

## استفاده از مدل جاذبه برای استخراج انحنای مرز دریاچه سد

مرضیه مکرم<sup>\*</sup>، مجید حجتی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۶

### چکیده

در این تحقیق از مدل جاذبه به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM در دریاچه کوثر استفاده شد. مدل جاذبه در زیرپیکسل‌ها بر اساس مقادیر پیکسل‌های همسایه و تأثیر آن‌ها روی زیرپیکسل‌های یک پیکسل مرکزی می‌باشد. در این تحقیق از دو مدل همسایگی پیکسل‌های مماس و مدل همسایگی چهارگانه به منظور تخمین مقادیر زیر پیکسل‌ها استفاده شد. هر مدل دارای پیکسل‌های همسایه متفاوت اند که به کمک آن‌ها مقادیر جاذبه هر زیرپیکسل محاسبه می‌شود. پس از تولید تصاویر خروجی برای زیرپیکسل‌ها در مقیاس‌های ۲، ۳، ۴ با همسایگی‌های متفاوت، بهترین مقیاس با مناسب‌ترین نوع همسایگی با استفاده از نقاط کنترل زمینی تعیین شد و مقادیر RMSE برای آن‌ها محاسبه شد. به منظور مقایسه صحت نتایج استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاع زمین، با استفاده از تصاویر لندست ۸ شاخص NDVI استخراج شد. سپس مرز دریاچه با استفاده از این شاخص به دست آمده است. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل جاذبه، دقت و صحت تصاویر خروجی بهبود بخشیده شده و همچنین قدرت تفکیک مکانی آن‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش از دور، مدل جاذبه، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، دریاچه سد کوثر.

۱. عضو هیئت علمی بخش مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، نویسنده مسئول / [m.mokarram@shirazu.ac.ir](mailto:m.mokarram@shirazu.ac.ir)

۲. کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

## مقدمه

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک، تخمین دقیق حجم آب دریاچه سد به منظور مدیریت بهتر آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با مدل‌ها و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا بسیار مهم به نظر می‌رسد. بنابراین به کمک تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های جدید، باید مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تعیین شود. مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها با توجه به تغییرات و نوسانات طبیعی و مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات در اثر جریان آب (سیلاب)، دبی، رسوب، کمیت و نوع آن، جنس مواد بستر و الگوهای مختلف روی الگوی رودخانه و دریاچه‌ها تأثیر گذاشته که می‌تواند معرف بسیاری از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و دینامیکی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها باشد (اشنایدر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). با بررسی مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌توان میزان رسوب‌گذاری و فرسایش را به راحتی و بدون حضور در منطقه برآورد کرد و حتی پیش‌بینی نمود. در واقع وضعیت مورفومتری در آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در کناره‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌ها دارای اهمیت فراوانی است (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۲).

با توجه به اینکه هرچه قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده به منظور استخراج محدوده دریاچه سد زیادتر باشد، دقت کار بیشتر است، بنابراین استفاده از روش‌هایی که قدرت تفکیک مکانی تصاویر را افزایش دهند، مهم به نظر می‌رسد.

با توجه به اهمیت بررسی مورفولوژیکی رودخانه‌ها، دریاچه سد و... به منظور برآورد رسوب، فرسایش، میزان حجم آب و... مشخص می‌شود که بررسی مورفومتری مرز رودخانه‌ها و دریاچه بسیار مهم است. با توجه به اهمیت بررسی مورفومتری به منظور استخراج اطلاعات مختلف، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا بسیار ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات مختلفی در زمینه بررسی مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها انجام شده است. اما هنوز استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا به منظور بررسی مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بررسی نشده است. این

تصاویر به علت چند زمانه بودن، پوشش مکانی و زمانی گسترده و هزینه پایین اهمیت فراوانی دارند. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، ولی هیچ‌یک از این روش‌ها روی مدل‌های رقومی ارتفاعی اعمال نشده‌اند. نقشه‌برداری زیرپیکسل یک روش برای به دست آوردن توزیع فضایی از طبقات مختلف در مقیاس زیرپیکسل است. فرض آماری وابستگی مکانی پیکسل‌ها، توسط اتکینسون<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) و ورهوی و ولف<sup>۳</sup> (۲۰۰۲) با استفاده از یک تکنیک بهینه‌سازی خطی برای نقشه‌برداری زیر پیکسل انجام شد. یکی از روش‌های تقسیم پیکسل‌ها، استفاده از وابستگی مکانی موقعیت پیکسل جاذب زیرپیکسل است. احتمال دیگر این فرض تعامل پیکسل فرعی زیرپیکسل است که توسط مرتنز<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) و اتکینسون (۲۰۰۵) به تصویب رسید. مرتنز و همکاران (۲۰۰۳) استفاده از الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به حداکثر تعداد زیرپیکسل از کلاس‌های یکسان همسایه را پیشنهاد کردند، در حالی که اتکینسون (۲۰۰۵) جابه‌جایی پیکسل تا به حداکثر رساندن همبستگی مکانی بین زیرپیکسل همسایه را ارائه نمود. در هر دو روش مذکور، استفاده از بخش کوچکی از مقادیر اولیه پیکسل به عنوان یک محدودیت شناخته شد. یکی از مزایای روش زیرپیکسل جاذبه استفاده از مقیاس است.

درباره تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها، تحقیقات متعددی به روش‌های مختلف در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است (خورشیددوست و همکاران، ۲۰۰۶؛ لین و آگوچی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶؛ رضایی و خوشدل، ۲۰۰۶). بنابراین در پیشینه تحقیق سعی شده است به چند نمونه از تحقیقات انجام شده درباره تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها در خارج و داخل کشور اشاره شود. هاوارد<sup>۶</sup> (۲۰۰۸) در تحقیقی، با دید کلی به بررسی مورفولوژی و تغییرات کانال رودخانه‌ها و با یک دیدگاه ژئومورفیکی به بررسی رودخانه‌ها پرداخته است.

