پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷
صص. ۱۲۳-۱۰۵

تحلیل ژئومورفولوژیک تشکیل و تکامل خاک (مطالعه موردی: شهرستان جغتای)

زهرا فاتحی- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه حکیم سبزواری
لیلاگلی مختاری*- استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری
شهرام بهرامی- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۰۳/۱۶

چکیده

تنوع خاک‌های موجود در سطح زمین، نتیجه عکس العمل عوامل پنج گانه خاکسازی می‌باشد و شدت و ضعف هر یک از این عوامل یعنی آب و هوا، موجودات زنده، مواد مادری، پستی بلندی و زمان سبب تشکیل خاکهای متفاوت با خصوصیات و افق‌های مختلف می‌گرد. پژوهش حاضر در پی بررسی تشکیل خاک در روی سطوح مختلف ژئومورفیک و تکامل آن در منطقه می‌باشد. برای دستیابی به این هدف اقدام به برداشت ۲۶ نمونه خاک از بخشهای مختلف دامنه بر طبق مدل ۹ واحدی کاتنا گردید. برای تعیین بافت و ویژگیهای خاک آزمایشات هیدرومتری و گرانولومتری روی نمونه‌های برداشت شده صورت گرفت و نتایج نشان داد که در هر بخش از ناهمواری نوع خاک متفاوتی تشکیل می شود و این خاکها از نظر بافت کاملا متمایزند. همچنین با اندازه گیری عمق خاک در واحدهای مختلف ژئومورفیک تغییرات عمق نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده بخوبی نقش عوامل توپوگرافی ژئومورفولوژی و نیز هیدرولوژی را در تشکیل و تکامل خاک منطقه نشان داد. به منظور تعیین نقش عوامل مختلف خاکزا در تشکیل خاک منطقه از تحلیل رگرسیون حداقل مربعات جزئی استفاده شد. مدل تهیه شده حاصل از تحلیل رگرسیون حداقل مربعات جزئی، پس از اثبات برازش مناسب مدل، نشان داد که مهمترین عاملی که در تشکیل خاک منطقه نقش داشته عامل شیب بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می رسد در نظر گرفتن ابعاد چندگانه و پیچیده اثراتی که هر یک از گروههای مربوط به عوامل موثر در تشکیل خاک دارند و مدلسازی برهم کنشهای احتمالی آنها می تواند راهگشای بسیاری از مسائل موجود در رابطه با فرسایش و تنزل کیفیت و کمیت خاکها در سطح کشور باشد.

واژگان کلیدی: تکامل خاک، تشکیل خاک، لندفرمهای ژئومورفولوژیکی، تحلیل PLS، شهرستان جغتای.

* نویسنده مسئول: E-mail : l.mokhtari@hsu.ac.ir

مقدمه

خاک به عنوان یکی از مهمترین عناصر تشکیل‌دهنده جهان هستی، بستر تولید، امنیت غذایی و خودکفایی کشورها به شمار می‌آید و نقش کلیدی در بقای حیات ایفا می‌کند طوریکه در غیاب آن بسیاری از صنایع و فعالیتها بویژه کشاورزی وجود نخواهد داشت و این امر اهمیت مطالعات مربوط به خاک را نمایان می سازد. خاک توده طبیعی متشکل از مواد معدنی، آلی و موجودات زنده، همچنین دربرگیرنده هوا و آب است که در اثر فعالیت فرایندهای مختلف شیمیایی، فیزیکی و زیستی پدید می‌آید و به لحاظ نوع سنگ مادر و نحوه فعالیت فرایندها و همچنین تاثیر عوامل متعدد بیرونی و داخلی، نوع و ویژگی‌های آن متفاوت است (برزگر، ۱۳۸۰، ۵۴). به طور کلی تنوع خاک‌های موجود در سطح زمین، نتیجه عکس العمل عوامل پنج گانه خاکسازی می‌باشد. شدت و ضعف هر یک از این عوامل یعنی آب و هوا، موجودات زنده، مواد مادری، پستی بلندی و زمان سبب تشکیل خاکهای متفاوت با خصوصیات و افق‌های مختلف می‌گردد (جنی، ۱۹۴۱به نقل از نظری، ۱۳۸۴، ۴۰). بنابراین عوامل خاکساز در تشکیل و تکامل خاک نقش اساسی ایفا می‌کنند و بر حسب آنکه کدامیک از آنها حاکمیت بیشتری داشته باشند روند تکاملی خاک را در مسیری اختصاصی پیش خواهند برد (حق نیا، ۱۳۷۵). محل تشکیل خاک، ویژگیها و شدت و ضعف عوامل تاثیرگذار همچنین سرعت تشکیل و تحول خاک را تعیین می‌کند. به علاوه فرسایش و زمان نقش مهمی را در خاکزایی و تنوع خاک بازی می‌کنند و چشم اندازهای خاکی پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند که منجر به تشکیل خاکهای تیپیک می شود (گراچوا[۱]، ۲۰۱۱ : ۲۳۰). نقش پوشش گیاهی نیز در این رابطه غیرقابل انکار است طوریکه مناطق بدون گیاه، دامنه‌های بدون خاک دارند و گیاهان می توانند ضخامت خاک را در دامنه‌ها کنترل کنند بنابراین پارامتر سازی کمی عوامل خاکزا در مدل سازی‌های فرایندی دامنه ها باید یک اولویت در پروژه‌های مربوط به تشکیل خاک باشد (آموندسن[۲] و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۲۲ و کوکو[۳] و همکاران، ۲۰۱۵، ۴۵). با توجه به نقش و اهمیت خاک در زندگی انسان و همچنین عواملی که در دهه های اخیر سبب اختلال در سیستم خاک یا تنزل کیفیت خاک شده اند از جمله فرسایش به نظر می رسد مطالعات مربوط به تشکیل خاک و شناسایی مناطق مستعد تشکیل خاک و مناطق آسیب پذیر از این نظر می تواند گام مهمی در جهت حفظ این میراث حیاتی باشد و بهمین دلیل در رابطه با تشکیل خاک مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان صورت گرفته و همین امر سبب پیشرفت در علوم مرتبط با خاک شده است. ازجمله نتایج بدست آمده از این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در مطالعه رابطه بین تراسها و تشکیل خاک مشخص شده است که از تراس های جوان به طرف تراس های قدیمی فراوانی گروه های بزرگ و زیرگروه ها افزایش یافته و با افزایش مساحت، تنوع خاک بیشتر می شود. همچنین تنوع ژنتیکی خاک با افزایش سن سطوح ژئومورفیک نیز افزایش می یابد (سالدانا[۴]، ۲۰۰۴، ۱۲۳). توپوگرافی و پستی و بلندی از مهمترین عوامل خاکساز می‌باشند که به علت تاثیر بر روابط رطوبتی خاک، شدت جابجایی مواد در اثر شیب، تغذیه گیاهان و پوشش گیاهی، ارتفاع و وضعیت شیب نسبت به نور آفتاب، اختلاف مواد معدنی، عمق آب زیرزمینی، شرایط جریان آب سطحی و توزیع کانی‌های رسی و عناصر غذایی بر پیشرفت خاکسازی و تغییرات در خاک و ضخامت آن اثر می‌گذارد (فرپور و همکاران ۱۳۸۲، ۷۱ ، جعفری و نادیان ۱۳۹۳، ۱۵۲). همچنین در رابطه با اثر بخشهای مختلف دامنه بر تشکیل خاک مشخص شده است که در پای شیب برخی ویژگیها شامل واکنش خاک، جرم مخصوص ظاهری و سدیم تبادلی بیشترین مقدار است و خصوصیات خاک در موقعیت‌های مختلف شیب با یکدیگر تفاوت دارد که نشاندهنده نقش

