

## استفاده از مدل جاذبه به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاع و لندفرم‌ها با قدرت تفکیک مکانی

## بیشتر

عباس صدق‌آمیز: استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران  
مرضیه مکرّم\*: دانشیار بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۴

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۴)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.2.9

## چکیده

مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش قدرت تفکیک مکانی داده‌ها می‌توان جزئیات بیشتری را از منطقه مورد مطالعه بررسی کرد. بنابراین هدف از این مطالعه، تهیه داده‌های با قدرت تفکیک بیشتر برای دریافت اطلاعات با جزئیات بیشتر است. با توجه به اهمیت رودخانه‌ها و نقش آنها در فرسایش، استفاده از مدل‌های جدید برای افزایش قدرت تفکیک مکانی مهم است. بنابراین، در این مطالعه از مدل جاذبه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاعی سی متر در بخشی از رودخانه کر واقع در جنوب استان خوزستان استفاده شد. در ادامه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شده با استفاده از مدل جاذبه، نقشه لندفرم‌های منطقه با استفاده از روش شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) تهیه شد. در واقع، در این مطالعه با تهیه نوع لندفرم‌های منطقه با دقت بیشتر می‌توان وضعیت فرسایش یا رسوب‌گذاری را در منطقه مورد مطالعه حدس زد. در نهایت، نقشه لندفرم‌های تهیه شده با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک سی متر، با نقشه لندفرم تهیه شده با قدرت تفکیک مکانی بیشتر مقایسه شد. نتایج نشان داد که شاخص مقیاس ۳ و مدل همسایگی چهارگانه در مدل جاذبه، در افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع و استخراج لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه بیشترین دقت را داشت. همچنین نتایج حاصل از روش TPI نشان داد که لندفرم‌های آبراهه‌ها، زه‌کش‌های شیب میانی، زه‌کش‌های مناطق مرتفع، دره‌های II شکل، دشت، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، تپه‌های موجود در دره، تپه‌های کوچک موجود در دشت و قله کوه به ترتیب دارای مساحت ۰/۰۰۱، ۳۲/۱۱، ۰/۵۶، ۴/۲۸، ۰/۰۸۳، ۱/۷۶، ۰/۰۰۴، ۱/۱۲، ۲/۰۴، ۰/۰۱۴ کیلومتر مربع است. نتایج حاصل از مقایسه لندفرم‌های تهیه شده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت مکانی بیشتر نسبت به مدل رقومی سی متر نشان داد که می‌توان جزئیات بیشتری را از لندفرم‌های منطقه به دست آورد. در پایان با توجه به نتایج لندفرم‌ها مشخص شد که ۳۷ درصد منطقه از زهکش‌های شیب میانی و دره‌های U شکل تشکیل شده‌است که استعداد منطقه برای فرسایش را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: لندفرم، فرسایش، مدل جاذبه، مدل رقومی ارتفاع (DEM).

## ۱- مقدمه

در مطالعات ژئومورفولوژی، تهیه لندفرم‌های منطقه برای بررسی فرم‌ها در مناطق مختلف امری مهم است. از طرفی با داشتن داده‌های ورودی دقیق‌تر، نقشه‌های لندفرم با دقت بالاتری تهیه می‌شود. بنابراین، با استفاده از نقش‌های مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک بیشتر می‌توان لندفرم‌های دقیق‌تری استخراج کرد (Shayan et al, 2006). شناسایی لندفرم‌ها، دسته‌بندی آنها و شناسایی اشکال مختلف ژئومورفیک، برای بررسی روابط بین فرم و فرایندها در منطقه مهم است. با استخراج لندفرم‌ها می‌توان اطلاعات مختلفی مانند ویژگی‌های اقلیمی، نوع خاک و هیدرولوژی را در یک حوضه آبخیز حدس زد. با توجه به اهمیت موضوع، استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک بیشتر برای تهیه لندفرم‌ها با دقت بیشتر مهم است. برای افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع روش‌های مختلفی وجود دارد. به دست آوردن جزئیات بیشتر از پیکسل‌ها به وسیله مدل جاذبه، اولین بار توسط Atkinson و همکاران (1997) ارائه شد. در این تکنیک، پیکسل‌ها به چندین زیر پیکسل با توجه به مقادیر پیکسل‌های همسایه تقسیم می‌شود. در روش جاذبه نیز یک پیکسل درشت به زیر پیکسل تقسیم می‌شود و یک کلاس پوشش زمین به هر زیر پیکسل اختصاص می‌یابد، با این محدودیت که تعداد کل زیر پیکسل هر یک کلاس به طور مستقیم با درصد تاج پوشش پیکسل اصلی بزرگ‌تر متناسب می‌شود (Atkinson et al, 1997). با این روش، طبقات نرم ورودی را می‌توان به دسته‌بندی سخت با قدرت تفکیک بهتر تبدیل کرد. مشکل اصلی در نقشه‌برداری زیر پیکسل‌ها، تعیین محل هر کلاس پوشش زمین در پیکسل بزرگ‌تر است (Verhoeve et al, 2002). روش‌های متفاوتی برای حل این مشکل ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به شبکه هوفیلد<sup>۱</sup> (Tatem et al, 2001 & Muad and Foody, 2001)، شبکه عصبی پس‌انشار خطا (Zhang et al, 2008 & Wu et al, 2011 & Nigussie et al, 2011)، تکنیک بهینه‌سازی خطی (Tatem et al, 2001)، مدل جاذبه مکانی (Mertens et al, 2006 & Wang et al, 2011)، الگوریتم ژنتیک (Mertens et al, 2003)، سیستم ایمنی مصنوعی (Zhong et al, 2009)، زنجیره تصادفی مارکوف (Kasetkasem et al, 2005 & Tolpekin and Stein, 2009 & Ardila et al, 2011) و زمین‌آمار (Boucher and Kyriakidis, 2006) اشاره کرد. مدل جاذبه، روشی برای به دست آوردن توزیع فضایی از طبقات مختلف در مقیاس زیرپیکسل است. فرض آماری وابستگی مکانی پیکسل‌ها، توسط Atkinson و همکاران (1997) و Verhoeve (2002) با استفاده از یک تکنیک بهینه‌سازی خطی برای نقشه‌برداری زیر پیکسل انجام شد. یکی از روش‌های تقسیم پیکسل‌ها، استفاده از وابستگی مکانی موقعیت پیکسل جاذبه زیرپیکسل است. احتمال دیگر این فرض، تعامل پیکسل فرعی زیر پیکسل است که توسط Mertens و همکاران (2003) به تصویب رسید.

