بررسی دو روش فتوگرامتری و زبری سنج لیزری به منظور اندازه‌گیری میکروتوپوگرافی خاک

محمد رضا میرزایی[۱*]، استفان قوی[۲]، غلامرضا قضاوی[۳] و کریستینا بونر[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۷/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۲/۲۴)

چکیده

اساس کار ارائه شده بر مبنای تهیه یک مدل رقومی زمین (DEM) در دو ماکت با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متر و با شرایط زبری متفاوت (زبری تند و زبری ملایم) می‌باشد. برای تهیه DEM از دو روش زبری‌سنج لیزری و فتوگرامتری استفاده شد. تصاویر فتوگرامتری در دو تکرار و در تاریخ‌های متفاوت به‌دست آمد. روش لیزری با داشتن صحت و دقت بسیار بالا به عنوان روش شاهد به منظور ارزیابی روش فتوگرامتری در نظر گرفته شد و سپس این دو روش با استفاده از پارامترهای مختلف آماری و خصوصیات خاک مانند هیستوگرام‌های شیب و ارتفاع مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت با استفاده از مدل‌های رقومی زمین دو روش میزان ضریب زبری تصادفی (RR) و حداکثر نگهداشت سطحی خاک تعیین شد. RR عنوان نماینده میکروتوپوگرافی سطح خاک و یکی از عوامل کلیدی در بسیاری از فرآیندهای هیدرولیکی و فرسایش مورد مطالعه قرار گرفت. میزان خطای RR محاسبه شده به وسیله روش فتوگرامتری در مقایسه با لیزری به طور متوسط ۱۰ درصد در ماکت با زبری پایین و ۵ درصد در ماکت با زبری بالا می‌باشد. این میزان خطا در محاسبه حداکثر نگهداشت سطحی (MDS) بین ۲ تا ۳۴ درصد یعنی حداکثر حدود ۰/۱۷ میلی‌متر تغییر می‌کند. در این تحقیق روش، فتوگرامتری مدل رقومی با شیب ملایم‌تری برای ماکت با زبری بالا در مقابل لیزری (یعنی به طور متوسط حدود ۴۰/۵ در برابر ۴۶ درجه برای لیزری) و شیب تندتری برای ماکت با زبری پایین (متوسط۲۳/۵ در مقابل ۲۰/۷ برای لیزری) ارائه داده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش فتوگرامتری روشی مناسب برای تخمینی با دقت کافی از میزان RR و تخمین مناسبی از میزان MDS می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فتوگرامتری، زبری‌سنج لیزری، زبری تصادفی، مدل رقومی زمین

مقدمه

آثار مخرب رواناب و فرسایش خاک حاصل از آن یکی از تهدیدات محیط زیستی در دنیا و در ایران به شمار می‌روند و به منظور کاهش اثرات منفی آنها شناخت فرایند ایجاد رواناب و نحوه پراکنش آن مهم می باشد. زمانی که مکانیسم اصلی ایجاد رواناب از نوع هورتونی (رواناب ایجاد شده به وسیله آب مازاد بر نفوذپذیری) باشد، کنترل و هدایت رواناب سطحی به طور مستقیم به وسیله میکروتوپوگرافی سطح خاک صورت می‌گیرد.

۱. استادیار مرتع و آبخیزداری، منابع طبیعی و زیست محیطی، دانشگاه یاسوج
۲. محقق مؤسسه تحقیقات کشاورزی اوینیون، فرانسه
۳. استادیار مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه شیراز
۴. دانشجوی دکتری مدلسازی اکولوژیکی، دانشگاه بایرویت، آلمان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mmirzaei@mail.yu.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

زبری سطح خاک همان میکروتوپوگرافی و توزیع مکانی بلندی‌های سطح خاک در مقیاس سانتی‌متر تا دسی‌متر می‌باشد، البته در این مقاله دو کلمه معادل هم استفاده شده است. به طورکلی می‌توان دو نوع زبری عمده را تشخیص داد: ۱- زبری جهتدار(Oriented roughness) که بر اثر شیب زمین یا نوع کاربری و یا تیماری که به وسیله وسایل کشاورزی صورت می‌گیرد، ایجاد می‌شود و ۲- زبری تصادفی(Random Roughness) که بر اثر توزیع ذرات و ریزدانه‌های خاک بر روی یک سطح صاف می‌باشد (۱ و ۷).

به نظر می‌رسد این فاکتور از دو جنبه مورد بررسی قرار گرفته است: ۱- اثر توپوگرافی (اصطکاک) روی سرعت جریان آب که عموماً با ضرایبی چون مانینگ و یا شزی تفسیر می‌شود. ۲- اثر آن روی نحوه ایجاد رواناب که در این بخش عموما زبری نماینده میزان ظرفیت نگهداشت سطحی در خاک می‌باشد و بنابراین در بعضی از مدل‌های رواناب و فرسایش مورد استفاده قرار گرفته است. معمولاً در این مدل‌ها از یکسری روابط تجربی برای تعیین ظرفیت نگهداشت سطحی استفاده می‌شود.

در واقع میزان زبری سطح خاک به طور هم‌زمان روی میزان ذخیره چالابی و میزان نفوذپذیری تأثیر می‌گذارد به طوری که جریان کلی نفوذپذیری بستگی به ارتفاع آب در سطح خاک دارد و در نتیجه قابلیت نفوذپذیری خاک بستگی به میزان آب ذخیره شده در داخل چاله‌ها دارد(۴). بنابراین با تعیین پر و خالی شدن چاله‌ها موجود در سطح خاک و ارتباط بین آنها؛ زمان پیدایش رواناب قابل پیش‌بینی خواهد بود ولی رسیدن به این هدف نیازمند توسعه و بهینه‌سازی وسایل اندازه‌گیری (مانند لیزرسنج‌ها و یا تجهیزات مورد استفاده در روش فتوگرامتری) موجود می‌باشد.

روش‌های اندازه‌گیری زبری خاک با استفاده از زبری‌سنج‌ها را می‌توان در دو کلاس بزرگ دسته‌بندی کرد: ۱- روش‌های تماسی(Contact methods) که در آنها وسایل مکانیکی (مانند میله‌های که روی یک قالب با فواصل مساوی و معین نصب شده است) به طور مستقیم با خاک تماس برقرار می‌کنند. یکی از نارسایی‌های اصلی این وسایل تغییر سطح خاک بر اثر تماس دستگاه، زمان مورد نیاز برای جمع آوری داده‌ها و دقت کار می‌باشد. از این گروه می‌توان پروفیل متر سوزنی (۱۵) و یا روش استفاده از زنجیر ارائه شده توسط صالح (۲۲) را نام برد. ۲- روش‌های غیرتماسی(Noncontact methods) که وسایل اندازه‌گیری از سطح خاک فاصله داشته و با سطح خاک تماسی ندارند. اساس این روش‌ها بر دریافت امواج منعکس شده و امواج برگشتی می‌باشد. این علائم می‌تواند یک منبع اشعه مادون قرمز(۲۱)، یک منبع ماورای صوت (۲۰) و یا یک دسته اشعه لیزر (۳، ۹، ۲۳، و ۲۴) باشد. این نوع از زبری‌سنج‌ها بر عکس زبری‌سنج‌های تماسی، بایستی واسنجی شوند. معمولاً برای تعیین مدل رقومی زمین از سطح یک خاک، باید ارتفاع نقاط را در ترانسکت‌های نزدیک به هم برداشت کرد.

به علت این که میزان نفوذپذیری قابل کنترل نمی‌باشد، هنوز هیچ روشی برای اندازه‌گیری مستقیم میزان واقعی نگهداشت سطحی (آب داخل چاله‌ها) وجود ندارد. با توجه به روش‌های موجود، تنها متغیر قابل دسترسی، میزان ظرفیت نگهداشت سطحی می‌باشد. گروهی از محققان با ارائه روابط آماری و با استفاده از شاخص‌های متفاوتی و در بعضی موارد، یک‌سری پارامترهای خارجی مانند شیب زمین سعی در برآورد ظرفیت نگهداشت سطحی داشته‌اند(۲، ۱۴، ۱۸ و ۲۳). این روش‌ها علی‌رغم تعیین نتایج نسبتاً مناسب، در دامنه‌ای خارج از داده‌های مورد استفاده برای تعیین رابطه اولیه، دارای دقت کافی نیستند(۱۴). معمولاً استفاده از الگوریتم‌های پرکردن (چاله‌های موجود در سطح خاک به صورت تدریجی پر می‌شوند و سپس چاله‌های پر شده سطح زمین با هم ادغام شده و به ترتیب چاله‌های بزرگ‌تر پر می‌گردند) و یا الگوریتم‌های خالی کردن مدل رقومی زمین (در این روش تمامی مدل رقومی زمین تا بالاترین ارتفاع یا قله موجود، از آب پر می‌شود و سپس با خالی کردن تدریجی آب نهایتاً مدل رقومی بدون چاله تعیین می‌گردد) به عنوان نماینده میکروتوپوگرافی زمین روشی مناسب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

جهت برآورد ظرفیت نگهداشت سطحی می‌باشد (۳،۸، ۱۷ و۲۴).

از طرف دیگر میزان ظرفیت نگهداشت سطحی یک متغیر ثابت می‌باشد که برای تخمین میزان رواناب در مقیاس کوچک ناکافی است. در واقع حداکثر نگهداشت سطحی است که معمولاً در مدل‌های هیدرولوژیکی به کار گرفته می‌شوند(۱۲)، که این متغیر با مدل‌های محلی(Local model) (در مقیاس کوچک) پیدایش رواناب سازگار نمی‌باشد، زیرا در این مقیاس ممکن است رواناب قبل از رسیدن به حداکثر نگهداشت سطحی، شروع شود(۱۰، ۱۴ و ۱۶).

تکنیک‌های تصویربرداری مانند فتوگرامتری روش‌های کاملاً جدیدی می‌باشند. مقالات اندکی نیز در این مورد انتشار یافته است و در این اواخر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌است (۵، ۱۱ و ۲۳). زریبی (۲۶) در یکی از حوزه‌های آبخیز پاریس، استفاده از دوربین‌های انعکاسی رقومی را برای بررسی کردن تغییرات میکروتوپوگرافی یک خاک لسی آزمایش کرده است. این کار تحت شرایط چند بارندگی صورت گرفته است. الگوریتم اجرایی به صورت اتوماتیک می‌باشد اما نقاط متناظر مربوط به واسنجی هنوز هم باید با دست وارد شود. فتوگرامتری هم‌چنین به صورت یک وسیله استخراج اطلاعات مربوط به ژئومورفولوژی به کار رفته است. گاسکوئل ـاودو و برونو (۶) یک کارتوگرافی از چاله‌های کوچک(microdepression) بین ردیف‌های یک کشت ذرت انجام داده‌اند و نقش آنها را در هدایت رواناب سطحی مشخص شده است.

اصولاً در مورد تمرکز رواناب و فرسایش باید آنها را در مقیاس‌های بزرگی مانند کرت‌های کشاورزی و یا در مقیاس حوزه آبخیز انجام داد. اما در مورد مطالعه نحوه ایجاد رواناب این کار باید در مقیاس کوچک (چند متر مربع) صورت بپذیرد. در حقیقت در این مقیاس است که فرایندهای اساسی و اولیه پیدایش رواناب شکل می‌گیرد.

