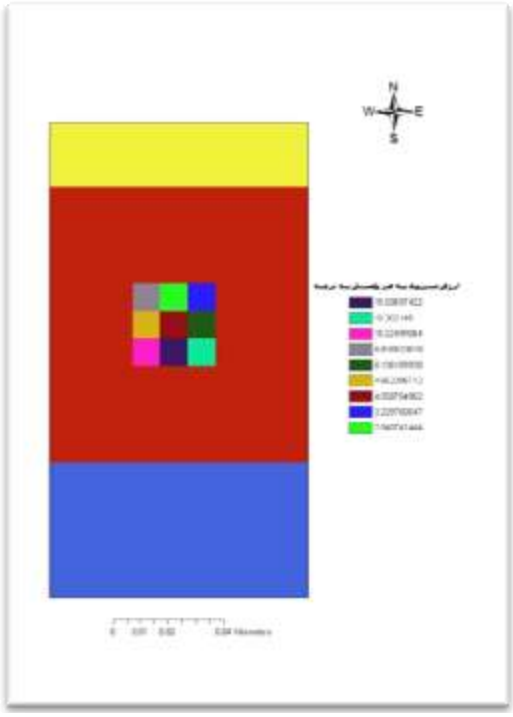
پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۱/۸۰۶۲۹۱
b	۱/۴۹۶۵۸۸
c	۰/۷۳۰۱۶۰
d	۱/۹۰۶۷۶۹
e	۱/۸۶۲۷۲۸
f	۲/۰۴۹۳۷۲
g	۲/۱۱۰۲۹۵
h	۲/۳۹۲۱۰۹
i	۲/۹۳۰۸۰۹

جدول۴: ارزش مربوط به هر پیکسل درنقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰۰ در نقطه‌ی ۲

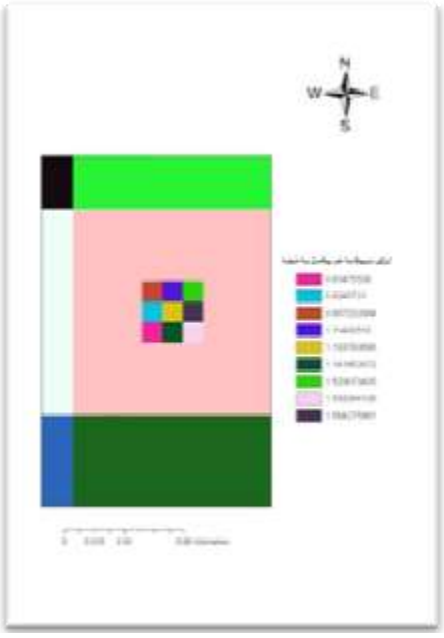
پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۰/۶۹۷۴۸۸
b	۱/۲۸۵۳۱۹
c	۳/۰۵۴۱۵۴
d	۰/۷۸۳۲۷۸
e	۰/۷۷۱۴۰۳
f	۱/۹۷۸۱۵۳
g	۱/۱۵۴۹۲۶
h	۰/۹۳۰۳۴۵
i	۱/۲۶۷۱۸۲



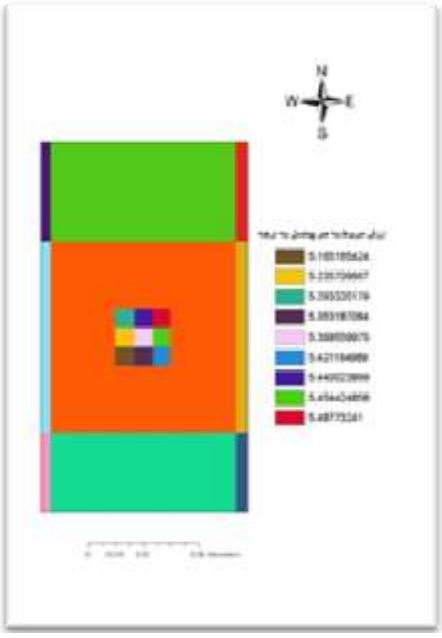
شکل ۱۱: تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۱



شکل ۱۲: تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۱



شکل ۱۳: تصویر پیکسل‌های در برگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۲



شکل ۱۴: تصویر پیکسل‌های د ربرگیرنده‌ی یک همسایگی ۳*۳ در نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ با پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۲