---

[۱] Gracheva

[۲] Amundson

[۳] Cocco

[۴] Saldana

موقعیت شیب در کنترل وقوع فرایندهای خاکسازی است (برنان و همکاران، ۲۰۱۲؛ رمضان‌پور و کلباسی زاده، ۳۸۷:۱۳۹۲). همچنین در قسمت پایین دامنه نسبت به بالادست مقدار شن بیشتر و مقدار سیلت کمتر می‌باشد (موگز و هولدن[۱]، ۲۰۰۸، ۷۶۵) و نیز شن، سیلت، اسیدیته، کربنات کلسیم، کلسیم و منیزیم قابل تبادل در پایین دامنه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نقش جهت دامنه در نواحی خشک بسیار بیشتر از نواحی مرطوب است (بروباکر[۲]، ۱۹۹۳، ۲۳۵). در شیبهای رو به شمال به دلیل اینکه دما پایین‌تر و تبخیر و تعرق کمتر و در نتیجه رطوبت بالاتر است نسبت به شیبهای رو به جنوب ضخامت خاک بیشتر و دارای تکامل بهتری می‌باشد (اگلی[۳] و همکاران، ۲۰۰۶، ۳۰۷ و بگام[۴] و همکاران، ۲۰۱۰، ۴۳۷). بسیاری از مفاهیم جدید در رابطه با تشکیل خاک از مطالعات سطوح و فرایندهای ژئومورفولوژیک منشأ گرفته اند. در مطالعات انجام شده مشخص شده است که شاخص غنا در سطح رده از پدیمنت سنگی تا دشت آبرفتی افزایش یافته و در سطح زیررده، دشت آبرفتی با چهار نوع زیررده غنی ترین واحد ژئومرفیک است (عباسی کلو و همکاران، ۱۳۹۳، ۶۵). در پدیمنت و دشت سیلابی خاک متکامل است و آهک در هر دو لندفرم عمدتاً از نوع خاک‌ساختی است ولی آهک موروثی در خاکرخ‌های پدیمنت بیشتر از دشت‌سیلابی بوده و از بالا به پایین و با افزایش عمق نیز بر مقدار آنها افزوده شده و همچنین در لندفرم پدیمنت بر خلاف دشت‌سیلابی، میزان قابلیت هدایت الکتریکی از سطح خاکرخ به طرف عمق، کاهش یافته و در هر دو لندفرم ازسطح به عمق خاکرخ، مقادیر واکنش افزایش و کربن آلی کاهش می‌یابد. به این ترتیب تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار کربن آلی در افق‌های خاکرخ‌های دشت‌سیلابی در مقایسه با پدیمنت بیشتر بوده است (وحیدی و همکاران ۱۳۹۰، ۶۵). با توجه به اینکه امروزه یکی از مهمترین چالش‌های کشور مسأله‌ی فرسایش خاک است و در مقیاس جهانی نیز بر اساس اطلاعات آماری حدود یک سوم خاک خاصلخیز دنیا از بین رفته است، مطالعات مربوط به تشکیل و تکامل خاک از دیدگاه‌های مختلف یکی از ضرورت‌های تحقیقاتی می‌باشد.

تعیین دقیق ویژگیهای ژئومورفولوژیک و توپوگرافیک منطقه کمک می کند تا فرایندهای فعال در خاک محدوده مورد مطالعه برای ما آشکار شود و این امر پیش بینی نوع و میزان خاک ایجاد شده در هر لندفرم را تا حد زیادی امکانپذیر می سازد. این تحقیق با هدف بررسی اثر ژئومورفولوژی بر نرخ و فرایندهای خاکزایی در محدوده شهرستان جغتای، رهیافتی یکپارچه شامل اطلاعات خاک (از جمله عمق، بافت و ....) و داده‌های لیتولوژیک و ژئومورفولوژیک را بکار می‌برد و نتایج حاصل از آن چشم انداز جدیدی در مطالعات مربوط به تشکیل و تکامل خاک از نظر ژئومورفولوژی خواهد گشود.

موقعیت و ویژگی‌های محیطی منطقه

شهرستان جغتای در شمال شرق کشور و در غرب استان خراسان رضوی و شمال غرب شهرستان سبزوار واقع است (شکل۱) که در محدوده‌ی طول جغرافیایی″۳۳ °۵۶ تا ′۱۸ °۵۷ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۵ ′۲۵ °۳۶ تا ″۱۵ ′۵۲ °۳۶ شمالی قرار دارد و مساحت آن ۱۶۸۰,۴۴ کیلومتر مربع است. بیشترین مساحت شهرستان را آبرفتهای کواترنر و سپس کرتاسه و ائوسن در برگرفته است. آب و هوای آن برطبق اقلیم نمای دومارتن در منطقه‌ی خشک و در اقلیم نمای آمبرژه در منطقه‌ی خشک سرد قرار دارد. ویژگی‌های ژئومورفیک، منطقه در دو واحد کوهستان و دشت مورد

---

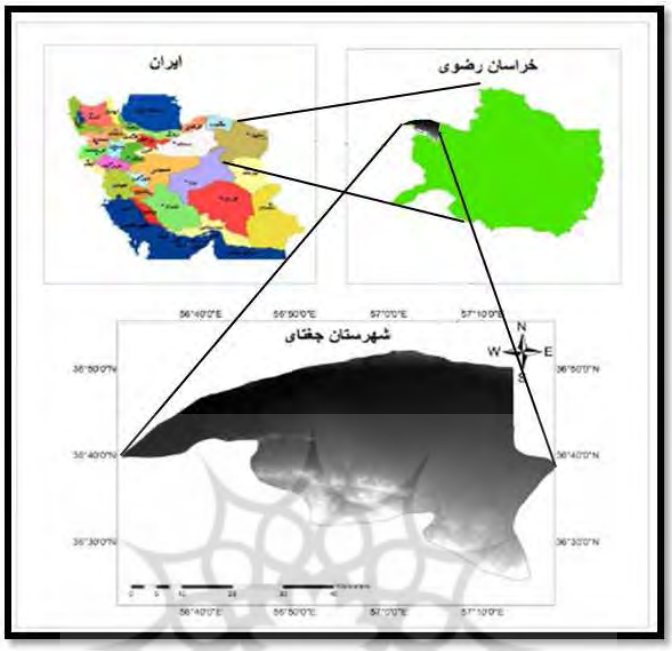
[۱] Moges and Holden

[۲] Brubaker

[۳] Egli

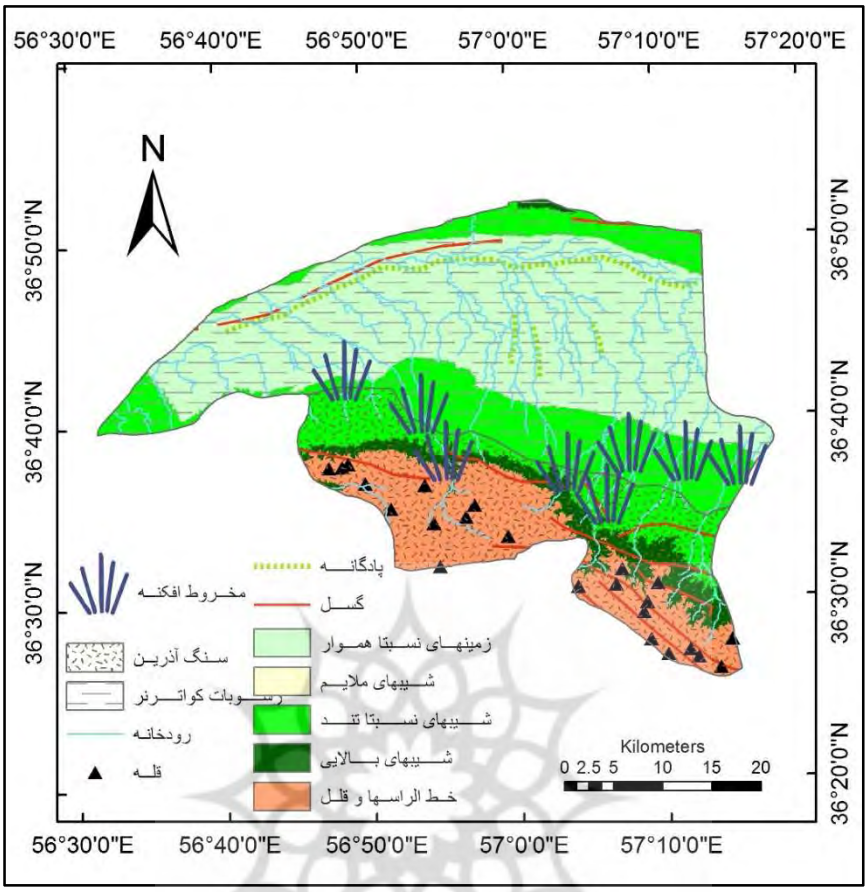
[۴] Begum

مطالعه قرار گرفته است که در واحد کوهستان عوارض قله، دامنه محدب ، دامنه مقعر ، دره U شکل و دره V شکل و واحد دشت به دو واحد کوچکتر دشت‌سر و دشت اصلی تقسیم بندی شد که عوارض ژئومورفیک مخروط افکنه، پادگانه آبرفتی، محدوده فرسایش شیاری و گالی شناسایی گردید (شکل ۲).



شکل۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲: نقشه ژئومورفولوژی شهرستان (منبع: نویسندگان)

روش شناسی تحقیق

در این تحقیق برای به‌دست آوردن اطلاعات پایه شهرستان نقشه‌های توپوگرافی و زمین شناسی از سازمان نقشه برداری و زمین‌شناسی کشور تهیه شد. سپس برای استخراج داده‌های مورد نیاز از نقشه‌ی توپوگرافی با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) ابتدا ۹ شیت نقشه توپوگرافی۱,۵۰۰۰۰ پوشش دهنده ی شهرستان ژئورفرنس شد. همچنین از نقشه ارتفاعی (DEM) شهرستان استفاده گردید و آبراهه های محدوده با استفاده از الحاقیه آرک هیدرو استخراج شد. سپس نقشه‌ی شیب و جهت شیب تهیه گردید و میزان شیب و انحنای پروفیل و انحنای پلن محاسبه شد. پس از تهیه نقشه های مربوط به ویژگیهای محدوده مورد مطالعه و انطباق آنها با هم نقاط شاخص برای نمونه برداری مشخص گردید (شکل ۳).