به منظور توسعه یک مدل سه بعدی نفوذپذیری- رواناب، نیاز به توسعه یک متدولوژی برای تعیین میزان نگهداشت سطحی و نحوه تغییرات زمانی میکروتوپوگرافی بوده و برای این هدف نیاز به تهیه مدل رقومی زمین می‌باشد. از بین روش‌های موجود جهت تهیه مدل رقومی زمین، روش لیزری روش مرسومی است که نیاز به تنظیم بسیار دقیق داشته و به همین دلیل استفاده از آنها روی سایت مطالعاتی در خارج از آزمایشگاه بسیار محدود است. روشی که به تازگی برای مطالعه فرایند نفوذپذیری و رواناب استفاده می‌شود، روش فتوگرامتری یا فتوگرامتری است و هدف از انجام این تحقیق بررسی دقت و کارایی این روش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو ماکت (شکل ۱) استفاده شد که دارای دو بافت زبری متفاوت (زبری بالا و ملایم) می‌باشند. نحوه ساخت این ماکت‌ها توسط کامفورست و دوال (۱۳) شرح داده شده است. ابتدا با استفاده از روش‌های زبری سنج لیزری و فتوگرامتری مدل رقومی زمین به‌دست آمد. سپس از روش لیزری به عنوان روش مرجع، برای سنجش دقت مدل رقومی زمین به‌دست آمده از روش فتوگرامتری استفاده شد. به این منظور از فاکتورهای متفاوتی همچون مقایسه مستقیم روی ترانسکت‌ها، هیستوگرام‌های ارتفاع و شیب استفاده شد. در نهایت با استفاده از دو روش، شاخص‌های زبری تصادفی (RR) و حداکثر نگهداشت سطحی (به عنوان نماینده خصوصیات سطحی خاک) تعیین شدند. سپس با مقایسه نتایج دو روش، کیفیت روش فتوگرامتری در تعیین این خصوصیات مورد بررسی قرار گرفت.

روش لیزری

با استفاده از روش لیزری (شکل ۲) برای هر دو ماکت، مدل رقومی زمین به‌دست آمد. هر دو ماکت با زبری بالا و پایین دارای ابعاد ۵۲×۵۲ سانتی‌متر می‌باشند. فاصله بین هر برداشت ۲ میلی‌متر و میزان دقت عمودی ۰/۰۳ میلی‌متر می‌باشد. با استفاده از این برداشت‌ها مدل رقومی زمین تهیه شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل ۱. ماکت‌های استفاده شده در تحقیق، ماکت سمت راست با زبری بالا و سمت چپ بازبری پایین



شکل ۲. لیزرسنج به کار گرفته شده در تهیه داده‌های لیزری (۱۳)

روش فتوگرامتری

به طور کلی تصاویر در دو سری از ماکت‌ها تهیه شدند. فتوگرامتری از فاصله نزدیک متناظر به مواردی است که شئ مورد عکس‌برداری در فاصل‌های بین یک تا صد متر قرار گیرد. با استفاده از دو دوربین (شکل۳) از یک شئ یکسان از دو دید متفاوت عکس‌برداری صورت می‌گیرد. سپس با استفاده از قوانین هندسی و اپتیکی میزان اختلاف دو نقطه متناظر (تعیین میزان جابه‌جایی دو نقطه در اثر دید از دو جهت) را از دو تصویر مشخص می‌کنند. سپس با استفاده از معادله (۱) میزان ارتفاع به‌دست می‌آید:

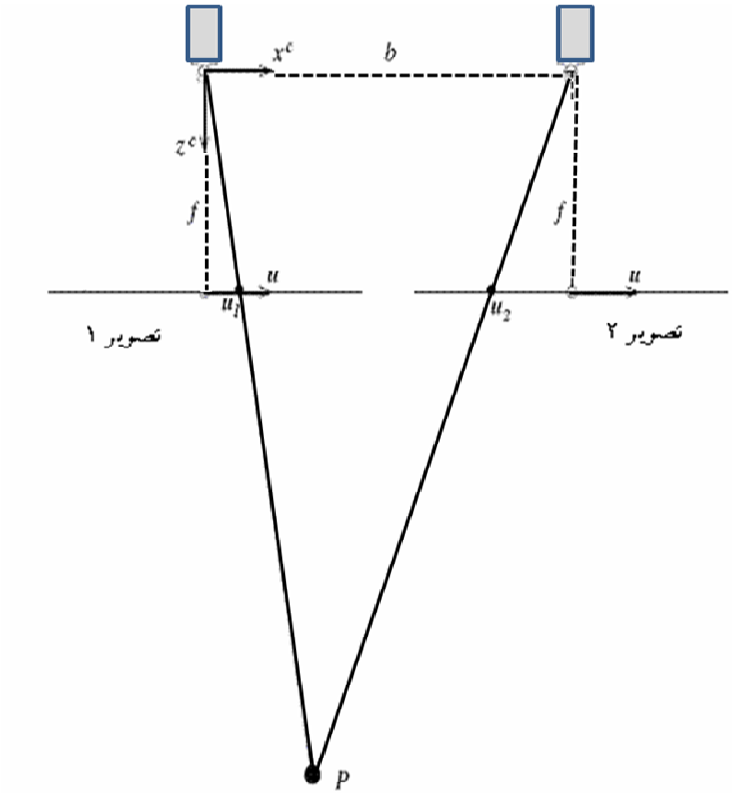
$$d = (u_1 - u_2) = \frac{f.b}{z^c} \qquad [1]$$

که در آن d: اختلاف مکان قرار گرفتن دو نقطه متناظر در دو تصویر(Disparity)؛ Zc: ارتفاع نقاط؛ f: فاصله کانونی دوربین؛و b: فاصله بین دو دوربین از هم می‌باشد. بنابراین برای به‌دست آوردن ارتفاعات باید قادر به تعیین میزان d برای هر پیکسل بوده که خود وابسته به پارامترهای داخلی و خارجی دوربین می‌باشد و برای این هدف باید واسنجی دوربین صورت گیرد.

به طور خلاصه فتوگرامتری در چهار مرحله اصلی صورت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل ۳. شمای ساده‌ای از سیستم دید سه بعدی توسط دو دوربین

گرفت: ۱- مرحله واسنجی دوربین‌های مورد استفاده در استرئوگرافی (دید سه بعدی) و تعیین پارامترهای دوربین. در این مرحله تعدادی عکس (شکل۴) از صفحه واسنجی گرفته شد. این صفحه با دقت بسیار بالایی تهیه و مختصات نقاط آن کاملاً تهیه شد. ۲- عکس‌ها از شئ مورد نظر به‌دست آمد. تصاویر استرئو به وسیله یک جفت دوربین واسنجی شده به‌دست می‌آید. ۳- بعد از به‌دست آوردن تصاویراسترئو، تصاویر اصلاح شدند؛ به صورتی‌که نقاط متناظر در دو تصویر اصلاح شده، روی همان ردیف همسان قرار گیرند.۴- مرحله آخر به‌دست آوردن اطلاعات سه بعدی می‌باشد. برای هر نقطه موجود در تصویر اول نقطه متناظر آن در تصویر دوم به‌دست آمد که با به‌دست آوردن جابجایی نقاط می‌توان میزان فاصله شئ را از دستگاه مختصات دوربین‌ها به‌دست آورد.

نکته قابل ذکر این است که در مرحله (۱) و (۲) که عکس‌برداری صورت می‌پذیرد، رعایت بعضی نکات ضروری می‌باشد مانند این که هیچ گونه تغییری نباید در خصوصیات دوربین مانند سرعت شاتر و دیافراگم و فاصله کانونی به وجود آید.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا، به‌دست آوردن تصاویر مناسب (دارای وضوح و نوردهی مطلوب) دارای اهمیت بسیاری می‌باشد که برای بررسی این موضوع تحقیق دیگری (۲۵) روی نحوه عکس‌برداری و استفاده از پارامترهای مناسب داخلی صورت گرفت. برای تهیه تصاویر دوربین‌ها برروی یک نگهدارنده نصب شد.

ساخت نگهدارنده دوربین

به منظور نصب دوربین‌ها به‌صورت ثابت و عمودی، یک تکیه‌گاه در انستیتو ملی تحقیقات کشاورزی فرانسه (INRA) در شهر اوینیون ساخته شد که تصویر آن در شکل۲ آمده است. در طراحی و ساخت تکیه‌گاه دوربین‌ها، موارد متعددی (مانند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل ۴. تکیه گاه و وسایل مورد استفاده در این روش

تنظیم فاصله بین دوربین‌ها، دقت در ساخت محل نصب دوربین‌ها جهت عمودی قرار گرفتن محور اپتیکی دوربین، و قرار دادن تنظیم کننده‌های زاویه برای دوربین‌ها، حداکثر همپوشانی ۱/۸× ۱/۸ متر، استحکام تکیه‌گاه) در نظر گرفته شد.

خصوصیات دوربین

تصاویر با استفاده از دوربین‌های دیجیتالی Nikon D100 با فاصله کانونی ۳۵ میلی‌متر تهیه شد. دوربین‌ها نیز در فاصله نسبی ۴۰ سانتی‌متری و ارتفاع حدود ۳/۴ متری سطح زمین قرار گرفتند.

تهیه مدل رقومی با استفاده از فتوگرامتری

به طور کلی دو عکس‌برداری در دو تاریخ متفاوت از دو ماکت صورت گرفت. در یک قسمت برای بررسی این که آیا روش فتوگرامتری را می‌توان تحت شرایط بارندگی نیز استفاده کرد، با دست مقادیر مشخصی آب به ماکت اضافه گردید. این عمل برای بررسی عملکرد روش فتوگرامتری در صورت وجود آب در داخل چاله‌ها صورت گرفت. برای تهیه مدل رقومی زمین از نرم افزار پردازش تصویر Halcon تحت لیسانس اینرای اوینیون استفاده شد. با انجام برنامه نویسی در این نرم‌افزار برای مراحل (۳) و (۴) فتوگرامتری (رجوع شود به قسمت فتوگرامتری) ارتفاع نقاط برای هر پیکسل به‌دست آمد. در فایل خروجی مختصات نقاط در فواصل منظم نمی‌باشد؛ که علت آن اصلاحات انجام شده روی تصویر(Image rectifying) در اثر اعوجاج(Distortion) تصویر در مرحله (۳) و انتخاب دقتی کمتر از اندازه پیکسل(Sub-pixel precision) می‌باشد. داده‌های ارتفاعی به‌دست آمده، به طور مستقیم و بدون هیچ گونه پردازش،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

حذف و یا اصلاح برای مقایسه با روش لیزری استفاده شدند.

