

ارزیابی مورفومتری، مدل‌سازی و استخراج آبراهه‌ها از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با استفاده از مدل زیرپیکسل جاذبه

مرضیه مکرم^۱، عبدالرسول زارعی^۲ و محمد جواد امیری^{۳*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۰)

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM، به منظور بررسی ویژگی مورفومتری آبراهه‌ها، تجزیه و تحلیل و استخراج آنها با استفاده از تکنیک سنجش از دور و GIS است. در این مطالعه که در جنوب شهرستان داراب انجام گرفت، به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM ۹۰ متری (به عنوان یکی از پرکاربردترین داده‌ها در مدل کردن آبراهه)، از الگوریتم جاذبه (Attraction) با دو مدل همسایگی پیکسل‌های مماس (Touching) و همسایگی چهارگانه (Quadrant)، به منظور تخمین مقادیر زیرپیکسل‌ها استفاده شد. پس از تولید تصاویر خروجی برای زیرپیکسل‌ها در مقیاس‌های دو، سه و چهار با همسایگی‌های متفاوت، بهترین مقیاس با مناسب‌ترین نوع همسایگی با استفاده از نقاط کنترل زمینی (۲۷۰ نقطه) تعیین شد و مقادیر RMSE برای آنها، به صورت جداگانه محاسبه شد. براساس نتایج، با استفاده از مدل جاذبه، صحت تصاویر خروجی بهبود پیدا کرد و همچنین قدرت تفکیک مکانی آنها افزایش پیدا می‌کند. از بین مقیاس‌ها با همسایگی‌های مختلف، مقیاس سه و مدل همسایگی چهارگانه، نسبت به بقیه روش‌ها دارای بیشترین دقت با کمترین میزان RMSE برای DEM ۹۰ متر است. بررسی مورفومتری آبراهه‌ها نشان داد که DEM حاصل از الگوریتم جاذبه، دارای توان و دقت بیشتری در استخراج آبراهه‌ها، استخراج عوارض و اطلاعات مورفومتری منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: مورفومتری آبراهه، مدل‌سازی آبراهه، GIS، الگوریتم جاذبه، زیرپیکسل، DEM

۱. بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز

۲. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mj_amiri@fasau.ac.ir

مقدمه

امروزه از روش‌های کمی به منظور بررسی آبراهه‌ها استفاده می‌شود (۹). در این روش‌ها، بررسی مورفومتری حوضه آبخیز براساس تجزیه و تحلیل ریاضی انجام می‌شود. بررسی مورفومتری یک حوضه آبخیز، نقش بسیار مهمی در دانستن ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی، پیش‌بینی آب‌وهوا، ساختمان زمین و ... دارد. به کمک بررسی‌های مورفومتری آبراهه‌های یک حوضه آبخیز می‌توان رفتار رودخانه را برای سال‌های بعد تخمین زد (۱۲ و ۱۵). یکی از ابزارهای مهم در بررسی مورفومتری آبراهه‌های یک حوضه آبخیز، استفاده از فنون سنجش از راه دور و GIS است، سنجش از دور و GIS، نقش بسیار مهمی در تجزیه و تحلیل‌های مورفومتری ایفا می‌کنند. یک راه مناسب برای تجزیه و تحلیل مورفومتری یک حوضه آبخیز و استخراج آبراهه‌ها استفاده از DEM منطقه است که منجر به تسریع و دقت بیشتر محاسبات می‌شود (۸).

مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش قدرت تفکیک مکانی، اطلاعات مستخرج از DEM بیشتر می‌شود، تاکنون روش‌های مختلفی به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفته است ولی هیچکدام از این روش‌ها روی مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) اعمال نشده‌اند. یکی از این روش‌ها نقشه برداری زیرپیکسل‌ها است که اولین بار توسط اتکینسون ارائه شد، در این تکنیک یک پیکسل درشت به تعدادی زیرپیکسل تقسیم می‌شود و یک کلاس پوشش زمین به هر زیرپیکسل اختصاص می‌یابد، با این محدودیت که تعداد کل زیرپیکسل هر یک کلاس به‌طور مستقیم با درصد تاج پوشش پیکسل اصلی بزرگ‌تر متناسب می‌شود (۳). با این روش، طبقات نرم ورودی را می‌توان به طبقه‌بندی سخت با رزولوشن بهتر تبدیل کرد. مشکل اصلی در نقشه‌برداری زیرپیکسل‌ها، تعیین محل هر کلاس پوشش زمین در پیکسل بزرگ‌تر است (۱۱ و ۱۸). روش‌های متفاوتی برای حل این مشکل ارائه شده است که از جمله می‌توان به شبکه هوفیلد (۱۱)، تکنیک بهینه‌سازی خطی (۱۳)، مدل جاذبه مکانی

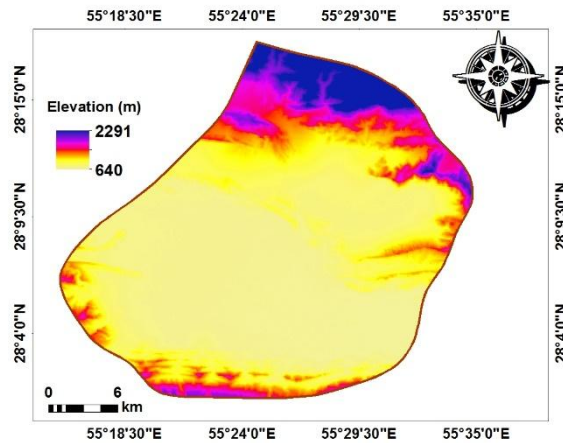
(۱۹)، الگوریتم جابه‌جایی پیکسل (۳)، زنجیره تصادفی مارکوف (۲) و زمین‌آمار (۴) اشاره کرد.