شکل ۳: تصویر نقاط نمونه‌برداری در گوگل ارث (منبع: نویسندگان)

در انتخاب نقاط نمونه برداری سعی بر این بود که این نقاط، شاخص ویژگیهای مورد مطالعه باشند. بطوریکه قابلیت تعمیم به نقاط مشابه را نیز داشته باشند. این نقاط در ارتفاعات مختلف، شیبهای متفاوت، انحناء کلی، انحناء پلن و انحناء پروفیل های مشخص، ویژگیهای زمین شناسی مورد نظر و واحدهای متفاوت ژئومورفولوژیک انتخاب شدند. سپس برای آشنایی بیشتر با محدوده مورد مطالعه و بررسی صحت و درستی اطلاعات استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع و نقشه ها و تصاویر گوگل ارث همچنین لندفرم‌های شناسایی شده، محدوده مورد مطالعه مورد بازدید میدانی قرار گرفت و نقاط منتخب جهت نمونه برداری مجددا بر روی زمین مورد بررسی قرار گرفت و محل برخی نقاط جابجا شد به این منظور که در محل نمونه برداری حتی الامکان خاک ویژگیهای طبیعی خود را حفظ کرده باشد. در برداشت نقاط عمیق ابتدا از سطح سپس عمق ۵۰ سانتیمتری و نیز ۱۰۰ سانتیمتری و بعد ۱۵۰ سانتیمتری و در نهایت در عمق۲۰۰ سانتیمتری خاک برداشت شده پس از آن درصد رطوبت آن محاسبه شد (شکلهای ۴ و ۵). پس از آن نمونه‌های تهیه شده برای تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری و تعیین دانه بندی (گرانولومتری) به آزمایشگاه منتقل شدند.

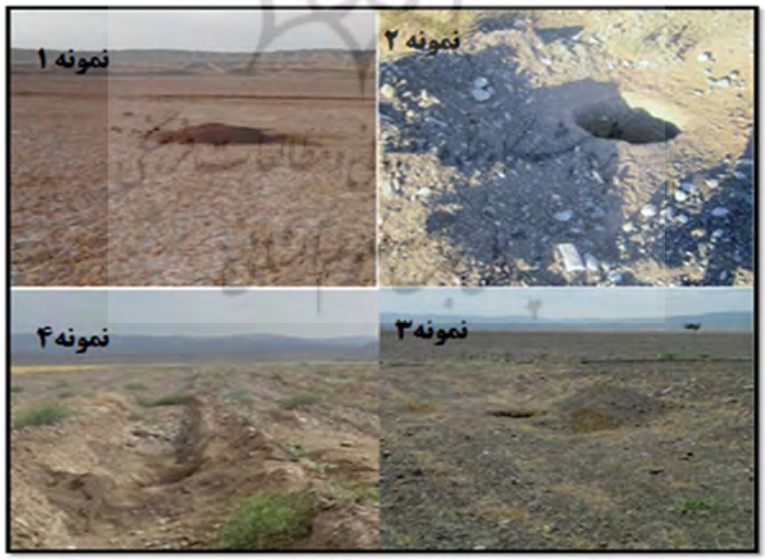
بخش دوم کار شامل تهیه مدلی برای بررسی نقش مهمترین عوامل موثر در تشکیل و تکامل خاک بود. به عبارت دیگر در این بخش تلاش شد که مشخص شود از بین متغیرهای انتخابی کدامیک بیشترین نقش را در تشکیل و تکامل خاک داشته اند. برای ایجاد مدل و تحلیل آن از روش حداقل مربعات جزئی[۱](PLS) استفاده شد. روش حداقل مربعات جزئی زیرمجموعه ای از مدلهای معادلات ساختاری[۲](SEM) است که مجموعه ای از معادلات رگرسیون را به طور همزمان مورد آزمون قرار می‌دهد و در آن الگوهای فرضی از ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم در میان یک مجموعه از متغیرهای مشاهده شده و پنهان بررسی می شود. حداقل مربعات جزئی هم برای رگرسیون تک متغیری و هم چند متغیری و با چند متغیر وابسته کاربرد دارد و برای بررسی ارتباط بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل، PLS متغیرهای تبیینی یا مستقل جدیدی ایجاد می کند که غالبا عامل یا متغیر مکنون (پنهان) یا سازه نامیده می شوند. این مؤلفه ها ترکیب خطی از نشانگرها (شاخصها)ی خود هستند. که با هدف بهینه سازی تبیین واریانس در سازه های وابسته مدل های

[۱] Partial Least Square Regression

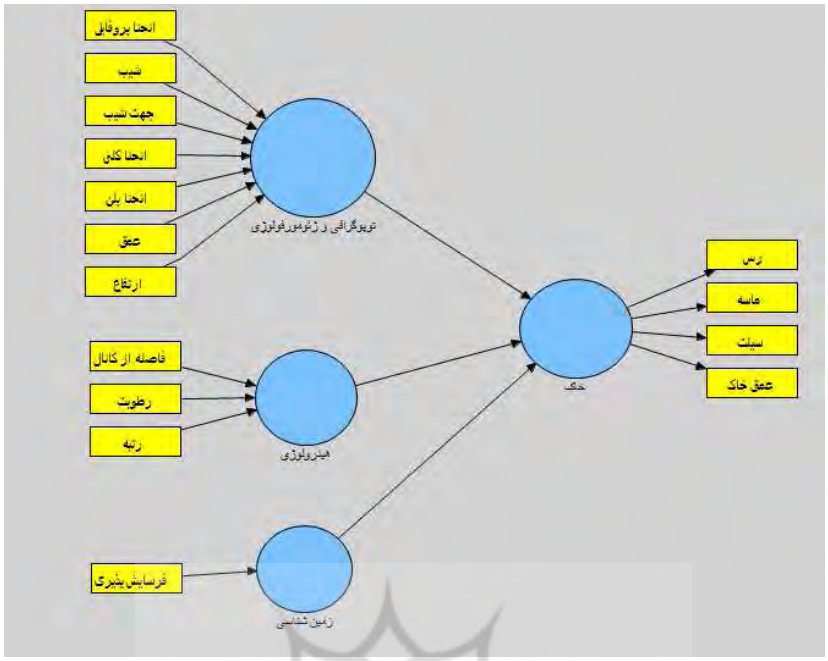
[۲] structural equation modeling

معادله ساختاری و برای مقابله با داده های خاص مانند داده ها با حجم نمونه اندک، داده های دارای مقادیر گمشده و همچنین هنگامی که بین متغیرهای مستقل هم خطی وجود دارد، طراحی شده است (سید عباس زاده و همکاران،۱۳۹۰). طراحی مدل PLS و خروجیهای آن در محیط نرم افزار Smart PLS انجام گرفت (شکل ۶).

شکل۴: نمای کلی از نقاط نمونه برداری سطحی (منبع: نویسندگان)



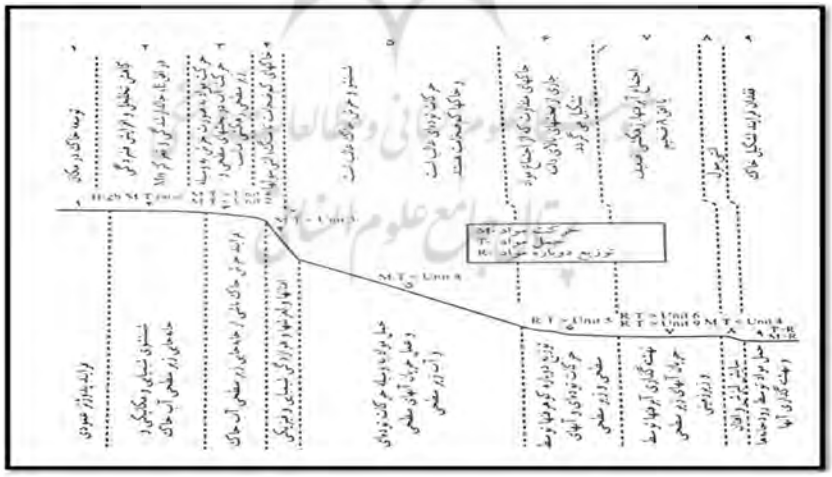
شکل۵: نقاط نمونه برداری شده به صورت عمقی (منبع: نویسندگان)



شکل ۶: ساختار مدل طراحی شده در نرم افزار Smart PLS (منبع: **نویسندگان**)