آماده سازی داده‌ها

برای مقایسه مدل‌های رقومی به‌دست آمده در اولین قدم باید هر دو برداشت دارای دیمانسیون، دستگاه مختصات یکسان و اندازه پیکسل یکسان باشند. به این منظور، تمامی داده‌های مختصاتی به مقیاس میلی‌متر در آمدند و سیستم مختصات مدل رقومی روش فتوگرامتری به روش لیزری انتقال یافت. برنامه‌ای برای این‌کار به زبان R نوشته شد. چهار گوشه داخلی ماکت‌ها به عنوان نقاط مشخص در نظر گرفته شد. سپس با حداقل کردن متوسط خطاها، میزان پارامترهای انتقال و چرخش محورهای مختصات برای هر مدل رقومی به‌دست آمده از روش فتوگرامتری محاسبه گردید(جدول۱). با توجه به RMSE به‌دست آمده حداکثر خطا ۱/۴ و حداقل آن ۱/۱ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به این که این خطا مجموع قدر مطلق در سه جهت x، y و z می‌باشد خطای قابل قبولی به حساب می‌آید. با استفاده از میانیابی اندازه پیکسل داده‌های ارتفاعی محاسبه شده با روش فتوگرامتری به لیزری یعنی ۲ میلی‌متر تغییر یافت.

در مرحله آخر آماده‌سازی داده‌ها، کادر اطراف مربوط به ماکت‌ها برداشته شد. تمامی مراحل و تصویرها به وسیله برنامه نویسی در R به‌دست آمده است. به منظور جلوگیری از خطای به وجود آمده به وسیله سایه کادرها بر روی منطقه و زاویه دید، منطقه اصلی برای مطالعه منطقه میانی ماکت‌ها بین ۵ تا ۵۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

نتایج

مقایسه مدل‌های رقومی به‌دست آمده

با رسم مدل کلی سطح (شکل۵) مشاهده می‌شود که روش فتوگرامتری توانسته است شکل عمومی زمین، ریزدانه‌ها و کلوخه‌ها بخصوص برجستگی‌های اصلی را مشخص کند، اما در تعیین شکل کامل، ریزدانه‌های کوچک و مخصوصاً در حاشیه‌ها، دارای بی‌نظمی‌هایی می‌باشد. از دلایل این امر می‌توان به نیافتن نقاط متناظر در حین روش فتوگرامتری و یا انجام میانیابی و حتی انتقال محورها باشد. از طرفی به همین علت به نظر می‌رسد که فتوگرامتری دارای سطح ملایمتری نسبت به لیزری است. همین مسئله می‌تواند یافتن اطلاعاتی مانند میزان نگهداشت سطحی، مساحت آب گرفته شده(Ponded Area)، چگونگی ارتباط چاله‌ها و دیگر موارد را تحت تاثیر قرار دهد.

بررسی هیستوگرام‌های ارتفاعی

به‌علت تعداد داده‌های بالا در مواردی تا ۵۰۰ هزار پیکسل، هیستوگرام‌های ارتفاعی و شیب با برنامه نویسی به زبان R به‌دست آمدند. به منظور بررسی نتایج و دقت روش فتوگرامتری در اولین قدم خصوصیات آمار توصیفی داده‌های ارتفاعی (جدول۲) و سپس هیستوگرام‌های ارتفاعی به‌دست آمده از دو تکنیک با یکدیگر مقایسه شد. در اینجا فقط نتایج مربوط به برداشت اول و دوم (فقط ماکت‌های بدون آب) در شکل ۶ ارائه شده است. به طور کلی این روند در بقیه موارد نیز مشاهده شد. نحوه توزیع شرایط زبری توسط پلات بکس‌ها نیز در شکل۷ ارائه شده است.

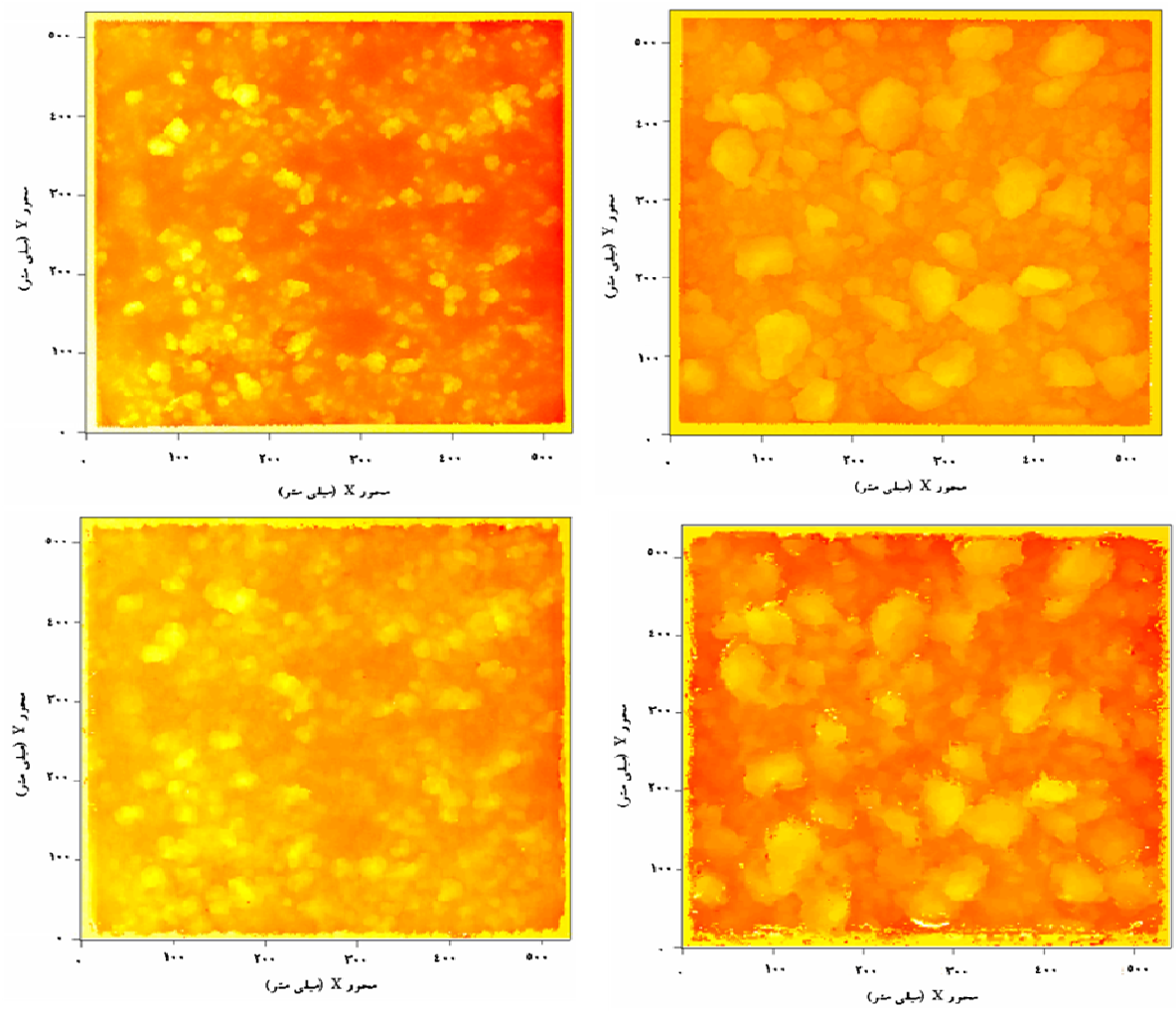
در مورد هیستوگرام‌ها در ماکت با زبری بالا شباهت بسیاری بین توزیع کلاس‌های ارتفاعی با فراوانی نسبتاً برابر وجود دارد. اگر چه توزیع کاملاً نرمال نیست، اما یک حالت نسبتا متقارن وجود دارد. همان طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود چولگی دارای مقدار عددی بالاتری در روش لیزری می‌باشد. در هر صورت این اعداد نسبتاً به یکدیگر نزدیک می‌باشند. روش فتوگرامتری دارای دامنه اعداد بالاتر (حدود ۱۵- تا ۱۳۰ میلی‌متر در مقابل ۳/۴- تا ۹۰ میلی‌متر برای لیزری) و انحراف معیار پایین‌تری (حدود ۱۴/۳ در مقابل ۱۵/۳ برای لیزری) می‌باشد. جستر و کلیک (۱۱) با مقایسه دو روش نشان داده‌اند که انحراف معیار در روش فتوگرامتری افزایش یافته است. در هر سه مورد(روش لیزری و دو تکرار فتوگرامتری) میزان میانگین با میانه آن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. ولی از طرف دیگر میزان میانگین به ترتیب برای روش لیزری و دو تکرار فتوگرامتری ۳۹/۷،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

جدول ۱. میزان خطای متوسط مجموع خطا (به میلی متر) در جهت x، y، z در عملیات انتقال سیستم مختصات مدل رقومی به‌دست آمده از روش فتوگرامتری به روش لیزری

عکس‌برداری اول		عکس‌برداری دوم	
زبری بالا	زبری پایین	زبری بالا	زبری پایین
۱/۳۴	۱/۶۲	۱/۲۴	۱/۱۱۴



شکل ۵. مدل رقومی زمین برای ماکت‌های به همراه کادر، با زبری بالا و پایین از روش لیزری (دو تصویر بالا)، و روش فتوگرامتری بعد از میانیابی (دو تصویر پایین). واحد محور مختصات میلی‌متر می‌باشند.

۴۸/۵۵ و ۴۸/۶۸ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد در حدود یک سانتی‌متر تفاوت بین روش فتوگرامتری و روش لیزری فاصله وجود دارد. بین دو تکرار تفاوتی دیده نشد.