جدول ۵: ارزش مربوط به هر پیکسل در نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰و پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۱

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۲۵/۷۸۷۱۵۱
b	۳۱/۳۸۶۳۲۴
c	۳۴/۳۵۲۶۹۹
d	۱۹/۷۲۹۹۱۲
e	۲۶/۲۸۲۰۸۵
f	۳۱/۷۶۵۲۲۸
g	۱۵/۹۷۱۳۲۶
h	۲۲/۶۵۲۲۰۵
i	۳۰/۹۹۳۵۶۵

جدول ۶: ارزش مربوط به هر پیکسل در نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۱

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۶/۸۱۶۹۲۴
b	۲/۵۴۰۷۴۱
c	۳/۲۲۹۷۶۱
d	۴/۶۵۲۳۸۶
e	۴/۵۵۸۷۸۵
f	۶/۱۳۶۱۹۰
g	۱۰/۲۲۴۹۹۱
h	۱۰/۵۰۶۹۷۴
i	۱۰/۳۰۲۱۴۵

جدول ۷: ارزش مربوط به هر پیکسل در نقشه‌ی شیب با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۲

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۰/۸۶۷۲۳۲
b	۱/۱۱۴۰۳۵
c	۱/۵۲۳۰۷۳
d	۰/۸۲۴۵۷۳
e	۱/۱۳۳۷۸۴
f	۱/۵۶۴۲۷۶
g	۰/۸۱۴۷۵۵
h	۱/۱۴۱۹۵۳
i	۱/۵۵۸۲۴۶

جدول ۸: ارزش مربوط به هر پیکسل در نقشه‌ی شیب با مقیاس۱:۲۵۰۰۰ و پیکسل‌سایز ۱۰ در نقطه‌ی ۲

پیکسل موردنظر	ارزش پیکسل
a	۵/۲۹۳۳۲۰
b	۵/۴۴۰۰۲۴
c	۵/۴۸۷۷۳۲
d	۵/۲۳۵۷۱۰
e	۵/۳۹۹۵۶۰
f	۵/۴۵۴۴۲۵
g	۵/۱۶۵۱۶۵
h	۵/۳۵۳۱۸۷
i	۵/۴۲۱۱۶۵

جدول ۹: نرخ تغییر سطح در جهت افقی (*dz/dx*) و عمودی (*dz/dy*) از سلول مرکزی در نقطه‌ی ۱

مقیاس	پیکسل‌سایز	*dz/dx*	*dz/dy*
۱:۵۰۰۰۰	۱۰۰	-۱/۷۰۱۷۴۸	۰/۰۱۲۶۴۸
	۱۰	۰/۵۹۵۷۲۹	-۰/۳۸۳۰۳۹
۱:۲۵۰۰۰	۱۰۰	$-۵/۸۹۶۹۱۷*۱۰^{-۳}$	۰/۰۲۲۰۳۲
	۱۰	$-۶/۷۸۰۰۲۵*۱۰^{-۳}$	۰/۳۳۰۱۶۹

جدول ۱۰: نرخ تغییر سطح در جهت افقی (*dz/dx*) و عمودی (*dz/dy*) از سلول مرکزی در نقطه‌ی ۲

مقیاس	پیکسل‌سایز	*dz/dx*	*dz/dy*
۱:۵۰۰۰۰	۱۰۰	$۳/۶۹۸۶۲۵*۱۰^{-۵}$	$۵/۳۶۹۶۱۸*۱۰^{-۳}$
	۱۰	۰/۰۳۵۹۸۴	$۴/۸۱۶۵*۱۰^{-۴}$
۱:۲۵۰۰۰	۱۰۰	$۶/۰۷۴۰۹*۱۰^{-۳}$	$-۲/۵۴۹۳۵۲*۱۰^{-۳}$
	۱۰	۰/۰۱۱۰۹۸	$-۴/۶۰۴۹۵*۱۰^{-۳}$

جدول ۱۱: نرخ تغییرات شیب در نقطه‌ی ۱

نرخ تغییرات شیب با تغییر پیکسل‌سایز		نرخ تغییرات شیب با تغییر مقیاس	
۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰	پیکسل‌سایز ۱۰۰	پیکسل‌سایز ۱۰
-۰/۰۷۹۶۵۸	۱/۰۶۲۴۹۳	۰/۷۶۲۸۴۱	۰/۵۹۴۳۴۱