2. Atinkston  
3. Verhoeve & Wulf  
4. Mertens  
5. Lin & Oguchi  
6. Haward

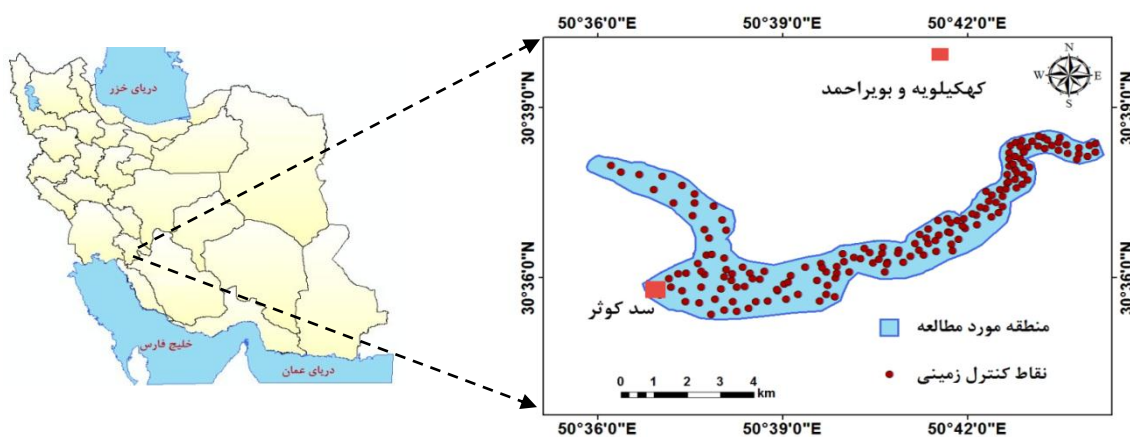
1. Snyder

در این مطالعه از الگوریتم جاذبه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM به عنوان اولین الگوریتم برای افزایش قدرت تفکیک DEM استفاده می‌شود. بنابراین در این مطالعه انتظار می‌رود که استفاده از زیرپیکسل‌ها باعث افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM گردند. این مطالعه در جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد با توجه به در دسترس بودن نقاط نقشه برداری زمینی به منظور صحت‌سنجی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دریاچه سد کوثر واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد در محدوده طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی تا ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی واقع شده است. مساحت این دریاچه در حدود ۱۸ کیلومتر مربع و محیط آن در حدود ۴۲ کیلومتر است. طول این دریاچه در حدود ۲۰ کیلومتر است. مخزن سد این دریاچه یک دوره لایه‌بندی دارد که از بهار آغاز و تا تیرماه ادامه می‌یابد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location of the study area

– تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 تهیه شده از وبسایت USGS است که در تاریخ August سال ۲۰۱۵ این تصویر تهیه شده است.  
– نقاط نمونه نقشه برداری زمینی

استفاده از مدل جاذبه برای استخراج انحنای مرز دریاچه سد

زو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی از مدل جاذبه 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 می‌شوند و در واقع هر پیکسل به چند کلاس طبقه‌بندی می‌شود. این مدل با فرض وابستگی مکانی بیشتر داده‌های نزدیک‌تر در مقایسه با داده‌های دورتر اجرا می‌شود (اتکینسون، ۲۰۰۵).

مکرم و حجتی (۲۰۱۶) از مدل جاذبه به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع و استخراج لندفرم‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل جاذبه یکی از مدل‌های دقیق به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی و استخراج لندفرم‌هاست.

تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا که از مدل جاذبه استخراج شده‌اند، برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برآورد میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش در طرفین رودخانه و دریاچه‌ها، تعیین مرز رودخانه‌ها و برآورد میزان آب دریاچه سد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند.

## داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش مجموعه داده‌های زیر استفاده شده است:  
– داده‌های DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متر (SRTM) تهیه شده از وبسایت USGS

## مدل جاذبه

در این مطالعه، از مدل جاذبه به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM استفاده شد. اساس مدل جاذبه به شرح زیر است:

این مدل بر اساس رابطه بین زیرپیکسل‌های موجود در یک پیکسل مرکزی با پیکسل‌های اطراف عمل می‌کند. این رابطه تحت تأثیر فاصله بین زیرپیکسل‌ها، نوع همسایگی مورد نظر و فاکتور مقیاس تعیین می‌شود. هر مدل همسایگی دارای پیکسل‌های همسایه مختلف هستند که به کمک آن‌ها مقادیر جاذبه هر زیرپیکسل محاسبه می‌شود (ایکسو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در این مدل، پیکسل‌ها بر اساس موقعیت نسبی خود به پیکسل بالا سمت چپ که با عنوان  $P_{0,0}$  شناخته می‌شود، نام‌گذاری می‌شوند. همین ساختار برای زیرپیکسل‌ها نیز استفاده می‌شود. به این معنا که برای  $S=2$  دارای زیرپیکسل‌های  $P_{0,0}$ ,  $P_{0,1}$ ,  $P_{1,0}$ ,  $P_{1,1}$  می‌باشد. به منظور آسان‌تر شدن محاسبه، فاصله بین زیرپیکسل‌ها و پیکسل‌ها با یک سیستم مختصات اقلیدسی با محورهای افقی و عمودی در نظر گرفته شده است. مرکز این سیستم نقطه  $0,0$  است که بالا سمت چپ زیرپیکسل‌ها قرار می‌گیرد. واحد فاصله برابر با اندازه یک زیرپیکسل است. یک زیرپیکسل  $P_{a,b}$  درون یک پیکسل  $P_{i,j}$  قرار می‌گیرد هنگامی که معادله زیر برقرار باشد (همان):

$$p_{a;b} \in P_{i;j} \Leftrightarrow \left(\frac{a}{S} = i\right) \wedge \left(\frac{b}{S} = j\right) \quad (1)$$

که در آن  $a$  شماره سطر زیرپیکسل،  $b$  شماره ستون زیرپیکسل مربوط،  $S$  فاکتور مقیاس و  $i$  شماره سطر پیکسل همسایه و  $j$  نیز شماره ستون پیکسل همسایه است. دو مدل همسایگی شامل موارد زیرند:

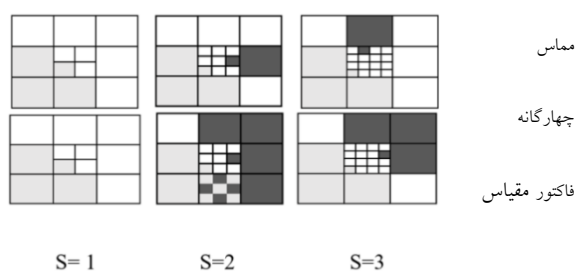
- مدل همسایگی پیکسل‌های مماس: در این مدل فقط

پیکسل‌هایی که از نظر فیزیکی مماس به زیرپیکسل مورد نظر است، به منظور محاسبه مقادیر جاذبه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- مدل همسایگی چهارگانه: فقط پیکسل‌های موجود در

ربع همان زیرپیکسل با توجه به مرکز پیکسل شامل محاسبات می‌شود.