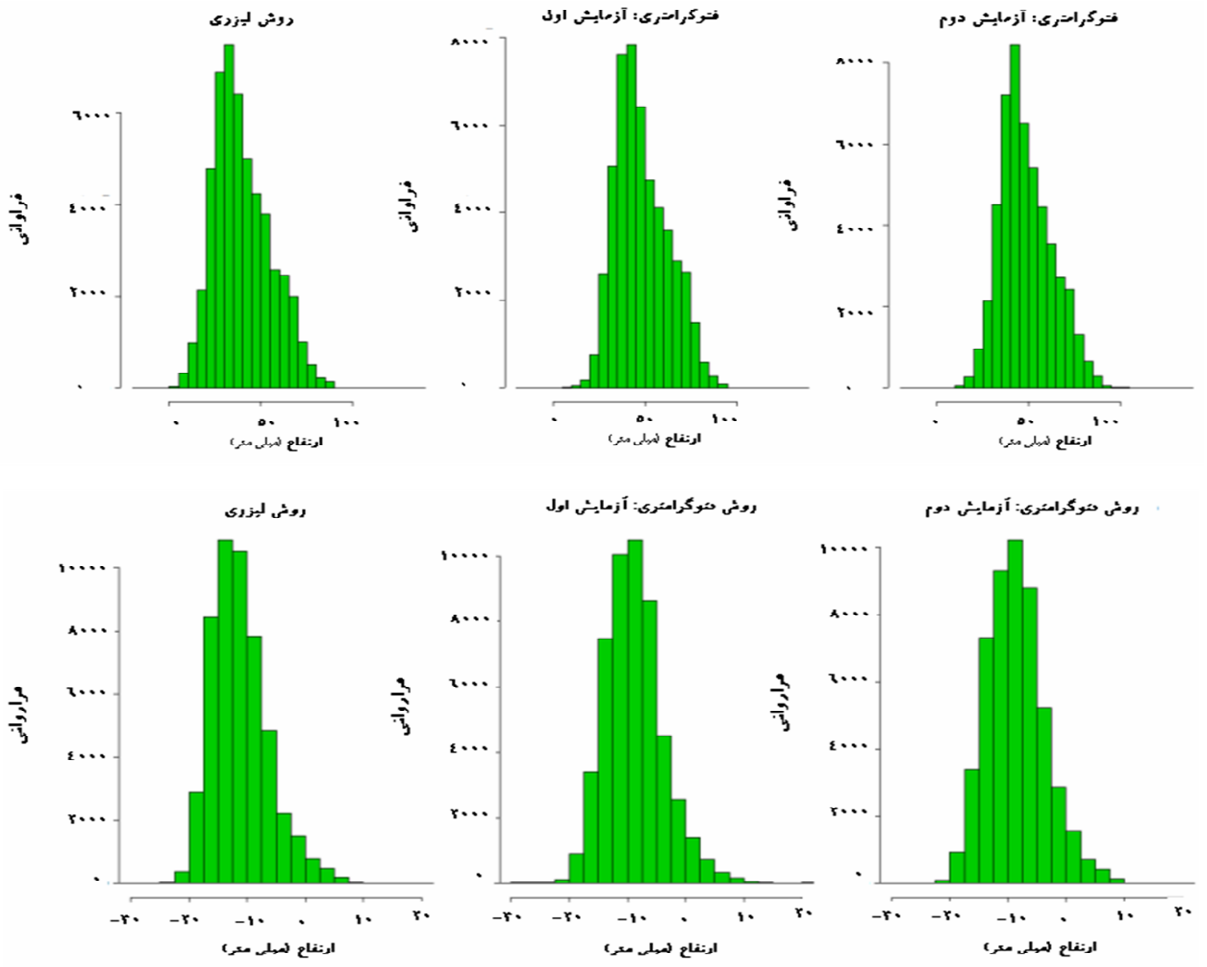
در مورد ماکت با زبری ملایم نیز توزیع مناسب ارتفاعات در گروه‌های متفاوت به دست آمد. انحراف معیار حاصل از دو روش نزدیک بوده و در روش فتوگرامتری مقدار کمی بالاتر (حدود ۵ در برابر ۴/۸۷) است. میانه و میانگین نسبتاً برابر بوده ولی در اینجا نیز میزان میانگین در روش فتوگرامتری حدود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

جدول۲. خصوصیات آماری توصیفی داده‌های اصلی و میانیابی شده در روش فتوگرامتری تکرار دوم

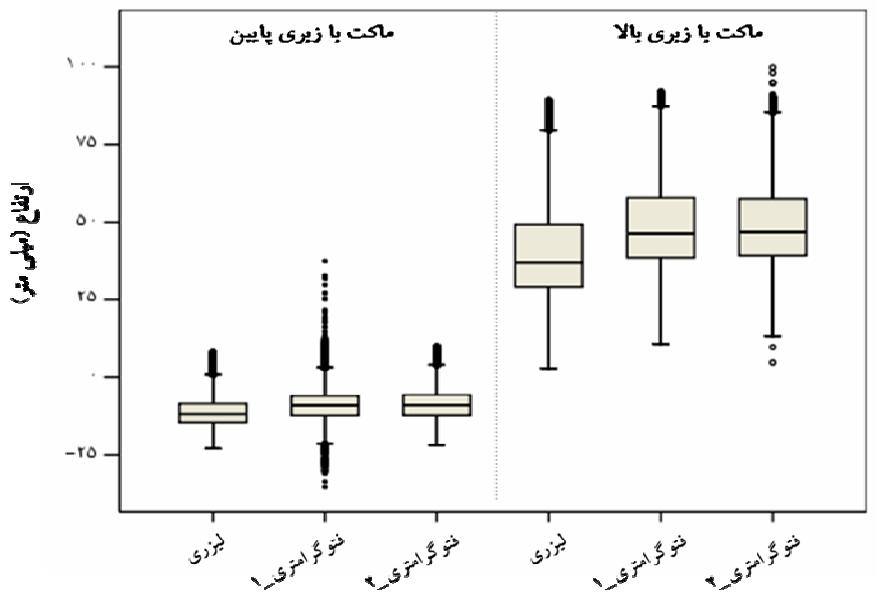
روش	زبری ماکت	داده های ارتفاعی (میلی‌متر)			
		میانگین	دامنه	انحراف معیار	میانه
روش لیزری	بالا	۷/۳۹	۵/۹۰-۴/۳-	۳۵/۱۵	۱۶/۳۷
	پایین	۲۴/۱۱-	۳/۹-۵/۲۳-	۸۷/۴	۸۳/۱۱-
داده‌های اصلی	بالا	۹۸/۴۸	۹/۱۳۶-۹/۱۵-	۸۵/۱۴	۴۴/۴۶
آزمایش دوم	پایین	۵۹/۸-	۳/۲۴-۲/۳۸-	۰۰/۵	۹۱/۸-
داده های میانیابی شده	بالا	۶۸/۴۸	۴/۱۳۲-۹/۱۵-	۲۴/۱۴	۳۵/۴۶
آزمایش دوم	پایین	۶/۸-	۷/۱۴-۴/۲۸-	۹۸/۴	۹/۸-
روش	زبری ماکت	داده‌های ارتفاعی (میلی‌متر)			
		میانگین	دامنه	انحراف معیار	میانه



شکل۶. هیستوگرام‌های ارتفاعات به ترتیب از سمت چپ روش لیزری، آزمایش اول و دوم روش فتوگرامتری، برای ماکت‌های با زبری بالا (در بالا) و ماکت با زبری پایین (در پایین)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل۷. پلات باکس‌های ارتفاعی ماکت‌های با زبری بالا و پایین

جدول ۳. آمار توصیفی ارتفاعات مدل‌های رقومی زمین به دو روش لیزری و فتوگرامتری

روش	ماکت با زبری پایین			ماکت با زبری بالا		
آمار	فتوگرامتری ۲	فتوگرامتری ۱	لیزری	فتوگرامتری ۲	فتوگرامتری ۱	لیزری
میانگین	-۸/۶	-۸/۶	-۱۱/۲۴	۴۸/۶۸	۴۸/۵۵	۳۹/۷
انحراف معیار	۴/۹۸	۵/۰	۴/۸۷	۲۴,۱۴	۱۴/۴	۱۵/۳۵
حداکثر	۱۴/۷	۲۴/۲	۹/۲	۱۳۲/۴	۱۲۸/۸	۹۰/۵
حداقل	-۲۸/۴	-۲۸/۲	-۲۲/۵	-۱۵/۹	-۱۷/۴	۳/۴
میانه	-۸/۹	-۸/۹۱	-۱۱/۶۲	۴۶/۲۵	۴۶	۴۶
چولگی	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۸

۳ میلی‌متر بیشتر تخمین زده شده است. به طورکلی با توجه به توزیع داده‌ها در کلاس‌های مختلف می‌توان گفت که در این ماکت میزان همخوانی ارتفاعات بیشتر می‌باشد. در هر دو نوع ماکت مورد نیز اندازه پلات باکس‌ها تقریباً در یک حدود می‌باشد. نکته جالب توانایی روش فتوگرامتری در تشخیص این دو نوع زبری از هم می‌باشد (شکل۷).

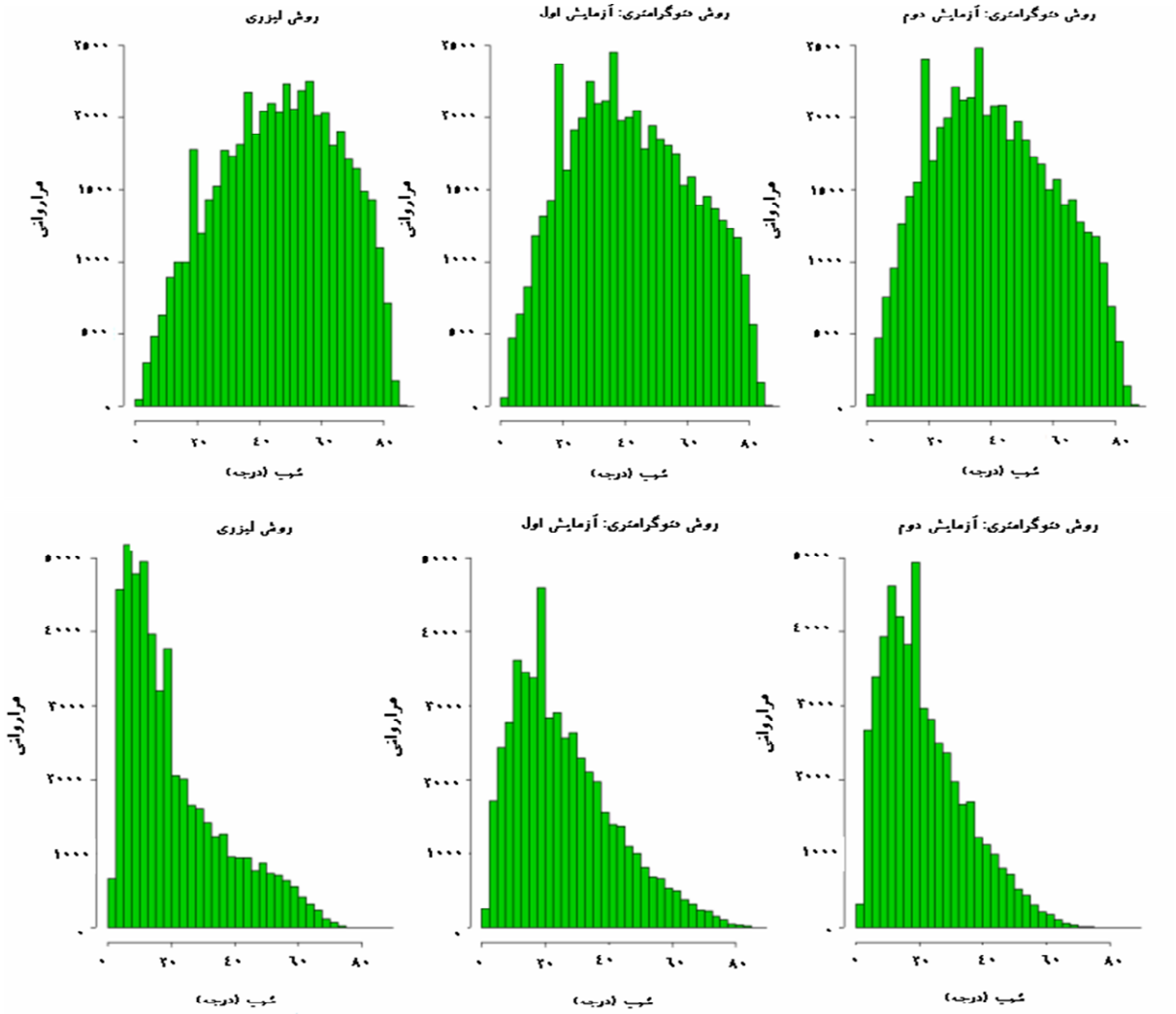
بررسی هیستوگرام‌های شیب

همان‌طور که در هیستوگرام‌های شیب (شکل۸) و پلات باکس‌های (شکل۹) مربوطه دیده می‌شود، مقایسه شیب می‌تواند اختلاف دو روش را بهتر از مقایسه ارتفاع‌ها نشان دهد.