جدول ۱۲: نرخ تغییرات شیب در نقطه‌ی ۲

نرخ تغییرات شیب با تغییر پیکسل‌سایز		نرخ تغییرات شیب با تغییر مقیاس	
۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰	پیکسل‌سایز ۱۰۰	پیکسل‌سایز ۱۰
$-۴/۶۳۹۷۹۲*۱۰^{-۳}$	$۵/۴۲۷۷۲۶*۱۰^{-۳}$	$-۷/۸۷۶۹۷۶*۱۰^{-۳}$	-۰/۰۲۴۹۱۹

همانگونه که نتایج فوق گویا هستند میزان دیفرانسیل کل در همه‌ی حالات دارای ارزشی غیر از صفر است. چنین نتیجه‌ای بی‌گمان بیانگر وجود تغییرات شیب در تمامی حالات فوق و عدم وجود ترتیب در نتایج و به منزله‌ی عدم وجود ترتیب مشخص مکانی (توپوگرافیکی) در نقشه‌های با مقیاس‌های کارتوگرافیک مشخّص می‌باشند. لازم به ذکر است کلّ فرآیندهای تشریح‌شده به شکل سیستماتیک در بیش از ۵۰ نقطه از سطح حوزه اجراشده‌است امّا بر مبنای دو استدلال زیر ترجیح داده‌شده‌است که نتایج دو نقطه به شکل نصادفی ارائه‌گردد: نخست: محور و مبنای این پژوهش با رویکردی ریاضی پرداخته‌شده‌است و اساس استدلال آن در نشان‌دادن اثر معادلات دیفرانسیلی شیب در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی بوده‌است و نه نمود تغییرات آماری حاصل از محاسبات شیب. به عبارتی انتخاب نقطه، تأثیری بر ساختار استدلال مطروحه و نتایج آن ندارد چرا که رابطه های ۱۸ و ۱۹ مبانی محاسبه‌ی شیب هستند و در بدبینانه‌ترین حالت ممکن، حتّی وقوع یک مورد نقض، می‌تواند استدلال قیاسی آن را ارضاکند. دوم آن‌که به نظر رسید نشان‌دادن فرآیند تغییرات حاصل از محاسبه‌ی معادلات دیفرانسیلی شیب به شکل تبیینی، گویایی بیشتری در تأثیر اثر مقیاسی نسبت به ارائه‌ی خروجی حاصل از تغییرات ارزش‌های محاسبه‌شده داشته‌باشد.

بحث

خط مشی این تحقیق، بررسی مفهوم مقیاس با نگرشی متفاوت و نظری و در عین حال کاربردی و عینی بوده است. آنچه مسلم است در انتخاب دقت نقشه، نکته‌ی حائز اهمیت شناسایی عوارض مورد نیاز می‌باشد لذا یک نقشه‌ی بزرگ مقیاس‌تر لزوماً نقشه‌ی دقیق‌تری نمی‌باشد. همانگونه که مبنا قراردادن نتایج حاصل از بررسی پدیده‌ها در یک مقیاس برای مطالعات انجام شده در مقیاس دیگرجای تأمل دارد.

از آن‌جا که فرآیندها در سیستم‌های طبیعی با مقیاس مکانی تغییر می‌کنند (نامز و همکاران، ۲۰۰۶)، نتایج آنالیزها، برای مناطق یکسان، به‌علّت قدرت تفکیک مکانی، می‌توانند متغیّر باشند (راکینی، ۲۰۰۵). برآیند مطالب تشریح‌شده نیاز به گسترش دید مقیاسی را روشن می‌کند. مقیاس کارتوگرافیک لازم است امّا کافی نیست. زیرا درصورت عدم وجود درک صحیح از مقیاس، مقیاس کارتوگرافیک نیز می‌تواند گیج‌کننده باشد. مقیاس کارتوگرافیک عرفاً، نسبتی از فاصله‌ی یک واحد روی نقشه به همان فاصله روی زمین است؛ این تعریف کاملاً صحیح، می‌تواند باعث سردرگمی و حصول نتایج متفاوت و گاه حتّی متضاد شود؛ وقتی صحبت از یک فرآیند، پدیده یا تحقیق بزرگ مقیاس است، عموماً می‌تواند فرآیند، پدیده یا تحقیق بزرگ (قابل درک از طریق حواس) را در ذهن تداعی کند. لذا در درون چنین مفهومی، تعبیر مقیاس، اندازه یا گستره را دربر می‌گیرد و سازگاری و انطباق مفهوم مقیاس کارتوگرافیک را نفی می‌کند. برای مثال، نقشه‌ای که جهان را نشان‌می‌دهد یک مقیاس کارتوگرافیک کوچک دارد امّا یک تحقیق که جهان را پوشش می‌دهد بزرگ مقیاس است (آتکینسون و تات، ۲۰۰۰). به