این دو نوع همسایگی در شکل (۲) با توجه به تفاوت‌هایشان نشان داده شده است. در این تصویر، هر مدل با سه فاکتور مقیاس مختلف نشان داده شده است. فاکتور مقیاس تعداد زیرپیکسل‌ها را در داخل هر پیکسل اصلی تعیین می‌کند. یک فاکتور مقیاس  $S$  مربوط به  $S*S$  زیرپیکسل در هر پیکسل مرکزی است.



شکل (۲): پیکسل‌های اثرگذار روی زیرپیکسل‌های موجود در پیکسل مرکزی در پنجره  $3*3$  در دو مدل همسایگی مماس و چهارگانه با مقیاس ۲ و ۳ و ۴

Figure (2): Effective pixels on the subpixels in the central pixel in the  $3 * 3$  window in two tangential and quadratic neighborhoods with scale 2, 3, and 4

برای مثال با داشتن  $S=2$  و همسایگی چهارگانه در شکل (۲) زیرپیکسل با تیره‌ترین رنگ درون پیکسل مرکزی فقط توسط پیکسل وسط سمت چپ، پایین سمت چپ و پیکسل ردیف وسط و پایین جذب می‌شود. در مدل جاذبه، بایستی توجه داشت که برای  $S=2$  دو مدل همسایگی مماس و چهارگانه، مشابه یکدیگرند.

همسایگی‌های تعریف‌شده در مرحله قبل به صورت زیر

نیز تعریف می‌شوند:

$$N1[p_{a;b}] = \left\{ P_{i;j} \mid d(p_{a;b}, P_{i;j}) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}(S+1) \right\} \quad (2)$$

$$N2[p_{a;b}] = \left\{ P_{i;j} \mid d(p_{a;b}, P_{i;j}) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}(2S-1) \right\} \quad (3)$$

## شاخص NDVI

شاخص NDVI به وجود پوشش گیاهی سبز حساس است (سلرز، ۱۹۸۵). به طوری که به کمک این شاخص می‌توان پیش‌بینی گیاهان زراعی و محصولات کشاورزی را انجام داد. از قابلیت‌های دیگر این شاخص را می‌توان امکان جداسازی آب از پوشش گیاهی دانست. با توجه به مقادیر شاخص پوشش گیاهی، می‌توان مرز بین مناطق آبی و خشکی را استخراج نمود و با خروجی حاصل از مدل جاذبه مقایسه کرد. از برتری‌های شاخص NDVI این است که این شاخص به عنوان یک عامل توصیف‌کننده پوشش گیاهی با وجود تأثیرات اتمسفری و رادیومتریک در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است (هالبند<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۰). در رابطه (۷) روش محاسبه این شاخص از تصاویر ماهواره‌ای لندست آورده شده است.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (7)$$

در معادله بالا NIR میزان انعکاس باند مادون قرمز حرارتی و R میزان انعکاس باند قرمز است. مقدار این شاخص بین -۱ و ۱ متغیر است. اعداد منفی و نزدیک به -۱ نشانگر وجود آب‌اند. با استفاده از این ویژگی در تصاویر ماهواره‌ای لندست می‌توان مرز مناطق آبی را شناسایی کرد.

## بررسی اعتبار هریک از مدل‌ها

به منظور صحت‌سنجی مدل جاذبه، از تعداد ۱۶۵ نقطه کنترل زمینی که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد، برای محدوده دریاچه سد کوثر استفاده شده است. این مجموعه نقاط به صورت غیرسیستماتیک جمع‌آوری شده است. در شکل (۱) موقعیت و پراکندگی این نقاط نمایش داده شده است. از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) به منظور ارزیابی و تعیین بهترین مدل به منظور تخمین ارتفاع با استفاده از الگوریتم جاذبه استفاده شد. به کمک RMSE تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده، توسط مدل و مقدار واقعی تعیین می‌شود (معادله ۸).

که در آن NI مدل همسایگی مماس و N2 مدل همسایگی چهارگانه است. فاصله بین هر زیرپیکسل و پیکسل اطراف (d) به صورت زیر محاسبه می‌شود (ایکسو و همکاران، ۲۰۱۴):

(۴)

$$p_{a,b}.P_{i,j} = \sqrt{a+0.5-S_i+0.5^2 + b+0.5-S_j+0.5^2}$$

در این مطالعه، از مدل جاذبه با اندازه پیکسل ۳×۳ استفاده شده است و کدنویسی آن در نرم‌افزار Matlab انجام شد که قسمتی از توابع مربوط به آن در معادله (۵) آمده است:

```
function [result]= Attraction Model(S,t, input)
result=nan(S,S);
for a=0:S-1
for b=0:S-1
[ Classes, Attraction Values, class_ without_
normalization ]=neighborhood (S,t,input, a,b);
result(a+1,b+1)=class_ without_ normalization;
end
```

(۵)

که در آن ورودی، پنجره‌های ۳×۳، S فاکتور مقیاس، T روش همسایگی، a و b موقعیت زیرپیکسل‌ها می‌باشد.

مقدار جاذبه<sup>۱</sup> خام برای زیرپیکسل  $p_{a,b}$  که در پیکسل  $P_{i,j}$  قرار دارد، به عنوان میانگین تمام مقادیر پیکسل‌های کلاس c برای پیکسل  $P_{i,j}$  در همسایگی زیرپیکسل  $p_{a,b}$  تقسیم بر فاصله بین پیکسل  $P_{i,j}$  و زیرپیکسل  $p_{a,b}$  به دست می‌آید (ایکسو و همکاران، ۲۰۱۴).

$$p_{a,b}(c) = Avg\left\{\frac{P_{i,j}(c)}{d(p_{a,b}, P_{i,j})} \mid P_{i,j} \in N_t[p_{a,b}]\right\} \quad (6)$$

در این تحقیق، دو مدل همسایگی در به‌دست‌آوردن مقادیر زیرپیکسل‌ها ارزیابی شد. سپس به منظور مقایسه و تعیین بهترین مقیاس و همسایگی، ارتفاعات تعیین شده برای هریک از زیرپیکسل‌ها توسط مدل جاذبه با نقاط کنترل زمینی مقایسه شد. تعداد کل نقاط کنترل ۱۶۵ نقطه بود که به صورت تصادفی در منطقه پراکنده شده‌اند. این نقاط کنترل زمینی از طریق عملیات نقشه‌برداری استخراج شده‌اند.

