

مدل‌سازی رابطه عمق خاک و ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما به منظور پیش‌بینی

عمق خاک در زیر حوضه ریمله استان لرستان

مراد سپهوند¹، فرهاد خرمالی، فرشاد کیانی و کامران افتخاری

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و مربی پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ Sepah1384@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ khormali@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ kianifarshad@gmail.com

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ keftekhari@swri.ir

دریافت: 95/10/22 و پذیرش: 96/5/4

چکیده

پی بردن به عمق خاک و تغییرات آن با انجام مطالعه خاک‌شناسی و حفاری خاک امکان‌پذیر است ولی مستلزم صرف بودجه، وقت و نیروی انسانی ماهر و متخصص است. رهیافت مدل‌سازی روابط خاک - زمین‌نما این امکان را می‌دهد تا با توجه به ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما بتوانیم مدل پیش‌بینی عمق خاک را از طریق روش آماری رگرسیون خطی چندگانه تهیه نماییم. در این تحقیق ویژگی‌های اولیه و ثانویه پستی و بلندی زیر حوضه ریمله واقع در استان لرستان (منطقه زاگرس میانی) از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج گردیدند. سپس، در 189 نقطه در سطح زیر حوضه که به روش تصادفی سیستماتیک انتخاب شدند عمق خاک با حفاری (با مته) به وسیله متر اندازه‌گیری شد. داده‌های مربوط به عمق خاک و ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما به روش آماری رگرسیون خطی چندگانه (شیوه گام به گام) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که پیش‌بینی عمق خاک با مدل با دو ویژگی درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا رابطه منفی معنادار ($P < 0/01$) دارد. ضریب همبستگی مدل برابر با 0/63 به دست آمد. نمودار عمق پیش‌بینی شده در مقابل عمق مشاهده شده خاک نیز رابطه خطی با ضریب همبستگی 0/65 را نشان داد. سایر ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما نیز بر عمق خاک مؤثر بوده‌اند، اما تأثیر آن‌ها در سطح 5 درصد معنادار نشده است. بنابراین، در مدل پیش‌بینی عمق خاک دخالت داده نشده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زاگرس میانی، درصد شیب، مدل رقومی ارتفاع

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، خرم‌آباد.

مقدمه

عمق خاک خصوصیت بسیار مهمی از خاک است که تعیین‌کننده پارامترهای تأثیرگذار بر مدیریت خاک و اراضی است. پی بردن به عمق خاک معمولاً با انجام مطالعه خاک‌شناسی و حفاری خاک امکان‌پذیر می‌گردد. این کار مستلزم صرف وقت و نیروی انسانی و هزینه قابل توجهی است. لذا دست یافتن به روش‌هایی که با اطمینان قابل قبول بتوانند خصوصیات خاک از جمله عمق آن را برآورد کنند، همواره مد نظر بوده است. یکی از این روش‌ها، مدل‌سازی روابط خاک - زمین نما است. این روش بین خصوصیات خاک (از جمله عمق آن) و ویژگی‌های زمین‌نما رابطه آماری برقرار کرده و آن را به صورت مدل ارائه می‌نماید. مور و همکاران (1991) و مک‌سوینی و همکاران (1994) معتقدند مدل‌سازی روابط خاک - زمین‌نما، رهیافتی کمی برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی توزیع خصوصیات خاک بر مبنای تغییرپذیری عوامل محیطی خصوصاً پارامترهای مربوط به پستی و بلندی و هیدرولوژی است. مبنای مدل‌سازی روابط خاک - زمین‌نما در بین خاک‌شناسان، اصل عوامل تشکیل‌دهنده یا سازنده خاک است که پنی (1941) به آن پرداخته است. این عوامل و همه پارامترهای وابسته به آن‌ها، در زمین‌نما وجود دارند. میناسنی و مک برانتنی (1999) و کوریاکوس و همکاران (2009) اظهار داشتند که تفاوت عمق خاک‌ها تابع عوامل مختلفی از جمله شیب، نوع استفاده از زمین، وضعیت تحذب زمین، مواد مادری، درجه هوا دیدگی، پوشش گیاهی، مساحت بالای شیب و نوع سنگ است. فلورینسکی و همکاران (2002) پستی و بلندی را یکی از عوامل تشکیل خاک تشخیص داده‌اند که به صورت کاملاً معناداری بر خصوصیات خاک و عمق آن تأثیرگذار است. به دلیل آن که عامل پستی و بلندی نقش کلیدی و کنترل‌کننده در اکوسیستم‌های طبیعی دارد و اندازه‌گیری پارامترهای آن ساده‌تر است، معمولاً بیشتر متغیرهای نماینده¹ از این عامل برگزیده می‌شوند. بنابراین مدل رقومی ارتفاع (DEM)² همواره به عنوان اساس کارهای پژوهشی مربوط به مدل‌سازی قرار می‌گیرد. محنت‌کش (1391) در تحقیقی در باره مدل‌سازی عمق خاک با استفاده از ویژگی‌های پستی و بلندی زمین‌نما نشان داد که درجه شیب به عنوان مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده و بعد از آن شاخص‌های رطوبت، مساحت حوضه و انتقال رسوب به عنوان ویژگی‌های مهم دیگر در پیش‌بینی

عمق خاک، مؤثرند. بوئر و همکاران (1996)، کوریاکوس و همکاران (2009)، وان والگهم و همکاران (2010) و زیادت (2005) اظهار داشته‌اند که پیش‌بینی عمق خاک با استفاده از ویژگی‌های پستی و بلندی به میزان تغییرات مکانی آن‌ها در منطقه، طبیعت فرآیندهای مسئول توزیع مکانی عمق خاک و درجه وابستگی خاک - عوارض زمین بستگی دارد. تحقیقات والکر و همکاران (1968)، دانیلس و همکاران (1985)، کرزنر و همکاران (1989)، کارتر و سیولکوز (1991) و برویکر و همکاران (1993) نشان می‌دهند که بسیاری از خصوصیات خاک نظیر ضخامت افق‌های A و B، میزان کربنات‌ها، اسیدیته، زه‌کشی و فرسایش با لندفرم و موقعیت‌های مختلف روی شیب تغییر می‌کنند. در بحث روابط خاک - زمین‌نما، ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک³ (در صحرا و آزمایشگاه) به ویژگی‌های کمی عوارض زمینی⁴ که از مدل رقومی ارتفاع (DEM) برگرفته می‌شوند، نسبت داده می‌شوند. ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، جهت شیب، تحذب و مساحت حوضه را ویژگی‌های اولیه⁵ گویند که مستقیماً از DEM به دست می‌آیند. ویژگی‌هایی مانند شاخص خیسی پستی و بلندی و شاخص توان جریان و... را ویژگی‌های ثانویه⁶ گویند که به صورت غیرمستقیم و از یک سری روابط که با ویژگی‌های اولیه دارند، محاسبه می‌شوند. رابطه بین این ویژگی‌ها و ویژگی‌های خاک به صورت مدل‌های آماری رگرسیونی ارائه می‌گردد.