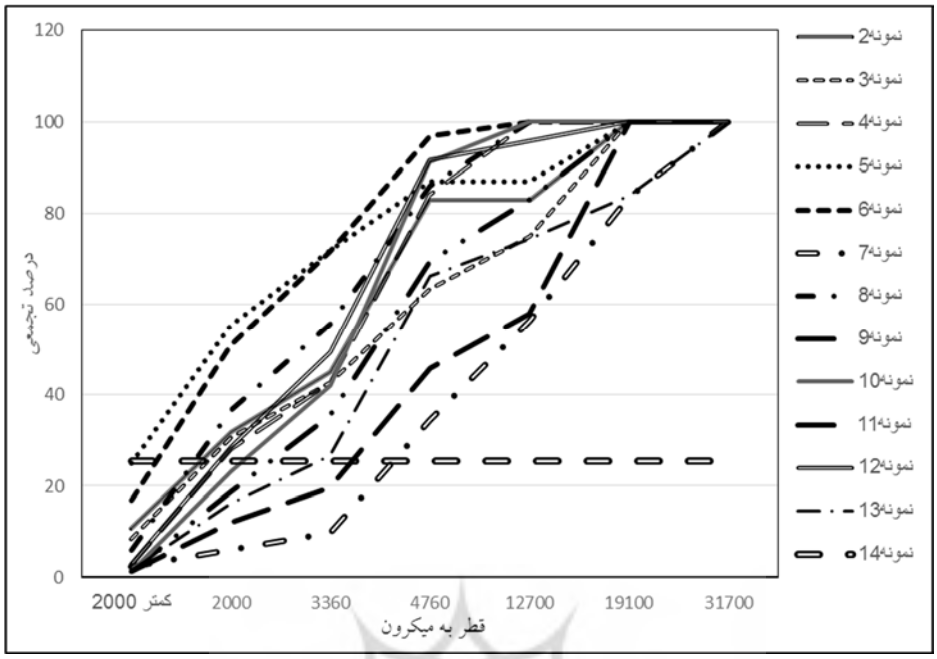
یافته ها و بحث

با استفاده از مدل ۹ واحدی چشم انداز (شکل ۷) ۷ واحد در محدوده مورد مطالعه با استفاده از پروفیل منطقه تشخیص داده شد و نمونه هایی از خاک در هر واحد تهیه گردید.

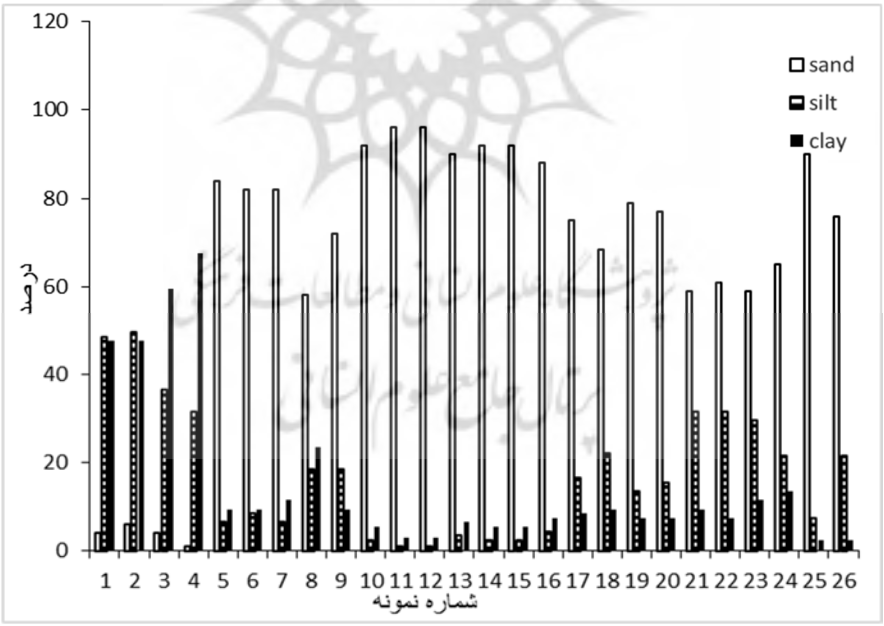


شکل ۷: مدل ۹ واحدی چشم‌انداز (منبع: بیاتی خطیب ۱۳۹۳)

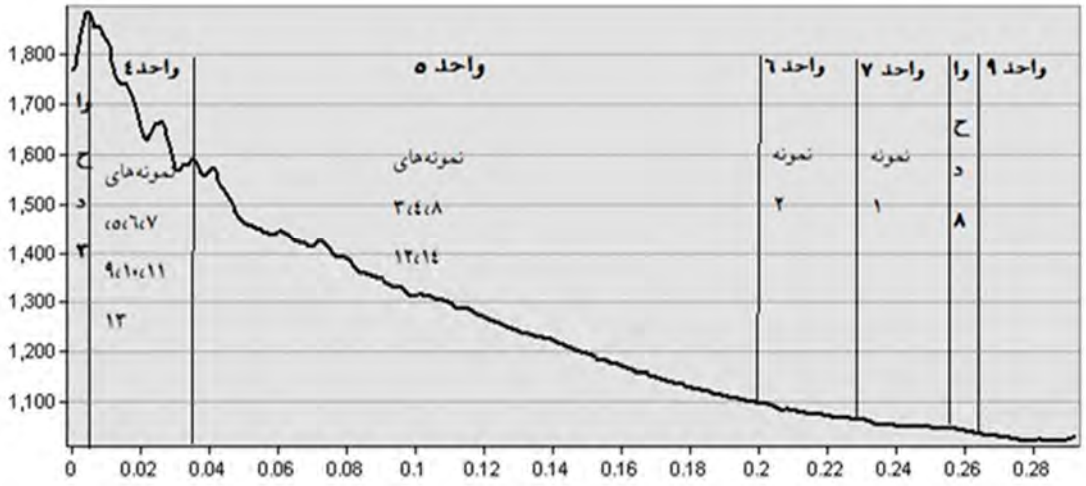
برای تعیین قطر ذرات و شناسایی نسبت تراکم آنها آزمایش گرانولومتری صورت گرفت که نتایج آن به صورت نمودار در شکل ۸ نشان داده شد و برای تعیین بافت خاک آزمایش هیدرومتری انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۹ و جدول ۱ ارائه شده است.



شکل۸: منحنی گرانولومتری نمونه‌ها (منبع: نویسندگان)



شکل۹ : نمودار درصد ذرات در بافت خاک (منبع: نویسندگان)



شکل ۱۰ : پروفیل منطقه‌ی مورد مطالعه که واحدهای مطالعاتی و تعداد نمونه های تهیه شده از هر واحد را نمایش می دهد (منبع: نویسندگان)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱: نتایج حاصل از آزمایش هیدرومتری بر روی نمونه خاکها

شماره نمونه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق به سانتی متر	بافت خاک	درصد ماسه	درصد لای	درصد رس
نمونه ۱	″۵۸,۴ ′۴۷ °۳۶	″۵۶,۱ ′۱۰ °۵۷	۵۰	Si-c	۴	۴۸,۵	۴۷,۵
			۱۰۰	Si-c	۶	۴۹,۵	۴۷,۵
			۱۵۰	C	۴	۳۶,۵	۵۹,۵
			۲۰۰	C	۱	۳۱,۵	۶۷,۵
نمونه۲	″۲۱,۱ ′۴۳ °۳۶	″۲۹,۴ ′۱۱ °۵۷	۵۰	l-s	۸۴	۶,۵	۹,۵
			۱۰۰	l-s	۸۲	۸,۵	۹,۵
			۱۵۰	s-l	۸۲	۶,۵	۱۱,۵
			۲۰۰	s-c-l	۵۸	۱۸,۵	۲۳,۵
نمونه۳	″۷,۱ ′۳۹ °۳۶	″۴۹,۱ ′۷ °۵۷	۵۰	s-l	۷۲	۱۸,۵	۹,۵
			۱۰۰	S	۹۲	۲,۵	۵,۵
			۱۵۰	S	۹۶	۱	۳
			۲۰۰	S	۹۶	۱	۳
نمونه۴	″۵۲,۹ ′۳۸ °۳۶	″۱۱,۹ ′۱۰ °۵۷	۵۰	S	۹۰	۳,۵	۶,۵
			۱۰۰	S	۹۲	۲,۵	۵,۵
			۱۵۰	S	۹۲	۲,۵	۵,۵
			۲۰۰	S	۸۸	۴,۵	۷,۵
نمونه ۵	″۵۲ ′۳۳ °۳۶	″۳۶,۷ ′۴ °۵۷	بیشتر از۵۰	S-l	۷۵	۱۶,۵	۸,۵
نمونه۶	″۵۳ ′۳۳ °۳۶	″۳۴ ′۴ °۵۷	۲۰	S-l	۶۸,۵	۲۲	۹,۵
نمونه۷	″۵۳,۶ ′۳۳ °۳۶	″۳۳,۳ ′۴ °۵۷	۱۵	l-s	۷۹	۱۳,۵	۷,۵
نمونه۸	″۱۸,۶۸ ′۳۵ °۳۶	″۲۰,۶۱ ′۱۲ °۵۷	۳۰	l-s	۷۷	۱۵,۵	۷,۵
نمونه۹	″۳۷,۳ ′۳۳ °۳۶	″۲۶,۲ ′۴ °۵۷	۲۵	S-l	۵۹	۳۱,۵	۹,۵
نمونه۱۰	″۳۸,۲ ′۳۳ °۳۶	″۲۶,۸ ′۴ °۵۷	بیشتر از۵۰	S-l	۶۱	۳۱,۵	۷,۵
نمونه۱۱	″۳۸,۲ ′۳۳ °۳۶	″۲۹,۳ ′۴ °۵۷	بیشتر از ۳۰	S-l	۵۹	۲۹,۵	۱۱,۵
نمونه۱۲	″۷,۷ ′۳۸ °۳۶	″۲۵,۱ ′۶ °۵۷	۵۰	S	۹۰	۷,۵	۲,۵
نمونه۱۳	″۵۴,۸ ′۳۳ °۳۶	″۳۲,۳ ′۴ °۵۷	۱۰۰	S-l	۶۵	۲۱,۵	۱۳,۵
نمونه۱۴	″۵۶,۹ ′۳۸ °۳۶	″۱,۱ ′۱۰ °۵۷	۵۰	l-s	۷۶	۲۱,۵	۲,۵