آخرین مطالعات توسط ژو و همکاران (۲۰) به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی با استفاده از مدل جاذبه روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. 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. نقشه‌برداری زیرپیکسل یک روش برای به دست آوردن توزیع فضایی از طبقات مختلف در مقیاس زیرپیکسل است. فرض آماری وابستگی مکانی پیکسل‌ها، توسط ورهویه و ولف (۱۸) با استفاده از یک تکنیک بهینه‌سازی خطی برای نقشه‌برداری زیرپیکسل انجام شد. احتمال دیگر این فرض، تعامل پیکسل فرعی زیرپیکسل است و توسط مرتنس و همکاران (۱۰) ارائه شد. مرتنس و همکاران، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به حداکثر تعداد زیرپیکسل از کلاس‌های یکسان همسایه را پیشنهاد کردند، درحالی‌که اتکینسون (۳)، جابه‌جایی پیکسل تا به حداکثر رساندن همبستگی مکانی بین زیرپیکسل همسایه را ارائه کرد. در هر دو روش مذکور، استفاده از بخش کوچکی از مقادیر اولیه پیکسل به عنوان یک محدودیت شناخته شد. در این مطالعه از این الگوریتم (مدل زیرپیکسل‌ها) به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM ۹۰ متری به عنوان یکی از پرکاربردترین داده‌ها در بحث مدل کردن و استخراج آبراهه‌ها (به دلیل رایگان بودن و سهولت در دسترسی) در جنوب شهرستان داراب در استان فارس، استفاده شد. با توجه به حجم استفاده از DEM ۹۰ متری در ایران، این موضوع می‌تواند نقش مؤثری در افزایش دقت نتایج استخراج شده از تحقیقاتی که در آنها DEM ۹۰ متری مورد استفاده قرار گرفته است، داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۱۲۵ کیلومتری شهرستان داراب (قلاتویه)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه (مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر)

قرار می‌گیرد و در مدل همسایگی چهارگانه، فقط پیکسل‌ها در ربع همان زیرپیکسل، با توجه به مرکز پیکسل شامل محاسبات می‌شود.

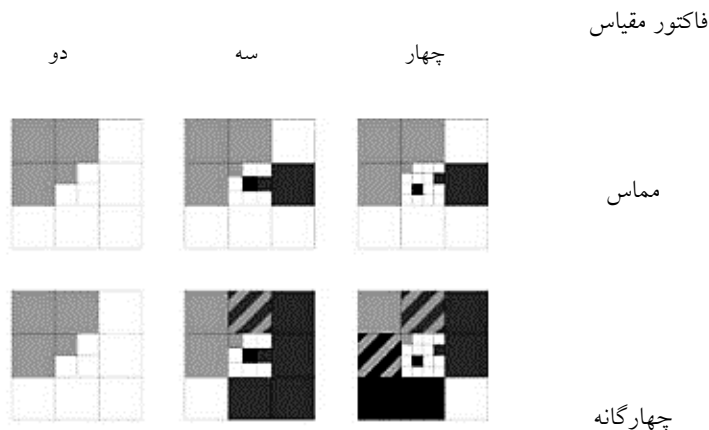
این دو نوع همسایگی در شکل (۲) با توجه به تفاوت‌هایشان نشان داده شده است. در این تصویر، هر مدل با سه مقیاس مختلف نشان داده شده است. فاکتور مقیاس تعداد زیرپیکسل‌ها را در داخل هر پیکسل اصلی تعیین می‌کند. یک فاکتور مقیاس S مربوط به $S \times S$ زیرپیکسل در هر پیکسل مرکزی است.

به‌عنوان نمونه با داشتن $S=2$ و همسایگی چهارگانه در شکل (۲)، زیرپیکسل با تیره‌ترین رنگ درون پیکسل مرکزی تنها 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 یکدیگر هستند. مقادیر جاذبه همواره توسط فاصله اقلیدسی که هر زیرپیکسل در محاسبه آن مورد استفاده قرار می‌دهد، وزن‌دهی می‌شود. در این مدل فرض بر این است که پیکسل‌های نزدیک، بیشتر از پیکسل‌های با فاصله بیشتر جذب می‌شوند. فاصله از مرکز هر زیرپیکسل به مرکز پیکسل مورد نظر محاسبه می‌شود و فرض بر این است که تمام جاذبه از مرکز پیکسل‌ها به یکدیگر اعمال می‌شود. مقادیر عددی جاذبه محاسبه شده و سپس میانگین‌گیری می‌شوند. این

از توابع استان فارس در ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۴ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۸ درجه و ۶ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی با مساحت ۳۳۹/۱۴ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). آب‌وهوای منطقه مورد مطالعه در تابستان گرم و خشک و در زمستان نسبتاً سرد و معتدل است.

مدل جاذبه در زیرپیکسل‌ها

در این مطالعه از مدل جاذبه به‌منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM استفاده شد. مدل جاذبه در زیرپیکسل‌ها، براساس مقادیر پیکسل‌های همسایه است که روی زیرپیکسل‌های داخل یک پیکسل مرکزی اثرگذار هستند. زیرپیکسل می‌تواند تنها با پیکسل‌های اطراف پیکسل مرکزی جذب شود. این به این معنی است که حداکثر هشت همسایه برای پیکسل می‌توان در نظر گرفت. دیگر پیکسل دور از پیکسل مرکزی فرض می‌شوند و جاذبه آنها بر پیکسل مرکزی اثرگذار نیست. در این تحقیق، دو مدل همسایگی در به‌دست آوردن مقادیر زیرپیکسل‌ها ارزیابی شد. هر مدل دارای پیکسل‌های همسایه مختلف هستند که به‌کمک آنها مقادیر جاذبه هر زیرپیکسل محاسبه می‌شود (۱۴ و ۲۰). این مدل‌ها شامل مدل همسایگی پیکسل‌های مماس و مدل همسایگی چهارگانه هستند. در مدل همسایگی پیکسل‌های مماس، فقط پیکسل‌هایی که از نظر فیزیکی مماس به زیرپیکسل مورد نظر است، به‌منظور محاسبه مقادیر جاذبه مورد استفاده



شکل ۲. پیکسل‌های اثرگذار روی زیر پیکسل‌های موجود در پیکسل مرکزی در پنجره ۳×۳ در دو مدل همسایگی مماس و چهارگانه با مقیاس دو، سه و چهار

در این روابط، N₁ مدل همسایگی مماس و N₂ مدل همسایگی چهارگانه است. فاصله بین هر زیرپیکسل و پیکسل اطراف (d) به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود (۱):

$$d(p_{a,b}, P_{i,j}) = \sqrt{[a + \frac{0}{S} - S(i + \frac{0}{S})]^2 + [b + \frac{0}{S} - S(j + \frac{0}{S})]^2} \quad [4]$$

در این مطالعه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM 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:

```
Model(S,t, input) function [result]= Attraction
result=nan(S,S);
for a=0:S-1
for b=0:S-1
without class_ Values, Attraction [ Classes,
(S,t, input, a,b); normalization ]=neighborhood _
result(a+1,b+1)=class_ without_ normalization;
end
```

[۵]

ورودی این معادله، پنجره‌های ۳×۳، S: فاکتور مقیاس، T: روش همسایگی، a و b موقعیت زیرپیکسل‌ها است.