فلورینسکی و همکاران (2002) رگرسیون خطی چندگانه را برای پیش‌بینی عمق خاک در حوضه‌های آبخیز توصیه نموده‌اند. تسای و همکاران (2001) ویژگی‌های شیب و تحذب و سالتیر و همکاران (1997) شاخص ویژگی‌های مرکب زمین را برای پیش‌بینی عمق خاک مورد استفاده قرار داده‌اند. گسler و همکاران (1995) برای ویژگی ضخامت سولوم خاک مدل - $solum\ depth = 57.95 + 12.83\ plan\ crv + 21.46\ cti$ Plan Crv تحذب عرضی و cti شاخص توپوگرافی مرکب است. محنت‌کش و همکاران (2013) در تحقیقی در مورد رابطه بین عمق خاک و ویژگی‌های زمین در یک منطقه تپه ماهوری نیمه خشک غرب ایران به این نتیجه رسیدند که عمق خاک همبستگی بالای مثبت معنادار با مساحت حوضه $(R=0/65)$ ، شاخص خیسی زمین⁷ $(R=0/71)$ و

3. soil attributes

4. terrain attributes

5. primary terrain attributes

6. secondary terrain attributes

7. land wetness index

1. proxy variables

2. Digital Elevation Model

سالانه آن 696 میلی‌متر برآورد گردیده است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب xeric و mesic می‌باشد (بنایی 1356).

زیر حوضه ریمله جزء پهنه زاگرس و زیر پهنه زاگرس مرتفع است. واحدهای سنگی تشکیل دهنده زیر حوضه عمدتاً شامل آهک، مارن، ماسه سنگ و آبرفت‌های عهد حاضر هستند که دارای سن کرتاسه تا دوران چهارم می‌باشند. ارتفاعات شمال و شرق زیر حوضه شامل سنگ آهک‌های رودیست و اریبتولین دار ضخیم لایه است و کوه‌های جنوب و غرب زیر حوضه از سنگ‌آهک‌های توده‌ای سفید رنگ (آسماری) الیگومیوسن تشکیل شده‌اند. در جنوب و میانه زیر حوضه مارن و ماسه‌سنگ نفوذناپذیر و حساس به فرسایش مشاهده می‌شود. اراضی قابل کشت زیر حوضه جزء آبرفت‌های عهد حاضر هستند. در تپ کوه‌های زیر حوضه ریمله خاک‌ها عمدتاً از زیر گروه‌های Typic Xerorthents و Lithic Xerorthents، در تپ تپه‌ها از زیر گروه‌های Typic Calcixerepts و Typic Xerorthents و در اراضی نسبتاً مسطح و مسطح کشاورزی از زیر گروه‌های Typic Calcixerepts و Typic Haploxerepts می‌باشند. به دلیل سنگ مادر آهکی، خاک‌های زیر حوضه ریمله نیز آهکی (Calcareous) هستند. تپ کوه‌های زیر حوضه ریمله دارای پوشش مرتعی همراه با گونه‌های جنگلی بلوط، زالزالک، امرود، کیکم و گیلاس وحشی است. تپ تپه‌ها نیز عمدتاً زیر کشت دیم غلات و حبوبات و در بعضی دامنه‌ها به باغ‌های مثمر (گردو و میوه‌های سردسیری) اختصاص دارد. اراضی مسطح و نسبتاً مسطح زیر حوضه زیر کشت دیم (غلات - حبوبات) و آبی (غلات، علوفه و صیفی‌جات) هستند.

تحدب عرضی¹ ($R=0/66$) و همبستگی بالای منفی معنادار با شاخص حمل رسوب² ($R=-0/73$)، شاخص توان رسوب³ ($R=0-/68$) و شیب ($R=0-/76$) دارد.

در منطقه زاگرس ایران، دشت‌های کوچک میان کوهی زیادی وجود دارد. مطالعات خاک‌شناسی، بیشتر در مناطق عمده کشاورزی و دشت‌های بزرگ کشور انجام گرفته است و شامل این دشت‌های پراکنده میان کوهی که به صورت زیر حوضه های کوچک وجود دارند، نمی‌باشد. لذا دستیابی به روش‌های نسبتاً مطمئن که بتوانند خصوصیات عمومی خاک‌ها از جمله عمق آن‌ها در این زیر حوضه‌ها را در اسرع وقت در اختیار برنامه‌ریزان و مجریان قرار دهد، بسیار مفید فایده خواهد بود. این تحقیق هم در پاسخ به این نیاز واقعی در زیر حوضه ریمله (استان لرستان واقع در زاگرس میانی) انجام گرفته تا در صورت قابل قبول بودن نتایج و تکرار صحت و دقت آن در زیر حوضه‌های مشابه، به عنوان یک روش کاربردی مورد استفاده قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