مرتفعترین واحدی که نمونه‌برداری در آن انجام شد واحد ۴ بود. نمونه های مربوط به نقاط ۵،۶،۷،۹،۱۰،۱۱ و۱۳در محدوده واحد ۴ قرار دارند (شکل ۱۰). در محدوده واحد ۴ در بخش شانه‌ها اغلب سنگ‌های برهنه در سطوح دامنه‌ها دیده می شود. این بخش‌ها ناپایدارترین بخش دامنه‌ها محسوب می‌شوند و خاک‌های کم ضخامت یا رخنمون سنگها در آن دیده می شوند و برغم وجود رطوبت در بعضی از مواقع سال، این بخش‌ها اغلب خشک‌اند و به همین دلیل خاک‌های بخش شانه و پایین شانه جوان و مواد آلی آن نیز کم است در این قسمت عمل فرسایش، مواد ریزتر را از شانه برداشته و در طول دامنه‌ها جابه جا می کند به همین دلیل اغلب خاک‌های این بخش درشت بافت می باشند که نتایج به دست آمده از آزمایشات نیز نشاندهنده این موضوع می باشد. نمونه های مربوط به این قسمتها دارای بیشترین رسوبات در محدوده دانه درشت تا متوسط هستند بجز نقاط ۵ و ۶ که درصد دانه های درشت آنها کمتر است که دلیلش هم احتمالا به علت شکل محدب دامنه در این دو نقطه است.

در محدوده واحد ۵ فرایندهای موثر ناشی از جابجایی و لغزش‌ها و هوازدگی شیمیایی و فیزیکی است. مکانیسم متداول در هوازدگی فیزیکی ایجاد درز و شکاف‌های مختلف در سنگ‌ها است که زمینه را برای خرد شدن بیشتر سنگ‌ها فراهم می سازد و سبب ایجاد دانه‌های ریز و درشت می‌شود و با توجه به این‌که زهکشی در این محدوده مناسب است خاک‌ها در سطح دامنه‌ها جا بجا می‌شوند و با عمل خزش یا شستشو به قسمت‌های پایین‌تر منتقل می‌شوند یعنی در اثر حمل مواد و نهشته شدن در پایین دست دامنه‌ها و مکان‌های کم ارتفاع‌تر برجای گذاشته می‌شوند و علاوه بر عملکرد آب‌های جاری فرایند لغزش سبب می شود که ذرات ریز و درشت و حتی خاک‌های تشکیل شده در قسمت‌های شانه و پایین شانه‌ی دامنه به پای دامنه انتقال پیدا کنند. نتایج حاصل از هیدرومتری نشان می‌دهد که میزان شن موجود در نقاط نمونه‌برداری شده نسبت به رس و سیلت بیشتر است و نیز عمق خاک در این محدوده کم و کمترین ضخامت خاک ۱۰ سانتیمتر می باشد. همان طور که ذکر شده در این محدوده زهکشی آب آزادانه صورت می‌گیرد و در قسمتهای بالای این سطوح عمل پدوژنز محدود است. نتایج تحلیل گرانولومتری نشان می دهد که محدوده ابعاد گراولها در این قسمت اکثرا در محدوده متوسط است. در میانه این محدوده شکل‌گیری بعضی از اشکال ژئومورفیک مثل مخروط افکنه را شاهد هستیم و از کوهستان به طرف دشت بر وسعت آن افزوده می‌شود. بیشتر رسوبات مخروط‌های افکنه در مناطقی تشکیل می‌گردد که دارای آب و هوای خشک با پوشش گیاهی کم و بارندگی خیلی کم و تخریب سریع است ولی این رسوبات مربوط به آب و هوای خاصی نمی‌باشد و در مناطق مختلف تشکیل می‌گردد. رسوبات مخروط افکنه به طرف دشت به رسوبات پلایایی، رودخانه‌ای و غیره ختم می‌شود. نتایج هیدرومتری نمونه های برداشت شده در این قسمت (شامل نقاط ۳، ۴، ۸، ۱۲، و ۱۴) نشان می‌دهد در نقطه‌ی ۳ که در قسمت بالا دست مخروط حفر شده میزان شن نسبت به سیلت و رس بیشتر است. در رابطه با نتایج حاصل از تحلیل میزان گراولها درصد ذرات درشت دانه ای که در الک ۳/۴ باقی ماندند در نمونه شماره ۳ بیشتر از ۲ و ۴ است این امر بدلیل این است که در طول مخروط افکنه هر چه به سمت نواحی پست تر پیش می رویم از قطر رسوبات درشت دانه کاسته و درصد ریزدانه ها بیشتر می شود که این امر با نتایج حاصل از گرانولومتری مطابقت دارد. نقطه ۴ که در بین دو مخروط است درصد شن نسبت به دو نقطه دیگر بیشتر بوده است. نقاط ۱۲ و ۸ و ۱۴ هر سه دارای شن بالایی می باشند که این امر بدلیل قرار داشتن در قسمتهای بالای مخروط افکنه و درشت بافت بودن خاک است. نمونه ۱۴ بدلیل شکل خاص دامنه در این قسمت که انحناء پروفیل آن بصورت مقعر و انحناء پلان آن به شکل محدب است واگرایی زیادی وجود دارد بنابراین گراولها بدلیل وزن بیشتر قادر به ماندگاری در این سطح نیستند و در عملیات گرانولومتری نیز این قضیه کاملا مشهود بود و در این نمونه گراولها به کمترین میزان ممکن وجود داشتند. در محدوده واحد ۶ و ۷ که بخش مقعر دامنه است و رسوبات و آب دریافت می‌کند مواد به صورت محلول و یا معلق در جریانهای سطحی و زیرسطحی حمل می‌شوند و در پای دامنه‌ها نهشته می‌شوند و به تدریج خاکها روی نهشته‌های پای دامنه‌ها ضخیم‌تر می‌شوند. وجود آبهای زیرسطحی در سطح و همچنین ضخامت مواد انباشته شده باعث شده که بیشتر خندقها در این قسمت تشکیل شوند. هیچ بخش از دامنه‌ها به اندازه‌ی پای دامنه‌ها تحت تاثیر میزان انحنا و همچنین شکل دامنه نمی‌باشد. افزایش میزان تقعر دامنه‌ها منجر به تشکیل روانابهای تمرکز یافته و در نتیجه تشدید فرسایش می‌گردد. در نمونه ۲ که در پایین دست مخروط است شن همچنان با مقدار ۸۴ درصد از رس و سیلت بیشتر بوده ولی نسبت به نقطه ۳ از درصد سیلت و رس کمتری برخوردار است این امر ممکن است بدلیل قرار گرفتن نقطه ۲ در حاشیه زمنیهای کشاورزی و اعمال تغییراتی توسط کشاورزان در بافت خاک باشد. نمونه ۱ که در کم ارتفاعترین بخش منطقه قرار دارد دارای خاکی با بافت ریزدانه است و کمترین میزان ماسه را دارد. همچنین وجود گراولها در کمترین حد ممکن موارد عنوان شده در بالا را تایید می نماید. علاوه بر این چون موقعیت نقطه‌ی یک در انتهای مخروط افکنه و نزدیک رودخانه شور جوین قرار دارد بر عمق خاک نیز تاثیر گذاشته و باعث افزایش عمق آن شده است. همچنین بدلیل وجود مارنهای ریزدانه گالی‌هایی در اطراف این نقطه قرار گرفته‌اند.