در شکل (۳) نمایی از چگونگی محاسبه مقدار فاصله و سیستم مختصات تعریف شده، نشان داده شده است (۲۰).

در روابط ذکر شده، فاکتور مقیاس و نوع همسایگی مورد نظر قبل از اجرای الگوریتم بایستی مشخص شود. تعداد زیرپیکسل‌ها

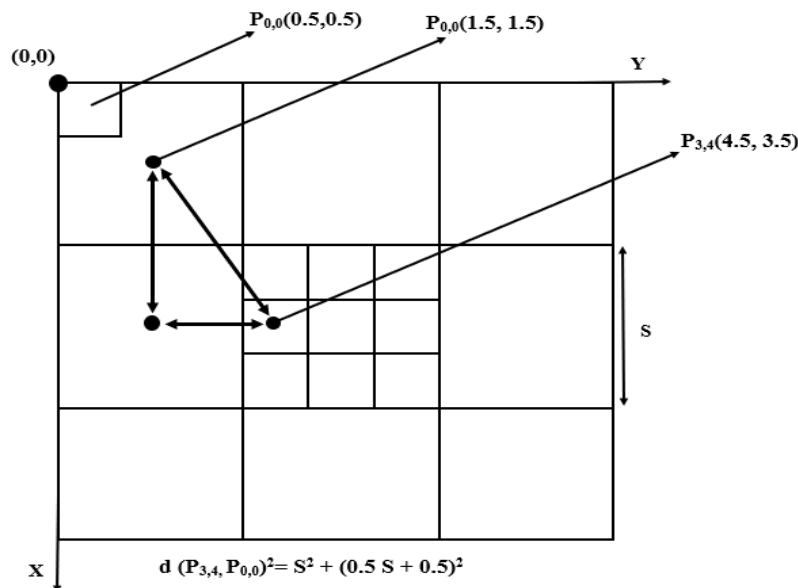
میانگین‌گیری به این منظور است که ممکن است برخی از زیرپیکسل‌ها، مقادیر جاذبه بیشتری نسبت به دیگر پیکسل‌ها داشته باشند. در این مدل، پیکسل‌ها براساس موقعیت نسبی خود به پیکسل بالا سمت چپ که با عنوان P_{۰,۰}، شناخته می‌شود، نامگذاری می‌شوند. همین ساختار برای زیرپیکسل‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این معنا که برای S=2 دارای زیرپیکسل‌های P_{۱,۰}، P_{۰,۱}، P_{۱,۱} است. 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 (۰,۰) 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 (۱) برقرار است (۲۰):

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

که در آن: a شماره سطر زیرپیکسل، b شماره ستون زیرپیکسل مربوطه، S فاکتور مقیاس و i شماره سطر پیکسل همسایه و j نیز شماره ستون پیکسل همسایه است. همسایگی‌های تعریف شده در مرحله قبل به صورت روابط (۲) و (۳) تعریف می‌شوند:

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

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



شکل ۳. نمایی از سیستم مختصات مورد استفاده به منظور محاسبه فاصله بین زیرپیکسل‌ها و هر پیکسل اطراف از طریق محاسبه فاصله اقلیدسی

برای هر کلاس محاسبه شده و فقط محدود به اعداد صحیح می‌شود. بقیه زیرپیکسل‌ها نیز مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. مقدار جاذبه (Attraction Value) خام برای زیرپیکسل $p_{a,b}$ که در پیکسل $P_{i,j}$ قرار دارد، به‌عنوان 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 $p_{a,b}$ به‌دست می‌آید (۲۰).

بررسی اعتبار هریک از مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی و تعیین بهترین مدل به‌منظور تخمین ارتفاع با استفاده از الگوریتم جاذبه، از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد. به کمک RMSE، تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی تعیین می‌شود (معادله ۷).

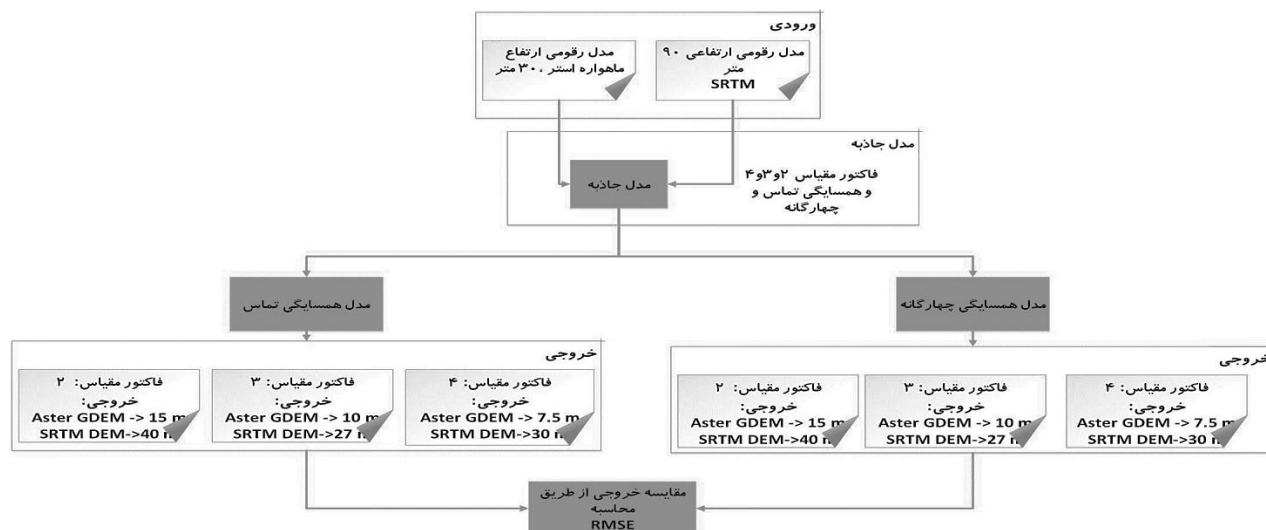
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)\}^2} \quad [7]$$

در این معادله، $\hat{Z}(x_i)$ مقادیر پیش‌بینی شده، $Z(x_i)$ مقادیر اندازه‌گیری شده و N تعداد مقادیر در پایگاه داده مورد بررسی است. بررسی صحت تصاویر با استفاده از RMSE شبیه به مطالعات تاتیم و همکاران (۱۷) است.

