

## تجزیه‌ی زمین‌نما و مدل‌سازی رقومی زمین با استفاده از سطوح ژئومرفیک در بخشی از کوه‌های زاگرس مرکزی

سعید عرب<sup>1</sup> مهدی نادری خوراسگانی<sup>2</sup> و جواد گیوی<sup>3</sup>

### چکیده

وقتی مسئله‌ی پیوستگی اجزا در یک سیستم زمین‌نما و خاک مدّ نظر باشد، باید مطالعات بر طبق سطوح مقیاس سلسله مراتبی بررسی گردد. داده‌های حاصل از سیستم زمین‌نما و خاک ارتباط مستقیمی با اطلاعات مکانی دارد، به همین دلیل تجزیه‌ی خصوصیات زمین به‌طور روز افزونی با سیستم اطلاعات جغرافیایی هم‌پوشانی حاصل کرده است. مدل تجزیه‌ی رقومی زمین از مدل رقومی ارتفاع مشتق شده است. شاخص‌های مدل تجزیه‌ی رقومی زمین برای مطالعه‌ی سطوح ژئومرفیک و لندفرم‌ها در یک ردیف پستی و بلندی به خدمت گرفته شده است. محدوده‌ای به مساحت 278 هکتار در منطقه‌ی سدّ خاکی آبیج، شرق شهرستان جوققان، استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت. برخی خصوصیات سطوح ژئومرفیک با استفاده از دورکاوی و روش‌های مدل‌سازی رقومی زمین، هم‌چون درون‌یابی و تسهیم‌کردن، اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های رقومی خاکی مانند شاخص قدرت جریان روان‌آب، شاخص انتقال رسوب، و شاخص خیزی از مدل رقومی ارتفاع برای شش بُرش عرضی یا توالی‌های محدوده‌ی مورد مطالعه به‌دست آمد. در هر موقعیت مکانی که شاخص قدرت جریان روان‌آب افزایش داشت، سرعت و حجم سیل آب بالا بود، به‌طوری‌که شاخص انتقال رسوب فزونی گرفت، و شاخص خیزی به حداقل خود رسید. برای همه‌ی توالی‌ها به استثناء توالی 4، شاخص قدرت جریان روان‌آب با شاخص انتقال رسوب همبستگی نزدیکی برقرار کرد. در توالی 4، شاخص خیزی هماهنگ با شاخص انتقال رسوب یک سیر صعودی را دنبال نمود. بنابراین تجمع رسوب و نفوذ آب، مسبب توسعه‌ی بیشتر خاک‌ها در توالی 4 شد. در توالی 1، 2، 3، 5 و 6 شاخص قدرت جریان روان‌آب و انتقال رسوب هماهنگ افزایش پیدا کرد، شاخص خیزی کاهش یافت، و سبب توسعه‌ی کمتر خاک‌ها شد. درصد شیب، نفوذ آب و حجم رسوبات از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر روی پیکربندی زمین‌نما و لندفرم در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد. هدف از این تحقیق، مطالعه‌ی مقدماتی تجزیه‌ی زمین‌نما به روش‌های تحلیلی و ترکیبی بوده، به‌طوری‌که شناسایی خاک‌ها برای ارزیابی تناسب اراضی واقع‌گرا شود.

**واژه‌های کلیدی:** مقیاس سلسله مراتبی، تجزیه‌ی رقومی زمین، مدل‌سازی رقومی زمین، شاخص خیزی، شاخص قدرت جریان روان‌آب، شاخص انتقال رسوب

1. دانشجوی دکتری ارزیابی و نقشه برداری خاک، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

2 و 3. به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

## مقدمه

وقتی مسئله‌ی پیوستگی اجزا در یک سیستم مدّ نظر باشد، باید مطالعات بر طبق سطوح مقیاس سلسله مراتبی (Hierarchy scale) بررسی گردد (هوزبیک و بریانت، 1992). برای مطالعه‌ی مدل‌های خاک‌شناسی نیز سطوح سلسله مراتبی به وسیله‌ی جدول 1، ارائه شده است (هوزبیک و بریانت، 1992؛ بوما و هوزبیک، 1996 و هوزبیک، 1998). مقیاس‌های مطالعاتی بالای پدان، هر کدام به تنهایی می‌تواند سطوح بالای اطلاعات مکانی را در برگیرد، به نحوی که تغییرات مکانی خاک‌ها را به سیستم کلّ جهان مرتبط می‌سازد. سطوح مطالعاتی مقیاس‌های پایین پدان، با وجود این که ممکن است، در تشریح خصوصیات پدان مؤثر باشد، ولی به تنهایی نمی‌تواند سطوح بالای اطلاعات مکانی را به سیستم کلّ جهان ارتباط دهد (هوزبیک، 1998).

پستی و بلندی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عامل‌های حالت زائیده‌ی ینی (1941) در تشکیل و توسعه‌ی خاک‌های جهان به حساب می‌آید (زینک، 1989؛ فلیپ، 1989؛ جرارد، 1992 و تورن، 1998).

جدول 1. مقیاس سلسله مراتبی برای مدل‌های مطالعاتی خاک‌شناسی

I* + 6	جهان
I + 5	قاره
I + 4	حوضه
I + 3	کاتنا
I + 2	پُلی پدان
I + 1	پدان
I	افق خاک
I - 1	ساختمان خاک
I - 2	ساختمان پایه
I - 3	تأثیرات متقابل مولکولی

\*: سطح مطالعه

پیوستگی سیستم بین خاک‌شناسی و ریخت‌شناسی (Geomorphology) یک ارتقاء مفهومی از مدل‌سازی کاتنا است. خاک‌ها و زمین‌نما به‌عنوان یک سیستم باز رفتار می‌کنند، یعنی ماده و انرژی وارد سیستم و از آن خارج می‌گردد، و مدل‌سازی کاتنا

لازمه‌ی مطالعه‌ی هر سیستمی در طبیعت مقیاس است (فلیپ، 1998؛ هوگت، 1998). مقیاس در یک سیستم تعریف شده، کمک به توسعه و گسترش مدلی می‌کند، که در این مقیاس به‌خدمت گرفته می‌شود. هر سطح مقیاس خود می‌تواند به‌عنوان یک سیستم مورد توجه باشد، و به‌صورت ترکیبی از زیرسیستم‌های سطوح پایین، برای سطوح بالا به خدمت گرفته شود (فلیپ، 1998؛ هوگت، 1998؛ فرانس و تورنلی، 1984؛ هوزبیک، 1998 و هوزبیک و بریانت، 1992). به طور کلیّ بحث تغییرات و تحوّل خاک در دو مقیاس قابل گسترش است، یکی مقیاس کاتنا (Catena) و دومی مقیاس پُلی پدان (Polypedon). کاتنا، فلسفه‌ی مفهومی از واقعیت انواع خاک‌های یک منطقه‌ی شیب‌دار است، که بر مبنای توالی پستی و بلندی موجود در ناحیه، تحت عنوان یک ردیف پستی و بلندی (Toposequence) بنیان گذاشته شده است (زینک، 1989؛ مؤمنی، 1994، 1998 و روجاس، 2004).