جدول۴ آمار توصیفی مربوط به دو روش را نشان می‌دهد. در مورد ماکت‌هایی با زبری بالا میزان انحراف معیار دو تکنیک بسیار نزدیک به هم بوده (حدود ۱۹/۷) اختلافی در حد چند صدم نشان داد. با مقایسه میانگین‌ها و میانه‌ها در دو تکنیک لیزری (میانگین ۴۶ و میانه ۴۶/۷) و فتوگرامترای (میانگین حدود ۴۱ و میانه حدود ۴۰)، مشاهده می‌شود که در تکنیک لیزری میانگین شیبی کوچک‌تر از میانه است که نشان‌دهنده مقداری

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



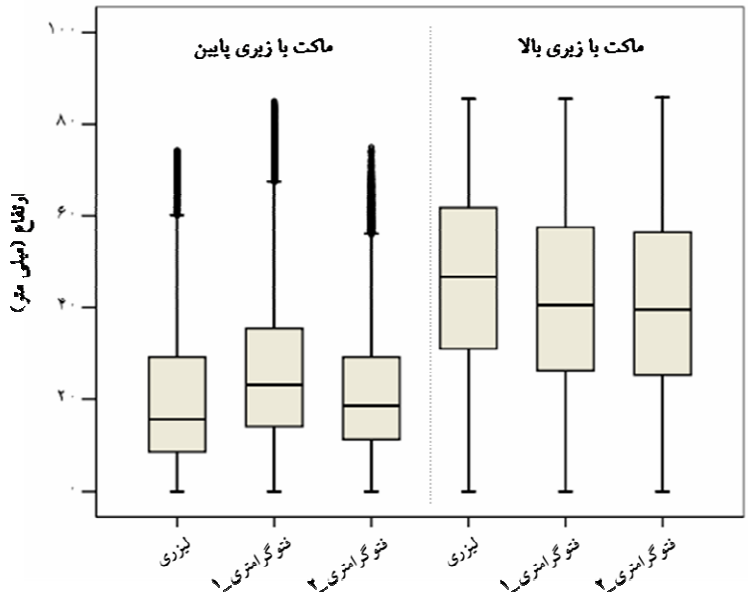
شکل۸. هیستوگرام‌ها و پلات باکسهای شیب به ترتیب از سمت چپ روش لیزری، داده‌های اصلی و میانیابی شده روش فتوگرامتری، برای ماکت‌های با زبری بالا (در بالا) و ماکت با زبری پایین (در پایین)

چولگی به سمت راست (تمایل به شیب‌های بالاتر از ۴۶ و مقدار چولگی ۰/۱۴-) می‌باشد. بالعکس آن، در روش فتوگرامتری دیده می‌شود که چولگی افزایش یافته کمی به سمت چپ (تکرار اول ۰/۱۳ و دوم ۰/۱۴) یعنی شیب‌های پایین دارد. از طرف دیگر میانگین شیب لیزری در حدود ۶ درجه بالاتر می‌باشد که به خوبی در پلات باکس‌ها (شکل۹) مشخص است. با مقایسه بالا این نتیجه عاید می‌شود که شیب فتوگرامتری حالت ملایم‌تری دارد. یعنی از فراوانی شیب‌های تند کم شده به فراوانی شیب‌های پایین‌تر افزوده شده است. اختلاف در هیستوگرام‌ها هم بیشتر به شیب‌های بالا مربوط می‌شود، در هیستوگرام، روش لیزری شیب تندی را در قسمت سمت راست نشان می‌دهد در حالی‌که در روش فتوگرامتری این شیب تعدیل شده است.

در مورد ماکت‌ها با زبری پایین (شکل ۸ قسمت پایین)، به طور کلی روش لیزری دارای میانگینی کمتر (۲۰/۷) نسبت به فتوگرامتری (تکرار اول ۲۶ و دوم ۲۱/۴) بوده و دامنه شیب لیزری (۷۴/۲-۰) پایین‌تر از دو تکرار دیگر می‌باشد. در هر صورت بین تکرار دوم با بقیه در میانگین و شیب تفاوت بیشتری وجود دارد. در تمامی موارد میزان میانگین از میانه بیشتر است که نشان‌دهنده چولگی به سمت چپ می‌باشد. این چولگی در روش لیزری واضح‌تر (چولگی ۱/۰۴ در مقابل حدود ۰/۸۳ در روش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل۹. پلات باکس‌های شیب برای ماکت‌های با زبری بالا و پایین

جدول۴. آمار توصیفی شیب‌های محاسبه شده از مدل‌های رقومی زمین به دو روش لیزری و فتوگرامتری

روش	ماکت با زبری پایین			ماکت با زبری بالا		
آمار	فتوگرامتری ۲	فتوگرامتری ۱	لیزری	فتوگرامتری ۲	فتوگرامتری ۱	لیزری
میانگین	۲۱/۴	۲۶	۲۰/۷	۴۰/۹	۴۱/۹	۴۶
انحراف معیار	۱۲/۲	۱۵/۹	۱۵/۸	۲۹/۶۱	۱۹/۹	۱۹/۶
حداکثر	۷۴/۹	۸۴/۹	۷۴/۲	۸۵/۸	۸۵/۸	۸۵/۸
حداقل	۰	۰	۰	۰	۰	۰
میانه	۱۸/۵۴	۲۲/۱	۱۵/۷	۲۹/۶۱	۴۰/۵۱	۴۶/۷
چولگی	۰/۸۴	۰/۸۲	۱/۰۴	۰/۱۴	۰/۱۳	-۰/۱۴

فتوگرامتری) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هیستوگرام شیب دو تکنیک کاملاً با هم متفاوت می‌باشند، بیشتر تفاوت مربوط به ناحیه کم شیب می‌شود. بیشترین داده‌های لیزری مربوط به ۲/۵ تا ۲۰ درجه می‌باشد در حالی‌که در روش دیگر بین ۲/۵ تا حدود ۴۰ می‌باشد و در واقع می‌توان گفت تراکم موجود به نوعی در شیب‌های کم در این دامنه تقسیم شده و تفاوت کمتری در شیب‌های بالاتر مشاهده می‌شود. با مقایسه هیستوگرام دو ماکت بدون در نظر گرفتن تکنیک مورد استفاده تفاوت بین دو ماکت به خوبی مشخص می‌شود.

وجود شیب‌های تند به مقدار زیاد در ماکت با زبری بالا و شیب‌های کم در ماکت با زبری پایین، نشان دهنده تغییرات ناگهانی در میکروتوپوگرافی خاک سطحی و میزان کم این شیب‌ها در ماکت دیگر و تراکم در شیب‌های پایین نشان دهنده وجود مناطق مسطح می‌باشد.

مقایسه روی ترانسکت‌ها

با توجه به پلات باکس‌های ارتفاعی (شکل۷) روش فتوگرامتری همواره دارای میانگینی بالاتر از روش لیزری دارد، و با در نظر گرفتن اختلاف مشاهده شده در دامنه اعداد در این دو روش (جدول۲)، نیاز به بررسی بیشتری روی داده‌ها احساس شد. با

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

توجه به این که داده‌های لیزری و فتوگرامتری همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد در یک سیستم مختصات قرار دارند، می‌توان آنها را به طور مستقیم مورد مقایسه قرار داد. برای مقایسه به این روش ترانسکت‌های متعددی برای هر مورد در فواصل مشخص تهیه شد که نمونه‌هایی از آن در شکل ۱۰ ارائه شده است.

مطابق شکل ۱۰ در تمامی موارد همپوشانی مناسب روش فتوگرامتری را با روش لیزری می‌توان مشاهده کرد. اما به طور کلی می‌توان گفت یک خطای سیستماتیک وجود دارد که بر اساس آن روش فتوگرامتری علی‌رغم ثبت مناسب پستی و بلندی‌ها، در تمامی موارد مقادیری بالاتر از روش لیزری را به خود اختصاص داده است. برای اطمینان از این که خطا به طور سیستماتیک بوده و در تمام مدل رقومی زمین نیز وجود دارد، تفاضل دو مدل رقومی (شکل ۱۱) به‌دست آمد. با توجه به تفاضل رنگی نسبتاً یکسان (رنگ نماینده ارتفاع است)، می‌توان وجود یک خطای سیستماتیک را تأیید کرد. از دلایل اصلی این وجود این خطای سیستماتیک، خطا در انتقال سیستم مختصات را می‌توان نام برد که به علت تعداد پایین نقاط متناظر و هم‌چنین قرار داشتن آنها در ارتفاع نسبتاً برابر می‌باشد. با دقت در تصویر تفاضل دو روش فتوگرامتری و لیزری مشاهده می‌شود که اختلاف دو روش در حاشیه کلوخه‌ها و پستی و بلندی‌ها بیشتر از سایر قسمت‌ها می‌باشد و هر چه زبری شدیدتر باشد این اختلافات مشخص‌تر خواهد بود. این عمل روی تصاویر تکرار اول نیز انجام شد که در عمل همین نتیجه گرفته شد.

در نهایت با قرار دادن داده‌های لیزری و داده‌های فتوگرامتری در یک دستگاه مختصات (شکل۱۲)، نمودار هم‌بستگی با روش پیرسن به صورت خطی به‌دست آمد. با توجه به نتایج آنالیز انجام شده (جدول۵) با نرم افزار SPSS، مقدار سطح معنی‌دار به‌دست آمده بسیار کوچک می‌باشد که نشان دهنده هم‌بستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ می‌باشد. هم‌چنین میزان خطای استاندارد برای ضرایب معادله در مقایسه با خود ضرایب (جدول۶) مقادیر کمی را نشان می‌دهد که برای این ضرایب نیز سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد. در شکل فوق می‌توان گفت که در مورد ماکت با زبری پایین‌تر هم‌بستگی بیشتری وجود دارد. در هر صورت با توجه به ضرایب تعیین و آنالیز انجام شده می‌توان گفت این دو هم‌بستگی بسیار مناسبی را به هم نشان می‌دهند. در صورت هم‌بستگی ۱۰۰ درصد و دقت و کامل تمام داده‌ها، باید روی خط ۱ : ۱ قرار گیرند. اما خط برازش یافته در هر دو مورد پایین‌تر از خط نقطه چین و تقریباً موازی (در جدول۷ مقادیر شیب خط‌ها بسیار نزدیک به ۱ یعنی شیب خط ۱:۱ هستند) با آن قرار گرفته است. که می‌تواند تایید دوباره‌ای بر خطای سیتماتیک باشد.