Libohova و همکاران (2016)، در مقاله‌ای از الگوریتم ژئومورفون‌ها در خاک‌شناسی استفاده کردند. آنها با استفاده از روش شاخص موقعیت توپوگرافی ( $TPI^2$ )، لندفرم‌ها را طبقه‌بندی کردند و با این طبقه‌بندی، به توصیف چشم‌انداز و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک پرداختند. Kramm و همکاران (2017)، پژوهش جالبی را در زمینه ژئومورفومتری انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که لندفرم‌ها به درک فرایندهای ژئومورفولوژی از گذشته و حال چشم‌انداز کمک می‌کنند. Stepinski and Jasiewicz (2011) برای اولین بار روش TPI را معرفی کردند که هدف

<sup>1</sup> Hopfield

<sup>2</sup> Topography Position Index

از آن، طبقه‌بندی زمین بر پایه ده شکل غالب و بزرگ بود و این کار با استفاده از DEM ده متر با دو الگوریتم LBP و LTP انجام شد.

Jasiewicz and Stepinski (2013) در پژوهشی در این زمینه، نقشه ژئومورفومتریک را با روش ژئومورفون‌ها و نقشه لندفرم‌ها را در مقیاس متفاوت کوچک تا بزرگ تهیه کردند. محققان مختلفی استخراج لندفرم‌ها را به طور خودکار در چند سال اخیر توسعه داده‌اند. Dikau در سال ۱۹۸۹، روشی برای تعریف شیب‌های مقعر، محدب، دره‌ها و آبراهه‌ها را با استفاده از DTMs اختراع کرد. Dragut and Blaschke در ۲۰۰۶ به دسته‌بندی خودکار لندفرم‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر به صورت شیء‌گرا (OBI<sup>1</sup>) پرداخت. اشیای اولیه به عنوان عناصر لندفرم نیز با استفاده از یک مدل دسته‌بندی شد. در این دسته‌بندی از موقعیت اشیاء، شکل، ارتفاع و سطح استفاده و ۹ کلاس برای لندفرم‌ها تعریف شد. افزون بر این، MacMillan و همکاران نیز در سال ۲۰۰۰ روش جدیدی برای دسته‌بندی لندفرم‌ها به طور خودکار با استفاده از قوانین فازی تعریف کردند. این مدل با استفاده از مشتقات مدل رقومی ارتفاع و قواعد منطق فازی، پانزده کلاس برای لندفرم‌ها تعریف کرد. Ventura and Irvin (2000) نیز لندفرم‌ها را با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک دسته‌بندی کردند. نتایج این مطالعات نشان داد که دسته‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از روش‌های خودکار، دقت بالایی دارد. همچنین Moreno و همکاران (2005)، دسته‌بندی خودکار لندفرم‌ها را در محیط GIS با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک انجام دادند (Li et al, 2020). از مدل جاذبه نیز برای تهیه مدل رقومی ارتفاع و تهیه نقشه سیلاب‌ها استفاده شد. نتایج، حاکی از دقت بالای نقشه‌های تهیه شده در زمینه برآورد سیلاب است (Wang et al, 2018 & Wu et al, 2019). آنها در مطالعات خود نشان دادند که مدل جاذبه در استخراج کاربری اراضی دقت بالایی دارد (Lu et al, 2017) و به علت استفاده از اطلاعات مربوط به پیکسل‌های اطراف، در تخمین مقادیر زیرپیکسل‌ها نیز دقت زیادی دارد.

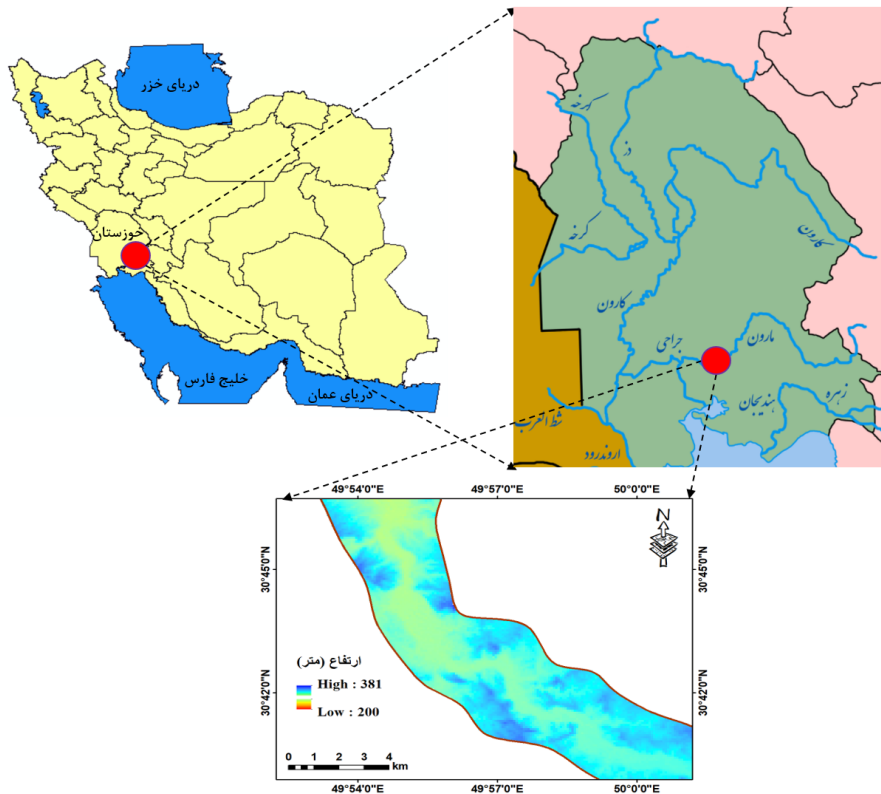
با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این مطالعه استفاده از روش مدل جاذبه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی و استخراج لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) با دقت و جزئیات بیشتر است. ذکر این امر لازم است که علت انتخاب مدل جاذبه، بررسی و تغییراتی است که توسط این مدل در تصاویر ماهواره‌ای ایجاد می‌شود و به تقسیم پیکسل‌های بزرگ‌تر به پیکسل‌های کوچک‌تر با دقت زیاد منجر می‌شود. همچنین با توجه به اینکه هدف، بررسی خروجی مدل جاذبه در مطالعات آبخیزداری بود، از روش TPI با داده‌های ورودی مدل رقومی ارتفاع برای تهیه لندفرم‌های منطقه استفاده می‌شود. همچنین با توجه به نوع لندفرم‌ها و میزان مساحت آنها در منطقه، وضعیت فرسایش در منطقه نیز بررسی می‌شود. ذکر این امر لازم است که در این مطالعه از خروجی مدل جاذبه (مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک زیاد) برای تهیه لندفرم‌های بخشی از رودخانه و اراضی اطراف مارون در جنوب استان خوزستان استفاده شد که این امر از نوآوری‌های عمده این تحقیق است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از رودخانه مارون در جنوب استان خوزستان در ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۴۹ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است (شکل ۲). این