عبارتی حرکت از مقیاس‌های کوچک به بزرگ و بالعکس، تنها تابع مستقیم ترتیبی از نتیجه‌ی معادلات دیفرانسیلی آن نیست، بلکه وابستگی ناگسستنی به درک و تفسیر مشاهده‌کننده از پدیده یا فرآیند مورد بررسی‌اش هم دارد. به عقیده لوین (۱۹۹۲) مشاهده‌کننده یک سوگیری ادراکی، یک فیلتر، از جایی که به سیستم نگریسته می‌شود به آن تحمیل می‌کند.در این تحقیق با مورد تردید قراردادن وجود رابطه‌ی ترتیبی در دو مقیاس کارتوگرافیک نقض ریاضی ترتیب مقیاس کارتوگرافیک نشان داده‌شد. انتخاب شیب به عنوان متغیّری اساسی در عموم مطالعات و مدل‌سازی‌های محیطی محسوب می‌شود (مخدوم، ۱۳۸۵) و هرگاه شیب عوض شود به‌عنوان متغیّر ورودی، در هر مدل تصمیم‌گیری مکانی، خروجی نیز عوض می‌شود (بِون، ۲۰۰۲) و لذا حتّی با وجود ثابت‌ماندن تمامی دیگر متغیّرها، تغییر این متغیّر، درک و نتیجه‌ی هر مدل محیطی را تحت اثر خود قرارمی‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه‌ی میزان معادلات دیفرانسیلی مبین این بود که تغییر مقیاس حتی در یک مقیاس مشابه، تغییر قدرت تفکیک (پیکسل‌سایز) شیب را متأثر خواهد کرد.

حلی‌ساز و همکاران (۱۳۹۰) نیز با بررسی روش‌شناختی مقیاس در مطالعات محیطی و با پایش تغییرات پلی‌گون‌های کلاس شیب در دو مقیاس و با سه پیکسل‌سایز مختلف و با ترکیب مقیاس‌ها و پیکسل‌سایزهای مختلف، در نظر گرفتن تغییرات تعداد و مساحت پلی‌گون‌های شیب و با توجه به مقایسه‌ی داده‌ها نسبت به کل محدوده‌ی آبخیر، به این نتیجه دست یافتند که تأثیر تغییرات مقیاس و پیکسل‌سایز، نتایج متفاوتی بر مساحت‌ها و تعداد پلی‌گون‌های کلاس شیب می‌گذارد. محققان متعددی (وو و لوین، ۱۹۹۴؛ وو و جلینسکی، ۱۹۹۵؛ جلینسکی و وو، ۱۹۹۶؛ کی و وو، ۱۹۹۶) نیز به این نتیجه دست یافته‌اند که برای داده‌هایی که بر مبنای مساحت هستند، تغییر مقیاس تحلیل (اندازه‌ی دانه‌بندی[۲]) واحدهای مکانی در مقیاس مشابه ممکن است اثرات متفاوتی روی نتایج تحلیل‌های مکانی داشته باشند. این مشکل در ادبیات نقشه‌پردازی تعبیر به واحد مساحتی اصلاح‌پذیر(*MAUP*)[۳]، شده است (اُپن‌شا، ۱۹۸۴؛ فُتِرینگام و روگِرسون، ۱۹۹۳؛ آمِرین، ۱۹۹۵؛ وو و جلینسکی، ۱۹۹۵؛ جلینسکی و وو، ۱۹۹۶). وو و همکاران (۱۹۹۷) که اثرات تغییر اندازه‌ی نمونه و ارائه‌ی متغیّر، روی نتایج رگرسیون، آنالیز واریانس و آنالیز همبستگی را با هدف آزمون چگونگی تأثیر یک تغییر سیستماتیک در مقیاس آنالیز بر نتایج تحلیل آماری بررسی کردند به این نتیجه دست یافتند که اثر تغییر اندازه‌ی نمونه روی تحلیل‌های آماری می‌تواند قابل‌ملاحظه باشد.راکینی (۲۰۰۵) نیز در منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی طبیعی پاگیوآلُلما در ایتالیا، مشکلات قدرت تفکیک را در برآورد متریک‌های زمین‌سیما با استفاده از چهار شاخص مطالعه کرد؛ شاخص تنوع شانِن (شانِن و ریور، ۱۹۶۲)، شاخص برابری پائولو (پائولو، ۱۹۶۹)، شاخص شکل متوسط (MSI)[۴] و شاخص شکل متوسط وزن‌دهی شده‌ی منطقه (AWMSI)[۵]؛ در این مطالعه کوچک‌ترین واحد نقشه (MMU)[۶]، معرفی می‌شود و با استفاده از این مفاهیم به این نتیجه دست یافت که وقتی هدف به‌صورت کمّی، الگوهای زمین‌سیمای مرتبط با فرآیندهای بوم‌شناختی که آن‌ها را تولید می‌کنند است، باید به ورودی قدرت تفکیک مکانی (MMU) توجه