مقدار جاذبه $p_{a,b}$ (Attraction Value) خام برای زیرپیکسل $P_{i,j}$ که در پیکسل $P_{i,j}$ قرار دارد، به‌عنوان 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 $p_{a,b}$ به‌دست می‌آید (۲۰).

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

بنابراین با در نظر گرفتن همسایگی‌های مختلف مقادیر جاذبه برای تمامی زیرپیکسل‌ها درون پیکسل مرکزی محاسبه می‌شود. این مقادیر جاذبه در حقیقت مقادیر جاذبه به‌ازای هر کلاس هستند. با این فرض که مقادیر هر پیکسل روی سایر پیکسل‌ها اثرگذار است، مقادیر جاذبه می‌تواند برای هر کلاس زیرپیکسل محاسبه شود. با این حال مقادیر جاذبه زیرپیکسل برای پیکسل‌های مختلف قابل میانگین‌گیری است. پس از مشخص شدن قوانین جاذبه، مقادیر خام جاذبه محاسبه می‌شوند. این مقادیر بعداً می‌توانند برای نسبت دادن هر زیرپیکسل به یک



شکل ۴. مراحل مختلف اجرای فرایند افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع با استفاده از الگوریتم جاذبه

مورفومتری آبراهه‌های

رودخانه در رتبه خاص است.

$$R_h = H/L \quad [10]$$

در این رابطه، H: کل رلیف منطقه و L: طول حوضه آبخیز است.

$$D = L_u/A \quad [11]$$

در این رابطه، L_u: طول رودخانه ها و A: مساحت حوضه آبخیز است.

$$F_s = N_u/A \quad [12]$$

در این رابطه، A: مساحت حوضه آبخیز و N_u: تعداد آبراهه است.

نتایج

به منظور بررسی مدل جاذبه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی در استخراج آبراهه‌ها، از DEM ۹۰ متری استفاده شد. نتایج حاصل از این الگوریتم برای DEM ۹۰ متری در شکل (۵) نشان داده شده است. در این مطالعه به منظور یافتن بهترین مدل به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی از همسایگی‌های مختلف (تماس و چهارگانه) با مقیاس‌های مختلف دو، سه و چهار استفاده شد. با توجه به شکل (۵)، مشخص می‌شود که با افزایش فاکتور مقیاس تعداد زیرپیکسل‌ها افزایش می‌یابد،

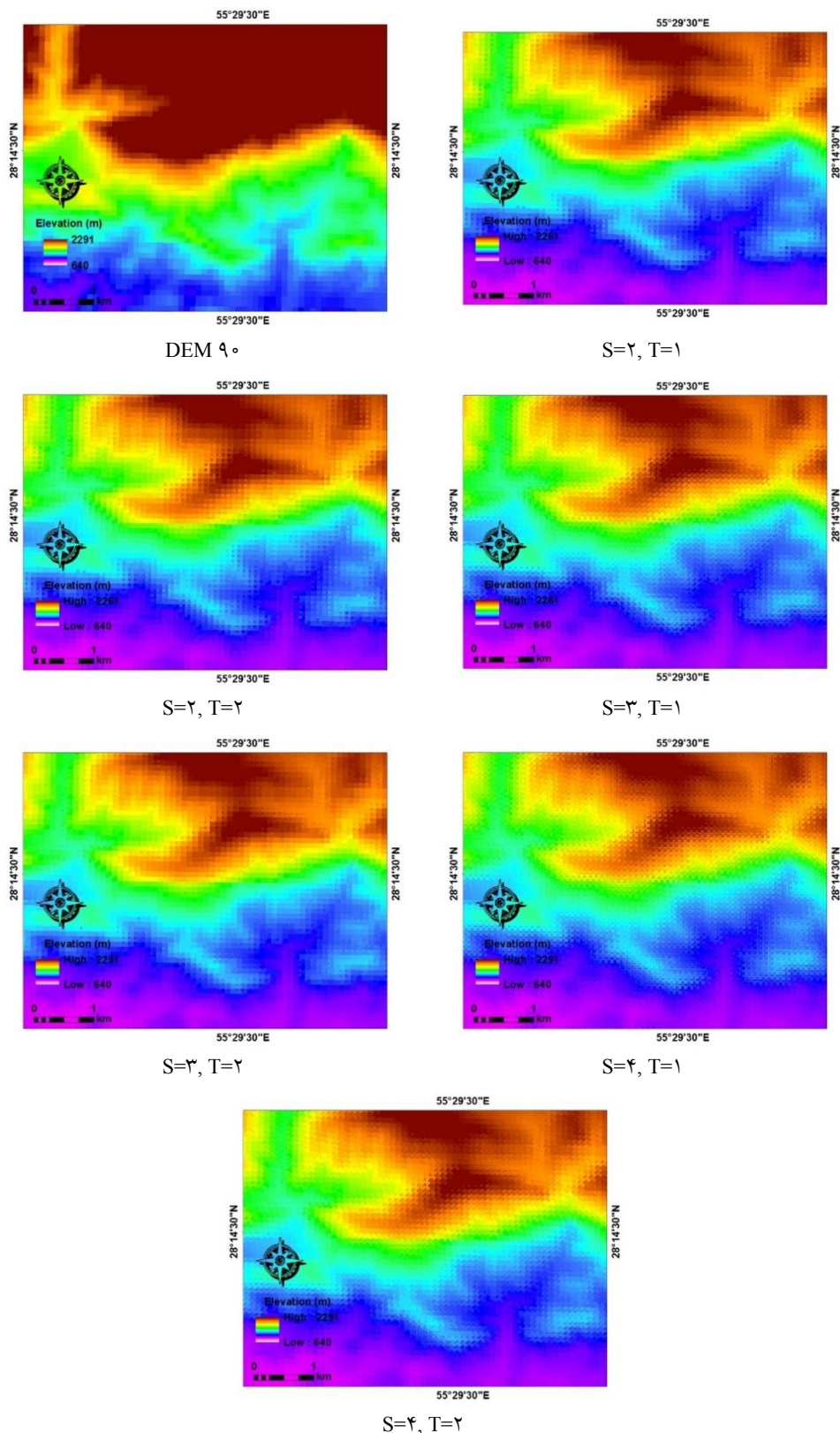
در این مطالعه به منظور بررسی مورفومتری آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه، ابتدا آبراهه‌های موجود در منطقه با استفاده از روش استراهلر رتبه‌بندی شدند (۱۶)، سپس ویژگی‌های مورفومتری برای رتبه‌های مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. برای این منظور از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر استفاده شد، همچنین از نرم‌افزار GIS و ENVI برای تجزیه و تحلیل پارامترها استفاده شد. ویژگی‌های مورفومتری مورد در این مطالعه عبارت از، رتبه رودخانه براساس روش استراهلر (۱۷)، طول رودخانه براساس روش هورتن (۶ و ۷)، نسبت طول رودخانه براساس روش هورتن (رابطه ۸)، نسبت بیفرکاسیون براساس روش شیوم (رابطه ۹)، نسبت رلیف براساس روش شیوم (رابطه ۱۰)، چگالی زهکشی براساس روش هورتن (رابطه ۱۱) و فراوانی آبراهه براساس روش هورتن (رابطه ۱۲)، بود