لازمه‌ی مطالعه‌ی سطوح ژئومرفیک، تجزیه‌ی زمین‌نما است (هوگت، 1998). زمین‌نما مقیاس حامی فلسفه‌ی کاتنا است. در مقیاس حامی زمین‌نما عامل‌های تشکیل خاک برای مکان‌های مختلف مشابه به‌دست می‌آید، ولی وقتی تغییرات داخل مکان‌ها در مقیاس پُلی پدان تشریح شود، اندازه‌گیری پدیده‌های مستتر در خاک مانند بافت خاک، وجود سخت دانه‌های تجمعی و غیره نتایج متفاوتی خواهد داد (فلیپ، 1998). در مطالعات خاک‌شناسی، افق یا ساختمان خاک به‌عنوان مقیاس حامی پدان در نظر گرفته می‌شود، در حالی که بر اساس تحقیقات دانشمندان، تشریح نیم‌رخ خاک نمی‌تواند مقیاس حامی پدان باشد (هوگت، 1998). پدان مقیاس حامی یا پشتیبان پُلی پدان است، لذا سری خاک‌ها باید با مقیاس حامی پدان مطالعه گردد. در مقیاس پُلی پدان خاک‌ها در ارتفاع یکسانی هستند، و از مواد مادری مشابه‌ای شکل گرفته‌اند، و هم‌چنین پوشش گیاهی و پیشینه‌ی اقلیمی یکسانی دارند (فلیپ، 1998).

(DTM): شامل مجموعه روش‌هایی است، که بر روی (DEM) اعمال می‌گردد.

(DEM slicing): مجموعه روش‌هایی بوده که سعی دارد، تا ریخت‌های مشابه زمین را از لحاظ ارتفاعی یکنواخت کند.

(CTI)، (Compound Topographic Index): شاخص ترکیب پستی و بلندی بوده که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد، و به شاخص خیزی زمین (WI) نیز معروف است (مور و همکاران، 1993).

(SPI): شاخص قدرت جریان روان‌آب در نواحی با شیب زیاد و کم است (مور و همکاران، 1993).

(STI): شاخص انتقال رسوب بوده که حاصل انعکاس قدرت فرسایشی و رسوب‌گذاری خاک در منطقه است (مور و همکاران، 1991). شاخص‌های رقومی زمین پیرو روابط ریاضی زیر محاسبه می‌گردد:

$$CTI = \ln(A_f / \tan b)$$

$$SPI = A_f \cdot \tan b$$

$$STI = (A_f / 22.13)^{0.6} \cdot (\sin b / 0.0896)^{1.3}$$

در این روابط ریاضی  $A_f$  مساحت حوضه‌ی آب‌خیز برای یک نقطه، و  $b$  زاویه‌ی شیب نقطه مورد مطالعه نسبت به افق می‌باشد. مفاهیم و روش‌های بررسی زمین با استفاده از علایم دور کاوی (Remote sensing) و نقشه‌های رقومی می‌تواند در شناسایی و درک سیستم پویای خاک، آب و پوشش گیاهی به‌عنوان یک ابزار مفید باشد (هاکن، 1978 و نادری و داپر، 2009).

شناسایی واقع‌گرایی (Realism) خاک‌ها به مقیاس مطالعه بستگی دارد. اصولاً در مطالعات ریخت‌شناسی زمین دو روش (Multiattribute)، و (Multiobjective) به کار گرفته می‌شود (ماچوفسکی، 1999 و 2004). محمدی (1386) دو روش اخیر را به ترتیب با نام‌های "چند هدفی" و "چند مشخصه‌ای" می‌شناسد. صالحی و خادمی (1387)، در مطالعات نقشه‌برداری خاک این روش‌ها را به نام‌های "تحلیلی" و "ترکیبی" بیان می‌کنند. در تحقیق حاضر تجزیه‌ی

بستگی به این مفهوم دارد (جرارد، 1992 و فلیپ، 2001). خاک‌ها نشان دهنده‌ی دوره‌های فرسایش و رسوب‌گذاری بوده، و شرایط محیطی را در طی زمان تشکیل خود به نمایش می‌گذارند (شارما، 1986؛ جرارد، 1992).

توسعه‌ی خاک در یک توالی پستی و بلندی متأثر از نفوذپذیری و زه‌کشی آب است (مؤمنی، 1994، 1999). خصوصیات خاک‌های دنیا با رسوبات دوره‌ی زمین‌شناسی کواترنری هم‌بستگی نزدیکی دارند (موریسون، 1967، 1978؛ لیامی و بورک، 1973؛ کات، 1986 و بیرکلند، 1999).

فرآیندی که به طور کمی خصوصیات خاکی یک ناحیه را می‌تواند تشریح نماید، به مدل رقومی زمین (Digital Terrain Analysis)، (DTA) (ایوانز، 1980؛ نادری و کریمی، 1386 و نادری و داپر، 2009). (DTA) مترادف تجزیه‌ی ریخت‌شناسی زمین نیز می‌باشد (مارک، 1975). در واقع (DTA)، مدلی برای تجزیه و کمی کردن سطوح ژئومرفیک در یک منطقه است (شاری و همکاران، 2002). استفاده از روش‌های مدل‌سازی رقومی زمین (DTM)، (Digital Terrain Modeling)، در (GIS)، (Geographic Information System) به چگونگی روش درون‌یابی تهی‌سازی (DEM)، (Digital Elevation Model) که نمایش دهنده‌ی پستی و بلندی رقومی سطح زمین است، بستگی دارد (میلر و لافلومی، 1958). نقشه‌ی (DEM) می‌تواند برای تعیین خصوصیات پستی و بلندی زمین (ویلسون و گالانت، 2000)، اندازه‌گیری عامل‌های مؤثر بر سطوح ژئومرفیک (مارک، 1975)، تعیین شاخص‌های سنجش ریخت (شاری و همکاران، 2002)، یا اساساً جهت شناخت و اندازه‌گیری برخی شاخص‌های زمین استفاده شود (مارتینونی، 2002). در مدل (DTA) روش‌های تسهیم (Slicing) می‌تواند برای سطوح ژئومرفیک و برخی شاخص‌های مکانی به کار رود.

(DEM): مجموعه روش‌هایی است، که از نقشه‌های رقومی هم‌چون نقشه‌ی خطوط میزان می‌تواند خطوط محدوده‌های هم‌ارتفاع را به دست آورد.

تجزیه‌ی زمین‌نما و مدل‌سازی رقومی زمین با استفاده از سطوح ژئومرفیک ...

است (شکل 1). داده‌های هواشناسی برای ده سال از تاریخ 2000 تا 2009 گردآوری و محاسبه شده است. میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل ماهانه هوا به ترتیب  $33/8^{\circ}C$  و  $9/0^{\circ}C$  - و تفاضل سالانه‌ی بین تبخیر و تعرق پتانسیل و نزولات جوی  $1486/3$  میلی‌متر مشابه مناطق نیمه‌خشک بین 1000 تا 1500 میلی‌متر می‌باشد (بای‌بوردی، 1366 و اداره‌ی کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، 1389). رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی آن مزیک می‌باشد (گروه نقشه برداری خاک، 2010).

نقشه‌ی واحدهای ریخت‌شناسی زمین در سطح مقیاس زمین‌نما و لندفرم در شکل 4 ارائه شده است. به منظور تهیه‌ی نقشه‌ها و رقومی کردن تصاویر و عکس‌های هوایی از نرم‌افزار (Ilwis 3.3) (سامن، 2005) و برای پردازش تصویر شکل 2 از نرم‌افزار (ER mapper 6، با ترکیب باندهای  $RGB = 742$ ) استفاده گردید. بُرش‌های عرضی (Transects) طوری انتخاب شد، که شامل انواع زمین‌نما و لندفرم در توالی‌های منطقه باشد (شکل 5). توالی 1، 2 و 3 بر روی زمین‌نمای تپه و توالی 4 بر روی یک لندفرم مخروط افکنه (Alluvial cone) قرار دارد (شکل 5). توالی 5 و 6 به ترتیب زمین‌نمای پای کوه، و دره می‌باشد. بُرش عرضی زمین‌نمای دره نسبت به بُرش‌های دیگر دارای طول بیشتری است (شکل 5).

مقدماتی زمین‌نما با استفاده از روش‌های تحلیلی و ترکیبی انجام گرفته است، تا شناسایی خاک‌ها برای ارزیابی تناسب اراضی واقع‌گرا شود.