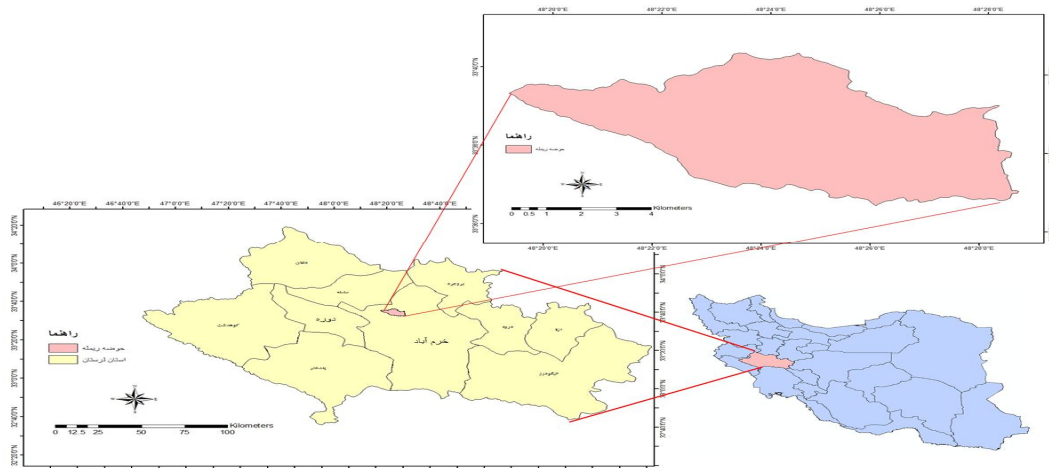
مشخصات منطقه

زیر حوضه ریمله به مساحت 5 هزار هکتار در حدود 35 کیلومتری شمال شهر خرم‌آباد (مرکز استان لرستان در زاگرس میانی) واقع گردیده است. این زیر حوضه بین 48 درجه و 21 دقیقه تا 48 درجه و 28 دقیقه طول شرقی و 33 درجه و 37 دقیقه تا 33 درجه و 41 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. موقعیت زیرحوضه ریمله در شکل 1 نشان داده شده است. این منطقه یکی از ده‌ها زیر حوضه‌ای است که در حوضه رودخانه کرخه قرار گرفته‌اند. به طور کلی این زیر حوضه منطقه‌ای است مرتفع که در چهار جهت جغرافیایی به کوه‌ها و در حاشیه به تپه‌ها محدود می‌گردد. میانه منطقه دارای اراضی دیم و به میزان کمی اراضی آبی و باغ‌های مثمر است. آبراهه اصلی میانه زیر حوضه با جهت شرقی - غربی روان آب-ها را به رودخانه کاکارضا (از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کرخه) می‌رساند. ارتفاع از سطح دریا زیر حوضه ریمله از 1600 متر در اراضی کشاورزی تا 2600 متر در قله کوه‌ها متغیر است. به طور کلی منطقه ریمله به دلیل واقع شدن در ارتفاعات دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و خشک می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه 11 درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی

1. plan curvature

2. sediment transport index

3. sediment power index



شکل 1- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه ریمله در ایران و لرستان

عملیات صحرایی

شیب³(AS)، انحنای طولی⁴(PrC)، انحنای عرضی⁵(PIC) و انحنای کل⁶(TC) بودند. ویژگی‌های ثانویه شامل شاخص رطوبت پستی و بلندی⁷(TWI) یا شاخص پستی و بلندی مرکب⁸(CTI) و شاخص توان جریان⁹(SPI) بودند. تعاریف ویژگی‌های زمینی در جدول 1 آورده شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مدل‌سازی رابطه عمق خاک و ویژگی‌های زمین از روش آماری رگرسیون خطی چندگانه (شیوه گام به گام) استفاده گردید. بدین منظور نرم افزار SPSS 19 به کار گرفته شد. عمق خاک به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های اولیه و ثانویه زمین به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل‌ها بر روی کلیه داده‌های مربوط به عمق خاک و ویژگی‌های زمین در 189 نقطه از زمین نماهای اراضی کشاورزی، تپه‌ها و کوه‌های زیر حوضه انجام شد. آمار توصیفی داده‌های تحقیق شامل میانگین، دامنه، حداقل و حداکثر، واریانس، انحراف معیار، وضعیت چولگی و کشیدگی منحنی توزیع فراوانی و ضرایب همبستگی بین عمق خاک و ویژگی‌های زمین با استفاده از

به منظور تعیین نقاط اندازه‌گیری عمق خاک در زیرحوضه، روش نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب محل‌های اندازه‌گیری عمق خاک و مختصات جغرافیایی آن‌ها (در سیستم یو تی ام) در کل مساحت زیر حوضه ریمله به صورت یک شبکه 500×500 متر مشخص گردیدند. پس از آن، با داشتن نقشه توپوگرافی زیر حوضه حاوی 189 نقطه تعیین عمق خاک و مختصات آن‌ها و با استفاده از دستگاه GPS، محل‌های اندازه‌گیری عمق خاک در اراضی زراعی، تپه‌ها و کوه‌ها پیدا شده و اندازه‌گیری‌ها به مرور زمان انجام گردیدند. به منظور مشخص کردن عمق خاک از بیل و مته برای حفاری خاک استفاده گردید. حفر محل‌های نمونه‌برداری تا سنگ بستر و سایر افق‌های محدود کننده عمق و در اراضی زراعی تا عمق مؤثر خاک (شامل افق-های A، B و C) انجام شد. سپس به وسیله متر عمق خاک‌ها اندازه‌گیری و ثبت گردیدند. نقشه محل‌های اندازه‌گیری عمق خاک در شکل 2 ارائه شده است.

مدل رقومی ارتفاع

برای تعیین ویژگی‌های زمین در منطقه مورد مطالعه، از یک لایه (DEM) استفاده شده است که در اصل یک مدل ارتفاعی رقومی زمین است که موقعیت هندسی هر نقطه ارتفاعی را در فرمتی رستری ارائه می‌کند. برای تعیین ویژگی‌های اولیه و ثانویه زمین از لایه DEM با قدرت تفکیک 10 متر (تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور) استفاده گردید. ویژگی‌های اولیه شامل ارتفاع از سطح دریا¹(E)، درصد شیب²(S)، جهت