$$R_L = L_u/L_{(u-1)} \quad [8]$$

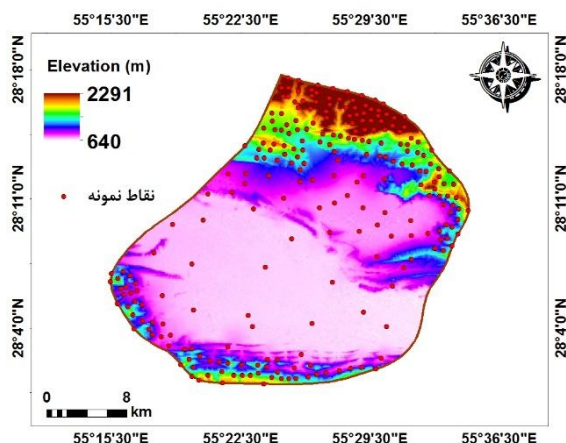
در این رابطه، L_(u-1): مجموع طول رودخانه‌ها و L_u: طول رودخانه است.

$$R_b = N_u/N_{(u+1)} \quad [9]$$

در این رابطه، N_(u+1): تعداد رودخانه رتبه بالاتر و N_u: تعداد



شکل ۵. نمای سه‌بعدی از زیرپیکسل‌ها با استفاده از الگوریتم جاذبه با مقیاس‌ها و همسایگی‌های مختلف برای DEM ۹۰ متر (S: مقیاس، T۱: همسایگی مماس و T۲: همسایگی چهارگانه)



شکل ۶. موقعیت و پراکندگی نقاط کنترل زمینی در منطقه

جدول ۱. مقادیر RMSE برای هر یک از روش‌ها با استفاده از DEM ۹۰ متر

روشن	S=۲, T=۱	S=۲, T=۲	S=۳, T=۱	S=۳, T=۲	S=۴, T=۱	S=۴, T=۲	DEM ۹۰ متری
Mقادیر RMSE	۸/۰۹	۸/۰۹	۷/۷۶	۹/۱۳	۸/۲۳	۸/۸۹	۸/۰۷

S: مقیاس، T1: همسایگی مماس و T2: همسایگی چهارگانه

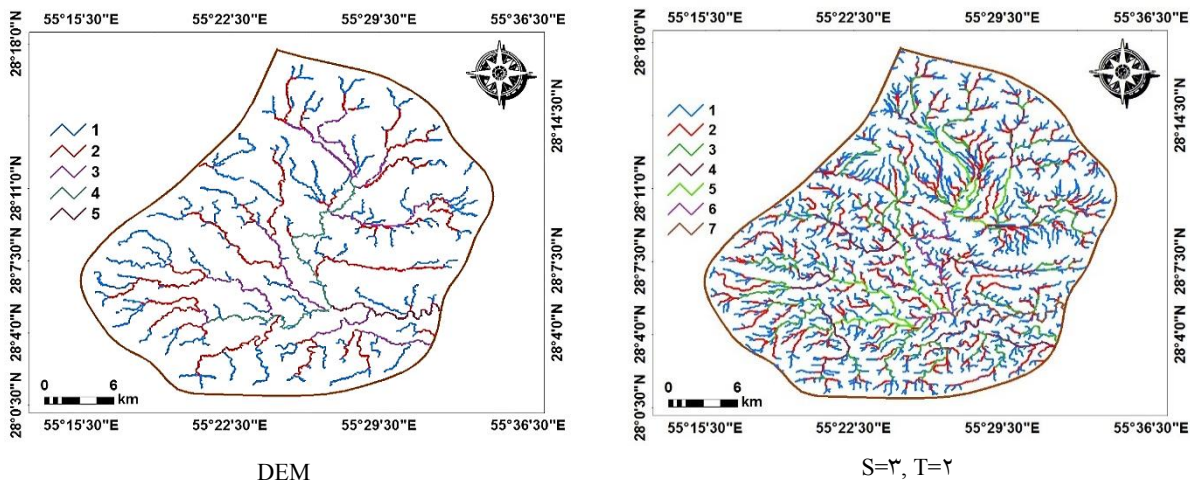
این مقادیر نمایش داده شده است. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های زیرپیکسل موجب افزایش قدرت تفکیک زمینی مدل‌های رقومی زمین شده و این امر موجب افزایش دقت این مدل‌ها می‌شود.

با توجه به مقادیر ارتفاع برای هر یک از نقاط (شکل ۶) 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=۳ و T=۲ برای DEM ۹۰ متر است. در نتیجه از این مدل برای استخراج آبراه‌های منطقه مورد مطالعه و بررسی مورفومتری آنها استفاده شد.