<sup>1</sup> Object-Based Image analysis (OBIA)

رودخانه از رشته کوه زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد سرچشمه می گیرد، در استان خوزستان جریان می یابد و در فصل های پر آب به خلیج فارس می ریزد. متوسط حرارت منطقه مورد مطالعه، ۱۸ درجه و حداکثر و حداقل مطلق دمای آن به ترتیب ۳۲ و ۶ درجه سانتی گراد است. در قسمت های بالادست، میزان بارش های جوی و چشمه های کارستی فراوان است و در مناطق پایین دست، به منطقه خشک و نیمه خشک با میزان بارندگی متوسط ۶۳۳ میلی متر و کمتر وارد می شود. حداکثر بارندگی در آذرماه و حداقل آن، با صفر میلی متر در ماه های تیر، مهر و آبان است. بیشترین ارتفاع منطقه مورد مطالعه، ۳۸۱ و کمترین ارتفاع آن ۲۰۰ متر است.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش

در این مطالعه بعد از تهیه داده ها، قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع با استفاده از مدل جاذبه افزایش یافت. در ادامه با استفاده از خروجی مدل جاذبه، نقشه لندفرم های منطقه تهیه و در نهایت، وضعیت فرسایش در منطقه مطالعه شد. توضیح مربوط به هر یک از روش ها در ادامه ذکر شده است.

#### ۳-۱- داده ها

به منظور بررسی مدل جاذبه و به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، از DEM سی متری استفاده شد. برای تهیه این داده ها، از DEM سنجنده ASTER با اندازه پیکسل های سی متر برگرفته شده از سایت USGS استفاده شد.

(EarthExplorer, 2021). بعد از تهیه داده‌ها در محیط ArcGIS، ژئورفرنس شد و سیستم مختصات آنها به سیستم مختصات جغرافیای تبدیل و با فرمت tiff ذخیره شد.

### ۲-۳- روش تجزیه و تحلیل

#### ۱-۲-۳- مدل جاذبه<sup>۱</sup>

در این مدل، پیکسل‌ها در مدل رقومی ارتفاع بر پایه موقعیت خود نسبت به پیکسل بالا سمت چپ - که با عنوان  $P_{0,0}$  شناخته می‌شود - نام‌گذاری می‌شوند. همین ساختار برای زیر پیکسل‌ها هم انجام می‌شود؛ به این معنا که برای مقیاس برابر با ۲ دارای زیر پیکسل‌های  $p_{0,0}$ ،  $p_{0,1}$ ،  $p_{1,0}$ ،  $p_{1,1}$  است؛ به طوری که یک زیر پیکسل  $p_{a,b}$  درون یک پیکسل  $P_{i,j}$  قرار می‌گیرد هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد (Xu et al, 2014):

$$p_{a;b} \in P_{i;j} \Leftrightarrow \left(\frac{a}{S} = i\right) \wedge \left(\frac{b}{S} = j\right) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن،  $a$  شماره سطر زیر پیکسل،  $b$  شماره ستون زیر پیکسل مربوطه،  $S$  شاخص مقیاس و  $i$  شماره سطر پیکسل همسایه و  $j$  شماره ستون پیکسل همسایه است. همسایگی‌های تعریف شده در مرحله قبل به صورت زیر نیز تعریف می‌شود:

$$N2[p_{a;b}] = \left\{ P_{i;j} \mid d(p_{a;b}, P_{i;j}) \leq \frac{1}{\sqrt{2}} (2S - 1) \right\} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن،  $N2$  مدل همسایگی چهارگانه است. فاصله بین هر زیر پیکسل و پیکسل اطراف ( $d$ ) نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود (Xu et al, 2014):

$$d(p_{a;b}, P_{i;j}) = \sqrt{[a + 0.5 - S(i + 0.5)]^2 + [b + 0.5 - S(j + 0.5)]^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

#### ۲-۲-۳- روش شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) برای استخراج لندفرم‌ها

در این پژوهش برای بررسی و دسته‌بندی لندفرم‌ها از روش همسایگی و برای جداسازی آنها، از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) استفاده شد. TPI طبق رابطه زیر مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌های همسایه است. در پایان، ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (رابطه ۴) (Weiss, 2001).

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1} Z_n / n \quad \text{رابطه ۴}$$

که  $Z_0$  ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی،  $Z_n$  ارتفاع از شبکه و  $n$  تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی است.

<sup>1</sup> Attraction model

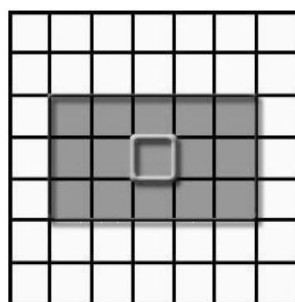
<sup>2</sup> Topography Position Index

شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن پیکسل مقایسه می کند. مقادیر مثبت TPI، بیانگر مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته اند (تپه ها) و مقادیر منفی TPI، بیانگر مناطقی است که پایین تر از اطرافشان (دره ها) قرار دارند. مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز بیانگر مناطق مسطح (جایی که شیب در آن نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت است. بر پایه مقادیر TPI، یک دسته بندی برای لندفرم صورت گرفته که به صورت جدول ۱ است:

جدول ۱: دسته بندی انواع لندفرم ها بر پایه شاخص موقعیت توپوگرافی (Weiss, 2001)

مقدار TPI	نوع لندفرم
$TPI \leq -1$	دره های باریک و آبراهه ها
$-1 < TPI < 1$	زه کش های شیب میانی و دره های کم عمق <sup>۱</sup>
$TPI \geq 1$	زه کش های مناطق مرتفع
$TPI \leq -1$	دره های u شکل
$-1 < TPI < 1, Slope \leq 5^\circ$	دشت
$-1 < TPI < 1, Slope > 5^\circ$	شیب های باز
$TPI \geq 1$	شیب های بالایی و مزراها <sup>۲</sup>
$TPI \leq -1$	یال های موضعی و تپه های موجود در دره
$-1 < TPI < 1$	یال های شیب میانی و تپه های کوچک موجود در دشت
$TPI \geq 1$	قله کوه و یال های مرتفع

همچنین در این مطالعه برای تعیین لندفرم های منطقه مورد مطالعه، از انواع همسایگی مستطیلی<sup>۳</sup> استفاده شد (Jenness, 2006) (شکل ۱). با توجه به شکل ۱ مشخص می شود که در همسایگی مستطیلی شعاع کوچک تر، تعداد نقاط همسایگی کمتر و دقت کار بیشتر است (Jenness, 2006).