فرسایش سبب هدایت مارنها به سمت پایین شده و در نتیجه در این نقطه ته‌نشین شده اند. از این رو در این بخش عمق خاک افزایش یافته است و همچنین باعث بافت سنگین خاک این نقطه شده است. در واحد ۸ و ۹ اثر شیب دامنه‌ها و حوضه‌های زهکشی در نیروی آب و میزان تخلیه رسوبی منعکس می‌شود. بنابراین در این فرایند، آبراهه‌ها به عنوان مهمترین چشم انداز زمین محسوب می‌شود و در نتیجه‌ی کنترلهایی که در بالا دست جریان اعمال می‌شود، تغییرات مهم و عمده‌ای در مورفولوژی آبراهه و رفتار رودخانه به‌وجود می‌آورد که نتیجه آن در پایین دست، به صورت تغییراتی در سطح اساس آب ظاهر می‌شود و سبب تغییراتی در شیب دامنه‌های مجاور می‌شود و یا مواد رسوبی خود را بر روی آنها ته‌نشین می‌کنند؛ این آثار از افزایش یا کاهش میزان تخلیه آب ناشی می‌شود. بار رسوبی آبراهه ترکیبی از مواد شیمیایی یا به عبارتی مواد حل شده و بار معلق است. این ذرات ریز به علت وجود جریانهای آشفته آب به صورت معلق باقی می‌ماند. بار بستر از ذرات درشت‌تری ترکیب یافته است که بر روی بستر رودخانه حرکت می‌کنند و ویژگیهای این بار نیز همزمان با افزایش سرعت تغییر می‌کند. بدین معنی که در سرعتهای کم، تنها ذرات سیلت و رس و در سرعتهای زیاد و آشفتگی، تنها ذرات درشت تر به حالت معلق در می‌آیند. معمولا در سواحل رودخانه، رسوبهای نسبتا ریزی مانند ماسه‌های ریز سیلت و رس وجود دارند، در حالی که در بستر همین رودخانه‌ها ترکیبی از شن و ریگهایی هستند که فضای بین آنها را سیلت و رس فرا گرفته است. این دو نوع رسوب (شن و ریگ) و (سیلت و رس) نه تنها از نظر اندازه باهم تفاوت دارند بلکه از نظر خواص فیزیکی نیز تفاوتهایی بین آنها مشهود است (موسوی حرمی، ۱۳۷۸، ۲۵۰). ویژگی مهم این رسوبها در بسترهای رودخانه‌ای این است که معمولا از اندازه آنها در جهت پایین دست رودخانه کاسته می‌شود. روشن است که رسوبهای ریز با سهولت بیشتری توسط جریان حمل می‌شوند و به علاوه جورشدگی آنها نیز بر کاهش اندازه دانه‌ها موثر است و این را می‌توان به هوازدگی قطعات سنگی نسبت داد که حاصل آن، به صورت رسوبهای دشت سیلابی جمع می‌شود. بار رسوبی نه تنها بر ابعاد و شکل آبراهه اثر دارد، بلکه بر شیب رودخانه یا شیب بستر هم اثرمی‌گذارد. با افزایش بار رسوبی، بر اندازه ی ذرات رسوبی موجود در رودخانه افزوده می‌شود. به این ترتیب بار رسوبی که به پایین دست منتقل می‌شود هم بر روی آبراهه‌ها در پایین دست جریان اثر می‌گذارد و هم سبب ایجاد اشکال رسوبی می‌شود (معتمد، ۲۸۷:۱۳۷۹). رطوبت بالا از ویژگیهای خاکهای نزدیک به این محدوده می باشد. رطوبت خاک با اثری که بر تشکیل خاک دارد بر خاکزایی و تکامل آن موثر باشد. بنابراین هر بخش از ناهمواری اثر خاص خود را بر روی تشکیل خاک اعمال می کند. بدیهی است این اثرات در تکامل خاک نیز منعکس می شود. تکامل خاک هنگامی میسر می شود که خاک در نقاطی برای مدت نسبتا طولانی ثبات داشته باشد. این امر سبب می شود عوامل خاکزا زمان کافی برای اثر بر مواد هوازده و یا خاکهای درشت بافت را داشته باشند و بتدریج تکامل خاکها حاصل شود. به نظر می رسد با توصیفاتی که از قسمتهای مختلف کاتنا در محدوده مورد مطالعه به عمل آمد در بخشهای پایینی ناهمواری و در محدوده دشت این امکان برای تکامل خاک بیشتر وجود داشته باشد زیرا هم بافت خاک و هم تحلیل گراولها این موضوع را تایید می کند.

در بخش دوم کار برای بررسی نقش مهمترین عوامل موثر در تشکیل و تکامل خاک از روش PLS که در بخش روش شناسی در مورد آن توضیح داده شد استفاده گردید و برای ایجاد و تحلیل مدل هم نرم افزار اسمارت پی ال اس[۱] بکار گرفته شد. جدول ۲ متغیرها و شاخصهای مورد مطالعه و ویژگیهای آنها را نمایش می دهد.

در این بخش، ابتدا متغیرها در دسته های مختلف بصورت متغیرهای پنهان جایگذاری شدند و سپس برای هر متغیر پنهان تعدادی شاخص انتخاب شد که تعریف کننده آن متغیر هستند. همچنین متغیرهای پنهان به دو شکل مختلف متغیرهای انعکاسی و متغیرهای تشکیلی تعریف شدند. سپس مدل با طراحی نهایی مورد بررسی قرار گرفت. بطور کلی

[۱] Smartpls

بررسی برازش این مدل در سه بخش انجام می شود: ۱-برازش مدلهای اندازه گیری ۲- برازش مدل ساختاری ۳- برازش مدل کلی. در برازش مدلهای اندازه گیری به محاسبه ضرایب مسیر، واریانس تبیین شده متغیرهای وابسته توسط متغیرهای مستقل، بارهای عاملی متغیرهای مشاهده شده و اثر غیر مستقیم و کل متغیرها بر یکدیگر پرداخته میشود (داوری و رضازاده،۱۳۹۲).

در مدل طراحی شده ۴ مدل اندازه گیری مربوط به متغیرهای هیدرولوژی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی، زمین شناسی و در نهایت تشکیل و تکامل خاک وجود دارد. بنابراین برای تحلیل مدل کلی نیاز به بررسی برازش مدل‌های ذکر شده داریم.

برازش مدلهای اندازه‌گیری

برای بررسی برازش مدلهای اندازه گیری از سه معیار پایایی, روایی همگرا و روایی واگرا استفاده می شود.

جدول ۲: متغیرها و شاخص‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

متغیرها	شاخص	توضیحات	ماکزیمم	مینیمم	میانگین
توپوگرافی و ژئومورفولوژی	شیب	میزان انحنای دامنه نسبت به سطح افقی	۲۸٫۸۲	۲٫۵۸	۱۰٫۵۸
	جهت شیب	جهت دامنه نسبت به دریافت انرژی خورشید	۳۵۹	۰	–
	ارتفاع	ارتفاع نقطه نمونه برداری	۱۶۴۸	۱۰۲۴	۱۲۹۵٫۲۶
	انحنا	تغییرات شیب در طول دامنه	۳٫۰۶	-۲٫۹	–
	انحنا پلن	انحنا در جهت خطوط منحنی میزان	۰٫۸۶	-۲٫۱۵	–
	انحنای پروفیل	انحنا در سطح عمودی، موازی با جهت شیب	۱٫۱۲	-۰٫۸۶	–
	عمق	عمق نمونه برداشت شده	۲۰۰	۲	۷۷٫۹۲
هیدرولوژی	رده	رده آبراهه در رده بندی استرالر	۴	۱	-
	فاصله از رودخانه	فاصله نقطه نمونه‌برداری از آبراهه	۱۷۳٫۱۴	۲۴	۹۵٫۰۷
	رطوبت	درصد رطوبت نمونه‌ها	۱۳٫۶۱	۰٫۱	۳٫۵۳
زمین شناسی	فرسایش پذیری	میزان مقاومت سنگها	۹	۵	۶٫۹۶
خاک	رس	درصد رس در نمونه	۶۷٫۵	۲٫۵	۱۵٫۴۶
	ماسه	درصد ماسه در نمونه	۴۹٫۵	۱	۶۷٫۲۵
	سیلت	درصد سیلت در نمونه	۹۶	۱	۱۷٫۴
	عمق خاک	عمق خاک در محل نمونه برداری شده	> ۴۰۰	۱۰	–

پایایی

که برای بررسی از ۴ طریق ضرایب بارهای عاملی، ضرایب آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی و مقادیر اشتراکی انجام می شود. معیار آخری بصورت مجزا گزارش نمی شود.

سنجش بارهای عاملی

در سنجش بارهای عاملی، بار عاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخصهای یک سازه با آن سازه محاسبه می شود. که نشاندهنده این است که واریانس بین سازه و شاخصهای آن از واریانس خطای اندازه گیری آن سازه بیشتر بوده و پایایی در مورد مدل قابل قبول است. در صورت برخورد با شاخصهایی با بار عاملی کمتر از ۰٫۴ باید آنها را حذف نمود یا ویرایش کرد.