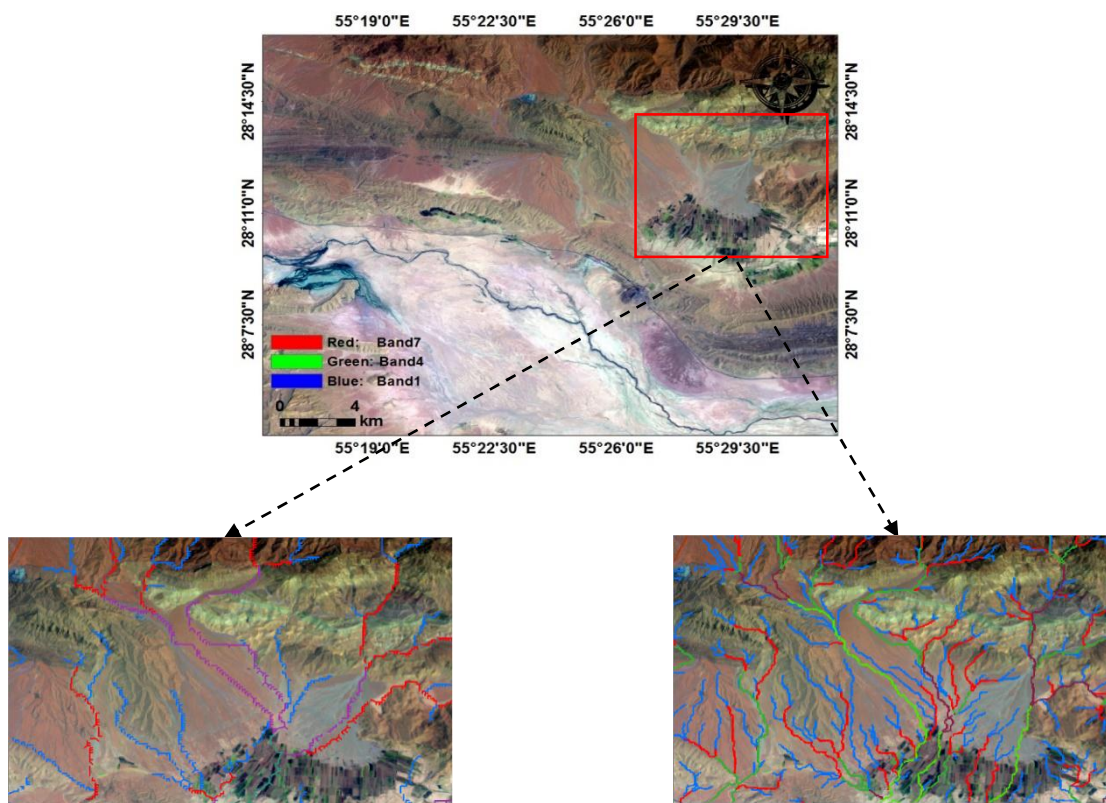
بعد از مشخص شدن بهترین مدل برای استخراج آبراه‌ها، در محیط GIS، آبراه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج شدند (شکل ۷)، همچنین برای مقایسه بهتر مدل جاذبه و DEM، از تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت با ترکیب باندهای ۷۴۱ استفاده شد که نتایج آن در شکل (۸) آمده است. با توجه به

به طوری که اطلاعات در زیرپیکسل‌ها نسبت به پیکسل اولیه بیشتر شده و تغییرات ارتفاعی را بهتر نشان می‌دهد. بنابراین از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مقیاس باعث افزایش قدرت تفکیک مکانی DEM می‌شود. همانطور که در شکل نشان داده شده در مقیاس‌های بزرگ‌تر (S4) تعداد پیکسل‌ها افزایش یافته است. با افزایش تعداد پیکسل‌ها جزئیات تصویر افزایش می‌یابد، همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از همسایگی مماس (T1) نسبت به همسایگی چهارگانه (T2) باعث افزایش تعداد زیرپیکسل‌ها و افزایش قدرت تفکیک مکانی می‌شود.

به منظور مقایسه و تعیین بهترین مقیاس و همسایگی، ارتفاعات تعیین شده برای هر یک از زیرپیکسل‌ها، توسط مدل جاذبه با نقاط زمینی مقایسه شد. تعداد کل نقاط کنترل زمینی ۲۷۰ نقطه بود که به صورت تصادفی در منطقه پراکنده شده‌اند. این نقاط کنترل زمینی از طریق عملیات نقشه‌برداری استخراج شده‌اند. در شکل (۶) موقعیت این نقاط و پراکندگی مربوطه به آنها نمایش داده شده است. مقدار RMSE برای هر DEM، به صورت جداگانه محاسبه شد. در جدول (۱) نتایج حاصل از



شکل ۷. آبراهه‌های مستخرج از مدل جاذبه و DEM ۹۰ متر در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. موقعیت آبراهه‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت (۲۰۱۵)

با استفاده از مدل جاذبه و DEM ۹۰ متری

قدرت تفکیک مکانی بالا، ویژگی‌های مورفومتری آبراهه‌های منطقه مشخص شد. تجزیه و تحلیل مورفومتری ما را در شناخت فرایندهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی آگاه می‌سازد.

شکل مشخص می‌شود که مدل جاذبه دارای دقت بیشتری برای استخراج آبراهه‌ها است. بعد از مشخص کردن بهترین مدل برای تهیه DEM با

جدول ۲. رتبه و طول آبراهه منطقه مورد مطالعه

تعداد آبراهه‌ها							رتبه رودخانه	DEM
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰	۰	۱۲۴	۳۲۶	۷۸۸	۱۶۲۶	۳۰۳۴	۵	DEM ۹۰ متری
۶۳۴	۸۹۸	۲۳۲۳	۳۵۷۰	۷۷۹۴	۱۴۷۶۰	۳۱۴۴۰	۷	S=۳, T=۲
طول آبراهه (کیلومتر)							رتبه رودخانه	DEM
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰	۰	۱۵/۲۷	۳۷/۲۵	۸۲/۹۶	۱۷۱/۶۵	۳۱۱/۷۸		DEM ۹۰ متری
۱۹/۲۶	۲۶/۷۷	۷۰/۹۸	۱۰۸/۳۲	۲۳۷/۹۱	۴۴۷/۷۸	۹۵۶/۷۶		S=۳, T=۲

جدول ۳. نسبت طول آبراهه منطقه مورد مطالعه

نسبت طول آبراهه						رتبه رودخانه	DEM
۶ به ۷	۵ به ۶	۴ به ۵	۳ به ۴	۲ به ۳	۱ به ۲		
۰	۰	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۵	۵	DEM ۹۰ متری
۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۴۶	۷	S=۳, T=۲

برای DEM ۹۰ متر و ۰/۳۷ و ۰/۷۱ برای آبراهه‌های حاصل از مدل جاذبه است.

ضریب بيفرکاسيون نشان‌دهنده نسبت بين تعداد آبراهه‌های یک رتبه به رتبه بالاتر از آن است (۱۳). ضریب بيفرکاسيون منطقه بين ۱/۸۱ تا ۲/۴۳ برای آبراهه‌های حاصل از DEM ۹۰ متر و ۱/۵۲ تا ۲/۹۴ برای آبراهه‌های حاصل از مدل جاذبه است (جدول ۴).