شکل ۱: همسایگی مستطیلی برای استخراج لندفرم ها در منطقه مورد مطالعه (Jenness, 2006)

<sup>1</sup> Middle waterway valleys

<sup>2</sup> Flat surfaces located on heights

<sup>3</sup> Rectangle neighborhood

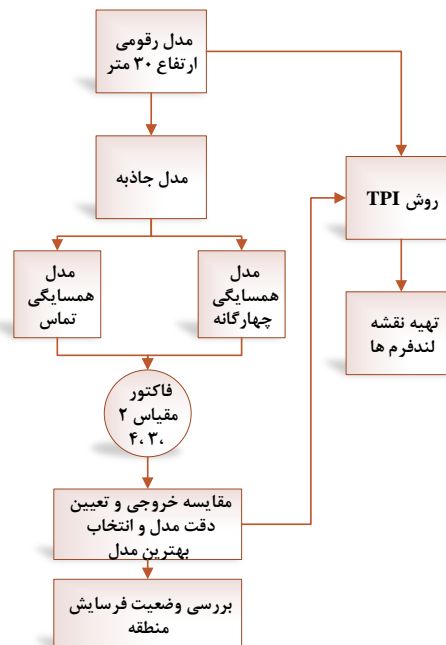
## بررسی اعتبار هر یک از مدل‌ها

به منظور بررسی دقت مدل جاذبه، تعیین بهترین مدل و مقایسه آن با مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک سی متر، از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد. به کمک RMSE نیز تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی - مقادیر ارتفاعی تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری - تعیین می‌شود (رابطه ۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن  $Z(x_i)$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $Z(x_i)$  مقادیر اندازه‌گیری شده و  $N$  تعداد مقادیر در پایگاه داده مورد بررسی است.

خلاصه مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.



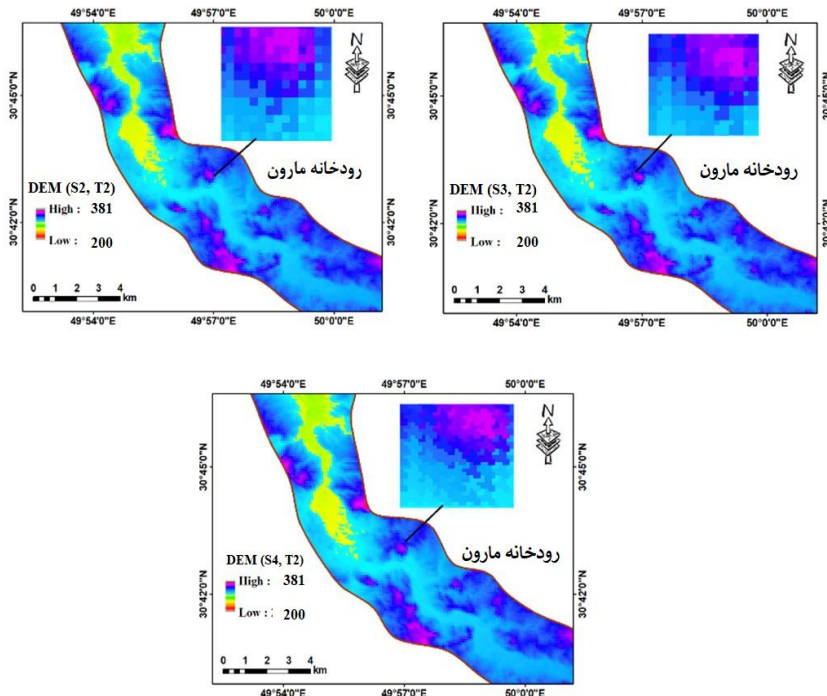
شکل ۲: خلاصه روش تحقیق

## ۴- یافته‌ها (نتایج)

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از همسایگی چهارگانه (T2) با مقیاس ۲ به افزایش تعداد زیرپیکسل‌ها و افزایش قدرت تفکیک مکانی منجر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده در مقیاس‌های بزرگ‌تر، تعداد پیکسل‌ها افزایش یافته است. با توجه به مقادیر ارتفاع و مقادیر پیش‌بینی شده ارتفاع با استفاده از الگوریتم جاذبه برای هر یک از زیرپیکسل‌ها، مقادیر خطا در جدول ۲ نشان داده شد. با توجه به مقادیر خطا مشخص می‌شود که بهترین مدل برای افزایش قدرت تفکیک مکانی، مدل  $S=3$  برای مدل رقومی ارتفاع سی متر است.

جدول ۲: مقادیر خطا برای هر یک از روش‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع سی متر (S: مقیاس، T1 و T2: همسایگی چهارگانه)

روش	S=2, T=2	S=3, T=2	S=4, T=2	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری
مقادیر خطا	۸	۷/۲۹	۸/۸۶	۹/۲