قدرت تفکیک مکانی از همسایگی های مختلف (تماس و چهارگانه) با مقیاس های مختلف ۲، ۳ و ۴ استفاده شد. با توجه به شکل (۴) مشخص می شود که با افزایش فاکتور مقیاس تعداد زیرپیکسل ها افزایش می یابد. به طوری که اطلاعات در زیرپیکسل ها نسبت به پیکسل اولیه بیشتر شده و تغییرات ارتفاعی را بهتر نشان می دهد. بنابراین از اینجا می توان نتیجه گرفت که افزایش مقیاس باعث افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM می شود. همان طور که در شکل نشان داده شده، در مقیاس های بزرگ تر (S4) تعداد پیکسل ها افزایش یافته است. با افزایش تعداد پیکسل ها جزئیات تصویر افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهد که استفاده از همسایگی مماس (T1) نسبت به همسایگی چهارگانه (T2) باعث افزایش تعداد زیرپیکسل ها و افزایش قدرت تفکیک مکانی می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}^2} \quad (8)$$

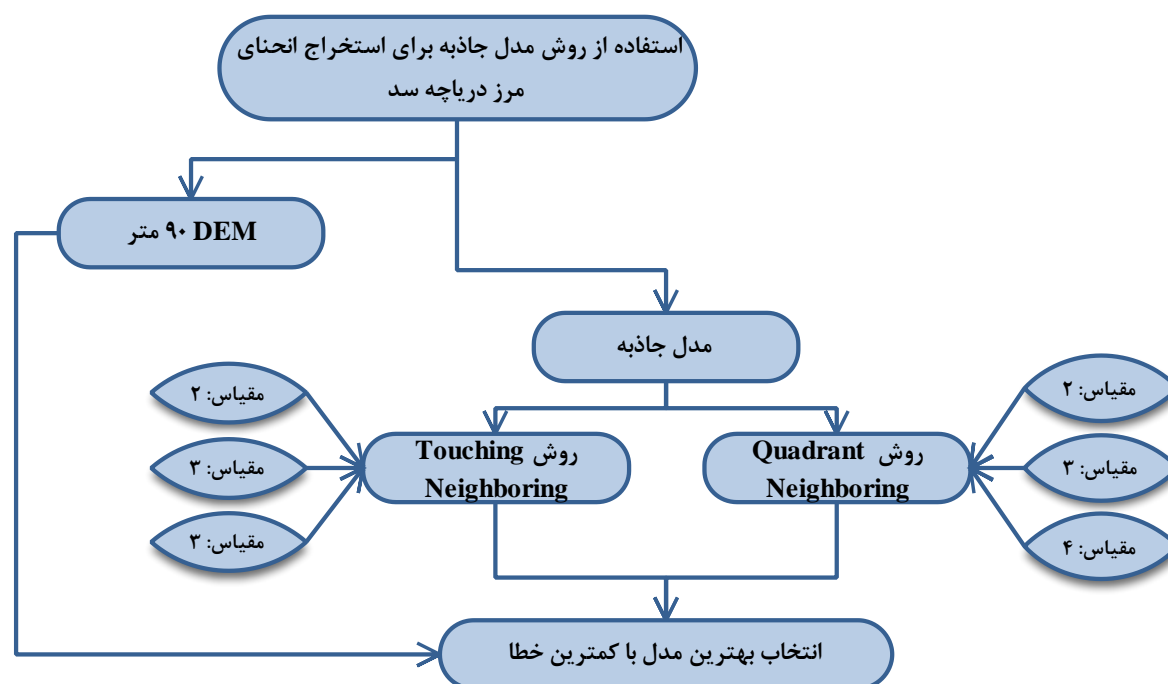
که در آن  $\hat{Z}(x_i)$  مقادیر پیش بینی شده،  $Z(x_i)$  مقادیر اندازه گیری شده و  $N$  تعداد مقادیر در پایگاه داده مورد بررسی است (جانسن و همکاران، ۲۰۰۲).

مراحل مختلف این تحقیق به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی در مدل رقومی ارتفاع (DEM) در شکل (۳) نشان داده شده است:

## نتایج و بحث

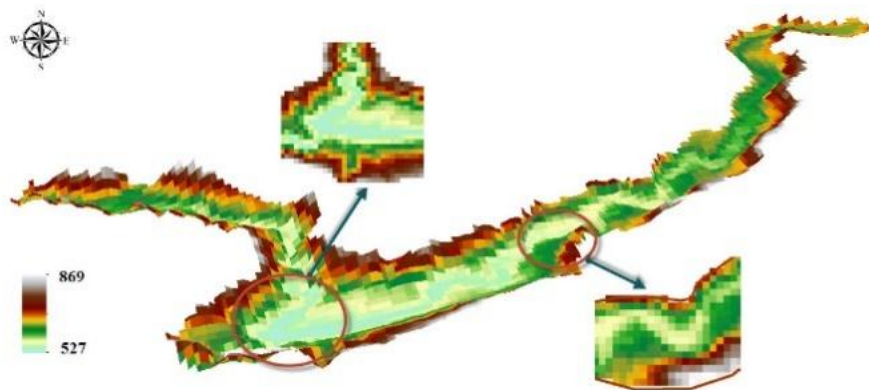
### مدل جاذبه

به منظور بررسی مدل جاذبه و افزایش قدرت تفکیک مکانی از DEM ۹۰ متری استفاده شد. نتایج حاصل از این الگوریتم برای DEM های ۹۰ متری در شکل (۵) نشان داده شده است. در این مطالعه به منظور یافتن بهترین مدل به منظور افزایش