2. slope percent

3. aspect

4. profile curvature

5. plan curvature

6. total curvature

7. topography wetness index

8. compound topography index

9. stream power index

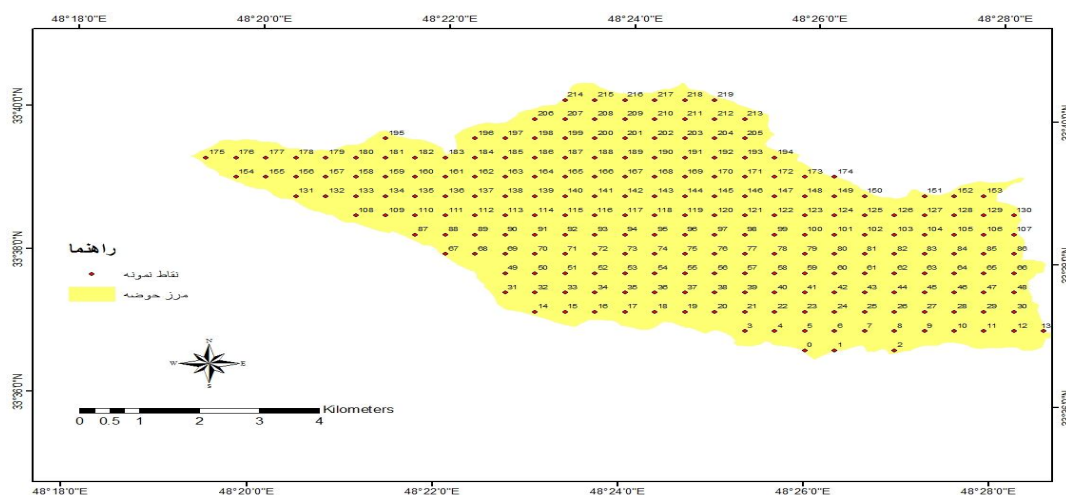
1. elevation

نتایج و بحث

آمار توصیفی متغیرها

آمار توصیفی مربوط به متغیر وابسته (عمق خاک) و متغیرهای مستقل (ویژگی‌های زمین) در جدول 2 آورده شده‌اند. عمق خاک از 10 تا 200 سانتی‌متر متغیر و میانگین آن 71/31 سانتی‌متر می‌باشد. ضریب تغییرات (cv) عمق خاک در زیر حوضه مورد مطالعه حدود 60 درصد است که نشان می‌دهد عمق خاک در زمین‌نماهای مختلف زیر حوضه تحت تاثیر عوامل متعدد، دارای تغییرات زیادی است.

نرم افزار SPSS محاسبه، همچنین تجزیه واریانس (ANOVA) مدل رگرسیونی عمق خاک انجام و خلاصه مدل شامل ضرایب همبستگی (R)، تبیین (R^2) و تنظیم شده (R^2_{adj}) با استفاده از همین نرم افزار تعیین گردیدند. شاخص‌های تشخیص وضعیت هم‌خطی متغیرهای مستقل مانند تحمل و تورم واریانس تعیین شدند. به منظور صحت‌سنجی مدل رگرسیونی به دست آمده برای عمق خاک، نمودار عمق خاک پیش بینی شده (با استفاده از مدل) در مقابل عمق خاک مشاهده شده (اندازه‌گیری شده) در کل 189 نقطه و همچنین در 40 نقطه (به صورت تصادفی) از زیر حوضه ترسیم گردید و معادله خط برازش داده شده و ضریب همبستگی آن به دست آمد.



شکل 2- موقعیت نقاط اندازه‌گیری عمق خاک در زیر حوضه ریمله

جدول 1- ویژگی‌های زمینی و تعاریف آن‌ها (مور و همکاران 1991، فلورینسکی و همکاران 2002)

ویژگی	علامت	نوع ویژگی	واحد	تعریف
ارتفاع از سطح دریا	E	اولیه	متر	ارتفاع هر نقطه نسبت به سطح آزاد دریا
درصد شیب	S	اولیه	درصد، درجه	حداکثر تغییر ارتفاع در یک سلول مدل رقومی ارتفاع
جهت شیب	AS	اولیه	درجه	جهت حداکثر تغییر ارتفاع در هر سلول مدل رقومی ارتفاع
انحنای طولی	PrC	اولیه	متر/متر	انحنای سطح زمین در جهت تندترین شیب که جریان آب و انتقال مواد را نشان می‌دهد.
انحنای عرضی	PIC	اولیه	متر/متر	انحنای سطح زمین عمود بر تندترین شیب. برآوردی از همگرایی یا واگرایی آب و مواد داخل آن
انحنای کل	TC	اولیه	متر/متر	انحنای سطح زمین صرف نظر از وضعیت شیب
شاخص خیزی پستی و بلندی یا شاخص پستی و بلندی مرکب	TWI (CTI)	ثانویه	-	نشان دهنده پراکنش مکانی رطوبت خاک در زمین نما $TWI (CTI) = \ln(AS/\tan\beta)$ (1)
شاخص توان جریان	SPI	ثانویه	-	بیانگر توان فرسایشی هرزآبها $SPI = \ln(AS.\tan\beta)$ (2)

شاخص رطوبت پستی و بلندی و شاخص توان جریان به ترتیب از روابط 1 و 2 (جدول 1) محاسبه گردیدند. در هر دو رابطه (1 و 2) AS مساحت ویژه زیر حوضه و β درجه شیب می‌باشد.

جدول 2- خلاصه آمار توصیفی عمق خاک و ویژگی‌های زمین در 189 نقطه زیر حوضه ریمله

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	دامنه	چولگی	کشیدگی
عمق خاک	سانتی‌متر	10	200	71/32	42/82	0/60	190	0/984	0/157
ارتفاع از سطح دریا	متر	1605/4	2664/38	1957/00	270/83	0/14	1058/98	0/869	-0/276
شیب	درصد	0/27	73/83	25/01	15/66	0/63	73/56	0/714	0/0
جهت شیب	درجه	2/47	356/25	200/65	91/23	0/45	353/78	-0/684	-0/342
انحنای طولی	متر/1	-0/78	0/76	0/0272	0/198	7/28	1/54	-0/583	3/284
انحنای عرضی	متر/1	-1/32	0/70	-0/0066	0/251	38/03	2/02	-1/141	4/920
انحنای کل	متر/1	-1/40	1/22	-0/0335	0/362	10/80	2/62	-0/505	2/060
شاخص خیزی	-	-6/38	13/94	1/5852	4/288	2/7	20/32	-0/227	0/061
پستی و بلندی	-	-	-	-	-	-	-	-	-
شاخص توان جریان	-	-12/51	6/17	-1/692	4/094	2/41	18/68	-0/821	-0/348

همبستگی منفی معنادار بین عمق سولوم خاک و ارتفاع از سطح دریا، گرادیان شیب، جهت و انحنای زمین گزارش شده است (فلورینسکی و همکاران 2002). آن‌ها همچنین بین عمق سولوم خاک و مساحت زیر حوضه و شاخص توان جریان همبستگی مثبت معنادار پیدا کردند.