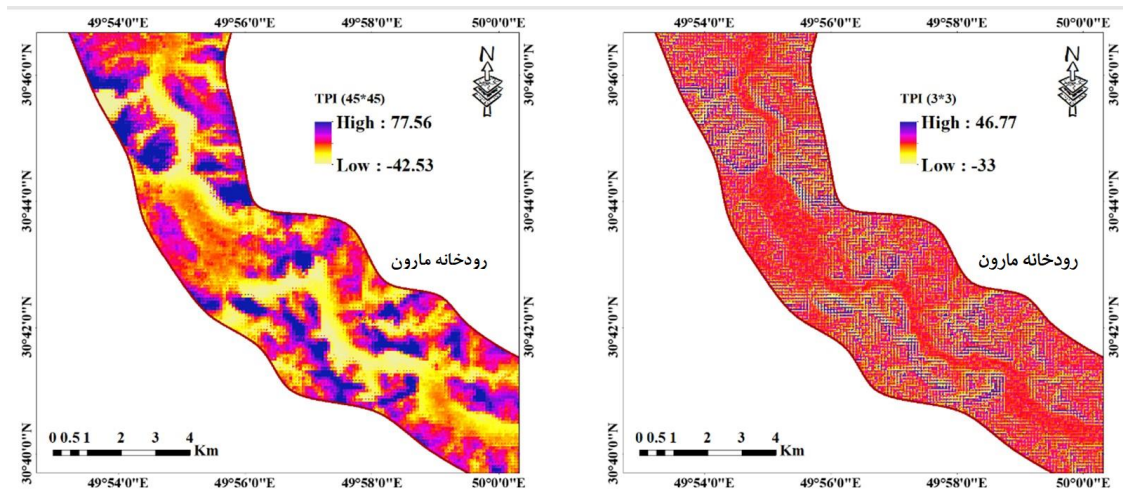


شکل ۳: مدل رقومی ارتفاع با استفاده از مدل جاذبه

در ادامه، از مدل رقومی ارتفاع (DEM)  $S=3$  و  $T=2$  برای تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه به عنوان داده‌های ورودی استفاده شد. برای استخراج نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه نیز از روش TPI استفاده شد. نتایج حاصل از اعمال تابع توزیع چند جمله‌ای برای انتخاب بهترین مقیاس برای تفکیک لندفرم‌ها نشان داد که پنجره  $3 \times 3$  (حداقل مقیاس) و  $45 \times 45$  (حداکثر مقیاس) با کمترین میزان RMSE<sup>1</sup> برای تهیه نقشه TPI و در پایان، تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه مناسب است. نتایج نشان داد که مقادیر TPI منطقه مورد مطالعه بین  $-33$  تا  $46/77$  برای مقیاس  $3 \times 3$  و  $-42/53$  تا  $77/56$  برای مقیاس  $45 \times 45$  است (شکل ۴). به راستی مناطق مرتفع مانند یال و تپه‌ها، کدهای نزدیک صفر بیانگر مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم و کد منفی بیانگر مناطق پست مثل دره‌ها و آبراهه‌ها است. هر کدام از لندفرم‌های دسته‌بندی شده، بخشی از منطقه را در بر می‌گیرند.

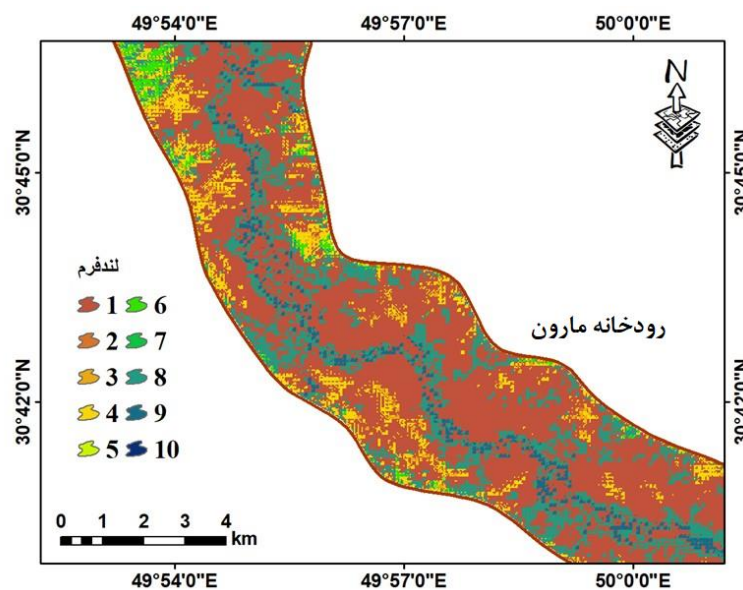
<sup>1</sup> Root Mean Square Error





شکل ۴: نقشهٔ مربوط به TPI با مقیاس بزرگ (۴۵\*۴۵) و کوچک (۳\*۳)

در ادامه با در نظر گرفتن مقادیر TPI (شکل ۴)، نقشهٔ لندفرم‌ها در GIS تهیه شد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

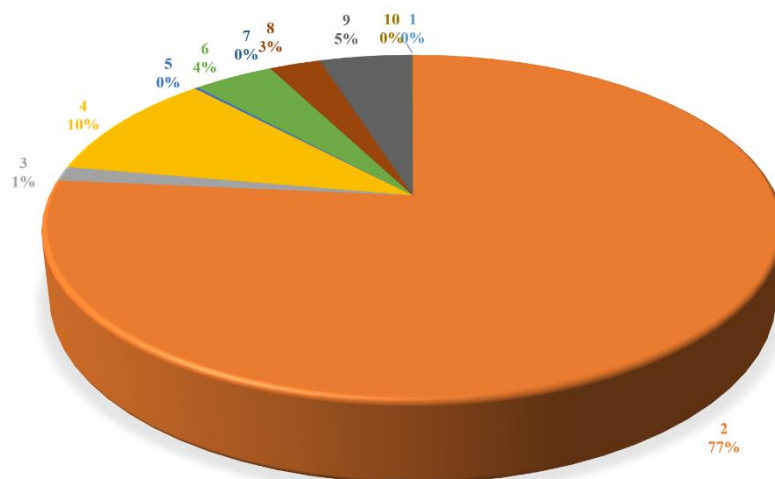


شکل ۵: نقشهٔ لندفرم‌های منطقهٔ مورد مطالعه

با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که منطقهٔ مورد مطالعه شامل ده نوع لندفرم است. درصد مساحت برای هر یک از کلاس‌های لندفرم در شکل ۶ و جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که نقشهٔ لندفرم‌های تهیه شده با استفاده از مدل جاذبه دقیق‌تر است. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شد، لندفرم‌های کلاس ۲ نیز بیشترین مساحت را دارد.

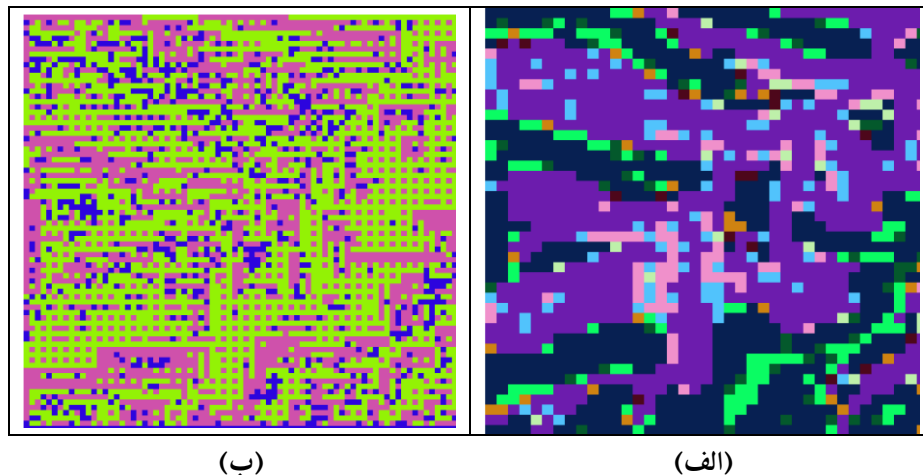
جدول ۳: مساحت هر یک از لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه

کلاس لندفرم	S=3, T=2	
	Km <sup>2</sup>	%
دره‌های باریک و آبراهه‌ها	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
زه‌کش‌های شیب میانی و دره‌های کم عمق	۳۲/۱۱	۷۶/۴۵
زه‌کش‌های مناطق مرتفع	۰/۵۶	۱/۳۵
دره‌های u شکل	۴/۲۸	۱۰/۲
دشت	۰/۰۸۳	۰/۱۹
شیب‌های باز	۱/۷۶	۴/۲
شیب‌های بالایی و مساهها	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹
یال‌های موضعی و تپه‌های موجود در دره	۱/۱۲	۲/۶۸
یال‌های شیب میانی و تپه‌های کوچک موجود در دشت	۲/۰۴	۴/۸۶
قله کوه و یال‌های مرتفع	۰/۰۱۴	۰/۰۳۲
کل	۴۲	۱۰۰



شکل ۶: درصد مساحت هر یک از لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه

در انتها، نمونه‌ای از لندفرم‌های تهیه شده با استفاده از DEM نود متر و DEM با قدرت تفکیک مکانی بیشتر با استفاده از مدل جاذبه در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷ معلوم می‌شود که مدل جاذبه به تهیه نقشه‌های لندفرم با جزئیات بیشتر منجر می‌شود.



شکل ۷: نمونه‌ای از لندفرم‌های تهیه شده با استفاده از DEM نود متر (الف) و DEM با قدرت تفکیک بیشتر با استفاده از مدل جاذبه (ب)

بنابراین، با استفاده از روش جاذبه می‌توان داده‌های مدل رقومی ارتفاع را با دقت خیلی زیاد تهیه کرد. مطالعات انجام شده توسط Mertens و همکاران (2007) و Wu و همکاران (2018) هم نشان دادند که این روش دقت زیادی دارد. Wu و همکاران (2018) نشان دادند که می‌توان از روش جاذبه، به عنوان مرجعی برای سایر محققان در تنظیم پارامترهای مدل و انتخاب داده‌های سنجش از راه دور استفاده کرد تا کمک کند نتایج دقیق‌تری به دست آید. Li و همکاران (2020) نیز نشان دادند که الگوریتم جاذبه کمک بزرگی به مطالعات آبخیزداری می‌کند؛ از جمله در زمینه بررسی سیلاب‌ها با استفاده از تصاویر سنجش از دور با وضوح مکانی زیاد.

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی مورفومتری و ویژگی‌های رودخانه‌ها می‌توان میزان رسوب‌گذاری و فرسایش را به راحتی و بدون حضور در منطقه برآورد و حتی پیش‌بینی کرد. در واقع، وضعیت مورفومتری در آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در کناره‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌ها اهمیت فراوانی دارد (Nohegar and Yamani, 2003)؛ بنابراین، بررسی مورفومتری رودخانه‌ها امری مهم است. در این پژوهش، از مدل جاذبه و روش TPI برای بررسی لندفرم‌ها در جنوب استان خوزستان استفاده شد و قدرت تفکیک تصاویر با استفاده از مدل جاذبه افزایش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل جاذبه با مقیاس ۳ و همسایگی چهارگانه، در افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع دقت زیادی دارد (Mokarrama and Hojati, 2018). Xu و همکاران (2014) به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، از مدل جاذبه بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این مدل به منظور افزایش قدرت تفکیک، بسیار مفید است. در مدل جاذبه، پیکسل‌ها طبقه‌بندی و هر پیکسل به چند کلاس طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین، با استفاده از این نقشه‌ها با قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توان نقشه‌های لندفرم با دقت بالا تهیه کرد. همچنین با استفاده از نوع لندفرم‌ها و میزان درصد آنها در منطقه مورد مطالعه، می‌توان میزان فرسایش در منطقه را حدس زد. مطالعات نشان می‌دهد که با استفاده از نقشه‌های لندفرم‌ها و تعیین بیشترین درصد لندفرم‌ها در منطقه، می‌توان وضعیت فرسایش‌پذیری منطقه را تعیین کرد (Mokarram et al, 2016)؛ به طوری که اگر درصد زیادی از منطقه شامل دشت‌ها باشد، فرسایش کمتر است؛ در حالی که وجود آبراهه‌های بیشتر بیانگر فرسایش بیشتر است. با توجه به نتایج این مطالعه مشخص می‌شود که زه‌کش‌ها

حدود ۷۶/۴۵ درصد از منطقه را شامل می‌شود که بیانگر فرسایش زیاد در منطقه است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، از مدل رقومی با قدرت تفکیک مکانی کمتر مثلاً ده متر استفاده شود تا جزئیات بیشتری از منطقه به دست آید که از محدودیت‌های عمده این تحقیق است.

#### منابع

1. Ardila, J. P.; Tolpekin, V. A.; Bijker, W.; & A. Stein, 2011. Markov-random-field-based super-resolution mapping for identification of urban trees in VHR images, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 66(6), 762-775.
2. Atkinson, P. M.; Cutler, M. E. J.; & H. Lewis, 1997. Mapping sub-pixel proportional land cover with AVHRR imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 18, 917-935.
3. Azizian, A., & A. Shekuhi., (2014). Assess the impact of resolution Digital Elevation Models and ahead of the formation of rivers on the results of the rainfall-runoff models Geomorphological based on kinematic wave. *Journal of Hydraulic*. 8(3), 1-18.
4. Boucher, A.; Kyriakidis, P. C.; & C. Cronkite-Ratcliff, 2007. Geostatistical solutions for super-resolution land cover mapping, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(1), 272-283.
5. Boucher, P. C., 2006. Kyriakidis, Super-resolution land cover mapping with indicator geostatistics, *Remote Sensing Environmental*, 104(3), 264-282.
6. Dikau, R., 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: Raper, J. (Ed.), *Three-dimensional Applications in Geographical Information Systems*, Taylor & Francis, London, 51-77.
7. Dragut, L., & T. Blaschke., (2006). Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*. 81, 330-344.
8. EarthExplorer [WWW Document], 2021. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 11.11.21).
9. Grabs, T.; Seibert, J.; Bishop, K.; & H. Laudon, 2009. Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model, *Journal of Hydrology*, 373, 15-23.
10. Janzen, H. H.; Ellert, B. H.; & D. W. Anderson, 2002. Organic matter in the landscape. P 905-909, In: Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc. New York.
11. Jasiewicz, J., & T. F. Stepinski., (2013). Geomorphons-a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*. 182, 147-156.
12. Jenness, J., 2006. Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises, <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>, (last accessed on February 2010).
13. Kasetkasem, T.; Arora, M. K.; & P. K. Varshney, 2005. Super-resolution land cover mapping using a Markov random field based approach, *Remote Sensing of Environment*, 96(3-4), 302-314.
14. Kramm, T.; Hoffmeister, D.; Curdt, C.; Maleki, S.; Khormali, F.; & M. Kehl, 2017. Accuracy assessment of landform classification approaches on different spatial scales for the Iranian loess plateau, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 366.