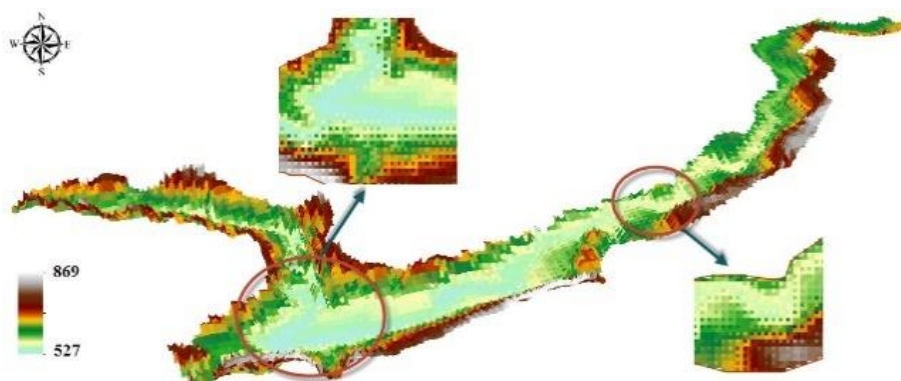


شکل (۳): مراحل مختلف تحقیق به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع (DEM) با استفاده از الگوریتم جاذبه برای بررسی انحنای دریاچه سد کوثر

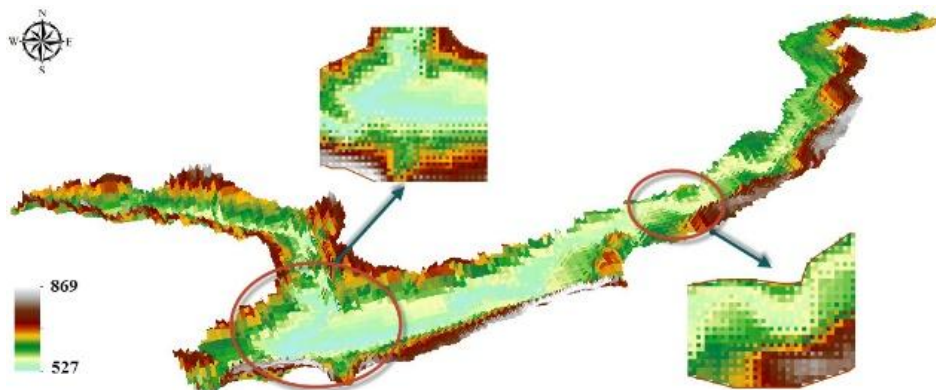
Figure (3): Different stages of research to increase the spatial resolution of the digital elevation model (DEM) using attraction model algorithm to investigate the curvature of the Koosar dam lake



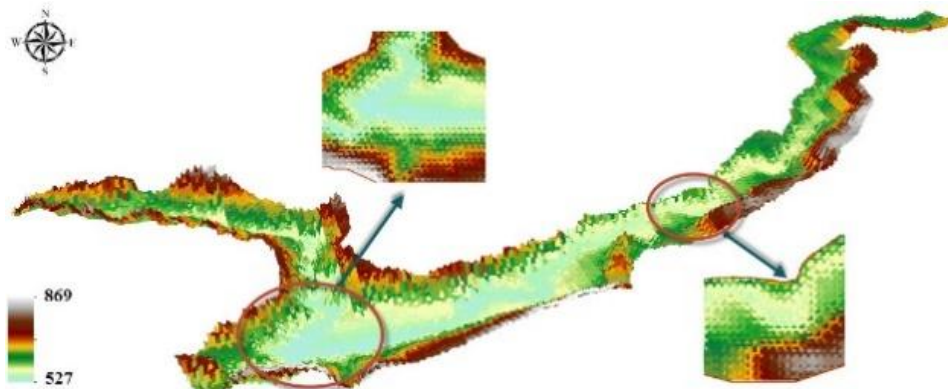
(الف)



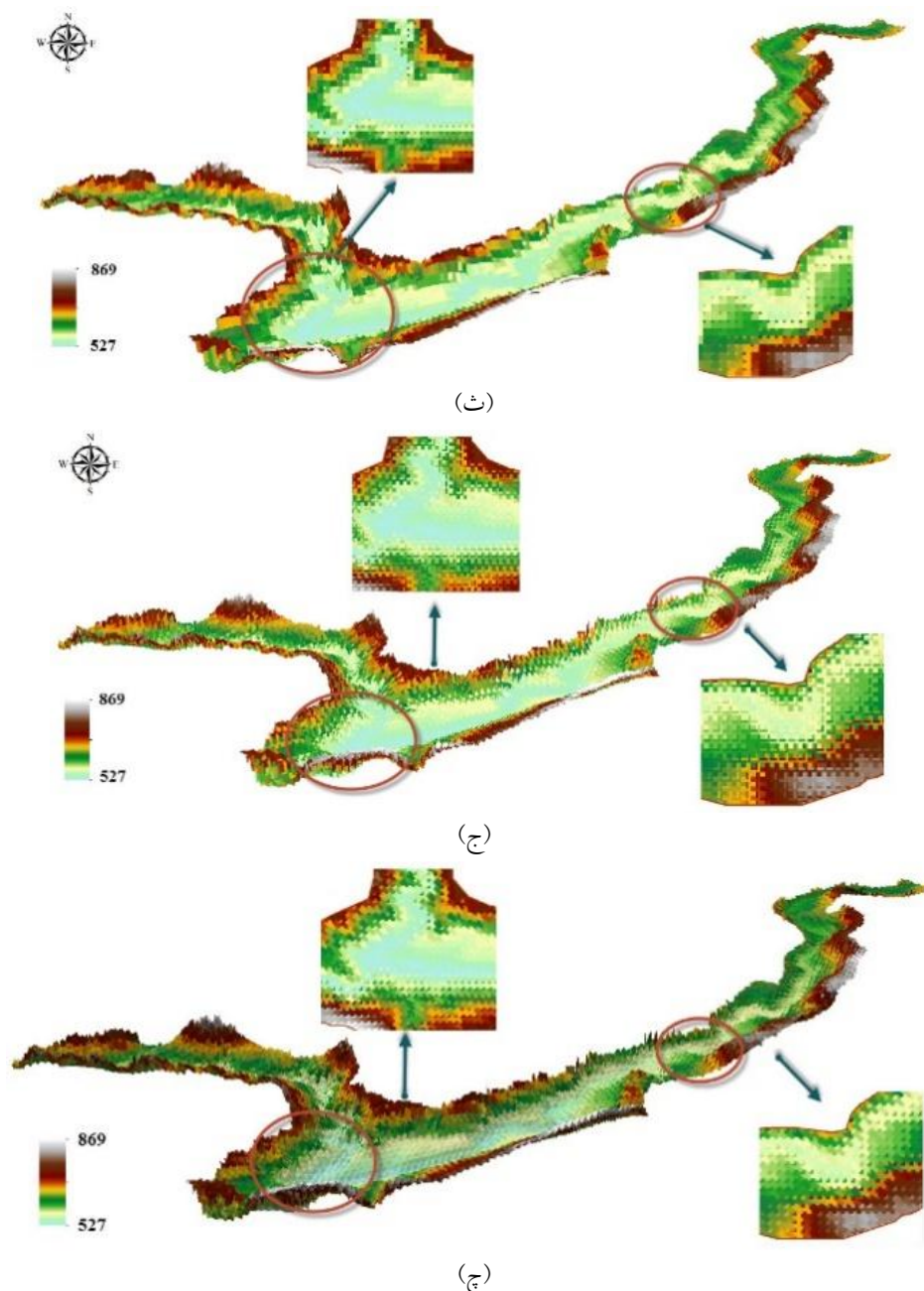
(ب)