همچنین فاکتورهایی مانند چگالی زهکشی و فراوانی آبراهه محاسبه شد که در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۶)، مشخص می‌شود که مقادیر چگالی زهکشی و فراوانی آبراهه به ترتیب ۰/۹۵ و ۹/۱۱ برای DEM ۹۰ متر و ۲/۸۸ و ۹۴/۹۵ برای DEM حاصل از مدل جاذبه است، همچنین به منظور بررسی ویژگی‌های مورفومتری منطقه مورد مطالعه، از نسبت رلیف منطقه استفاده شد که در واقع تفاوت بین حداقل و حداکثر ارتفاع به طول حوضه آبخیز در منطقه است (۱۶). نتایج مربوط به پستی و بلندی‌های منطقه در جدول (۶) آمده است.

به منظور تجزیه و تحلیل مورفومتری، از ویژگی‌های خطی آبراهه‌ها و پستی و بلندی‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های مورفومتریکی با استفاده از DEM ۹۰ متر و DEM حاصل از مدل جاذبه (S=۳ و T=۲) نشان داد که تعداد رودخانه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۵۸۹۸ و ۶۱۴۱۹ عدد است. طول کل آبراهه منطقه مورد مطالعه ۱۲/۲۶ کیلومتر است، همچنین میانه طول آبراهه ۶۱۸/۹۱ و ۱۸۶۷/۷۸ کیلومتر برای DEM ۹۰ متر و DEM حاصل از مدل جاذبه است. جدول (۲) نشان‌دهنده طول آبراهه و تعداد آبراهه برای هر یک از رتبه‌های آبراهه‌های حاصل از DEM ۹۰ متر و DEM حاصل از مدل جاذبه است.

نسبت طول آبراهه نشان‌دهنده نسبت بین تعداد آبراهه‌های یک رتبه به رتبه پایین‌تر از آن است. نسبت طول آبراهه برای DEM ۹۰ متر و DEM حاصل از مدل جاذبه در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) مشخص می‌شود که حداقل و حداکثر نسبت طول آبراهه، به ترتیب صفر و ۰/۵۵

جدول ۴. ضریب بيفرکاسيون منطقه مورد مطالعه

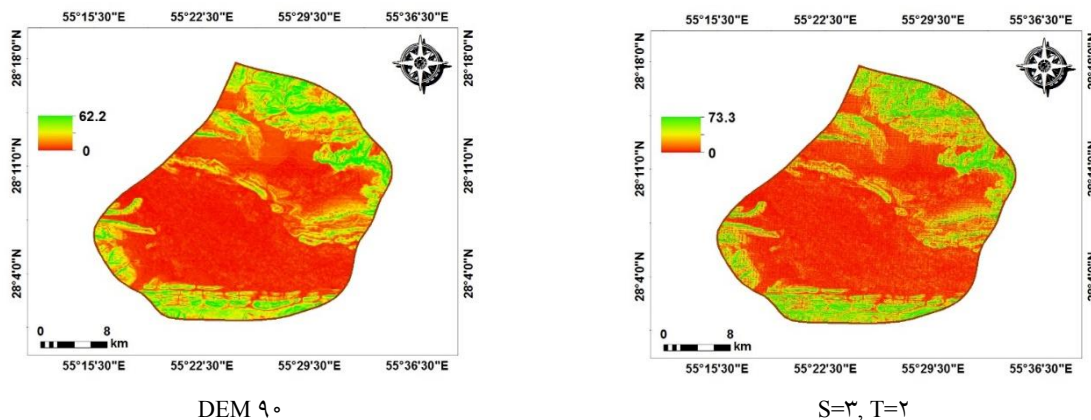
	ضریب بيفرکاسيون					
	۱ به ۲	۲ به ۳	۳ به ۴	۴ به ۵	۵ به ۶	۶ به ۷
DEM ۹۰ متری	۱/۸۱	۲/۰۶	۲/۲۲	۲/۴۳	۰	۰
S=۳, T=۲	۲/۱۳	۱/۸۸	۲/۱۹	۱/۵۲	۲/۶۵	۲/۹۴

جدول ۵. مقادير مربوط به چگالی زهکشی و فراوانی آبراهه در منطقه مورد مطالعه

	چگالی زهکشی	فراوانی آبراهه
DEM ۹۰ متری	۰/۹۵	۹/۱۱
S=۳, T=۲	۲/۸۸	۹۴/۹۵

جدول ۶. نسبت رليف منطقه مورد مطالعه

	حداکثر ارتفاع بر حسب متر	حداقل ارتفاع بر حسب متر	نسبت رليف
DEM ۹۰ متری	۲۲۹۱	۶۴۰	۶۸
S=۳, T=۲	۲۲۹۱	۶۴۰	۶۸



شکل ۹. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

مورد مطالعه، ۶۲/۲ درجه برای DEM ۹۰ متر و ۷۳/۳ درجه برای DEM با S=۳ و T=۲ است که نشان‌دهنده موقعیت متوسط منطقه از نظر فرسایش و سیلابی است. با توجه به نتایج بالا مشخص می‌شود که استفاده از مدل جادبه به منظور استخراج آبراهه‌ها و بررسی مورفومتری آنها دارای دقت بالایی است. مدل جادبه برای محاسبه زیرپیکسل‌ها

منطقه مورد مطالعه از نظر شیب نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. شیب به‌عنوان یک فاکتور مهم در مباحث مورفومتری یک حوضه آبخیز مطرح می‌شود. با توجه به شیب می‌توان میزان سیلابی بودن و فرسایش را پیش‌بینی کرد و با ایجاد یک راهکار، مدیریت حوضه آبخیز را به‌خوبی انجام داد. با توجه به شکل (۹) مشخص می‌شود که حداکثر شیب منطقه

وضعیت پستی و بلندی و نقشه ژئومورفولوژی منطقه استفاده شد و ویژگی‌های حاصل از مورفولوژی با DEM ۹۰ متر با ویژگی‌های مورفولوژی DEM حاصل از مدل زیرپیکسل جاذبه با قدرت تفکیک مکانی بهتر، مقایسه شد. در این تحقیق قدرت تفکیک مدل‌های رقومی زمین با استفاده از مدل زیرپیکسل جاذبه افزایش پیدا کرد. الگوریتم مربوطه هم به صورت بصری، هم به صورت آماری بررسی و شاخص RMSE برای آن محاسبه شد. 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 استفاده شود. نتایج حاصل از بررسی خطی حوضه آبخیز نشان‌دهنده زمان تمرکز کمتر و در نتیجه سیلابی بودن منطقه مورد مطالعه است، همچنین براساس مطالعات پستی و بلندی‌ها مشخص شد که وجود ارتفاعات زیاد در منطقه، منجر به سیلابی شدن منطقه شده است.