2-Grain size
3-Modifiable Areal Unit Problem
4-Mean Shape Index
5-Area Weighted Mean Shape Index
6-Minimum Map Unit

ویـژه‌ای مبـذول داشـت و تـا مقیـاس ورودی بـه درستی تعریـف نشـود، هـیچ اسـتنباطی در مـورد انتقال اطلاعات از یک مقیـاس بـه مقیـاس دیگـر نمی‌تواند وجود داشته باشد. تحقیق حاضر نیـز در راستای تحقیقات انجام‌شـده در حیطـه‌ی مقیـاس مکانی با بیان و وجهی ریاضی‌وار از این مفهوم، بـه نتایج کم و بیش مشـابهی دسـت یافـت. غیرصـفر بودن دیفرانسیل در تمامی حالات به‌عنوان نشانه‌ی عدم وجود ثبات در تغییرات شیب با تغییر مقیاس ، مؤید اثرات شدید مقیاس بر پدیده‌های زمینـی و محیطی می‌باشد. بنـابراین تعمـیم اثـرات، فرضـی باطل است و می‌تـوان اذعـان داشـت اثـر مقیـاس مکانی دارای ترتیب نمـی‌باشـد. برخـی تحقیقـات انجام شده درجهان توسط دانشـمندان نیـز مؤیّـد این ادعاست. براساس تحقیقی کـه زیمـر (۱۹۹۷) بر روی پروژه‌های تجدید و احیاء آبزیان در ایـالات متحده، انجام داد، دریافت که مسـئله‌ی جـدّی در این پروژه‌های احیاء، این است که طرح‌ها تنهـا بـه یک مکان یا مشکل خاص توجه دارند و از موقعیت بزرگ‌تر جغرافیا، زمان و بوم‌شناسـی چشـم‌پوشـی می‌کنند و در ادامه می‌افزاید؛ همان‌گونه کـه طـرح یک پروژه‌ی احیاء به‌تنهایی، بـدون داشـتن دانـش کافی در مورد دیگر پروژه‌ها در مجاورت آن اشتباه است، آنالیز آبخیز نیز تنها با دید یک آبخیز واحـد صحیح نمی‌باشد