با مقایسه‌ایی که انجام شد کیفیت روش فتوگرامتری در مقابل روش لیزری مشخص شد. در این مرحله برای پاسخ به این سوال که آیا با این روش می‌توان خصوصیات سطحی خاک را به‌دست آورد، ضریب زبری خاک به عنوان یکی از خصوصیات کلیدی خاک در فرایند ایجاد رواناب و فرسایش آبی – بادی انتخاب شد. محققان زبری خاک را مترادف با میکروتوپوگرافی سطح خاک می‌دانند. برای تعیین ضریب زبری خاک از شاخص‌های متعددی استفاده می‌شود که در اینجا شاخص زبری تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت.

مطالعه ضرایب زبری

شاخص زبری تصادفی را با RR نمایش می‌دهند و از این ضریب زبری به علت سادگی به طور گسترده استفاده می‌شود. تاکونت و سیارلتی (۲۳) در تحقیق خود نقش کلیدی این فاکتور روی کنترل بسیاری از فرایندهای هیدرولیکی و فرسایش در مقیاس مزرعه را مورد تأکید قرار داده‌اند.

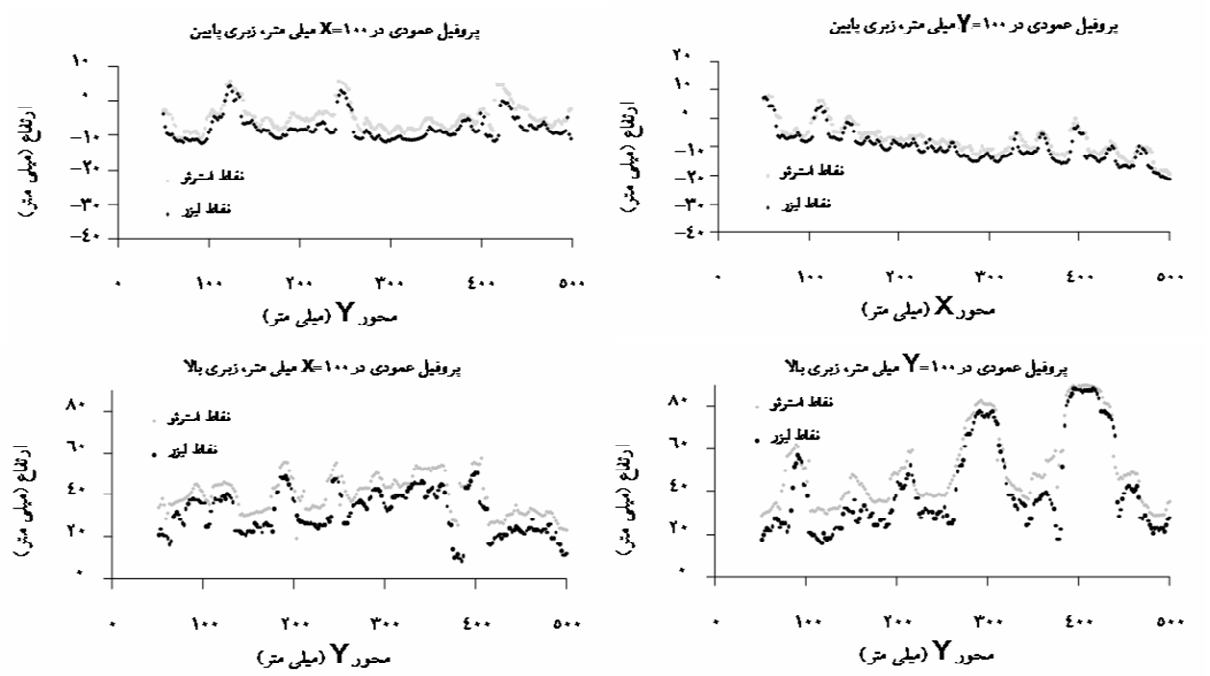
نحوه تعیین این شاخص روی یک پروفیل ارتفاعی خاک به صورت زیر است(۱) که در واقع همان انحراف معیار داده‌های ارتفاعی روی یک ترانسکت می‌باشد.

$$RR = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(z_i - \bar{z})^2\right]^{1/2} \qquad [2]$$

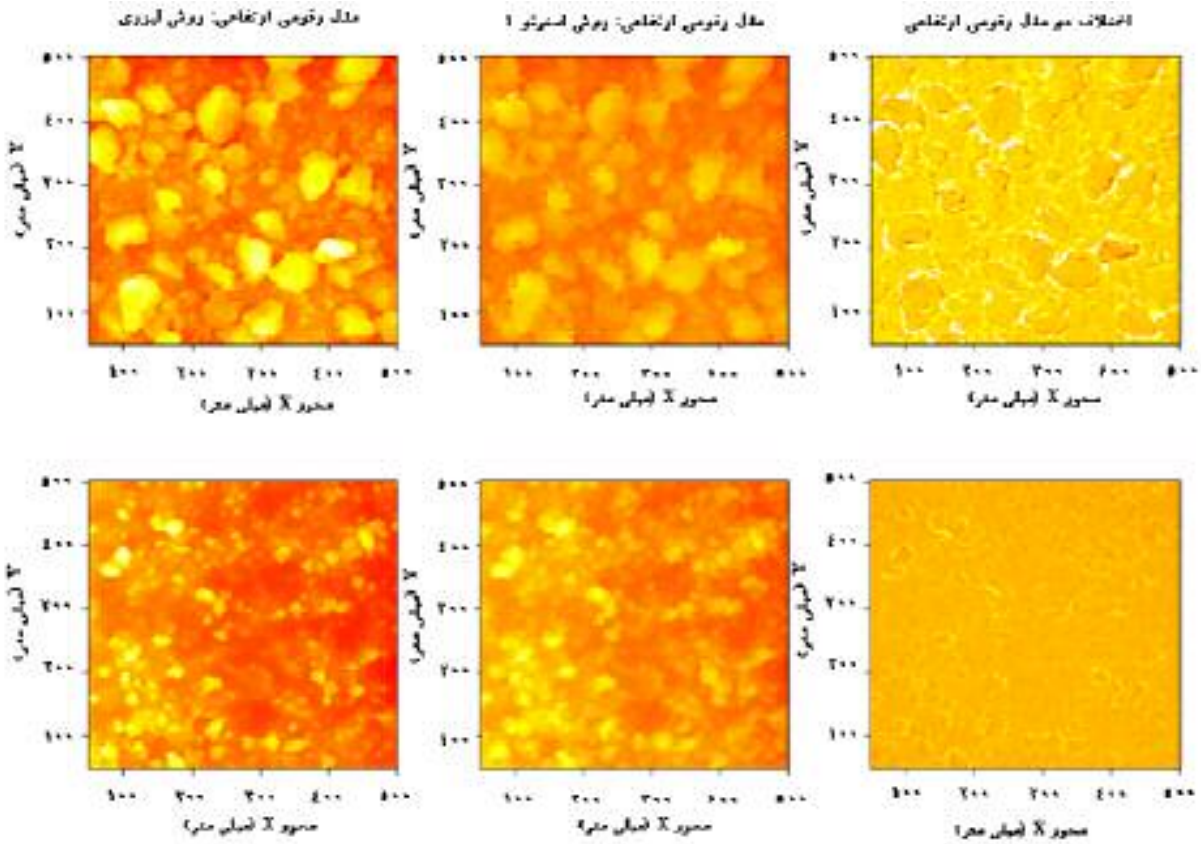
که در آن zi: مقدار ارتفاع در هر نقطه و z، میانگین می‌باشد. این شاخص تنها زبری حاصل از نحوه قرار گرفتن تصادفی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



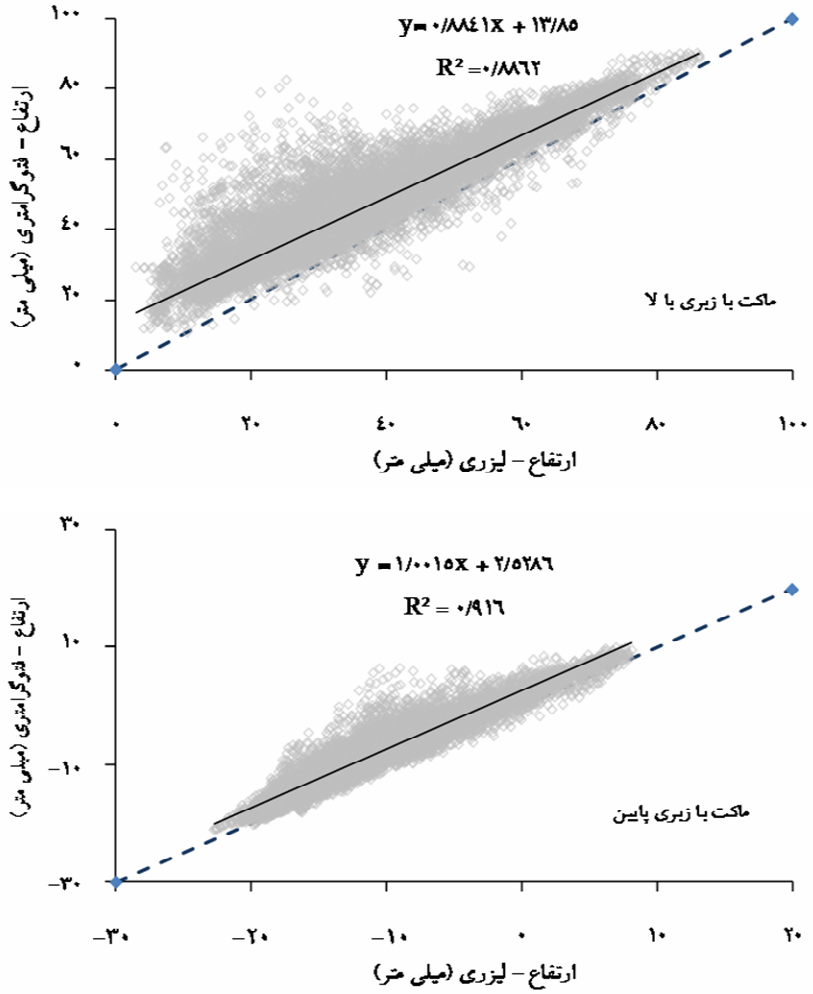
شکل۱۰. مقایسه ترانسکت‌ها در دو جهت x و y در دو ماکت با زبری بالا (ترانسکت‌های بالا) و با زبری پایین (ترانسکت‌های پایین)



شکل۱۱. نمایش منطقه کار در هر دو ماکت و تفاضل مدل رقومی زمین دو روش فتوگرامتری و روش لیزری در دو ماکت با زبری بالا (تصویر بالا) و زبری پایین (تصویر پایین)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل۱۲. رابطه خطی بین داده‌های به‌دست آمده از روش لیزری و روش فتوگرامتری- تکرار دوم در دو ماکت با زبری بالا تکرار اول و پایین تکرار اول، خط نقطه چین خط ۱:۱ می‌باشد.