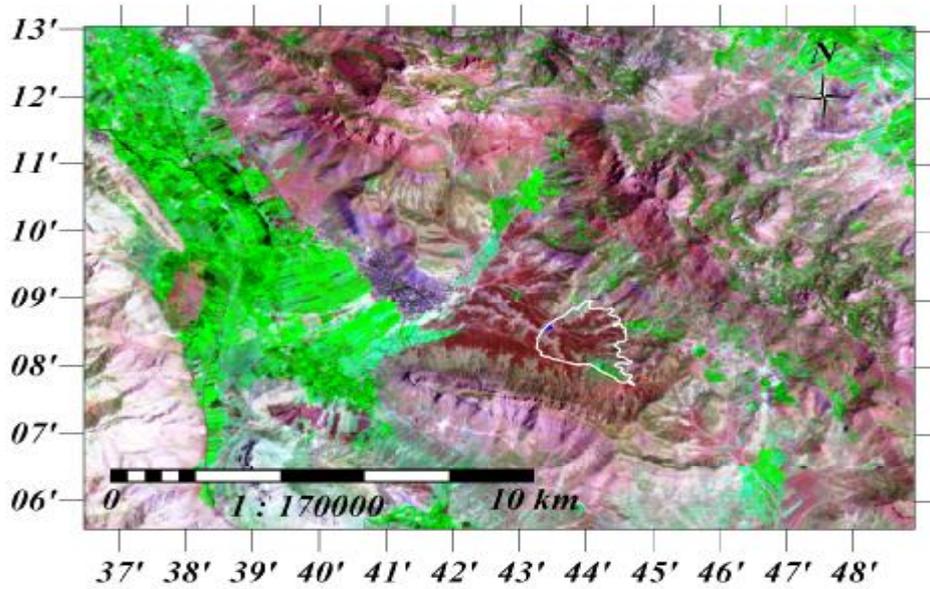
## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

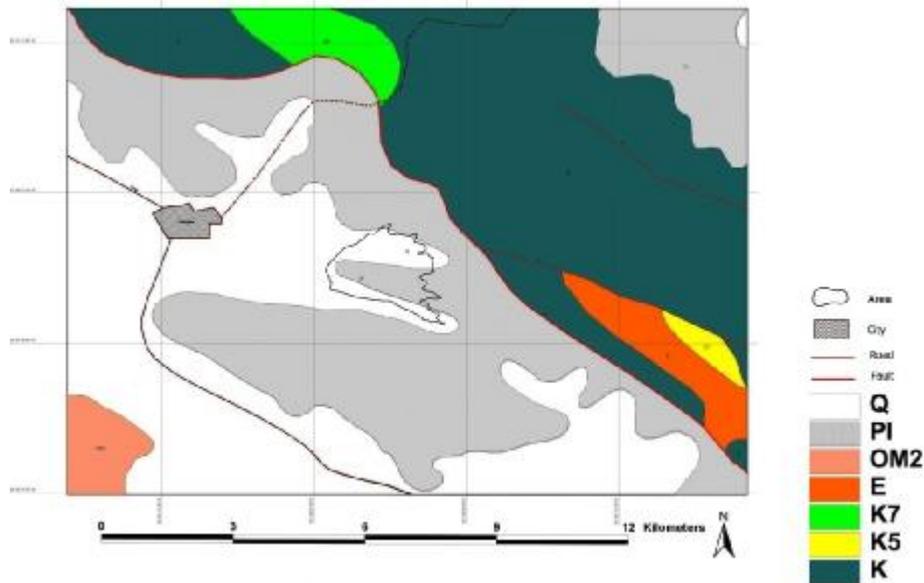
محدوده‌ی مورد مطالعه با مساحت حدود 278 هکتار در منطقه‌ی سدّ خاکی آبیج، شرق شهرستان جونقان استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل 1). منطقه‌ی آبیج در ارتفاعات زاگرس مرکزی بوده، و خود از نظر زمین‌شناسی یک نوع گِرابِن (Graben) محسوب می‌شود، که بین دو گسل آردل و آبَر گُسله‌ی زاگرس قرار دارد (امامی، 1386). کوه شیخ در جنوب و کوه جهان‌بین در شمال منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارد. محدوده‌ی مورد مطالعه در فاصله‌ی بین طول‌های جغرافیای  $50^{\circ}43'14''$  و  $50^{\circ}44'47''$  شرقی، و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ}7'43''$  و  $32^{\circ}9'11''$  شمالی قرار دارد (شکل 2). تشکیلات زمین‌شناسی این منطقه شامل ترکیبات کنگلومرا و ماسه سنگ مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی کواترنری و سنگ‌های گرانیتی سخت (معادل سازند بختیاری) مربوط به دوره‌ی ترشیاری و اشکوب نئوژن در شکل 3، به نمایش گذاشته شده است (امامی، 1386). ارتفاع متوسط محدوده‌ی مورد مطالعه 2140 متر نسبت به سطح دریا



شکل 1: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه، سدّ خاکی آبیج (تصویر ماهواره‌ای گوگل، 2010)

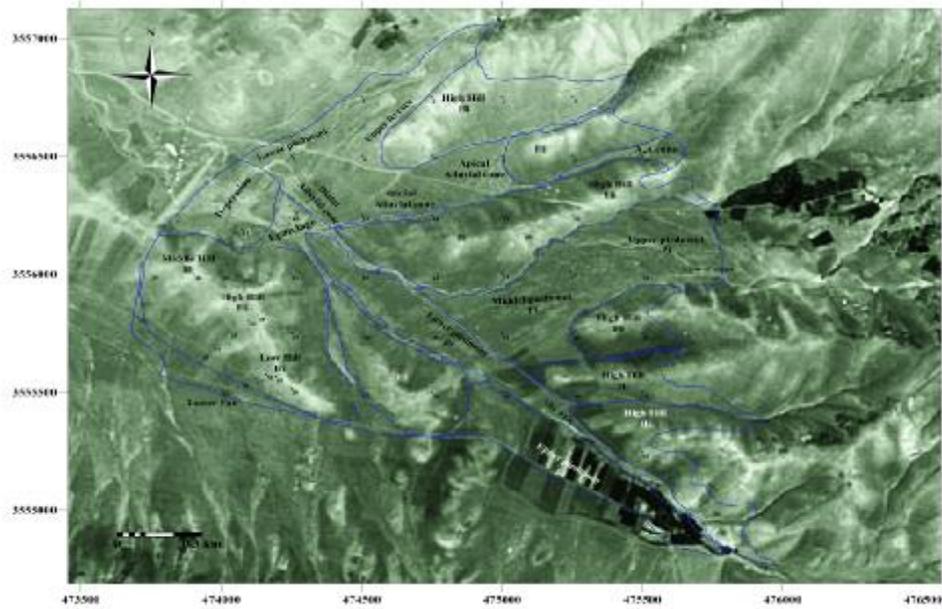


شکل 2: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه، سدّ خاکی آیح (تصویر لندست هفت، 2002)