اشنایدر (۲۰۰۱) با مطالعه‌ای که بر صیدگاه بزرگ گدیس‌مورهوآ، که صیدگاه نوعی ماهی به‌نـام کـاد بود، انجام داد، به نتایجی دست یافت. این صیدگاه طی قـرن‌هـا در سراسـر قـارّه‌ی آمریکـای شـمالی گسترش یافتـه بـود تـا اینکـه در ابتـدای دهـه‌ی ۱۹۹۰ از بـین رفـت. پـس از فروپاشـی صـیدگاه، تخم‌ها و بچه‌مـاهی‌هـای سـال اوّلـی، محـدود بـه منـاطق سـاحلی شـدند جـایی کـه بقـا بسـته بـه زیستگاه مناسب بود. بررسی زیستگاه می‌توانـد در مقیاس خلیج یا بخش‌های ساحلی انجام شود، امّـا انـدازه‌گیـری مسـتقیم تـراکم‌مطلـق، نسـبت بـه زیسـتگاه، فقـط در حـد مسـاحت‌هـای کوچـک چندصد مترمربعی انجام می‌شود. نسـبت مسـاحت مورد نظر به مساحت بررسی‌شده، قادر به تخمـین تعداد و جنبه‌های بقا در مقیـاس‌هـای کوچـک‌تـر نیست. به‌عقیـده‌ی وی، علـل انقـراض گونـه‌هـا در مقیاس بوم‌سامانه رخ می‌دهـد، درحالیکـه انـدازه-گیری‌ها به مساحت‌های کوچک‌تر محدود می‌شوند (اشـنایدر، ۲۰۰۱). در تحقیـق حاضـر تـلاش شده‌است با کمّی کـردن نـرخ تغییـرات شـیب بـا استفاده از قـوانین و فرمـول‌هـای ریاضـی بسـتری برای تولید مدل مقیاسی فراهم شود لذا عـلاوه بـر آن که امکان تعمیم اثرات مقیاسی در مقیاس‌هـای متفاوت (و حتّی متوالی) می‌تواندگمراکننده باشـد، به نظرمـی‌رسـد لازم باشـد درخصـوص ایـن درک سنّتی که همگام بـا عمیـق‌تـر و جزئـی‌تـر شـدن روش‌شناسی مطالعات زمین، مقیاس کارتوگرافیک نیز لازم است بزرگ شود، تجدید نظر شود. ترتیب مقیاس مکانی، لزوماً منجر به ترتیب اثـرات آن در هر گونه مطالعه و بررسی در دانش زمـین نخواهـد شد و ضـروری اسـت کـه مقیـاس درک پدیـده از منظر مشاهده‌گر و ساختار پدیده‌ی مورد نظـر نیـز در انتخاب مقیاس بهینه وارد شود. به‌نظرمـی‌رسـد پاسخ به این پرسش اساسی -در غیـاب یـک نگـاه ترتیبی- که بهتر اسـت چـه وقـت، چـه مقیاسـی استفاده‌شود، محتاج تحقیقات و پژوهش‌هـای آتـی است.

تقدیر و تشکّر

نگارندگان عمیقاً از آقای بهروز احمدی‌دوسـت کـه داده‌هـای خـود را بـرای انجـام ایـن تحقیـق در اختیارشان گذاشتند، سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

-احمدی‌دوست، ب.، ۱۳۹۲. بررسی حساسیت مدل *HEC-HMS* به داده‌های واردشده با مقیاس‌های مکانی مختلف (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیزجاماش استان هرمزگان). پایان‌نامه- یکارشناسی‌ارشد، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.۸۶ ص.

-عالم‌زاده، ع.، ۱۳۸۵. حساب دیفرانسل و انتگرال با هندسه‌ی تحلیلی. کتاب عام، نوشته‌ی ریچارد ای. سیلورمن، انتشارات ققنوس، ۵۵۰ ص.

-Bunnell, F.L., and Huggard, D.J., 1999. Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities, Forest Ecology and Management, v.115, p.113-126.

-Burrough, P.A., and McDonell, R.A., 1998. Principles of Geographical Information System, Oxford University Press, New York.190 p.

-Clark, W.C., 1985. Scales of climate impacts, Climatic Change, v.7, p. 5-27.

-Davis, F.W., and Quattrochi, D.A., Ridd, M.K., -N.Lam, N.S., Walsh, S.J., Michaelsen, J.C., Franklin, J., Stow, D.A., Johannsen, C.J., and Johnston, C.A., 1991. Environmental analysis using integrated GIS and remotely sensed data; some research needs and priorities, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.57, p.689-697.

-Davis, F.W., and Simmonett, D.S., 1998. GIS and remote sensing. In: Longley, p.A., Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W (eds.) Geographical Information Systems volum 1: Principles.191-123 p., Harlow: Longman.

-Dayton, P., and Tenger, M.J., 1984. The importance of scale in community ecology: a kelp forest example with terrestrial forest analogs. In: Price, P.W., Slobodchikoff, C.N., Gaud, W.A (eds.) A new ecology: novel approaches

-رسولیان، ع.، ۱۳۸۶. نظریه‌ی مجموعه‌ها و کاربردهای آن، نوشته‌یشوونگ تی. لین و یو- فنگ. لین، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۳۷ ص.

-مخدوم، م.، ۱۳۸۵. شالوده‌ی آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۹ ص.