جدول۵. ضرایب هم‌بستگی به همراه سطح معنی‌داری روش لیزری با روش فتوگرامتری

		تکرار اول	تکرار دوم
زبری پایین		۰/۸۷	۰/۹۶
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
زبری بالا		۰/۹۴	۰/۹۴
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

هم‌بستگی در سطح ۰/۰۱ (آزمون دو دامنه) معنی‌دار می‌باشد. تعداد پیکسل‌های مورد استفاده برای هر نمونه ۵۰۶۲۵ و اندازه پیکسل یک میلی‌متر

ریزدانه‌های خاک در کنار هم را نشان می‌دهد. به همین منظور ترانسکت‌های بسیاری در جهات مختلف X و Y تهیه شد. در جدول ۷ میانگین به‌دست آمده در هر جهت ارایه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو تکرار، و در هر دو ماکت جواب‌ها بسیار به هم نزدیک می‌باشند که نشان دهنده این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

جدول۶ . ضرایب معادله (y= a+bx) هم‌بستگی به همراه سطح معنی داری روش لیزری با روش فتوگرامتری

ماکت	رگرسیون روش لیزری	ضریب تعیین	a	خطای استاندارد	b	خطای استاندارد	سطح معنی دار
زبری پایین	تکرار ۱	۰/۹۲	-۳/۲۵۲	۰/۰۱۲۱	۰/۹۲۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰
	تکرار ۲	۰/۷۵	-۳/۷۵۳	۰/۰۲۲	۰/۸۵۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰
زبری بالا	تکرار ۱	۰/۸۸	-۹/۲۸۲	۰/۰۸۳	۱/۰۰۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰
	تکرار ۲	۰/۸۸	-۱۰/۱۵۵	۰/۰۸۳	۱/۰۲۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰

جدول۷. مقایسه ضرایب زبری به‌دست آمده با دو روش لیزری و فتوگرامتری در جهات مختلف

روش	ماکت با زبری بالا		ماکت با زبری پایین	
	محور افقی	محور عمودی	محور افقی	محور عمودی
لیزری	۱۴/۲	۱۵	۳/۶	۴/۵
استرئو ۱	۱۲/۹	۱۴/۶	۴/۲	۵/۵
استرئو ۲	۱۳/۴	۱۳/۹	۳/۵	۴/۷

است که برای تعیین ضریب زبری می‌توان از این روش استفاده کرد. عدد ۱۴/۲ برای ماکت با زبری بالا در روش لیزری بوده که میزان محاسبه شده آن به روش فتوگرامتری به ترتیب ۱۲/۹ و ۱۳/۴ می‌باشد. به نظر می رسد مقدار برآورد شده از روش فتوگرامتری اندکی کمتر از مقدار برآورد شده از روش لیزری در ماکت با زبری بالا باشد. به طور کلی می‌توان گفت که در تمامی موارد در جهت y زبری بالاتری نسبت به x مشاهده می‌شود.

محاسبه حداکثر نگهداشت سطحی خاک (MDS)

دقیق‌ترین روش محاسبه حداکثر نگهداشت سطحی(Maximum Depressional Storage) خاک با استفاده از مدل رقومی دقیق از زمین می‌باشد. این‌کار با استفاده از الگوریتم های پر شدن چاله ها (۱۳) و یا خالی کردن چاله‌ها (۱۹) انجام می پذیرد. در نرم افزارهای GIS معمولا از الگوریتم پرکردن و حذف چاله‌ها استفاده می‌کنند. در این تحقیق با استفاده از یک نرم افزار GIS برای هر مدل رقومی زمین، مدل رقومی بدون چاله آن نیز به دست آمد. در نهایت از تفریق این دو میزان مساحت منطقه آب گرفته شده و حداکثر نگهداشت سطحی تعیین شد. میزان MDS به‌دست آمده در روش لیزری به ترتیب برای ماکت با زبری بالا و پایین ۰/۷۸ و ۰/۲۳ به‌دست آمد. نتایج حاصل در جدول۸ آمده است.

با توجه به جدول۸ در ماکت با زبری بالا، میزان تغییرات چندان زیاد نمی‌باشد. در تکرار اول میزان MDS محاسبه شده دقیقا با روش لیزری یکسان بوده و در تکرار دوم حدود ۲۰ درصد کمتر از میزان محاسبه با روش لیزری می‌باشد. در ماکت با زبری پایین نیز این میزان در ماکت دوم با روش لیزری یکسان بوده در حالی‌که در تکرار اول در حدود ۲۵ درصد بالاتر از میزان واقعی محاسبه شده است.

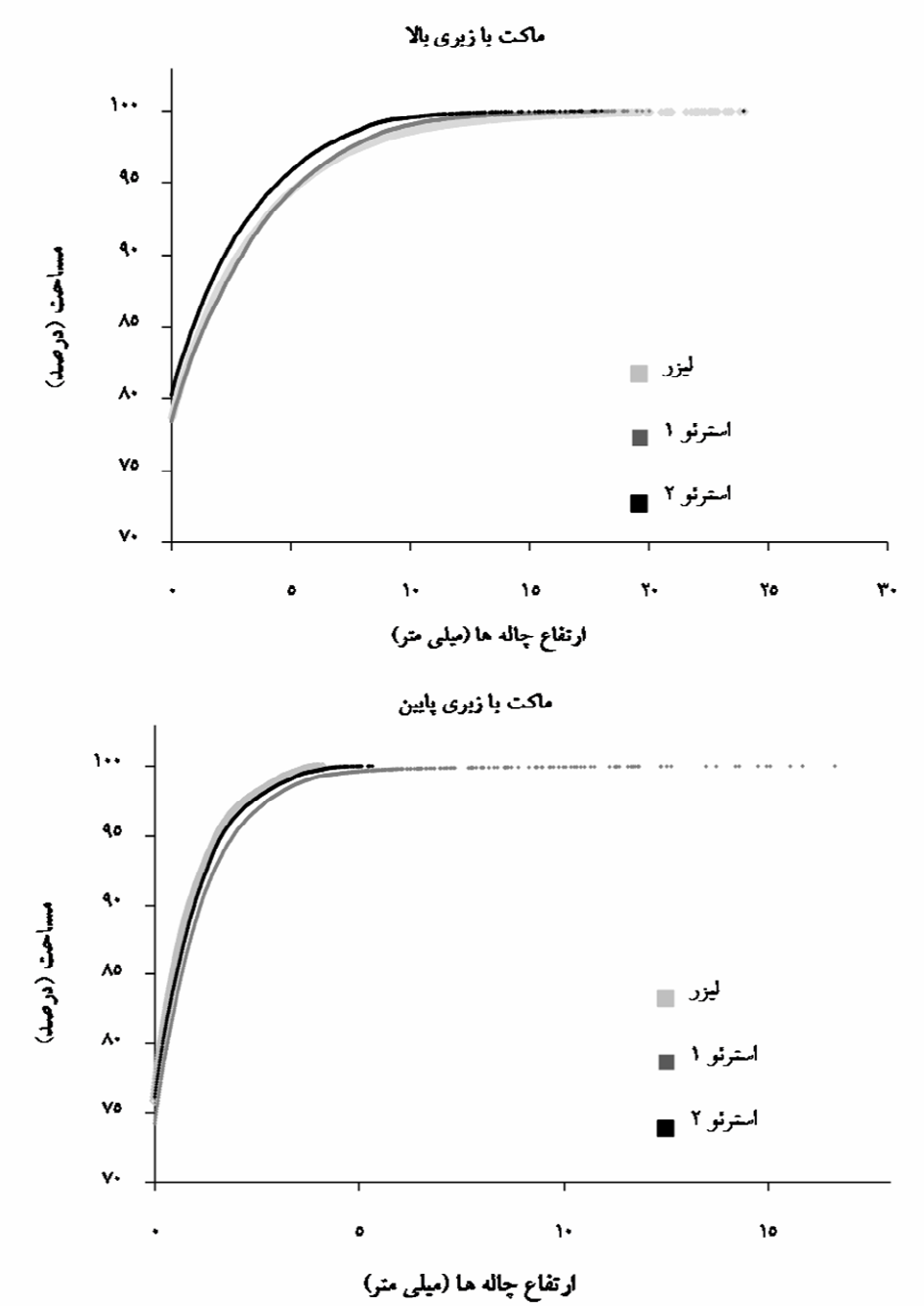
با توجه به نتایج می‌توان گفت که این روش توانسته است تا حدود زیادی میزان حداکثر نگهداشت سطحی را نزدیک به مقدار واقعی آن تعیین کند. برای درک علت این تغییرات میزان مساحت سهیم در ایجاد MDS با توجه به ارتفاع آنها مورد بررسی قرار گرفت که نمودارهای آن در شکل۱۳ ارائه شده‌اند. همان‌طور که

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

جدول۸. میزان MDS محاسبه شده برای دو روش برای هر ماکت بر حسب میلی‌متر

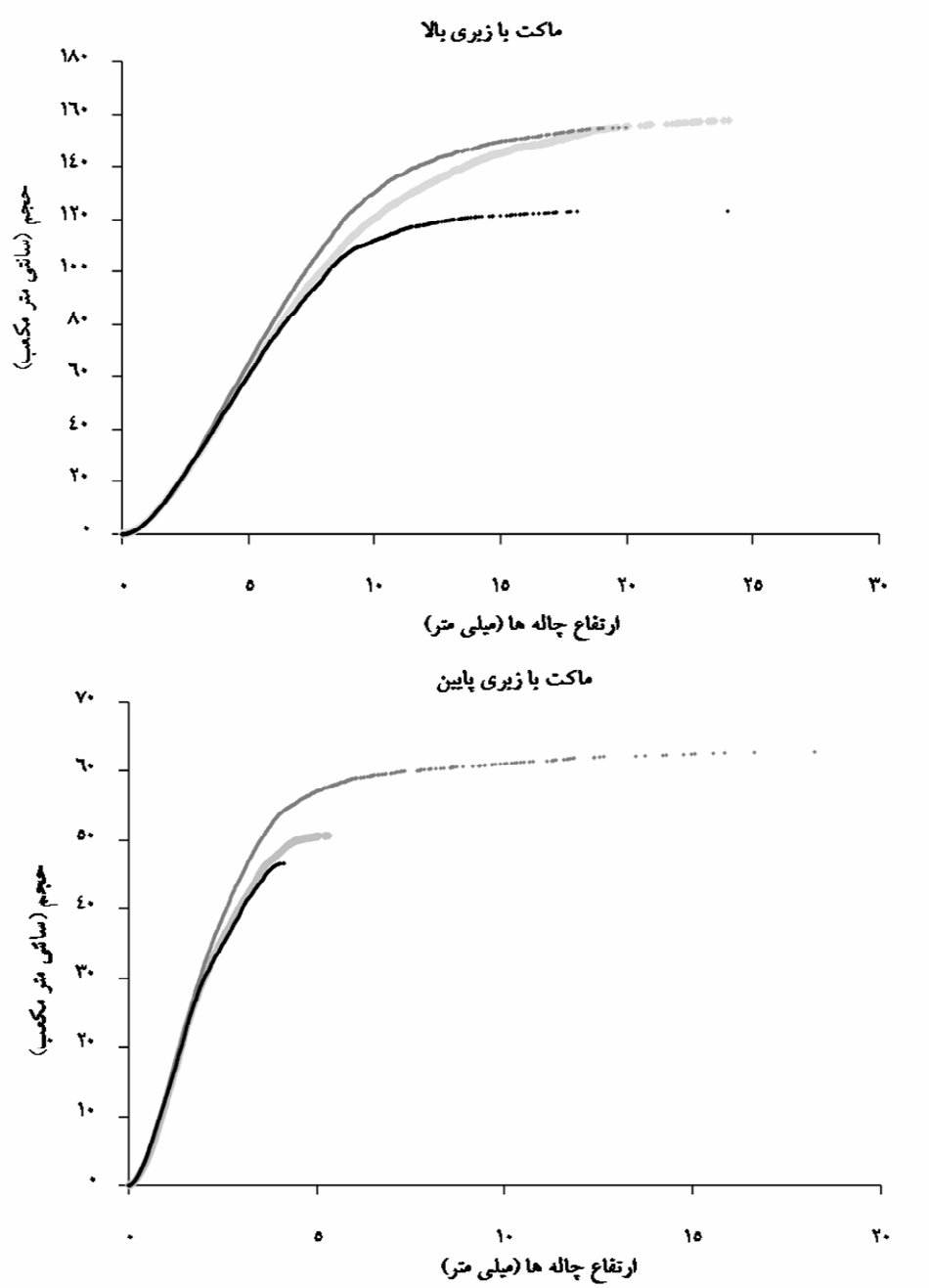
روش ماکت	لیزری	استرئو تکرار اول	استرئو تکرار دوم
زبری بالا	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۶۱
زبری پایین	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۲۵