(پ)



(ت)



شکل (۴): نمای سه بعدی از زیرپیکسل‌ها با استفاده از الگوریتم جاذبه با مقیاس‌ها و همسایگی‌های مختلف برای 90 متر DEM (S: مقیاس، T1: همسایگی مماس و T2: همسایگی چهارگانه). الف: DEM 90 m، ب: S2T1، پ: S2T2، ت: S3T1، ث: S3T2، ج: S4T1، ح: S4T2  
 Figure (4): 3D view of subpixels using gravity algorithm with different scales and neighborhoods for 90m DEM (S: scale, T1: tangent neighborhood and T2: quadruple neighborhood). A: DEM 90 m, B: S2T1, C: S2T2, T: S3T1, C: S3T2, C: S4T1, C: S4T2

نقاط (شکل ۵) و مقادیر پیش‌بینی شده ارتفاع با استفاده از الگوریتم جاذبه برای هر یک از زیرپیکسل‌ها، مقادیر RMSE در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به مقادیر RMSE مشخص می‌شود که بهترین مدل به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، مدل  $S=2$  و  $T=2$  برای DEM 90 متر است.

مقدار RMSE برای هر DEM به صورت جداگانه محاسبه شد. در جدول (۱) نتایج حاصل از این مقادیر نمایش داده شده است. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های زیرپیکسل موجب افزایش قدرت تفکیک زمینی مدل‌های رقومی زمین شده و این امر موجب افزایش دقت این مدل‌ها می‌شود. با توجه به مقادیر ارتفاع برای هر یک از



موجب می‌شود که زمان محاسبات برای اجرای الگوریتم کم شود (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا که از مدل جاذبه استخراج شده‌اند، برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برآورد میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش در طرفین رودخانه و دریاچه‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

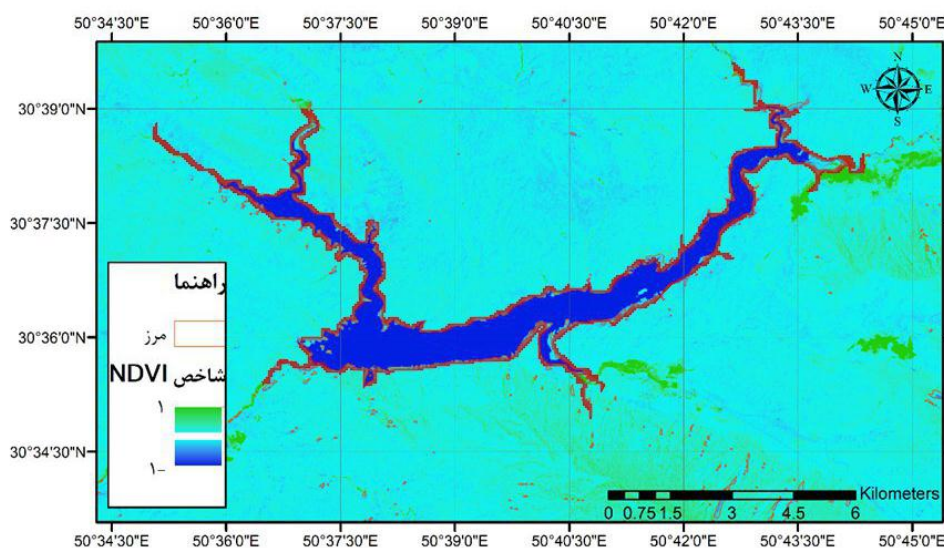
### بررسی صحت مدل

به منظور صحت‌سنجی نتایج استخراج‌شده از مدل ارتفاع رقومی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. برای این منظور، در ابتدا تصویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره لندست ۸ در تاریخ August سال ۲۰۱۵ از سایت USGS از منطقه مورد نظر تهیه شده است. در مرحله بعد با استفاده از شاخص NDVI نقشه مربوطه تهیه شده است. در شکل (۵) نقشه حاصل از محاسبه شاخص NDVI با استفاده از نرم‌افزار ENVI ارائه شده است. در این شکل محدوده رودخانه مشخص شده است. به منظور استخراج مرز مربوط به رودخانه با استفاده از ابزار Reclassify مناطقی که دارای مقدار کمتر از صفر بوده‌اند، از نقشه مربوط به شاخص NDVI استخراج و به عنوان مرز مناطق آبی در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به مرز استخراج‌شده، در شکل (۷) نشان شده است.