در یک زمین نمای جنگلی در تایوان، ضخامت سولوم خاک با ارتفاع از سطح دریا همبستگی منفی غیر معنادار و با جهت شیب همبستگی مثبت غیر معنادار نشان داد. در حالی که با گرادیان شیب همبستگی منفی معنادار نشان داد (تسای و همکاران، 2001). عمق خاک با مساحت زیر حوضه، انحنای عرضی و شاخص خیزی همبستگی بالای مثبت معنادار و با شاخص توان جریان و شیب همبستگی بالای منفی معنادار نشان داد (محنت‌کش و همکاران، 2013).

تجزیه واریانس (ANOVA)¹ رگرسیون خطی چندگانه (MLR)²

نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندگانه برای رابطه عمق خاک و ویژگی‌های زمین در جدول 4 درج شده‌اند. از داده‌های این جدول می‌توان پی برد که رابطه رگرسیون خطی بین عمق خاک (متغیر وابسته) و متغیرهای مستقل درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا معتبر و بسیار معنادار می‌باشد.

مدل رگرسیونی عمق خاک - ویژگی‌های زمین نما داده‌های مربوط به مدل رگرسیونی ارائه شده برای پیش‌بینی عمق خاک در جدول 5 درج گردیده‌اند. با

گزارش گردیده که ضریب تغییرات عمق خاک از 45/93 تا 80/82 درصد متغیر می‌باشد (کوریاکوس و همکاران، 2009). ضریب تغییرات عمق خاک در منطقه کوهستانی کوه‌رنگ چهار محال و بختیاری 76 درصد گزارش گردیده است (محنت‌کش و همکاران، 2013). متوسط عمق خاک در زمین‌نمای اراضی کشاورزی 131/14، در زمین نمای تپه‌ها 84/78، در زمین‌نمای کوه‌ها 41/78 و در کل زیر حوضه ریمله 71/32 سانتی متر بود. مقادیر چولگی و کشیدگی متغیر وابسته عمق خاک نشان می‌دهند که توزیع فراوانی آن تقریباً متقارن و نرمال است.

همبستگی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل

در جدول 3 همبستگی بین متغیر وابسته (عمق خاک) و متغیرهای مستقل (ویژگی‌های زمین) آورده شده است. عمق خاک با شاخص خیزی پستی و بلندی و انحنای طولی همبستگی مثبت نشان داده که این همبستگی با شاخص خیزی پستی و بلندی معنادار (به احتمال 99 درصد) و با انحنای طولی معنادار نگردیده است. همبستگی عمق خاک با ویژگی‌های شاخص توان جریان، درصد شیب، انحنای عرضی، انحنای کل، ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب منفی بوده است که در مورد درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا معنادار (به احتمال 99 درصد) و در مورد سایر ویژگی‌ها معنادار نشده است. بیشترین همبستگی معنادار بین عمق خاک و درصد شیب ($r = -0/587$) و ارتفاع از سطح دریا ($r = -0/507$) بوده است. رابطه عمق خاک و ویژگی‌های زمین در تحقیقات قبلی هم مورد تایید قرار گرفته است. با افزایش شیب، عمق خاک و ضخامت افق A کاهش می‌یابد (مور و همکاران 1991، گسler و همکاران 2000، تامسون و همکاران، 2006).

¹ Analysis Of Variance

² Multiple Linear Regression

D عمق خاک بر حسب سانتی‌متر، S درصد شیب و E ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می‌باشد.

توجه به داده‌های این جدول، مدل پیش‌بینی عمق خاک بر اساس ویژگی‌های زمین‌نما به صورت زیر است:

مدل (1)

$$D = 184/99 - 1/208S - 0/043E \quad (R=0/629 \text{ و } R^2=0/396)$$

جدول 3- همبستگی بین متغیر وابسته (عمق خاک) و متغیرهای مستقل (ویژگی‌های زمین) در زیر حوضه ریمله

متغیرها	D	TWI	SPI	S	PrC	PIC	TC	E	AS
D	1								
TWI	0/229**	1							
SPI	-0/016 ^{ns}	0/922**	1						
S	-0/587**	-0/243**	0/103 ^{ns}	1					
PrC	0/083 ^{ns}	0/300**	0/312**	-0/036 ^{ns}	1				
PIC	-0/001 ^{ns}	-0/474**	-0/509**	-0/070 ^{ns}	-0/288**	1			
TC	-0/004 ^{ns}	-0/491**	-0/522**	-0/030 ^{ns}	-0/748**	0/851**	1		
E	-0/507**	-0/110 ^{ns}	0/087 ^{ns}	0/538**	-0/244**	-0/202**	-0/007 ^{ns}	1	
AS	-0/014 ^{ns}	0/078 ^{ns}	0/022 ^{ns}	-0/098 ^{ns}	-0/050 ^{ns}	-0/070 ^{ns}	-0/022 ^{ns}	0/29**	1

ns = غیر معنادار

** = بسیار معنادار

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی چندگانه برای پیش‌بینی عمق

خاک با استفاده از ویژگی‌های زمین

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معناداری
رگرسیون	137298/511	2	68649/256	61/002	0/001
باقی مانده	209316/541	186	1125/357		
کل	346615/053	188			

جدول 5- داده‌های مربوط به مدل رگرسیونی عمق خاک - ویژگی‌های زمین نما در زیرحوضه ریمله

اجزاء مدل	ضرائب	خطای استاندارد	t	سطح معناداری	تحمل واریانس	تورم واریانس (VIF)
ثابت	184/99	18/944	9/765	0/001	-	-
درصد شیب	-1/208	0/184	-6/552	0/001	0/710	1/408
ارتفاع از سطح دریا	-0/043	0/011	-4/000	0/001	0/710	1/408