شکل ۱۳. نمودار تجمعی میزان مساحت سهیم در در ایجاد حداکثر نگهداشت سطحی با توجه به ارتفاعات چاله‌ها

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]



شکل۱۴. نمودارهای میزان حجم آب ذخیره شده توسط چاله‌ها

در نمودار شکل۱۳ مشاهده می‌شود؛ در ماکت با زبری بالا و پایین به ترتیب ۷۹ و ۷۴ درصد از زمین فاقد چاله بوده و در تشکیل نگهداشت سطحی سهمی ندارند.

در ماکت با زبری بالا در تکرار دوم تعداد چاله‌هایی با ارتفاع پایین بالاتر و بالعکس فاقد چاله‌هایی با ارتفاع بالای ۱۸ میلی‌متر می‌باشد که همین امر باعث تخمین کمتر از واقعیت گردیده است. در ماکت با زبری پایین نیز در تکرار اول به علت وجود چاله‌هایی با ارتفاع زیاد میزان MDS بیشتر از میزان واقعی تخمین زده شده است.

شکل ۱۴ تفاوت بین عملکرد دو روش را روشن‌تر نشان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

می‌دهد. میزان حجم آب تجمع یافته در هر شش مورد در چاله‌هایی با ارتفاع پایین همپوشانی بسیار خوبی دارند. تفاوت در چاله‌هایی با ارتفاع بالاتر می‌باشد. در نمودار سمت چپ ماکت با زبری بالا در تکرار دوم (فقدان چاله‌هایی با ارتفاع بالا) و در نمودار سمت راست ماکت با زبری پایین تکرار اول (وجود چاله‌هایی با ارتفاع بالا) هر دو در قسمت انتهایی بیشترین اختلاف را با بقیه موارد دارند. چیزی که نیاز به مطالعه در موارد با زبری‌های شدیدتر را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای متفاوتی از سطح خاک مانند ارتفاع، شیب و ضریب زبری تصادفی به منظور مقایسه دو روش فتوگرامتری و لیزری به کار رفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش لیزری روش دقیق‌تری بوده و با توجه به میزان تفکیک پذیری برابر جزئیات بیشتری را ثبت میکند؛ و حتی می‌تواند ریزدانه‌ها و فضای خالی بین آنها رانیز به‌دست دهد اما روش فتوگرامتری نیز می‌تواند حالت کلی سطح خاک را نشان دهد، و در بعضی قسمت‌ها با دقت بالایی میزان ارتفاع را به‌دست آورد. به طور کلی روش لیزری قادر به ثبت دقیق حاشیه‌های کلوخه‌ها و ارتفاعات نمی‌باشد. مدل رقومی زمین با روش فتوگرامتری دارای سطوح نرمتری می‌باشد؛ مخصوصاً در در ماکت با زبری نرم که باعث تغییر جهت چولگی نیز شده است.

هر دو روش در بررسی میزان ضریب زبری تصادفی دقت نسبتاً برابری داشته که نشان می‌دهد در به‌دست آوردن بعضی از خصوصیات سطح خاک این دو روش را می‌توان جایگزین هم قرار دارد. از طرفی میزان نگهداشت سطحی نیز بسیار نزدیک به واقعیت می‌باشد. در این مطالعه بر خلاف اظهار جستر و کلیک (۱۱) میزان نگهداشت سطحی در یک مورد ۲۴ درصد بیش از میزان واقعی آن به‌دست آمد. علت اصلی تخمین بالا و یا پایین تر از میزان واقعی را می توان در تعداد چاله‌های با ارتفاع بالا مشاهده کرد.

هر کدام از این روش‌ها دارای مزایای مربوط به خود می باشند. روش لیزری زمان زیادی می برد (به عنوان مثال برای یک ماکت ۱ متر مربع در حدود ۲ ساعت وقت نیاز است که البته با پیشرفت‌های حاصل شده کمتر شده است) در حالی‌که روش فتوگرامتری روشی سریع‌تر می‌باشد. به عنوان نمونه ممکن است بتوان از این روش در حین بارندگی برای بررسی بیشتر فرآیند رواناب – نفوذپذیری و تغییرات آب نگهداشت سطحی استفاده کرد که به نظر می‌رسد تا کنون مقاله‌ای در این مورد ارائه نشده است. در هر دو روش داده‌ها بعد از برداشت باید پردازش شوند که زمان زیادی مخصوصا در روش فتوگرامتری می‌طلبد. استفاده از روش لیزری به‌صورت میدانی بسیار مشکل است در حالی‌که روش فتوگرامتری را می‌توان در تمامی فضاها استفاده کرد.

در نهایت با توجه به نتایج این تحقیق روش فتوگرامتری دارای دقت و صحت مورد نیاز برای مطالعه خصوصیات سطحی خاک می‌باشد که تأیید کننده مطالعه تاکونه و سیارلیتی (۲۴) نیز می‌باشد. البته به علت فقدان مطالعات گسترده در این روش آنالیز این روش در حال حاضر میسر نمی‌باشد و نیاز به مطالعات بیشتری وجود دارد.

با توجه به این که در اکثر مطالعات نیاز به ارتفاع نسبی می‌باشد، نتایج به‌دست آمده رضایت‌بخش می‌باشد. البته احتمال داده می‌شود که خطای سیستماتیک موجود به علت ناکافی بودن نقاط شاهد می‌باشد. بنابراین در مطالعات بعدی بایستی تعداد نقاط کافی برای تمامی سطح با دقت بالا تعیین شود.

در آخر پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقت این روش روی خاک لخت و پارامترهای مختلف خاک در مزرعه مورد آزمایش قرار گیرد. از طرف دیگر تاکنون این روش در شرایط بارندگی به منظور بررسی فرایند تشکیل رواناب و فرسایش مخصوصاً بررسی تغییرات نگهداشت سطحی در حین بارندگی مورد مطالعه قرار نگرفته است که زمینه مناسبی برای ادامه تحقیقات می‌باشد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]

منابع مورد استفاده

1. Allmaras, R.R., R.E. Burwell, W.E. Larson and R.F. Holt. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. USDA Conservation Research Report 7.
2. BOIFFIN, J. and P. F. 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré: II - Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. Agronomie 745-756.
3. Darboux, F. and C. Huang. 2003. An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:92-99.
4. Fox, D.M., Y. Le Bissonnais and A. Bruand. 1998. The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression. CATENA 32:87-100.
5. Jester, W. A. Klik, G. Hauer, B. Hebel and C.C. Truman. 2001. Rainfall and Surface Roughness Effects on Soil Loss and Surface Runoff ASAE International Symposium, Soil Erosion Research for the 21st Century, Honolulu.
6. Gascuel-Odoux, C. and P. Bruneau. 1990. A morphological assessment of soil microtopography using a digital elevation model on one square metre plots. CATENA 17:315-325.
7. Govers, G., I. Takken and K. Helming. 2000. Soil roughness and overland flow. Agronomy 20:131-146.
8. Huang, C. and J. M. Bradford. 1990. Depressional storage for Markov-Gaussian surfaces. Water Resour. Res. 26 2235–2242.
9. Huang, C., W. E.G., T. E.G. and B. A. 1988. A noncontact laser system for measuring soil surface topography. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:350-355.
10. Huang., C. and B. J.M. 1992. Applications of a laser scanner to quantify soil microtopography. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:14-21.
11. Jester, W. and A. Klik. 2005. Soil surface roughness measurement--methods, applicability, and surface representation. CATENA 64:174-192.
12. Jetten, V., J. Boiffin and A. DeRoo. 1996. Defining monitoring strategies for runoff and erosion studies in agricultural catchments: A simulation approach. European J. Soil Sci. 47: 579-592.
13. Kamphorst, E.C. and Y. Duval. 2001. Validation of a numerical method to quantify depression storage by direct measurements on moulded surfaces. CATENA 43:1-14.
14. Kamphorst, E.C., V. Jetten, J. Guerif, J. Pitkanen, B.V. Iversen, J.T. Douglas and A. Paz. 2000. Predicting depressional storage from soil surface roughness. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1749-1758.
15. Kuipers, H. 1957. A reliefmeter for soil cultivation studies. Netherland J. Agric. Sci. 5:255-262.
16. Linsley, R.K.J., M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus. 1947. Applied Hydrology. Applied Hydrology, New-York, USA.
17. Mitchell, J.K. and J. B.A. 1976. Micro-relief depression storage: analysis of models the depth-storage function. Water Resour. Assoc. 12:1205-1221.
18. Onstad, C.A. 1984. Depresional storage on tilled soil surfaces. Trans. ASAE 27:729-732.
19. Planchon, O. and F. Darboux. 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. CATENA 46:159-176.
20. Robichau, P.R. and M. Molnau. 1990. Measuring soil roughness changes with an ultrasonic profiler. Trans. ASAE 33:1851-1858.
21. Römkens, M.J.M., S. Singarayar and C. J. Gantzer. 1986. An automated non-contact surface profile meter. Soil and Tillage Res. 6:193-202.
22. Saleh, A. 1993. Soil Roughness Measurement - Chain Method. J. Soil and Water Conserv. 48:527-529.
23. Taconet, O. and V. Ciarletti. 2007. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry. Soil and Tillage Res. 93:64-76.
24. Ullah, W. and W.T. Dickinson. 1979. Quantitative description of depression storage using a digital surface model, I. Determination of depression storage. J. Hydrol. 42:63-75.
25. Ziarati. T., S. Ruy, M. Mirzaei and O. Juin. 2007. Caractériser les possibilités de la stéréophotographie pour le suivi de différents indices de rugosité sous l'action des pluies, Rapport de Stage M1 TSA,INRA d'Avignon.
26. Zribi, M. 1998. Développement de nouvelles méthodes de modélisation de la rugosité pour la rétrodiffusion hyperfréquence de la surface du sol, Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.55.4]