جدول (۱): مقادیر RMSE برای هر یک از روش‌ها با استفاده از DEM ۹۰ متر (S: مقیاس، T1: همسایگی مماس و T2: همسایگی چهارگانه)  
Table (1): RMSE values for each method using a 90-meter DEM (S: scale, T1: Tangent Neighborhood and T2: Four Neighborhood)

روش	RMSE
S=2, T=1	۸/۱۵
S=2, T=2	۸/۱۰
S=3, T=1	۸/۱۲
S=3, T=2	۸/۱۵
S=4, T=1	۸/۳۳
S=4, T=2	۹/۱
۹۰DEM	۸/۳۷

با مقایسه‌ای بین DEM ۹۰ متر و تصاویر حاصل از مدل S=2 و T=2 در شکل (۵) مشخص می‌شود که با دقت بیشتری می‌توان مورفومتری رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را برآورد نمود. بنابراین می‌توان از مدل جاذبه برای ایجاد تصاویر زیرپیکسل‌ها با کیفیت بیشتر استفاده کرد. الگوریتم زیرپیکسل از چند قانون ساده پیروی می‌کند. اتصال یک پیکسل به یک کلاس از طریق یک فرایند یک‌مرحله‌ای انجام می‌پذیرد و همواره یک خروجی را ایجاد می‌کند که موجب می‌شود که حلقه‌ها و تکرار در خروجی حذف شود. این خصوصیت از مزایای دیگر این مدل است. در این مدل، احتیاجی به کالیبره کردن و آموزش الگوریتم همانند الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیست. این امر



شکل (۵): نقشه شاخص NDVI استخراج‌شده از تصویر ماهواره لندست ۸ مرز منطقه دریاچه استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و دریاچه استخراج‌شده از مدل ارتفاع رقومی زمین با استفاده از مدل زیرپیکسل

Figure (5): NDVI Indicator Map Extract from Landsat Satellite Image 8

The boundary of the region of the lake extracted from Landsat satellite images and the lake extracted from the digital elevation model using the subpixel model

تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرد. مطالعات متعددی در زمینه افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. برای مثال زو و همکاران (۲۰۱۴) به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی از مدل جاذبه 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 می‌شوند و در واقع هر پیکسل به چند کلاس طبقه‌بندی می‌شود. این مدل با فرض وابستگی مکانی بیشتر داده‌های نزدیک‌تر در مقایسه با داده‌های دورتر اجرا می‌شود (اتکینسون، ۲۰۰۵). بنابراین به کمک این مدل، می‌توان با افزایش قدرت تفکیک مکانی، مورفولوژی و تغییرات کانال رودخانه‌ها و دریاچه سد را با دقت خیلی بهتری بررسی کرد.

### نتیجه‌گیری

تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا منجر به تهیه الگوی دقیق‌تر از مرز دریاچه‌های سد و عوارض طبیعی می‌شود. در صورتی که مرز دریاچه‌ها با دقت زیاد تهیه شود، حجم آب دریاچه سد با دقت بیشتری قابل محاسبه خواهد بود که برای مدیریت مناطق خشک مهم به نظر می‌رسد. بنابراین تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا که از مدل جاذبه استخراج شدند، برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برآورد میزان حجم آب دریاچه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق قدرت تفکیک مدل‌های رقومی زمین با استفاده از مدل زیرپیکسل جاذبه افزایش پیدا کرد. فرض اصلی در این تحقیق وابستگی مکانی بین پیکسل‌هاست که توسط مارتینز و همکاران (۲۰۱۴) مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال وابستگی مکانی در این تحقیق با مقیاس‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش، قدرت تفکیک مدل رقومی زمین با صرف هزینه و زمان کمتر بهبود پیدا می‌کند. در برخی موارد، صحت مدل خروجی هم با استفاده از این مدل بهبود پیدا کرد. مدل‌های رقومی زمین با قدرت تفکیک بهتر می‌تواند برای استخراج عوارض و اطلاعات بیشتر از زمین مورد استفاده قرار گیرد. در واقع استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر که منجر به افزایش با

همان گونه که در تصویر شماره ۵ مشخص شده است مرز دریاچه استخراج شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با مرز استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع دارای تفاوت کمی است. در جدول ۲ مشخصات آماری این دو مرز استخراج شده آورده شده است. با در نظر گرفتن اطلاعات استخراج شده از تصاویر مشخص می‌شود که با توجه به این امر که قدرت تفکیک تصاویر لندست ۳۰ متر مربع است و مدل رقومی ارتفاع حاصل از مدل جاذبه در حدود ۴۵ متر قدرت تفکیک دارد و نتایج در حدود ۰/۰۰۵ کیلومتر مربع در مساحت و ۰/۰۱ کیلومتر در محیط با یکدیگر اخلاف دارند می‌توان از مدل جاذبه به منظور افزایش قدرت تفکیک DEM‌های با قدرت تفکیک پایین استفاده کرد و سپس به منظور استخراج مرزهای دریاچه نیز از آن‌ها استفاده کرد.

جدول (۲): مقایسه محیط و مساحت مرزهای استخراج شده از تصاویر

ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاع زمین

Table (2): Comparison of circumference and side of Landsat satellite imagery and Digital Elevation Model

مدل	محیط (km)	مساحت (km <sup>2</sup> )
DEM S2 T2	۶۹٫۸۹	۱۰٫۲۴
Landsat7 Images	۶۹٫۸۴	۱۰٫۲۳

این پژوهش با استفاده از مدل جاذبه به دنبال افزایش قدرت تفکیک DEM با قدرت تفکیک کم بوده که بتوان از آن به منظور استخراج مرزهای آبی دریاچه استفاده شود. بیشتر تحقیقات صورت گرفته برای استخراج اطلاعات از داده‌های تصویری و مدل‌های بر پایه اطلاعات جغرافیایی، بر اساس شناسایی میزان تغییرات این لبه‌ها بوده و کمتر به افزایش دقت استخراج لبه‌ها پرداخته شده است. از سوی دیگر، مدل جاذبه نیز تاکنون فقط روی تصاویر چند بانده ماهواره‌ای اعمال شده و تاکنون بر روی مدل‌های رقومی زمین اعمال نشده است. این پژوهش نشان داد که مدل جاذبه توانایی افزایش قدرت تفکیک و دقت DEM‌ها را دارد و به کمک آن می‌توان مرزهای رودخانه و دریاچه‌ها را با اختلاف کمی همانند تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرد.

با توجه به نتایج مشخص می‌شود که به کمک مدل جاذبه می‌توان مرز رودخانه را به طور دقیق‌تر با افزایش قدرت

زمین به کمک تصاویر ماهواره‌ای، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهتری می‌توان اتخاذ کرد.