-حلی‌ساز، ا.، آذرنیوند، ح.، اکرمی،م.، مهدوی، م.، و مهرابی، ع.، ۱۳۹۰. پژوهش‌های محیطزیست، شماره‌ی ۳، ص ۴۸-۳۵.

-Addicott, J.F., Aho, J.M., Antolin, M.F., Padilla, D.K.,Richardson, J.S., and Slouk, D.A., 1987. Ecological neighborhoods: scaling environmental patterns, Oikos, v.49, p.340-346.

-Allen, T.F.H., and Hoekstra, T.W., 1992. Toward a Unified Ecology, Columbia University Press, New York, 384p.

-Allen, T.F.H., and Hoekstra, T., 1990. The confusion between scale-defined levels and conventional levels on organization in ecology, Journal of Vegetation Science, v.1, p.5-12.

-Allen, T.F.H., and Starr, T.B., 1984. Heirarchy: perspectives for ecological complexity, Philosophy of Science, v.51, p.359-361.

-Amerhein, C.G., 1995. Searching for the elusive aggregation effect: evidence from statistical simulations. Environmental and Planning, v.27, p.105-119.

-Atkinson, P.M., and Tate, N.J., 2000. Spatial scale problems and geostatistical solutions: a review, Professional Geographer, v.52, p.607-623.

-Beven, K., 2002. Towards a Coherent Philosophy for Modelling the Environment, Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v.458, p. 2465-2484.

to interactive systems.457-481pp., Wiley, New York.
-Dungan, J.L., Perry, J.N., Dale, M.R., Legendre, P., Citron-Pousty, S., Fortin, M.-J., Jakomulska, A., Miriti, M., and Rosenberg, M.S., 2002.A balanced view of scale in spatial statistical analysis, Ecology, v.25, p.626-640.
-Ehleringer, J.R., and Field, C.B., 1993. Scaling physiological processes: leaf to global, Academic Press, San Diago, California, USA, 388p.
-Fisher, J.T., 2010. Cross-scale Habitat Selection by Terrestrial and Marine Mammals. phD Thesis,Victoria, University of Victoria, Canada.178p.
-Forman, R.T.T., and Godron, M.,1986. Landscape Ecology, Wiley & Sons, New York, 619 p.
-Fotheringham, A.S., and Rogerson, p.A., 1993. GIS and spatial analytical problems, International Journal of Geographical Information Systems, v.7, p.3-19.
-Gardner, R.H., 1998. Pattern, process and analysis of spatial scales. In: Peterson, D.L., Parker, V.T (eds.) Ecological scale.17-34 p., Columbia University Press.
-Gardner, R.H., Kemp, W.M., Kennedy, V.S., Peterson, J.E., 2001. Scalig Relations in Experimental Ecology, Columbia University Press, New York, 373p.
-Getis, A., and Franklin, J., 1987. 2nd order neighborhood analysis of mapped point pattern. Ecology, v.68, p.473-477.
-Gibson, C.C., Ostrom, E., Ahn, T.K., 2000. The concept of scale and human dimensions of global change: a survey, Ecological Economics, v.32, p.217-239.
-Goodchild, M., and Quattrochi, D., 1997. Introduction: scale, multiscale, remote sensing and GIS. In: Quattrochi, D. and Goodchild, M. (eds.) Scale in remote sensing and GIS.1-12 p., CRC Press.
-Gosz, J.R., 1992. Ecological functions in a biome transition zone: translating local responses to broad – scale dynamics. In: Hansen, A.J., and di Castri, F (eds.) Landscape boundaries, consequences for biotic diversity and ecological flow.55-75 p., Springer-Verlag, New York, NY.
-Gueron, S., and Levin, S.A., 1995. The dynamics of group formation, Mathematical Biosciences, v.128, p.243-264.
-Harris, T.M., 2006. Scale as artifact: GIS, ecological fallacy, and archaeological analysis. In: Lock. G., Molyneoux, B.L (eds.) Confronting scale in archaeology: issues of theory and practice.39-53 p., West Virginia University, Springer US.
-Jarvis, P.G., and McNaughton, K.G., 1986. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. Advances in Ecological Research, v.15, p.1-49.
-Jelinski, D.E., and Wu, J., 1996. The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology, Landscape Ecology, v.11, p.129-140.
-Johnson, D.D., and Howarth, P.J., 1987. The effects of spatial resolution on land cover/ land use theme extraction from airborne digital data, Conadian Journal of Remote Sensing, v.13, p.68-75.
-Levin, S.A., 1992. The problem of pattern and scale in ecology, Ecology, v.7, p.1943-1967.
-MacArthur, R.H., 1972. Geographical Ecology, Harper and Row, New York, USA, 269 p.
-Meentemeyer, V., and Box, E.D., 1987. Scale effects in landscape studies. In: Turner, M.G (eds.) Landscape heterogeneity and disturbance.15-36pp., Springer –Verlag, New York.
-Menge, B.A., and Olson, A.M., 1990. Role of scale and environmental factors