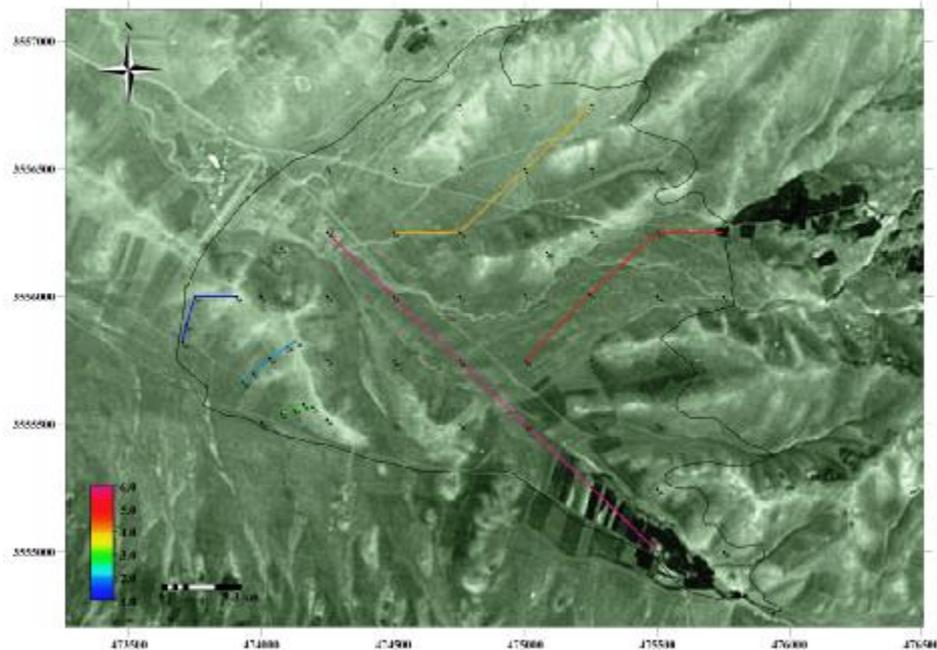


شکل 3: نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (سمت چپ)، اقتباس از نقشه‌ی با مقیاس 1/250000 شهرکرد (امامی، 1386)

Q: آبرفت‌های کواترنری، PI: کنگلومرا و ماسه سنگ (سازند بختیاری)، OM2: آهک‌های مارنی فسیل‌دار با میان لایه‌های مارن و آهک ماسه‌ای (معادل بخش بالایی سازند اسماری)، E: کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ، سیلت استون با میان لایه‌های تبخیری (معادل سازند کشکان)، K7: آهک مارنی فسیل‌دار و لایه‌های نازک آهک رُسی ماسه‌ای K5: شیل و مارن، K: آهک اوربیتولین‌دار، در بخش پایین به طور محلی دارای رسوب‌های تبخیری)



شکل 4: تصویر رقومی واحدهای زمین‌نمای محدوده‌ی مورد مطالعه: تپه = Hi، پای کوه = Pi، دره = Vay و لندفرم‌ها: فرونشست (Depression)، پانداژ (Epan dage)، آلوویال کُن (Alluvial cone) و محور دره (Valley axis). واحد بر حسب (UTM) می‌باشد.



شکل 5: شش بُرش غرضی یا توالی از شماره‌های 1 تا 6 با راهنمای رنگی، و محل نیم‌رخ‌های خاک در محدوده‌ی مورد مطالعه نیز با شماره مشخص شده است. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد.

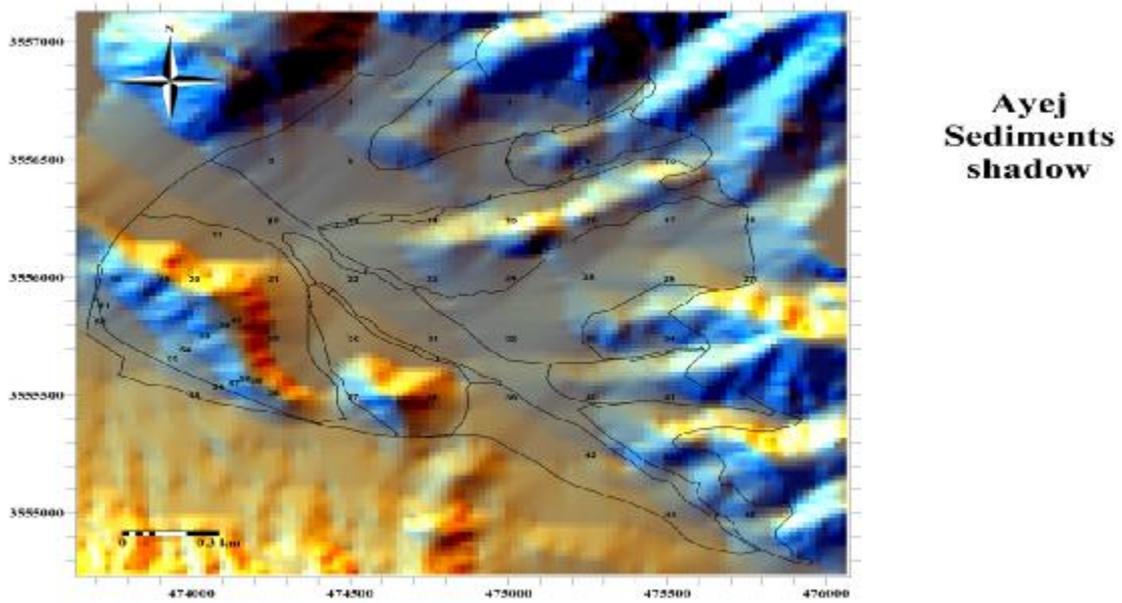
## نتایج و بحث

خصوصیات شاخص‌های رقومی زمین، به‌همراه درصد و جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، و طبقه‌بندی نیم‌رخ‌های خاک واقع بر شش بُرش عرضی یا توالی‌های 1، 2، 3، 4، 5 و 6 در جدول 2 آرایه شده است. توالی‌ها شامل نیم‌رخ‌هایی از خاک می‌باشد، که محدود به یک زمین‌نما، یا لندفرم خاصی است (جدول 2 و شکل 5).

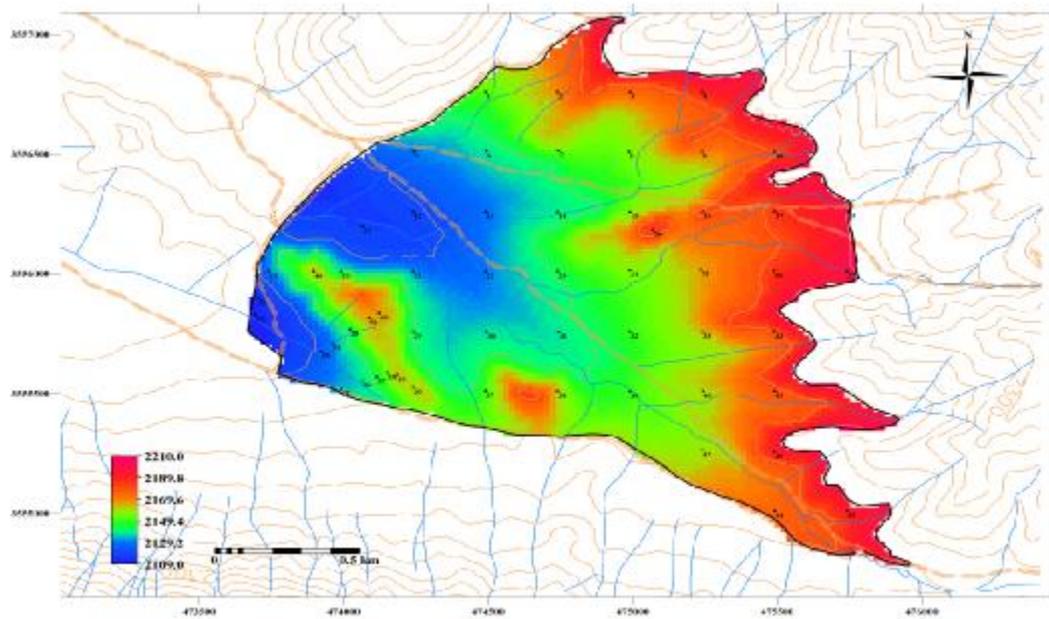
بر اساس شش بُرش عرضی بر روی توالی‌های محدودی مورد مطالعه (شکل 5) و مدل (DTA) تصاویر شاخص‌های رقومی (WI)، (SPI) و (STI) به‌دست آمد (به‌ترتیب شکل 8، 9 و 10). نقشه‌ی رقومی (DEM) به‌وسیله‌ی مدل (DTA) حاصل شد (شکل 7). تصویر سایه‌ی رسوب‌گذاری به‌وسیله‌ی تخمین (GIS) و پردازش لایه‌های اطلاعاتی حاصل از (DEM) نیز به روش (DTA) به‌دست آمد (شکل 6).