جدول ۳ : بارهای عاملی شاخص‌های خاک

سازه	تشکل خاک			
شاخصها	رس	سیلت	شن	عمق خاک

بار عاملی	۰,۹۷	۰,۸۱	۰,۹۷	۰,۶۵

آزمون معناداری وزنهای بیرونی[1]: برای متغیرهای تشکیلی، وزنهای بیرونی بجای بارهای بیرونی[2] گزارش می شود. از آنجایی که در مورد وزنها در مدل تشکیلی محدوده ای مشخص نشده محققان به معناداری این مقادیر بسنده نموده اند. در این رابطه در مورد شاخصهای مربوط به توپوگرافی و ژئومورفولوژی، شیب، انحنا پروفیل، ارتفاع، جهت شیب، عمق نمونه برداری، انحنا کلی و انحناءپلن بیشترین تاثیر را داشته اند و در مورد شاخصهای هیدرولوژی به ترتیب فاصله از رودخانه و رطوبت بیشترین اثر و رده کمترین اثر را داشته است (جدول ۳).

آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی

بعد از سنجش بارهای عاملی نوبت به محاسبه و گزارش ضرایب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی است. همان طور که در جدول ۴ قابل مشاهده است معیار آلفا بالاتر از ۰,۷ و مناسب است در مورد معیارپایایی ترکیبی مقادیر کمتر از ۰,۶ عدم وجود پایایی را نشان می دهد که در اینجا مشکلی در این زمینه وجود ندارد.

جدول ۴: ضرایب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی

	AVE	Composite Reliability	R Square	Cronbachs Alpha
خاک	۰,۷۵	۰,۶۸	۰,۹۴	۰,۸۵

روایی همگرا

معیار دوم برازش مدلهای اندازه گیری روایی همگرا است. که به بررسی میزان همبستگی هر سازه با شاخصهای خود میپردازد. برای اینکار از معیار AVE استفاده می شود که نشاندهنده میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده هر سازه با شاخص خود است و هر چه بیشتر باشد برازش نیز بیشتر است. که مقدار مناسب آن بیشتر از ۰,۴ است. در غیر اینصورت باید شاخصی که کمترین بار عاملی را دارد حذف و مدل را مجددا اجرا نمود. در اینجا برای سازه خاک روایی همگرای مناسبی وجود دارد. با توجه به جدول ۵ مناسب بودن وضعیت پایایی و روایی همگرای مطالعه تایید می شود.

جدول ۵: وضعیت پایایی مدل

متغییر	شاخص	همسانی درونی	قابلیت اعتبار شاخص Composit reliability	پایایی ترکیبی	AVE
خاک	رس	۰,۹۷	۰,۹۴	۰,۶۸	۰,۷۵
	سیلت	۰,۸۱	۰,۶۵		
	شن	۰,۹۷	۰,۹۴		
	عمق خاک	۰,۶۵	۰,۴۲		

روایی واگرا

سومین معیار بررسی برازش مدل است. که برای آن از cross loading استفاده می کنیم که تمامی شاخصهای مربوط به خاک همبستگی بیشتری نسبت به خاک تا بقیه سازه ها دارند.

[1] outer weights

[2] outer loadings

برازش مدل ساختاری

پس از بررسی برازش مدلهای اندازه گیری نوبت به برازش مدل ساختاری می رسد. در این بخش فقط متغیرهای پنهان و روابط بین آنها بررسی می شود. در این بخش باید ضرایب معناداری z، معیار (R^2)، معیار اندازه تاثیر f2، معیار Q2 و معیار Redundancy بررسی شوند.

ضرایب معناداری z (t value)

مقادیر (t value) برای هر سه رابطه از ۱,۹۶ بیشتر است بنابراین در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار است و نتیجه می شود مدل ساختاری مناسب است (جدول ۶).

جدول ۶ : ضرایب معنی داری مدل

	هیدرولوژی	توپوگرافی و ژئومورفولوژی	زمین شناسی
تشکیل خاک	۳۱,۵۰۳	۱۵,۶۲۴	۳/۹۴۱

معیار R Squares (R^2)

دومین معیار برای برازش مدل ساختاری ضرایب R Squares (R2) مربوط به متغیرهای وابسته مدل است (R^2 نشاندهنده تاثیر یک متغیر برونزا بر یک متغیر درونزا است). عدد ۰/۹۴۸۵۷۷ برازش مناسب مدل ساختاری را نشان میدهد.

معیار اندازه تاثیر f2

در این قسمت نیاز به محاسبه معیار اندازه تاثیر در مورد هر کدام از رابطه های مدل وجود دارد. برای اینکار ابتدا مدل شامل دو سازه را اجرا کرده و $\mathbf{R^2}$ برای سازه درونزا محاسبه می شود. سپس سازه برونزا از مدل حذف و مدل اجرا می شود و مقدار $\mathbf{R^2}$ محاسبه گردیده و در فرمول قرار داده می شود.

معیار Q2

این معیار قدرت پیش بینی مدل را مشخص می کند و مقادیر ۰,۰۲ و ۰,۱۵ . ۰,۳۵ نشاندهنده قدرت پیش بینی ضعیف و متوسط و قوی سازه برونزا را دارد. این معیار فقط برای سازه های درونزایی که شاخصهای آنها انعکاسی است کاربرد دارد که در اینجا عدد ۰,۶۹۷۸ نشاندهنده قدرت پیش بینی قوی مدل است.

جدول ۷: Construct Crossvalidated Redundancy

Total	SSO	SSE	1-SSE/SSO
Soil	۱۰۴	۳۱,۴۲۶۴۳۹	۰,۶۹۷۸۲۳

معیار Redundancy

مقدار تغییرپذیری شاخصهای یک سازه درونزاست که از یک یا چندسازه برونزا تاثیر می پذیرد و از حاصلضرب مقادیر اشتراکی Communality یک سازه درونزا در مقدار $\mathbf{R^2}$ مربوطه به آن بدست می آید.

$$\text{Red PE} = \text{Communlity PE} \times \text{R}^2\text{PE} = 0.751985 \times 0.948577 = 0.713315$$

برازش مدل کلی

برای بررسی برازش کلی مدل از معیار GOF استفاده می شود.

$$GOF = \sqrt{Communality * R2}$$

$$\sqrt{0.709875 \times 0.948577} = 0.8206$$

با توجه به سه مقدار ۰،۰۱، ۰،۲۵ و ۰،۳۶ که به عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی شناخته شده اند برازش بسیار مناسب مدل کلی اثبات می شود (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

ژئومورفولوژی، شناسایی، توصیف و تحلیل اشکال ناهمواری های زمین و فرآیندهای موثر در تشکیل، تغییر شکل و تحول آنها است. خاکها، محصول و نتیجه عملکرد فرایندهای مختلفی هستند که در طول زمان تشکیل شده و به مرور زمان افقهای ژنتیکی در آنها شکل میگیرند. محل تشکیل خاک و شدت و ضعف عوامل تأثیرگذار، سرعت تشکیل و تحول خاک را تعیین می کند. در این میان مطالعه دامنه‌ها بهترین مقیاس برای مطالعات ژئومورفولوژیک خاک محسوب می‌شود. به علت اینکه واحدهای مختلف کاتنا در طول هر بخش از دامنه تحت تاثیر فرایندها و نوع زهکشی، ویژگیهای متفاوتی از نوع خاک را ارائه می‌دهند به گونه‌ای که در سطوح ناپایدار همچون شانه و پایین شانه، خاک حاصل از هوازدگی به بخش‌های پایین دامنه منتقل می‌شود و در سطوح پایدارتر پای دامنه و پنجه دامنه تحت تاثیر فرایندهای زهکشی سنگها و ذرات خرد شده به این بخش‌ها منتقل شده و ته نشین می‌شود (بیاتی خطیبی و کرمی،۱۳۹۰).

در منطقه مورد مطالعه از جمله عواملی که در پایداری و ناپایداری سطوح نقش دارد فاکتور شیب می‌باشد و همانطور که توضیح داده شد در اثر ناپایداری و شیب زیاد در شانه و پایین شانه خاک با ضخامت و تکامل کمتر تشکیل شده اما در دشت به علت پایداری و شیب کم خاک با عمق و تکامل بیشتری تشکیل شده است. بسیاری از ویژگیهای خاک با میزان شیب مرتبط هستند. با افزایش شیب عمق خاک کمتر شده و از میزان مواد آلی در افق Aَ خاک کاسته می شود و بعلاوه اسیدیته ۶ و اشباع پایه ۸۰ درصد و نیز کربناتهای بیشتر از ۱ درصد در عمق کمتری پدیدار می شوند. بنابراین در شیبهای تندتر خاکها کم عمقترند و تکامل آنها ناچیز می باشد (Birkland, 1984). در منطقه مورد مطالعه واحدهای انتخاب شده در چشم انداز که پروفیل آن در شکل ۱۰ آورده شده است اثر قابل ملاحظه ای بر بافت خاک داشته اند بطوری که درصد ماسه، رس و سیلت ارتباط کاملا واضحی با ویژگیهای واحد ژئومورفولوژیک مربوطه دارند این اثرات در بخش نتایج مفصلا بحث شد.