in the regulation of community structure, Trends Ecology, v, 5, p.52-57.
-Nams, V.O., Mowat, G., and Panian, M.A., 2006. Determining the spatial scale for conservation purposes – an example with grizzly bears, Biological Conservation, v.128, p.109-119.
-O'Neill, R.V., DeAngelis, D.L., Waide, J.B., and Allen, T.F.H., 1986. A Hierarchical Concept of Ecosystems, Princeton University Press, Princeton, New York, 253 p.
-Openshaw, S. 1984. Ecological fallacies and the analysis of areal consus data, Environmental and Planning, v.6, p.17-31.
-Pielou, E.C., 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. John & Wiley, New York, 286 p.
-Peterson, D.L., and Parker, V.T., 1998. Dimensions of scale in ecology, resource management and society. In: Peterson, D.L., Parker, V.T (eds.) Ecological scale : theory and methods. 387-425pp., Columbia University press.
-Powell, T.M., 1989. Physical and biological scales of variability in lakes, estuaries, and the coastal ocean. In: Roughgarden, J., May, R.M., Levin, S.A (eds.) Perspectives in ecological theory.157-176pp., Princeton (NJ): Princeton University Press.
-Qi, Y., and Wu, J., 1996. Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices, Landscape Ecology, v.11, p.39-50.
-Rocchini, D., 2005. Resolution problems in calculating landscape metrics, Spatial Science, v.50, p.25-35.
-Schneider, D.C., 2001. The rise of the concept of scale in ecology, BioScience, v.51, p.545-554.
-Scott, J.M., Heglund, P.J., Morrison, M.L., Haufler, J.B., Raphael, M.G., Wall, W.A., and Samson, F.B., 2003. Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale, Journal of Mammalogy, v.84, p. 319-321.
-Shannon, C.E., and Weaver, W., 1962. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press. Urbana, 117 p.
-Sollins, P., Spycher, G., Topik, C., 1983. Processes of soil organic-matter accretion at a mudflow chronosequence, Mt.Shasta, California. Ecology, v.64, p.1273-1282.
-Solomon, A.M., Delcourt, H.R., West, D.C., and Blasing, T.J., 1980. Testing a simulation- model for reconstruction of prehistoric forest- stand dynamics. Quaternary Research, v.14, p.275-293.
-Steel, J.H., 1985. A comparison of terrestrial and marine systems, Nature, v.313, p.353-358.
-Turner, M.G., O,Neill, R.V., Gardner, R.H., and Milne, B.T., 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape patterns, Landscape Ecology, v.3, p.153-162.
-Wessman, C.A., 1992. Spatial scales and global change: bridging the gap from plots to GCM grid cells, Annual Review of Ecology and Systematics, v.23, p.175-200.
-Wiens, J.A., 1989. Spatial scaling in ecology, Functional Ecology, v.3, p.385-397.
Wu, J., and Levin, S.A., 1994. A spatial patch dynamic modeling approach to pattern and process in an annual grassland, Ecologiccal Monographs, v.64, p.447-464.
-Wu, J., and Loucks, O.L., 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology, Quarterly review of Biology, v.70, p.439-466.
-Wu, J., Gao, W., and Tueller, P.T., 1997. Effects of changing spatial scale on the results of statistical analysis with landscape data; a case study, Geographic Information Sciences, v.3, p.30-41.

-Ziemer, R.R., 1997. Temporal and spatial scales. Pages 80-95 In: Williams, J.E., Wood, C.A., Dombeck, M.P (Eds.),Watershed restoration: principles and practices. American Fisheries Society, Bethesda, MD.

-Wu. J., and Jelinski, D.E., 1995. Pattern and scale: the modifiable areal unit problem. In: Li, B (eds.) Lectures in modern ecology.1-9pp., Science Press. Beijing.