دریا) بر عمق خاک آورده شده‌اند. شاخص‌های تحمل و تورم واریانس نشان می‌دهند که متغیرهای مستقل فاقد هم‌خطی هستند و لذا لحاظ کردن آن‌ها در رگرسیون چندگانه بلا اشکال است. جدای از معنادار نشدن تأثیر سایر ویژگی‌های زمین‌نما (بجز درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا) بر عمق خاک، بر اساس مقدار همبستگی جزئی شاخص خیزی پستی و بلندی، انحنای عرضی، انحنای کل، شاخص توان جریان، جهت شیب و انحنای طولی نیز به ترتیب بر عمق خاک تأثیرگذار بوده‌اند. رابطه معناداری بین عمق خاک و گرادیان شیب، انحنای عرضی و ضریب خیزی زمین گزارش شده است (وان والگهم و همکاران 2010).

در بوهیمیای جنوبی واقع در جمهوری چک گزارش گردیده، که ویژگی‌های جهت شیب، ارتفاع و میزان شیب در مدل رگرسیونی پیش‌بینی کننده عمق خاک دخیل هستند (پنیزک و بوروکا، 2006). در زیرحوضه‌های

ضرائب مدل بسیار معنادار و آماره‌های تحمل و تورم واریانس حاکی از آنند که بین متغیرهای مستقل (ویژگی‌های زمین‌نما) هم‌خطی وجود ندارد. ضریب همبستگی مدل (R) نشان می‌دهد که شدت وابستگی عمق خاک و دو ویژگی درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا 63 درصد است. ضریب تبیین (R²) مدل (0/396) بیانگر آن است که دو ویژگی مذکور حدود 40 درصد تغییرات عمق خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. سایر ویژگی‌های زمین‌نما هم البته اثرات مثبت یا منفی خود بر روی عمق خاک را دارند اما این اثرات در سطح 1 درصد یا 5 درصد معنادار نشده‌اند. رگرسیون خطی چندگانه (روش گام به گام) با بررسی رابطه همه ویژگی‌های زمین‌نما با عمق خاک، درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا را به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌ها وارد مدل پیش‌بینی کننده عمق خاک نموده است. در جدول 6، آماره‌های مربوط به اثرات سایر ویژگی‌های زمین‌نما (بجز درصد شیب و ارتفاع از سطح

ارائه داد که تنها وابسته به دو ویژگی پستی و بلندی یعنی درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا است (مدل 1 و جداول 5 و 6). چنین مدلی مورد پسند است زیرا مدل‌ها هر چه ساده‌تر باشند، کاربردی‌ترند و نیاز کاربران را ساده‌تر و سریع‌تر برآورده می‌کند. ضریب تبیین مدل نشان می‌دهد که $39/6$ درصد تغییرات عمق خاک در زیر حوضه ریمله از طریق مدل ارائه شده قابل توجیه و تبیین است (مدل 1). معادله حاکم بر رابطه عمق پیش‌بینی شده و عمق مشاهده برای همه نقاط نمونه‌برداری شده زیر حوضه و همچنین 40 نقطه تصادفی پراکنده در زیر حوضه نیز همبستگی حدود $0/65$ را نشان داد (شکل 3) که برای منظور و هدف این تحقیق رضایت‌بخش است. اگر مدل ارائه شده برای پیش‌بینی عمق خاک در زیر حوضه ریمله بتواند کلاس‌های عمق خاک را تا حدودی مشخص نماید، باز هم می‌تواند ارزش کاربردی و عملی برای مجریان و برنامه‌ریزان داشته باشد زیرا، برای بسیاری از اهداف و منظورهای آنان، مشخص شدن کلاس عمق خاک هم کفایت می‌کند. خوشبختانه مدل ارائه شده از داده‌های این تحقیق تا حدود زیادی، این منظور را برآورده می‌کند.

با توجه به جدول 8 متوجه می‌شویم که از نظر کلاس عمق خاک، 43 درصد پیش‌بینی‌ها همانند مشاهده شده‌ها است. یک کلاس تفاوت (بیشتر و یا کمتر) در عمق پیش‌بینی شده نسبت به عمق مشاهده شده نیز 47 درصد مشاهدات را شامل می‌شود. به این ترتیب در 90 درصد مشاهدات کلاس عمق پیش‌بینی شده برابر با کلاس عمق مشاهده شده و یا تنها یک کلاس تفاوت دارد و فقط در 10 درصد مشاهدات اختلاف کلاس عمق پیش‌بینی شده تفاوت بیشتری با کلاس عمق مشاهده شده دارد. این نتیجه می‌تواند رضایت‌بخش باشد گرچه، مطلوب نیست. قابلیت انتقال¹ یا قابلیت تعمیم مدل به دست آمده از این تحقیق، درون حوضه‌ای است و این قابلیت باید در حوضه‌های دیگر هم بررسی گردد. تکرار تحقیق در زیر حوضه‌های دیگر منطقه زاگرس میانی، به کارگیری مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک² بیشتر، افزایش تعداد نقاط نمونه‌گیری و تفکیک زمین‌نماها به واحدهای نسبتاً یکپارچه و ارائه مدل برای این واحدها، احتمالاً موجب افزایش اطمینان به روش مدل‌سازی روابط خاک- زمین‌نما خواهد شد.

کوچک مشخص شده است که ویژگی‌های پستی و بلندی دخیل در مدل رگرسیون، عمق خاک را با اختلاف 50 سانتی‌متر در 77 درصد از نقاط مشاهداتی پیش‌بینی می‌کنند (زیادت، 2005). در منطقه کوهستانی کوه‌رنگ چهارمحال و بختیاری مدل پیش‌بینی عمق خاک از طریق ویژگی‌های درصد شیب، شاخص خیزی، شاخص انتقال رسوب و مساحت زیر حوضه ارائه شده است که ضریب همبستگی تنظیم شده مدل برابر با $0/76$ بوده است (محنت‌کش و همکاران، 2013).