15. Li, L.; Chen, Y.; Xu, T.; Meng, L.; Huang, C.; & K. Shi, 2020. Spatial Attraction Models Coupled with Elman Neural Networks for Enhancing Sub-Pixel Urban Inundation Mapping. *Remote Sens.* 2020, Vol. 12, Page 2068 12, 2068. <https://doi.org/10.3390/RS12132068>.
16. Libohova, Z.; Winzeler, H. E.; Lee, B.; Schoeneberger, P. J.; Datta, J.; & P. R. Owens, 2016. Geomorphons: Landform and property predictions in a glacial moraine in Indiana landscapes, *Catena*, 142, 66-76.
17. Lu, L.; Huang, Y.; Di, L.; Hang, D.; Wang, Q.; Younan, N. H.; López-Martínez, C.; Roy, P. S.; & P. S. Thenkabail, 2017. A New Spatial Attraction Model for Improving Subpixel Land Cover Classification. *Remote Sens.* 2017, Vol. 9, Page 360 9, 360. <https://doi.org/10.3390/RS9040360>.
18. MacMillan, R. A.; Pettapiece, W. W.; Nolan, S. C.; & T. W. Goddard, 2000. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic, *Fuzzy Sets System*, 113, 81-109.
19. Maleki, S.; hormali, F.; & A. R. Karimi, 2014. Introducing different flow direction algorithms to map topographic wetness index and soil organic carbon in a loess hillslope of Toshan area, Golestan Province, Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(1), 2014. <http://jwsc.gau.ac.ir>.
20. Mertens, K. C.; De Baets, B.; Verbeke, L. P.; & R. R. De Wulf, 2006. A sub-pixel mapping algorithm based on sub-pixel/pixel spatial attraction models, *International Journal of Remote Sensing*, 27(15), 3293-3310.
21. Mertens, K. C.; Verbeke, L. P. C.; Ducheyne, E. I.; & R. R. De Wulf, 2003. Using genetic algorithms in sub-pixel mapping, *International Journal of Remote Sensing*, 24(21), 4241-4247.
22. Mertens, K. C.; de Baets, B.; Verbeke, L. P. C.; & R. R. de Wulf, 2007. A sub-pixel mapping algorithm based on sub-pixel/pixel spatial attraction models. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160500497127> 27, 3293-3310. <https://doi.org/10.1080/01431160500497127>.
23. Mokarram, M.; Najafi-Ghiri, M.; Negahban, S.; & G. Roshan, 2016. Relationship between landform and soil salinity in the surface and subsurface soils (case study: Southeast of Fars Province, Iran), *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(1), 16.
24. Mokarrama, M., & Hojati, M., (2018). Landform classification using a sub-pixel spatial attraction model to increase spatial resolution of digital elevation model (DEM). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 21(1), 111-120.
25. Moreno, M.; Levachkine, S.; Torres, M.; Quintero, R.; & G. Guzman, 2005. Automatic geomorphometric analysis for digital elevation models. In *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (374-381). Springer, Berlin, Heidelberg.
26. Muad, A. M., & G. M. Foody., (2012). Super-resolution mapping of lakes from imagery with a coarse spatial and fine temporal resolution. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 15, 79-91.
27. Nigussie, D.; Zurita-Milla, R.; & J. G. P. W. Clevers, 2011. Possibilities and limitations of artificial neural networks for subpixel mapping of land cover, *International journal of remote sensing*, 32(22), 7203-7226.
28. Nohegar, A., & M. Yamani., (2003). Investigation of the geomorphological status of Pichanrud and its role in erosion of the bed and banks of the Minab River (downstream of Minab). *Geographical Research*. 51, 84-65. (in Persian)
29. Shayan, S.; Mullah Mehralizadeh, F.; & M. Jannati, 2006. Performance data of remote sensing (RS) in mapping landforms and its role in environmental planning, *The Journal of Spatial Planning*, 9(4), 111-148.



30. Sorensen, R.; Zinko, U.; & J. Seibert, 2005. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observation, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 101-112.
31. Starr, G. C.; Lal, R.; Malone, R.; Hothem, D.; Owens, L.; & J. Kimble, 2000. Modeling soil carbon transported by water erosion processes, *Land Degradation and Development*, 11, 83-91.
32. Stepinski, T. F., & J. Jasiewicz., (2011). Geomorphons-a new approach to classification of landforms. *Proceedings of geomorphometry*. 2011, 109-112.
33. Tatem, A. J.; Lewis, H. G.; Atkinson, P. M.; & M. S. Nixon, 2001. Super-resolution target identification from remotely sensed images using a Hopfield neural network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 781-796.
34. Tolpekin, V. A., & A. Stein., (2009). Quantification of the effects of land-cover-class spectral separability on the accuracy of Markov-random-field-based superresolution mapping. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. 47(9), 3283-3297.
35. Ventura, S. J., & B. J. Irvin., (2000). Automated landform classification methods for soil-landscape studies. *Terrain analysis: principles and applications*. 267-294.
36. Verhoeve, R. D., Wulf, (2002). Land cover mapping at sub-pixel scales using linear optimization techniques, *Remote Sensing Environmental*, 79 (1), 96-104.
37. Wang, L.; Wang, Q.; & D. Liu, 2011. Sub-pixel mapping based on sub-pixel to sub-pixel spatial attraction model. In 2011 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (593-596). IEEE
38. Wang, P.; Wu, Y.; & H. Leung, 2019. Subpixel land cover mapping based on a new spatial attraction model with spatial-spectral information. , 6444-6463. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1594433>
39. Weiss, A., 2001. Topographic Position and landforms Analysis. Poster presentation, ESRI userConference, San Diego, C.A.
40. Wu, K.; Niu, R.; Wang, Y.; Zhang, L.; & B. Du, 2011. Super-resolution land-cover mapping based on the selective endmember spectral mixture model in hyperspectral imagery, *Optical Engineering*, 50(12), 126201.
41. Wu, S.; Ren, J.; Chen, Z.; Jin, W.; Liu, X.; Li, H.; Pan, H.; & W. Guo, 2018. Influence of reconstruction scale, spatial resolution and pixel spatial relationships on the sub-pixel mapping accuracy of a double-calculated spatial attraction model. *Remote Sens, Environ*, 210, 345-361. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.03.015>
42. Xu, X.; Zhong, Y.; & L. Zhang, 2014. A sub-pixel mapping method based on an attraction model for multiple shifted remotely sensed images, *Neurocomputing*, 134, 79-91.
43. Zhang, L.; Wu, K.; Zhong, Y.; & P. Li, 2008. A new sub-pixel mapping algorithm based on a BP neural network with an observation model, *Neurocomputing*, 71(10-12), 2046-2054.
44. Zhong, Y.; Zhang, L.; Pingxiang, L.; & H. Shen, 2009. A sub-pixel mapping algorithm based on artificial immune systems for remote sensing imagery, In 2009 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (3, III-1007). IEEE