جدول 2: خصوصیات شاخص‌های رقومی نیم‌رخ‌های خاک بر اساس زمین‌نما و لندفرم

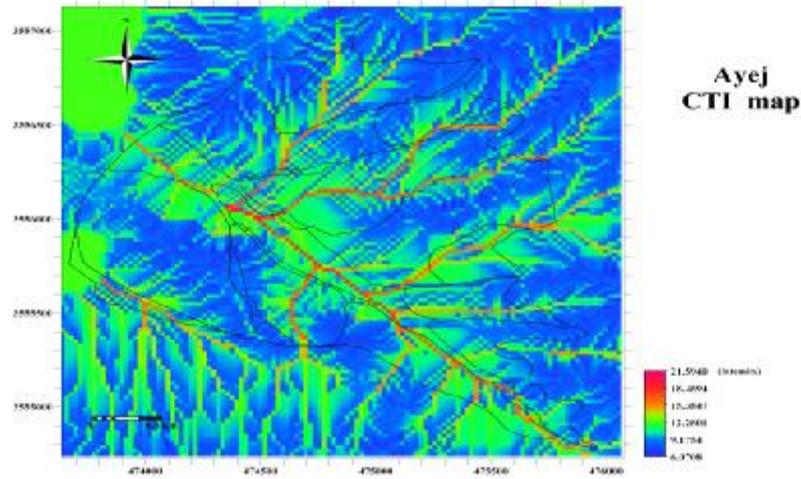
توالی	نیم رُخ	زمین نما و لند فرم	تحت گروه خاک	جهت شیب	ارتفاع (a.s.l. m)	شیب (%)	شاخص (WI)	شاخص (SPI)	شاخص (STI)
1	46	Middel Hill	Lithic Xerorthents	E	2134	2/50	9/682	9/985	1/078
1	19	Middel Hill	Lithic Xerorthents	W	2098	22/14	7/500	88/531	17/836
1	51	Middel Hill	Chromic Calcixererts	W	2038	12/82	9/431	205/249	20/582
1	52	Middel Hill	Chromic Calcixererts	W	2029	9/50	9/038	76/045	9/241
2	48	High Hill	Typic Xerorthents	SE	2138	6/26	8/763	25/026	3/551
2	59	High Hill	Typic Xerorthents	SW	2079	12/51	9/619	170/143	16/181
2	28	High Hill	Typic Calcixerpts	SW	2060	38/21	8/052	458/475	66/196
2	54	High Hill	Chromic Calcixererts	W	2052	16/19	11/423	2397/077	105/221
2	55	High Hill	Chromic Haploxererts	W	2046	16/57	9/398	331/456	32/598
3	49	Low Hill	Lithic Xerorthents	W	2133	6/00	7/887	60/066	10/952
3	58	Low Hill	Lithic Xerorthents	SW	2083	23/11	7/457	92/421	18/810
3	57	Low Hill	Typic Xerorthents	W	2071	33/35	7/783	266/745	44/362
3	56	Low Hill	Chromic Calcixererts	W	2057	7/07	11/336	489/082	24/279
4	8	Alluvial cone	Typic Xerorthents	SW	2154	6/50	12/362	988/268	33/103
4	14	Alluvial cone	Chromic Calcixererts	NW	2131	4/30	11/704	223/400	10/165
4	13	Alluvial cone	Typic Xerorthents	W	2126	5/00	10/087	59/950	5/129
5	18	Piedmont	Chromic Calcixererts	W	2155	13/29	8/703	106/316	14/206
5	17	Piedmont	Chromic Haploxererts	W	2149	9/96	9/684	159/419	14/881
5	25	Piedmont	Chromic Calcixererts	SW	2128	6/80	15/919	27919/481	227/969
5	32	Piedmont	Typic Haploxerpts	W	2113	5/70	8/857	22/784	3/145
6	44	Valley	Typic Calcixerpts	W	2112	3/54	15/619	7627/767	73/924
6	42	Valley	Chromic Haploxererts	NW	2145	4/03	10/588	64/542	4/618
6	39	Valley	Chromic Calcixererts	W	2123	6/00	10/885	191/796	11/697
6	31	Valley	Typic Xerorthents	W	2108	3/00	11/576	96/092	4/771
6	22	Valley	Chromic Haploxererts	W	2102	5/00	10/934	139/882	8/527
6	12	Valley	Typic Haploxerals	SW	2122	2/50	10/375	19/971	1/634



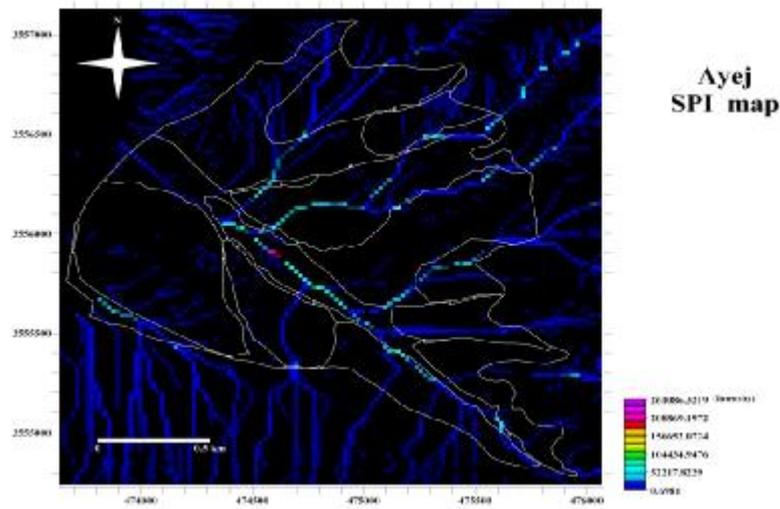
شکل 6: تصویر سایه‌ی رسوب محدوده‌ی مورد مطالعه. محل نیم‌رخ‌های خاک با شماره مشخص شده است. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد



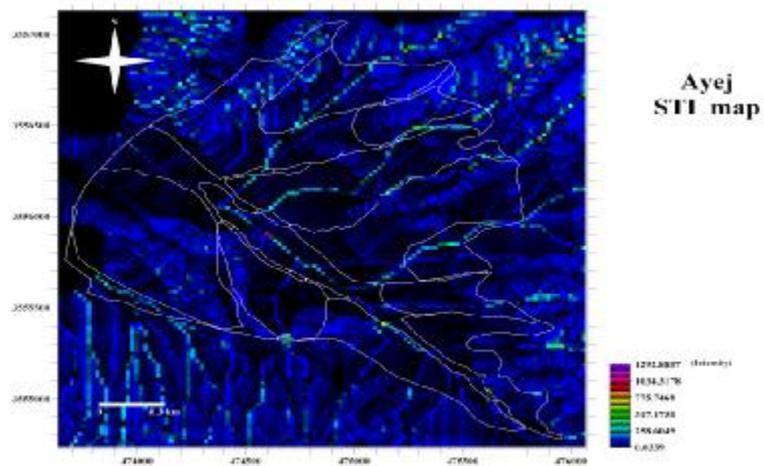
شکل 7: نقشه‌ی رقومی ارتفاع محدوده‌ی مورد مطالعه. محل نیم‌رخ‌های خاک با شماره مشخص شده است. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد



شکل 8: تصویر شاخص خیزی برای محدوده‌ی مورد مطالعه. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد



شکل 9: تصویر شاخص قدرت جریان روان آب . محل نیم‌رخ‌های خاک با شماره مشخص شده است. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد

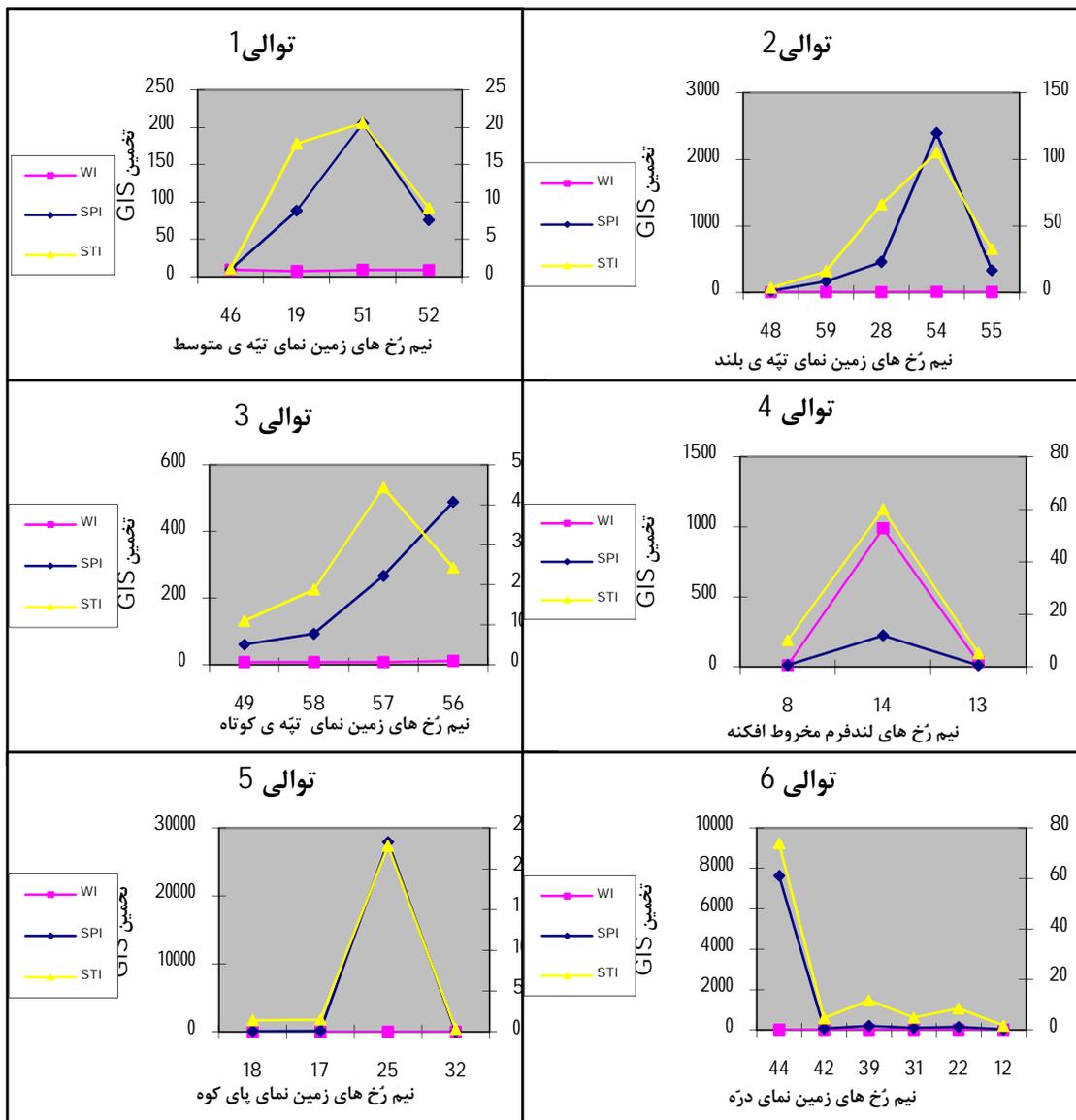


شکل 10: تصویر شاخص انتقال رسوب. واحد بر حسب (UTM) می‌باشد

تجزیه‌ی زمین‌نما و مدل‌سازی رقومی زمین با استفاده از سطوح ژئومرفیک ...

(STI) در نیم‌رخ 51 به حداکثر خود برسد. با کاهش (SPI) از نیم‌رخ 51 به سوی نیم‌رخ 52 انتقال رسوب به شدت تنزل پیدا می‌کند، ولی خاک‌ها در نیم‌رخ 51 و 52 دارای تکامل بالایی است (جدول 2 و شکل 11). در توالی 1 (SPI)، تابع تغییرات شیب بوده و کنترل‌کننده‌ی میزان انتقال رسوب و تکامل خاک است. وضعیت شاخص‌های (DTA) برای توالی 1 در شکل 8، 9 و 10 مشاهده می‌گردد.

تغییرات شاخص‌های (DTA) با توجه به نیم‌رخ‌های واقع شده، بر روی توالی 1 مشاهده می‌شود (جدول 2 و شکل 11). در توالی 1 (WI) نزدیک محور X بوده و از شرایط یکنواختی پیروی می‌کند (شکل 11). منحنی (SPI) دارای شیب تندی است، به نحوی که در نیم‌رخ 51 یعنی جایی که شیب شکسته می‌شود، به حداکثر خود می‌رسد. در توالی 1 (SPI) افزایش یافته سبب می‌گردد، تا رسوب بیشتری انتقال پیدا کند، و



شکل 11. تغییرات شاخص‌های رقومی (SPI)، (CTI)، و (STI) برای نیم‌رخ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی شش بُرش عرضی

مرتبه‌ی بالایی قرار دارد. در توالی 2 درصد شیب تندی برای منحنی شاخص‌های (DTA) وجود دارد (جدول 2 و شکل 11).

در توالی 2 که یک زمین نمای نپه‌ی بلند است (جدول 2 و شکل 4 و 5)، روند تغییرات شاخص‌های (DTA) مشابه توالی 1 می‌باشد، ولی نسبت به توالی 1 در

نمایشی از چگونگی شیب بر روی زمین‌نمای تپه‌ی کوتاه را نشان دهد (شکل 11). وضعیت شاخص‌های (DTA) برای توالی 3 نیز در شکل 8، 9 و 10 مشاهده می‌شود.

توالی 4 واقع بر لندفرم مخروط افکنه است، که دارای شیب بسیار ملایمی بوده، و همگی خاک‌های موجود در این لندفرم دارای تکامل بالا می‌باشند (جدول 2 شکل 4 و 5). منحنی‌های (SPI) و (STI) از یک معادله‌ی خطی درجه دوم پیروی می‌کند (شکل 11). وضعیت هماهنگ بودن منحنی‌های (WI)، (SPI) و (STI) نشان دهنده‌ی یک شیب بسیار ملایم و دارای یک صورت ریاضی خطی است. در توالی 4، (SPI) در حداقل سطح قرار دارد، و این نشانه‌ی از نفوذ بیشتر آب در زمین می‌باشد. نفوذ بیشتر آب در خاک (WI) را در سطح بالا قرار می‌دهد، و رطوبت در این لندفرم دارای میزان بیشتری نسبت به توالی‌های دیگر است.

چنین خصوصیتی باعث شده تا نیم‌رخ 14 در وسط لندفرم دارای شرایط مطلوب ذخیره‌ی رطوبت و انجام فعالیت کشاورزی باشد (شکل 11). شیب ملایم و خطی موجب ذخیره‌ی رطوبتی مناسب گشته، و نیم‌رخ 14 را از نظر شاخص (STI) در مرتبه‌ی بالا و از نظر (SPI) در مرتبه‌ی پایین قرار داده است (شکل 11). در توالی 4 انتقال رسوب به عهده‌ی قدرت جریان بیشتر روان‌آب نبوده، بلکه حرکت کند روان‌آب موجب گشته، تا فرسایش خاک در سطح پایینی صورت پذیرد، و نفوذ بیشتر آب در خاک را به همراه داشته باشد، و به همین دلیل شاخص (STI) در سطح بالایی وجود دارد (شکل 11). وضعیت شاخص‌های (DTA) برای توالی 4 در شکل 8، 9 و 10 نشان داده شده است.