صحت‌سنجی مدل رگرسیونی عمق خاک- ویژگی‌های زمین‌نما

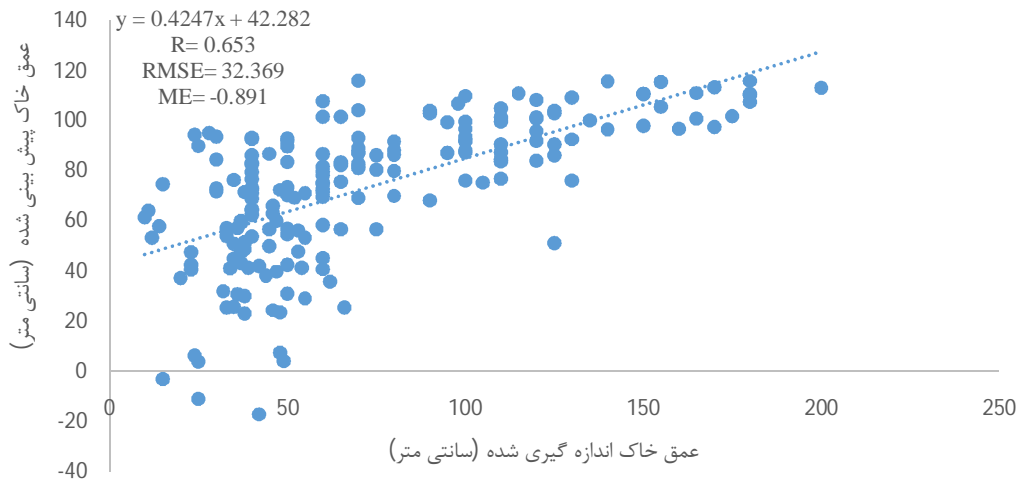
نمودار پراکندگی عمق پیش‌بینی شده خاک در برابر عمق مشاهده شده شامل کل داده‌ها در شکل 3 نشان داده شده است. رابطه این دو از معادله خط پیروی می‌کند. معادله خط برازش داده شده بر این رابطه $(R=0/653)$ x $y=42/28 + 0/42$ می‌باشد که در آن y عمق پیش‌بینی شده و x عمق مشاهده شده است. ضریب همبستگی عمق پیش‌بینی شده و مشاهده شده برابر با $0/653$ می‌باشد که نشان می‌دهد در سطح زیر حوضه ریمله به مساحت حدود 5 هزار هکتار و تغییرات زیاد عمق خاک و ویژگی‌های زمین‌نماها شدت همبستگی عمق خاک پیش‌بینی شده و مشاهده شده 65 درصد می‌باشد. نمودار پراکندگی داده‌های تست (مربوط به 40 نقطه از زیر حوضه به صورت تصادفی) نیز معادله‌ای کاملاً شبیه کل داده‌ها با همان ضریب همبستگی ارائه می‌دهد. قابلیت انتقال مدل پیش‌بینی کننده عمق خاک در درون زیر حوضه ریمله به استناد ضریب تبیین $(R^2=0/426)$ داده‌های تست و کل داده‌ها حدود 42 درصد است. این بدان مفهوم است که حداقل مشابهت اعماق پیش‌بینی شده و اعماق مشاهده شده 42 درصد است. وضعیت پیش‌بینی کلاس‌های عمق خاک در زیر حوضه مورد مطالعه توسط مدل ارائه شده و بر اساس طبقه‌بندی عمق خاک اراضی ایران (جدول 7) که توسط ماهلر (1979) انجام گرفته است نیز در جدول 8 ارائه شده است. بر اساس داده‌های این جدول در 43 درصد نقاط اندازه‌گیری عمق خاک کلاس پیش‌بینی شده همان کلاس مشاهده شده و در 47 درصد نقاط تنها یک کلاس اختلاف (کمتر یا بیشتر) بین این دو وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، رگرسیون خطی چندگانه (روش گام به گام) علی‌رغم تأثیر همه ویژگی‌های پستی و بلندی (ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، جهت شیب، انحنای طولی، انحنای عرضی، انحنای کل، شاخص خیزی پستی و بلندی و شاخص توان جریان) بر عمق خاک، مدلی

¹ transportability

² resolution



شکل 3- نمودار پراکندگی عمق پیش‌بینی شده خاک در برابر عمق مشاهده شده در زیر حوضه ریمله

جدول 6- آماره‌های مربوط به اثرات سایر ویژگی‌های زمین‌نما بر عمق خاک در زیر حوضه ریمله

ویژگی‌های زمین‌نما	ضریب ویژگی	آماره t	سطح معناداری	همبستگی جزئی	تحمل واریانس	تورم واریانس (VIF)
شاخص خیزی پستی و بلندی	0/098	1/685	0/094	0/123	0/940	1/063
شاخص توان جریان	0/053	0/927	0/355	0/068	0/988	1/012
انحنای طولی	0/001	0/024	0/981	0/002	0/928	1/078
انحنای عرضی	-0/090	-1/554	0/122	-0/113	0/957	1/045
انحنای کل	-0/061	-1/078	0/282	-0/079	0/999	1/001
جهت شیب	0/027	0/433	0/665	0/032	0/819	1/221

جدول 7- طبقه‌بندی عمق خاک برای اراضی ایران (ماهله، 1979)

عمق خاک (cm)	کلاس عمق خاک
<10	-
10-25	خیلی کم عمق
25-50	کم عمق
50-80	نسبتاً عمیق
80-10	عمیق
>120	خیلی عمیق

جدول 8- وضعیت پیش‌بینی کلاس عمق خاک‌های زیر حوضه ریمله توسط مدل ارائه شده

وضعیت	تعداد مشاهده	درصد از کل مشاهدات
کلاس پیش‌بینی شده مطابق با کلاس مشاهده شده	81	43
کلاس پیش‌بینی شده یک کلاس بیشتر از کلاس مشاهده شده	45	24
کلاس پیش‌بینی شده یک کلاس کمتر از کلاس مشاهده شده	44	23
کلاس پیش‌بینی شده دو کلاس بیشتر از کلاس مشاهده شده	11	6
کلاس پیش‌بینی شده دو کلاس کمتر از کلاس مشاهده شده	6	3
کلاس پیش‌بینی شده سه کلاس بیشتر از کلاس مشاهده شده	2	1
جمع	189	100