روی تصاویر ماهواره‌ای توسط ملکی و همکاران (۱) اعمال شده است و طراحی الگوریتم مربوطه با استفاده از تصاویر ساختگی توسط نگارندگان بوده است، اما روی تصاویر ماهواره‌ای واقعی نیز این الگوریتم‌ها اجرا شده‌اند و نتایج قابل قبولی را ارائه کرده‌اند. الگوریتم هم از نظر بصری و هم از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفته است و شاخص‌های مورد نظر به منظور نشان دادن صحت انجام الگوریتم روی آنها اجرا شده است. تصاویر ماهواره‌ای خروجی، نشان‌دهنده افزایش دقت زمانی در مقایسه با تصاویر ورودی هستند.

نتیجه گیری

بررسی مورفومتری یک حوضه آبخیز به منظور بررسی و مدیریت حوضه آبخیز، جلوگیری از سیلاب و فرسایش و .. مطرح است. یکی از ابزارهای بسیار مهم به منظور این بررسی با سرعت و دقت بالا و به طور اتوماتیک، استفاده از تکنیک سنجش از راه دور و GIS است. به منظور تجزیه و تحلیل آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه از ویژگی‌های خطی آبراهه‌ها،

منابع مورد استفاده

- ملکی، ص. ف. خرمالی و ع. کریمی. ۱۳۹۳. معرفی الگوریتم‌های مختلف جریان برای تهیه نقشه شاخص خیزی و کربن آلی خاک در بخشی از اراضی لسی، منطقه توشن استان گلستان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۱ (۱): ۱۶۲-۱۴۵.
- Ardila, J. P., V. A. Tolpekin, W. Bijker and A. Stein. 2011. Markov-random-field-based super-resolution mapping for identification of urban trees in VHR images. *Journal of Photogram and Remote Sensing* 66: 762-775.
- Atkinson, P. M. 2005. Sub-pixel target mapping from soft-classified, remotely sensed imagery *Photogram. Engineering Remote Sensing* 71(7): 839-846.
- Boucher, P. C., C. C. Kyriakidis and D. T. Ratcliff. 2008. Geostatistical solutions for super resolution land cover mapping, *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing* 46(1): 272-283.
- Grabs, T., J. Seibert, K. Bishop and H. Laudon. 2009. Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. *Journal of Hydrology* 1(373):15-23.
- Horton, R. E. 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union* 13: 350-361.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro physical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin* 56: 275-370.
- Magesh, N. S., N. Chandrasekar and J. P. Soundranayagam. 2011. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, Iran: a GIS approach. *Environment and Earth Science* 64(2): 373-381
- Melelli, L., L. Liucci, F. Vergari, S. Ciccacci and M. D. Monte. 2014. Fluvial drainage networks: the fractal approach as an improvement of quantitative geomorphic analyses. *Geophysical Research* 16: 1245-1253.
- Mertens, K. C., B. D. Baets, L. P. C. Verbeke and R. D. Wulf. 2003. A sub-pixel mapping algorithm based on sub-pixel/pixel spatial attraction models. *International Journal of Remote Sensing* 27(15): 3293-3310.
- Muad, A. M and G. M. Foody. 2012. Super-resolution mapping of lakes from imagery with a coarse spatial and fine

- temporal resolution. *Journal of Applied Earth Observation Geo information* (12)1: 79–91.
12. Parveen, R. Kumar, U and Kumar, S. V. 2012. Geomorphometric Characterization of Upper South Koel Basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. *Journal of Water Resource and Protection*. 4: 1042-1050.
 13. Schumms, S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America* 67: 597–646.
 14. Sorensen, R., U. Zinko and 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: 1-10.
 15. Starr, G. C., R. Lal, R. Malone, D. Hothem, L. Owens and J. Kimble. 2000. Modeling soil carbon transported by water erosion processes. *Land Degradation and Development* 11: 83-91.
 16. Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of watersheds and channel networks, *In: V. T. Chow (Ed.,) Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill Book Company. New York.
 17. Tatem, A. T., H. G. Lewis and P. M. Atkinson. 2001. Super resolution target identification from remotely sensed images using a Hopfield neural network, *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing* (39)4: 781–796.
 18. Verhoeye, R. D. and A. D. Wulf. 2002. Land cover mapping at sub-pixel scales using linear optimization techniques, *Remote Sensing Environment* 79(1): 96–104.
 19. Wang, L. G., Q. M. Wang and D. F. Liu. 2011. Sub-pixel mapping based on sub-pixel to subpixel spatial attraction model, *In: Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, PP: 593–596.
 20. Xu, X., Y. Zhong and L. Zhang. 2014. A sub-pixel mapping method based on an attraction model for multiple shifted remotely sensed images. *Neuro-Computing* 134: 79–91.

Morphometric Assessment, Modeling and Waterway Extract from DEM using Sub-pixel Attraction Model

M. Mokarram¹, A. R. Zarei² and M. J. Amiri^{3*}

(Received: August 1-2017 ; Accepted: October 2-2017)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of increasing DEM spatial resolution on the assessment of the morphometric characteristics of waterways, as well as analysis and modeling of it by using RS and GIS techniques. In this study, which was carried out in the south of Darab city DEM 90 m (as one of the most usable data in waterway modeling), increase spatial resolution of DEM attraction algorithm in neighboring pixels with two models including: touching and quadrant neighboring models to estimate the value of sub-pixels. After manufacturing output images for sub pixels in 2, 3 and 4 scales with different neighborhoods, the best scale with the most appropriate type of neighborhood was determined using ground control points (270 points); then, the values of RMSE were calculated for them. The results showed that with using the Attraction model, the accuracy of the output of images was improved and the spatial resolution of them was increased. Among scales with different neighborhoods, 3 scales and quadrant neighboring model exhibited the most accuracy by the lowest value of RMSE for the DEM 90 meter. Evaluation of waterways morphometric features showed that DEM extracted from attraction algorithm had more ability and accuracy in waterways extraction, Extraction of morphometric complications, and information in the study area.

Keywords: Waterway morphometric, Waterway modeling, GIS, Attraction algorithm, Sub-pixel, DEM

1. Department of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran.

2. Department of Rang and Watershed Management (Nature Engineering), Faculty of Agricultural Science, Fasa University, Fasa, Iran.

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural, Fasa University, Fasa, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mj_amiri@fasau.ac.ir