توالی 5 شامل یک زمین‌نمای پای کوه است، که از لحاظ شیب با توالی 4، متفاوت است (جدول 2 و شکل 4 و 5). اختلاف در درصد شیب زمین‌نما موجب شده، تا توالی 5، (WI) کمتری را داشته باشد (جدول 2 و شکل 10). با وجود این که (STI) در توالی 5، بالا است، ولی با توجه به درصد شیب بیشتر، (SPI) در این توالی زیاد شده و به دلیل پایین بودن نفوذ آب و (WI)، خاک‌ها سیر تحوّل و توسعه‌ی مشخصی را دنبال نمی‌کنند (جدول 2). خاک‌های تشکیل شده در نیم‌رخ

(WI) در توالی 2 کاملاً به محور x نزدیک شده است، که نشانه‌ای از ملایم‌تر بودن درصد شیب است (شکل 11). شکست شیب در نیم‌رخ 54 موجب شده تا نقطه‌ی اوج انتقال رسوب در همین نقطه صورت گیرد. در توالی 2 نیز مشابه توالی 1 وقتی به دلیل ثابت شدن جزئی درصد شیب (SPI) و (STI) از نیم‌رخ 54 به سوی نیم‌رخ 55 به نمایش گذاشته می‌شود، به شدت از میزان هر دو شاخص کاسته می‌گردد (جدول 2 و شکل 11). تغییرات ملایم درصد شیب در توالی 2 باعث شده، تا سیر تکاملی خاک سیر صعودی داشته و خاک از نیم‌رخ‌های 28 به سوی 54 و 55، تکامل بالایی پیدا می‌کند (جدول 2).

توالی 3 نیز بر روی زمین‌نمای تپه کوتاه قرار داشته (جدول 2 شکل 4 و 5) و با شیب نسبتاً ملایمی به یک آبراهه ختم می‌شود. در نزدیکی آبراهه شکست شیب توالی 3 نمایان می‌گردد (جدول 2) چون انتهای توالی 3 یا بخشی از آبراهه برخورد می‌کند، به وسیله‌ی رسوب پوشانده است (شکل 5). در توالی 3 انتقال رسوب در آبراهه صورت می‌پذیرد، به نحوی که مسیر آبراهه به صورت دوره‌ای پُر می‌شود. به همین دلیل نزول (SPI) و (STI) در توالی 3 کمتر از دو توالی دیگر است (شکل 11). (WI) کاملاً منطبق بر محور x بوده و این امر بیان‌گر عدم وجود ذخیره‌ی آبی است.

توسعه‌ی خاک در زمین‌نمای توالی 3 نیز تحت کنترل درصد ملایم‌تر شیب و قدرت جریان روان‌آب است (جدول 2). عدم وجود ذخیره‌ی آب توسعه‌ی خاک‌ها را به تعویق می‌اندازد. خاک‌ها نزدیک و داخل آبراهه شامل تکامل بالایی هستند. روند (WI) در شکل 11 و اسامی خاک‌ها در جدول 2 صحت این ادعا را نشان می‌دهد. در نیم‌رخ‌های 49، 58 و 57 خاک‌ها دارای توسعه‌ی بسیار پایینی می‌باشند. فقط در نیم‌رخ 56 که بسیار نزدیک به آبراهه است، خاک دارای توسعه‌ی بیشتر است (جدول 2). مقدار (SPI) و (STI) در توالی 3 نسبت به دو توالی 1 و 2 دارای شیب پایینی است، ولی کاهش از ضخامت رسوب و جریان روان‌آب دیده نمی‌شود، و به آبراهه ختم می‌گردد (شکل 11). در توالی 3 شاخص‌های (SPI) و (STI) می‌تواند

31 و 22 مشاهده می‌گردد (جدول 2 و شکل 5). چون توالی 6 به لندفرم فرونشستگی ختم می‌شود، رسوبات فرسایشی حاصل از محدوده‌ی مورد مطالعه در این لندفرم تجمع حاصل کرده، به همراه آب دریاچه‌ی سد آییج فرونشستگی را به وجود می‌آورد. از ابتدای زمین‌نمای درّه تا لندفرم فرونشستگی انتقال و تجمع موضعی رسوب مشاهده می‌گردد، و در انتها ضخامت رسوب در جنوب غربی دریاچه‌ی آییج به بیشترین حد خود می‌رسد (شکل 6). تجزیه‌ی رقومی زمین‌نما و لندفرم به وسیله‌ی مدل‌سازی (DTA) روشی است، که توسعه‌ی خاک‌ها را تابعی از سطوح ژئومرفیک، ضخامت رسوب و نفوذ آب می‌داند.

### سیاسگزاری

لازم می‌دانم از راهنمایی‌های خردمندانه‌ی آقای دکتر دوستمراد ظفری و تلاش علمی بی‌دریغ آقای دکتر محمد حسن صالحی برای بازبینی مقاله‌ی تهیه شده تشکر و قدردانی نمایم.

18، 17 و 32 نشانه‌ای از عدم یکنواختی در روند سیر تحوّل است (جدول 2). ناهماهنگی خاک‌ها در توالی 5 به دلیل شیب نامتعادل، نفوذ آب کمتر و انتقال رسوب نامناسب انجام گرفته است، چون وجود و تعداد آبراهه‌ها در توالی 5 بیش از بقیه‌ی توالی‌ها می‌باشد (شکل 8، 9، و 10).

مسیر بُرش عرضی توالی 6 نسبت به بُرش‌های دیگر محدوده‌ی مطالعاتی طولانی‌تر است. توالی 6 به زمین‌نمای درّه موسوم می‌باشد (شکل 4 و 5). توالی 6، دارای شیب‌های متفاوت و پستی و بلندی‌های بیش‌تری نسبت به توالی 4 و 5 است (جدول 2، شکل 4 و 5). در توالی 6، (WI) با محور X منطبق بوده و (SPI) به دلیل شیب‌های متفاوت دارای سطح پایینی است (شکل 11). (STI) به تبعیت از (SPI) در سطح پایینی قرار گرفته است. انتهای توالی 6 نزدیک لندفرم فرونشستگی می‌باشد (شکل 4 و 5). تفاوت در مقادیر شاخص‌های (WI)، (SPI) و (STI) موجب شده تا طبقه‌بندی و تحوّل خاک‌ها در توالی 6 از روند مشخصی پیروی نکند. در توالی 6 نیم‌رخ‌های خاک به شماره‌ی 39، 42، 44.