قدرت تفکیک مکانی شوند، اطلاعات بیشتری از مرز مناطق آبی دریاچه‌های سد و حجم آب پشت سد در اختیار محققان قرار می‌دهند. با استخراج اطلاعات دقیق‌تر از عوارض سطح

## منابع

1. Atkinson, P.M., 2005. Sub-pixel target mapping from soft-classified, remotely sensed imagery, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 71 (7) (), 2005) 839–846.
2. Howard H Chang, 2008, River Morphology and River Channel Changes, *Transactions of Tianjin University* Vol.14 No.4.
3. Holben, B. N. Kaufman, Y. J., Kendall, J. D., 1990. NOAA-11 AVHRR visible and near-IR inflight calibration. *Int. J. Remote Sens.*, vol. 11, no. 8, pp. 1511–1519.
4. Holben, B. N, Fraser, R. S., 1984. Red and near-infrared sensor response to off-nadir viewing. *Int. J. Remote Sens.*, vol. 5, no. 1, pp. 145–160.
5. Janzen, H.H., Ellert, B.H., Anderson, D.W., 2002. Organic matter in the landscape. P 905-909, In: Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc. New York.
6. Mertens, K.C. Baets, B.D., Verbeke, L.P.C., Wulf, R.D., 2006. A sub-pixel mapping algorithm based on sub-pixel/pixel spatial attraction models, *Int. J. Remote Sens.* 27 (15), 3293–3310.
7. Khorshiddoost, A., Rezaei, M., Khaleghi, H., 2006. Analysis of changes in sedimentation in Sanghez Chay using profiles and DEM., *Geography and planning.*, 34., 45-65.
8. Lin, Z., Oguchi, T., 2006. DEM Analysis on Longitudinal and Transverse Profile of Steep Mountainous Watersheds. *Geomorphology*, 78, Pp 77, 78.
9. Mertens, K.C., Verbeke, L.P.C., Ducheyne, E.I. Wulf, R.D., 2003. Using genetic algorithms in sub-pixel mapping, *Int. J. Remote Sens.* 24 (21), 4241–4247.
10. Mertens, J.C.E., Chawla, N., 2014. A custom lab-scale high resolution x-ray computed tomography system for 4D materials science: Imaging performance modeling and characterization. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. (Vol. 9212).
11. Mokarrama, M., & Hojati, M. (2016). 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*.
12. Nohegar, A., Yamani, M., 2003. Study of geomorphometric characteristics of meanders and their effect on base degradation and river edges in Minab., *Geographic Studies.*, 55, 66-84.
13. Rezaei, M., Khoshdel, K., 2006. Study of meanders in Ahar Chay in Vazghan., *Geography and environmental planning.*, 33, 102-112.
14. SELLERS, P. J, 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sens.*, vol. 6, no. 8, pp. 1335–1372.
15. Snyder, N.P., Whipple, K.X., Tucker, G.E., Merritts, D.J., 2003. Channel Response to Tectonic Forcing Field Analysis of Stream Morphology and Hydrology in the Mendocino triple Junction Region, Northern California. *Geomorphology*, 53, P. 99.
16. Verhoeve, R., Wulf, D., 2002. Land cover mapping at sub-pixel scales using linear optimization techniques, *Remote Sens. Environ.* 79 (1), (2002) 96–104.
17. Xu, X., Zhong, Y., Zhang, L., 2014. A sub-pixel mapping method based on an attraction model for multiple shifted remotely sensed images. *Neurocomputing* 134 (2014), 79–91.

## Using subpixel attractions model as a new model to extract shorelines

Marzieh Mokarram<sup>1\*</sup>, Majid Hojati<sup>2</sup>

Received: 31/10/2016

Accepted: 15/2/2018

### Introduction

The attraction model algorithm spatially depends on the neighborhoods of the central pixels that are attracting surrounding sub-pixels. Another possibility is the hypothesis of subpixel interaction as introduced by Mertens et al. (2003) and Atkinson (2005). In order to reach a pixel state with the maximum number of sub-pixels of identical classes neighboring, there are several methods such as genetic algorithms (Mertens et al., 2003) and pixel swapping (Atkinson, 2005) that the techniques use the initial pixel fraction values as a constraint.

In this study, for the first time, an attraction subpixel model is applied on digital elevation models (DEM). The attraction model uses the surrounding pixels around the main pixel and tries to find the best matching value for each sub-pixel in the central pixel. There are two main methods in attraction model in order to select surrounding pixels for each sub-pixel in the central pixel. Each pixel can be divided into 2, 3, and 4 subpixels. To find the best model with a higher accuracy, an RMSE index is calculated and then using the best model rivers' shorelines are extracted. To validate the shorelines and lake border data using Landsat 8 images an NDVI index is extracted and then water area is extracted and the results are compared with attraction models output.

### Materials and methods

In this study, a subpixel spatial attraction model is used to enhance the spatial resolution of DEM. The subpixel attraction model is based on neighboring values located around each subpixel inside a central pixel. In most studies, a set of methods are used to separate different neighboring methods. In this study, two quadrant and touching neighboring methods are used.

In the quadrant neighborhood, a neighbor pixel is the only pixel in the same quadrant while in touching neighborhood a neighbor pixel that is the pixel, which physically touches a subpixel. A sample of two neighborhood methods with different scale factors is shown in Fig. 2 (Mertens et al., 2006). For the quadrant neighborhood and  $S=3$  and touching method, the darkest shaded subpixel inside the center pixel is attracted only by the right middle pixel and the gray subpixel is attracted by the left top, top middle, and left middle pixels. Shaded sub-pixels without corresponding pixels refer to sub-pixels that are not attracted by any of the pixels, as is the case for the center sub-pixels with  $S=3$  for the touching and quadrant neighborhood. In the present work, two neighborhood methods with  $S=2, 3$ , and 4 are examined.

It must be noted that both neighboring methods are the same when  $S=2$ . The neighborhoods previously defined can now be formulated as Eq. 1 (Mertens et al., 2006):

N Touching neighborhood:

**Keywords:** Attraction model, Meander, sub-pixel.

1. Department of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; m.mokarram@shirazu.ac.ir

2. Master in GIS and RS, Department of Remote Sensing and GIS Tehran University, Iran (Email: majid.hojati@ut.ac.ir)