فهرست منابع:

1. بنایی، محمدحسن. 1356. نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران.
2. محنت‌کش، عبدالمجید. 1391. مدل‌سازی خاک - زمین‌نما و پیش‌بینی تولید گندم به کمک مدل‌های مختلف در مناطقی از زاگرس مرکزی. رساله دکتری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
3. Boer, M., Del Barrio, G., and J. Puigdefabregas. 1996. Mapping of soil depth in dry mediterranean area using terrain attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 72:99-118.
4. Brubaker, S.C., Jones, A.J., Lewis, D.T., and k. Frank. 1993. Soil properties associated with landscape position. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 57: 235-239.
5. Carter, B.J., and E.J. ciokosz. 1991. Slope gradient and aspect effects on soil developed from sandstone in Pennsylvania. *Geoderma* 49:199-213.
6. Daniels, R.B., Gilliam, J.W., Cassel, D.K., and L.A. Nelson. 1985. Soil erosion class and landscape position in the North Carolina piedmont. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 49: 991-995.
7. Florinsky, I.V., Eilers, R.G., Manning, G.R., and L.G. Fuller. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environmental Modeling and Software* 17:295-311.
8. Gessler, P.E., Moore, I.D., Mckenzie, N.J., and P.J. Ryan. 1995 (Published on line 2007). *Int. J. Geographical Information*. Vol. 9. No. 4: 421-432.
9. Gessler, P.E., Chadwick, O.A., and K. Holmes. 2000. Modeling soil- landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*64:2046-2056.
10. Jenny, H. 1941. Factors of soil formation: A system of quantitative pedology. McGraw Hill, New York.
11. Kreznor, W.R., Olson, K.R., Banwart, W.L., and D.L. Johnson. 1989. Soil landscape and erosion relationships in a northwest Illinois WaterShed. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 53:1763-1771.
12. Kuriakose, S.L., Devkota, S., and D.G. Rossiter. 2009. Prediction of soil depth using environmental variables in an anthropogenic landscape, a case study in the western Ghats of Kerala India. *Catena* 79:27-38.
13. Mahler, P.J. 1979. Manual of land classification for irrigation. SWRI.pub.NO.205.
14. Mcsweeney, K., Gessler, P.E., Slater, B., Hammer, D., Bell, J., and G.W. Petersen. 1994. Towards a new framework for modeling the soil- landscape continuum. P. 127-145. In R. Amundson and J.W. Harden (e.d.). Factors of soil formation: A fiftieth anniversary retrospective, SSSA Spee. Publ.33.SSSA, Madison, WI.
15. Mehnatkesh, A.M., Ayoubi, Sh., Jalalian, A., And K.L. Sahrawat. 2013. Relationships between depth and terrain attributes in a semiarid hilly region in western Iran. *J. Mt. Sci* (2013) .10:163-172.
16. Minasny, B., and A.B. Mcbrantney. 1999. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development. *Geoderma* 90:3-21.
17. Moore, I.D., Ladson, A.R., and R. Grayson. 1991. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydro Processes* 5: 3-30.
18. Moore, I.D., Gessler, P.E., and G.A. Neilson. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 57: 443-452.
19. Penizek, V., and L. Boruk. 2006. Soil depth prediction supported by primary terrain attributes: A comparison of methods. *Journal of Hydrology* 202:158-172.
20. Saulnier, G.M., Beven, K., and C. Obled. 1997. Including spatially variable effective soil depth in TOPMODEL. *Journal of Hydrology* 202:158-172.
21. Thompson, J.A., Pena- Yewtukhiw, E.M., and J.H. Grove. 2006. Soil-landscape modeling across a physiographic region: Topographic pattern and model transportability. *Geoderma* 133:57-70.

22. Tsai, C.C., Chen, Z.S., and C.T. Duh. 2001. Prediction of soil depth using soil landscape regression model: A case study on forest soils in southern Taiwan. National Science Council of the republic of China, Part B: Life Sciences 25:34-39.
23. Van Walleggem, T., Poesen, J., and A. Mcbranty. 2010. Spatial variability of soil horizon depth in natural loess- derived soils. *Geoderma* 157:37-45.
24. Walker, P.H., Hall, G.F., and R. Protz. 1968. Relation between landform parameters and soil parameters. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 32: 101-104.
25. Ziadat, F.M. 2005, Analyzing digital terrain attributes to predict soil attributes for a relatively large area. *Soil Science. Soc. Am. J.* 69:1590-1598

Modeling Soil Depth and Topographic Attributes Relationship for Predicting Soil Depth in Rimeleh Catchment, Lorestan Province

M. Sepahvand¹, F. Khormali, F. Kiani, and K. Eftekhari

PhD Student, Soil Sciences Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; and Scientific Staff of Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization;

E-mail: Sepah1384@yahoo.com

Professor of Soil Sciences Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; E-mail: khormali@yahoo.com

Assistant Professor., Soil Sciences Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; E-mail: kianifarshad@gmail.com

Assistant Professor f., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization; E-mail: keftekhari@swri.ir

Received: January, 2017 and Accepted: July, 2017

Abstract

Determination of soil depth and its variations is possible through soil survey and drilling. This requires budget, time, and skilled personnel. Soil – landscape relationships approach makes it possible to develop the soil depth predictor model from topographic attributes by using multiple linear regression statistic method. In this research, primary and secondary topographic attributes of the Rimeleh catchment were derived from a Digital Elevation Model (DEM). Soil depth was determined at 189 systematically randomized positions of the catchment by soil drilling. Data of soil depth and topographic attributes were analyzed using SPSS 19 software. Results showed that the soil depth predicted by the model had significant negative correlation ($P < 0.01$) with slope gradient and elevation. The correlation coefficient of the model was 0.63. The fitted line to the scattered plot of observed soil depths and predicted soil depths had also a correlation coefficient of 0.65. Other topographic attributes affected the soil depth but their effects were not significant statistically. So, they were not included in the model.

Keywords: Digital Elevation Model, Landscape, Middle Zagros, Slope gradient

¹. Corresponding author: Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Keshavarzi avenue, Khorramabad- Po. Code: 68158- 65896- Po. Box: 348- Fax: 06633302202.