# Preparation of landforms with more spatial resolution using gravity model and its relationship with erosion rate

Abbas Sedghamiz: Assistant Professor Shiraz University, Collage of Agriculture and Natural Resources of Darab, Department of Water Engineering

Marzieh Mokarram<sup>1</sup>: Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Economics, Management and Social sciences, Shiraz University, Iran

Article History (Received: 2021/07/15

Accepted: 2021/12/25)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.2.9

## Extended abstract

### 1- Introduction

In geomorphological studies, it is important to prepare landforms for the study of forms in different regions. In the same vein, with more accurate input data, landform maps are prepared with higher accuracy. Therefore, by using digital elevation model maps with more resolution, more accurate landforms can be extracted (Shayan et al., 2005). Identifying landforms, classifying them, and identifying different geomorphic forms are important in examining the relationships between form and process in the area. By extracting landforms, various information such as climatic characteristics, soil type, and hydrology can be estimated in a watershed. Due to the significance of the issue, it is important to use a digital elevation model with more resolution to prepare landforms with more accuracy. There are several methods to increase the spatial resolution of the digital elevation model. Obtaining more detail from pixels was first proposed by the Gravity Model by Atkinson (1977). In this technique, the pixels are divided into several sub-pixels according to the values of the neighboring pixels. In the gravity method, a large pixel is subdivided into sub-pixels, and a ground cover class is assigned to each sub-pixel. There is a limitation that the total number of sub-pixels of each class is directly proportional to the percentage of canopy coverage of the larger original pixel (Atkinson et al., 1997). In this way, soft input layers can be converted to hard categories with better resolution. The main problem in sub-pixel mapping is determining the location of each land cover class in larger pixels (Verhoeye, 2002). Various methods have been proposed to solve this problem, including the Hopfield network (Tatem et al., 2001; Muad and Foody 2012), the neural network after error propagation (Zhang et al., 2008; Wu et al. 2011, Nigussie et al. , 2011), linear optimization technique (Tatem et al., 2001), spatial gravity model (Mertens et al., 2006; Wang et al., 2011), pixel displacement algorithm (Kasetkasem, 2005), and genetic algorithm (Mertens et al., 2003).

### 2- Methodology

#### Gravity model

In this model, the pixels in the digital model of altitude are named based on their position relative to the upper left pixel, known as P0.0. The same structure is used for subpixels. This means that for a scale equal to 2, it has sub-pixels p0,0, p0,1, p1,0, p1,1. So that a sub-pixel pa, b is placed inside a pixel Pi, j when the following equation is established (Xu et al., 2014):

$$p_{a;b} \in P_{i;j} \Leftrightarrow \left(\frac{a}{S} = i\right) \wedge \left(\frac{b}{S} = j\right)$$

Where a is the sub-pixel row number, b is the corresponding sub-pixel column number, s is the scale factor, and i is the neighboring pixel row number, and j is the neighboring pixel column number. The neighborhoods defined in the previous step are also defined as follows:

$$N2[p_{a;b}] = \left\{ P_{i;j} \mid d(p_{a;b}, P_{i;j}) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}(2S - 1) \right\}$$

<sup>1</sup> Corresponding Author: [m.mokarram@shirazu.ac.ir](mailto:m.mokarram@shirazu.ac.ir)

Where N2 is a quadruple neighborhood model. The distance between each sub-pixel and the surrounding pixel (d) is calculated as follows (Xu et al., 2014):

$$d(p_{a;b}, P_{i;j}) = \sqrt{[a + 0.5 - S(i + 0.5)]^2 + [b + 0.5 - S(j + 0.5)]^2}$$

Topographic Position Index (TPI) method for landform extraction

In this study, the neighborhood method was used to study and classify landforms. Thus, the topographic position index (TPI) was used to isolate landforms in the region. TPI is the equation of each cell in a digital elevation model with the average height of neighboring cells according to the following equation. At the end of the height, the average decreases from the height in the center (Weiss, 2001).

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1}^n Z_n / n$$

$Z_0$  is the height of the model point under evaluation,  $Z_n$  is the height of the grid and  $n$  is the total number of surrounding points considered in the evaluation.

### 3- Results

In this study, to increase the spatial resolution of the digital elevation model of southern part of Fars province, the gravity model was studied. First, the gravity model was used to increase the spatial resolution of the 30-meter DEM. In this study, four neighborhoods with different scales 2, 3 and 4 were used to find the best model to increase the spatial resolution. The results showed that the use of quadratic neighborhood (T2) with scale 2 increases the number of sub-pixels and increases the spatial resolution. According to the error values, it is determined that the best model to increase the spatial resolution is the model  $S = 3$  for the digital model of 30 meters height. Therefore, digital elevation (DEM) model  $S = 3$  and  $T = 2$  were used to map the landforms of the region as input data. TPI method was used to extract the landform map of the study area. The results of applying a polynomial distribution function to select the best scale for landforms separation showed that  $3 \times 3$  (minimum scale) and  $45 \times 45$  (maximum scale) windows with the lowest RMSE for TPI mapping and finally landform mapping were the most suitable ones in the study area. The results showed that the TPI values of the study area are between -33 to 46.77 for the  $3 \times 3$  scale and -42.53 to 77.56 for the  $45 \times 45$  scale (Figure 4). Indeed, in high areas such as ridges and hills, near-zero codes indicate flat areas or areas with low slope changes, and negative codes indicate low areas such as valleys and waterways. Each of the categorized landforms covers a part of the area. According to the results, it is clear that the study area includes 10 types of landforms. The results also show that the map of landforms prepared using the gravity model is more accurate.

### 4- Discussion & Conclusions

In this study, gravity model and TPI method were used to study landforms in the south of Fars province. In this study, the resolution of images was increased using the gravity model. The results of this study showed that the gravity model with scale 3 and quadruple neighborhood has a high accuracy to increase the spatial resolution of the digital elevation model. Therefore, by using these maps with high spatial resolution, landform maps can be prepared with high accuracy. Also, by using the type of landforms and their percentage, the erosion rate in the study area can be estimated.

**Key Words:** Landform, Erosion, Gravity model, Digital elevation model (DEM).