از جمله شاخصهای دیگری که در فاکتور ناهمواری مورد بحث قرار گرفت علاوه بر شیب، جهت شیب می باشد که بررسیها نشان داد جهت شیب نیز بر تشکیل خاک موثر بوده است. در اصل جهت شیب با اثر بر روی میزان انرژی دریافتی سرعت هوازدگی شیمیایی را افزایش می دهد و سایر فاکتورهای موثر بر هوازدگی مانند ذوب–انجماد در مقایسه اثر کمتری دارند. همچنین میزان آبشویی و هوازدگی کانیهای رسی به شدت با جهت شیب در ارتباط است. شاخص ارتفاع نیز نشان داد که با افزایش ارتفاع از میزان عمق خاک کاسته شده به گونه ای که در دشت که کمترین ارتفاع وجود دارد، عمق آن به بیش از چهار متر رسیده اما در شانه دامنه به کمترین عمق خود می‌رسد که از لحاظ تکامل نیز خاک دشت دارای تکامل بیشتری می‌باشد. از جمله شاخصهای دیگری که در رابطه با هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفت رطوبت خاک و فاصله از آبراهه و درجه‌ی آبراهه بود که نتایج بررسی نشان داد با افزایش فاصله از آبراهه و کاهش درجه آبراهه از عمق خاک کاسته و با افزیش درجه آبراهه و کاهش فاصله از آبراهه بر عمق خاک افزوده شده و رطوبت نیز در آن بیشتر می‌شود. در دسترس بودن آب در خاک نقش مهمی در هوازدگی و آبشویی عناصر و مواد آلی و نیز انتقال کانیهای رسی دارد و از این نظر بر تشکیل و تکامل خاک موثر است.

روش مورد استفاده در تحلیل این مطالعه بر اساس رگرسیون حداقل مربعات جزئی، پس از اثبات برازش مناسب مدل، این امکان را ایجاد کرد که ارتباط بین تشکیل خاک و ویژگیهای توپوگرافیک (ویژگیهای توپوگرافیک اولیه مثل شیب و ثانویه از جمله انحنا دامنه)، هیدرولوژیک و زمین شناسی مورد بررسی قرار گیرد. فرایند این تحلیل با مدلسازی همراه بود و این مدل بخش مهمی از تغییرات ضخامت خاک را به عنوان تابعی از ویژگیهای توپوگرافیک و ژئومورفولوژیک (بویژه شیب) معرفی نمود.

با توجه به نتایج حاصله به نظر می رسد مطالعات ژئومورفولوژی می تواند نقش مهمی در برنامه ریزیهای مربوط به حفاظت خاک داشته باشد. به این معنی که در هر یک از واحدهای ژئومورفولوژی با توجه به اثرگذاری آن بخش بر تشکیل خاک می توان راهکارهای ویژه ای جهت حفاظت خاک بکار گرفت. مکمل این کار بکار گیری سیستمهای کشت تخصصی و آبیاریهای سازگار با شرایط شیب و شکل دامنه است. مسلما در نظر گرفتن ابعاد چندگانه و پیچیده اثراتی که هر یک از گروههای مربوط به عوامل موثر در تشکیل خاک دارند و مدلسازی برهم کنشهای احتمالی آنها می تواند راهگشای بسیاری از مسائل موجود در رابطه با فرسایش و تنزل کیفیت و کمیت خاکها در سطح کشور باشد.

منابع

- امیری‌نژاد، علی اشرف، باقرنژاد، مجید، ۱۳۷۶، اثرات توپوگرافی روی تشکیل و تکامل خاکهای منطقه کرمانشاه، علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۸، صص ۹۹-۱۱۰.
- برزگر، عبدالرحمن، کوچک زاده، احمد، ۱۳۸۰، وضعیت کادمیم در زمین های تحت کشت نیشکر در خوزستان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، صص۴۴-۵۵.
- بیاتی خطیبی، مریمُ، کرمی، فریبا، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی خاک، تهران، انتشارات سمت.
- جعفری، سیروس، نادیان، حبیب اله، ۱۳۹۳، مطالعه تکامل خاک ها و تنوع کانی های رسی در یک ردیف پستی و بلندی در استان خوزستان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال هجدهم . شماره شصت و نهم.
- چورلی ریچارد جی، شوم، استانلی‌ای، سودن، دیوید ای، ترجمه: معتمد احمد. مقیمی ابراهیم، ۱۳۷۹، ژئومورفولوژی، جلد سوم (فرایندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی)، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت).
- داوری، علی. رضازاده، آرش،۱۳۹۲، مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم افزار *pls*. تهران سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.
- رمضانپور، حسن، کلباسی‌زاده، فخرالسادات، ۱۳۹۲، مطالعه اثر موقعیت شیب بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جنگل های پهن برگ منطقه لاهیجان، پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۷ شماره۳ ، صص۳۸۷-۳۹۵.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱,۵۰۰۰۰ جغتای.
- سازمان زمین شناسی کشور نقشه زمین شناسی ۱,۱۰۰۰۰۰ باشتین، فرومد و جغتای.
- سیدعباس زاده، میر محمد. امانی، جواد. خضری آذر، پاشوی، قاسم،۱۳۹۰، مقدمه‌ای بر مدل یابی معادلات ساختاری به روش *pls* و کاربرد آن در علوم رفتاری. انتشارات دانشگاه ارومیه.
- عباسی کلو، آیدا، جعفرزاده، علی اصغر. کریمیان اقبال، مصطفی. اوستان، شاهین. جهانگیری، احمد، ۱۳۹۳، تنوع رده بندی و ژنتیکی خاک در واحدهای مختلف ژئومرفیک در منطقه مرند، آذربایجان شرقی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴ شماره ۲ صص ۶۵- ۷۹.

- فرپور، محمدهادی. کریمیان‌اقبال، مصطفی. خادمی، حسن ۱۳۸۲، نحوه‌ی تشکیل میکروفولوژی اریدی سولهای گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان در ارتباط با سطوح ژئومورفووژی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. شماره سوم
- محمودی، فرج الله، ۱۳۷۵، ژئومورفولوژی دینامیک، دانشگاه پیام نور.
- نظری، ناصر. ۱۳۸۴، تاثیر پستی و بلندی و زمان در تشکیل خاک با مواد مادری آهکی تحت شرایط نیمه خشک منطقه رجئین میانه، مجله دانش نوین کشاورزی.۱(۲)، صص ۴۱-۳۱.
- وحیدی، محمد جواد، جعفرزاده، علی‌اصغر. اوستان، شاهین. شهبازی، فرزین،۱۳۹۰، تأثیر ژئومورفولوژی بر ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاکهای جنوب شهرستان اهر، دانش آب و خاک، جلد ۲۱ شماره ۲.
- *Amundson, R., Heimsath, A., Owen, J., Yoo, K, Dietrich, W. E., 2015. Hillslope soils and vegetation. Geomorphology, 234. 122–132.*
- *Begum F., Bajracharya R., Sharma S., and Sitaula B.K., 2010. Influence of slope aspect on soil physico-chemical and biological properties in the mid hills of central Nepal. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 17(5): 438 - 44*
- *Birkland, P., 1984, Soils and geomorphology, Oxford University Press, 372p.*
- *Bourennane, H., Slvador-Blanes, S., Couturier, A., Caroline, C., Pasquier, C., Hinchberger, F., Macaire, J., Darousian, J., 2014, Gostatistical approach for identifying scale-specific correlations between soil thickness and topographic attributes, Geomorphology, 220. 58–67.*
- *Brubaker, S.C., Gones, A.J. Lewis D.T. Frank, K., 1993. Soil properties associated with landscape position. Soil Science Society of America Journal, 57: 235-239.*
- *Cocco , S, Brecciaroli , G, Agnelli , A, Weindorf , D, Corti, G., 2015. Soil genesis and evolution on calanchi (badland-like landform) of central Italy. Geomorphology 248. 33–46.*
- *Egli, M, Mirabella, A, Sartori, G, Zanelli , R, Bischof, S., 2006. Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils. Catena, 67. 155 – 174.*
- *Gracheva R., 2011 .Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: Rocks, time, and erosion. Geomorphology 135. 224–231.*
- *Jenny, H., 1941. Factors of soils formation. McGraw- Hill Book Co. New York, NY. 281 pp.*
- *Jenny, H., 1958. Role of plant factor in the pedogenic function. Ecology. 39:5-16.*
- *Moges, A. and N.M. Holden., 2008. Soil fertility in relation to slope position and agricultural land use: A case study of Ambula catchment in southern Ethiopia. Environmental Management. 42: 753-763.*
- *Saldana A and Ibanez JJ., 2004. Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (Central Spain). Geomorphology, 62: 123–138.*