## منابع

- اداره‌ی کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری. 1389. آمار ماهانه و سالانه‌ی داده‌های هواشناسی ایستگاه دزک، یک سی دی.
- امامی، ن. 1386. مطالعات تأمین آب اراضی محمدآباد و تلخه‌دان جونقان و شش دانگی راستاب، جلد سوم: مطالعات زمین‌شناسی مهندسی. گزارش تحقیقاتی شرکت مهندسی مشاور گوهر آب کلار، سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، مدیریت آب و خاک، 30 صفحه.
- بای‌پوردی، م. و کوهستانی، ا. 1366. خاک تشکیل و طبقه‌بندی، انتشارات دانشگاه تهران، 646 صفحه.
- صالحی، م. ح. و خادمی، ح. 1387. مبانی نقشه برداری خاک، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، 210 صفحه.
- نادری خوراسگانی، م. و کریمی، ا. 1386. خصوصیات و مرفولوژیک کفه رُسی Claypan و تأثیر آن بر تنزل اراضی با استفاده از فن‌آوری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS. مطالعه موردی: منطقه رودشت (اصفهان- ایران). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره 42، 551-562.
- محمدی، ج. 1386. پدومتری، جلد پنجم، نظریه و فناوری تصمیم‌گیری مکانی. انتشارات پلک، 438 صفحه.
- Beven, K. J. and N. J. Kirkby. 1979. Aphysically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. B.* 24, 43-69 .
- Birkeland, P. W. 1999. *Soils and geomorphology*. Oxford University Press, Inc.
- Bouma, J., Hoosbeek, M. R. 1996. The contribution and importance of soil scientists in interdisciplinary studies dealing with land. In: Wagenet, R.J., Bouma, J., Eds.. *The Role of Soil Science in Interdisciplinary Research*. SSSA Special Publication Number 45, Soil Science Society of America., Madison, Wisconsin.
- Burrough, P. A. and McDonnell. 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Catt, J. A. 1986. *Soils and Quaternary. Geology: A handbook for field scientists*, Clarendon Press, Oxford.
- Evans, I. S. 1980. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift fur Geomorphologie (supplements)*, 36, 274 -295.
- France, J., Thornley, J. H. M. 1984. *Mathematical Models in Agriculture*. Butterworths, London.
- Gerrard, J. 1992. *Soil geomorphology: An integration of pedology and geomorphology*. Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London.
- Haken, H. 1987. *Advanced Synergetics*. Springer Verlag, Berlin.
- Hengel, T., Gruber, S. and Shrestha, D. P. 2003. *Digital terrain analysis in Ilwis*. International Institute for Geo-Information science and Earth observation Enschede, The Netherlands, 56 pp.
- Hoosbeek, M. R. 1998. In Discussion of: J. D. Phillips, On the relation between complex systems and the factorial model of soil formation. *Geoderma*, 86, 27-30.
- Hoosbeek, M. R. and Bryant, R. B., 1992. Towards the quantitative modeling of pedogenesis-a review. *Geoderma*, 55, 183-210.
- Huggett, R. J. 1998. In Discussion of: J. D. Phillips, On the relation between complex systems and the factorial model of soil formation. *Geoderma*, 86: 23-25.
- Leamy, M. L. and Burke, A. S. 1973. Identification and significance of paleosols in cover deposits in central Orego. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 16, 35-623.
- Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons, Inc, Canada, 392 pp.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62, 3-65.
- Mark, D. M. 1975. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. *Geografiska Annaler* 57A, 165– 177.

- Martinoni, D. 2002. Methods and experiments for quality handling in digital terrain modeling. Ph.D. Thesis, University of Zurich.
- Miller, C. L. and Laflamme, R. A. 1958. The digital terrain model – theory and application. *Photogrammetric Engineering*, 24, 433-442.
- Moameni, A. 1994. Assessment of the prevailing irrigation practices and their relation to soil, using remote sensing and GIS in the Hamadan area (Iran). M. Sc. Thesis, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands, 137 p.
- Moameni, A. 1999. Soil quality changes under long-term wheat cultivation in the Marvdasht plain, southcentral Iran. Ph. D. dissertation, Gent University, Gent, Belgium, 284 p.
- Moore, I. D., Gessler, P. E., Nielsen, G. A. and G. A. Peterson. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 443- 452.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, A. R. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Morrison, R. B. 1967. Principles of Quaternary soil stratigraphy in Quaternary soils (eds R. B. Morrison and H. E. Wright, Jr.), INQUA 7<sup>th</sup> Congress 1965, Proceedings no. 9, University of Nevada, pp. 1-69.
- Morrison, R. B. 1978. Quaternary soil stratigraphy – concepts, methods and problems in Quaternary soils (ed W. C. Mahaney), Geo Book, Norwich, pp. 77-108.
- Naderi Khorasgani, M. and De Dapper, M. 2009. Evaluation of the Capability of Landsat MSS Data for Mapping Landforms in Arid Regions: A Case Study in the Centre of Iran. *J. Agric. Sci. Technol*, 11, 67-80.
- Phillips, J. D. 1989. An evaluation of the state-factor model of soil ecosystems. *Ecological Modelling*, 45, 165–177.
- Phillips, J. D., 1998. In Discussion of: J. D. Phillips, on the relation between complex systems and the factorial model of soil formation. *Geoderma* 86, 23-25.
- Phillips, J. D. 1998. On the relations between complex systems and the factorial model of soil formation (with Discussion). *Geoderma*, 86, 1-21.
- Phillips, J. D. 2001. Divergent evolution and the spatial structure of soil landscape variability. *Catena*, 43, 101–113.
- Rojas, R. J. V. 2004. A participatory land suitability assessment using integrated toposequence analysis. International institute for Geo-Information science and earth observation enschede, The Netherlands. 1-58.
- Sharma, V. K. 1986. *Geomorphology: Earth surface processes and forms*. Tata McGraw-Hill Publishing Company limited.
- Shary, P. A., Sharaya, L. S. and Mitusov, A. V. 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107, 1- 32.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to soil taxonomy. Eleventh edition, U.S. Dept. of Agriculture Agricultural Handbook 346, NRCS, Washington, DC.
- Suman, M. S. 2005. ILWIS 3.3 Academic. Registration code for Lalitpur sub Metropolitan City Office. ITC, RSG/GSD. Holland.
- Thorn, C. E. 1988. *An introduction to theoretical geomorphology*. Winchester Place, Winchester, Mass. USA.
- Wilson, J. P. and Gallant, J. C. 2000. *Terrain analysis: principles and application*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Zinck, J. A. 1989. *Physiography and soil*. Lecture notes for K6 course. Soils Division, ITC, Enschede, The Netherlands, 156 pp.

## Landscape Analysis and Digital Terrain Modeling Using With Geomorphic Surfaces in Portion of Central Zagross Mountains

Arab<sup>1</sup>, S., Naderi<sup>2</sup>, M. and Givi<sup>3</sup>, J.

### Abstract

When allow for continuum in components of Landscape-Soil system, studies must be on basis of hierarchy scale. Data of Landscape-Soil system has straight relation with spatial information. For this reason, analysis of terrain properties has increasingly overlapped with Geographical Information System (GIS). A Digital Terrain Analysis (DTA) model derived from Digital Elevation Model (DEM). (DTA) model indexes are served to study of geomorphic surfaces and landforms in toposequence. Area of 278ha is studied in region of Ayej terrestrial dam, Jouneqan east, province of Chaharmahal and Bakhtiary in Iran. Some properties of geomorphic levels is measured by remote sensing and digital terrain modeling (DTM), such interpolation and slicing methods. Then digital terrestrial indexes, as Stream Power Index (SPI), Sediment Transport Index (STI), and Wetness Index (WI) obtained of (DEM) for six transects or sequences in study area. Every spatial situation that (SPI) to be increased, velocity and volume of flood-water were upward, as (STI) increased and (WI) reduced in its minimum. For all of sequences (STI) confirmed correlation with (SPI) closely, except 4 sequence. In sequence 4, (WI) harmonized with (STI) and traversed process of climb. Therefore sediment accumulation and water influence caused more development soils in sequence 4. In sequences 1, 2, 3, 3, 5, and 6 increased (SPI) and (STI) harmonious, reduced (WI), and caused less development soils. Percentage of slope, water influence and volume sediments are the most affected factors on configuration of landscape and landform in study area. Goal of this research was primary study landscape analysis by multiattribute and multiobjective methods, as soil survey realized for land suitability evaluation.

**Keywords:** Hierarchy scale, Digital terrain analysis, Digital terrain modeling, Wetness index, Stream power index, Sediment transport index

---

1. Ph.D Student, Department of soil science, Faculty of Agriculter, Shahrekord university, Shahrekord

2. Assistant Porefosor and Associate Professor, respectively, Department of soil science, Faculty of Agriculter, Shahrekord university, Shahrekord

