نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

مروری بر چند کاربرد استخراج نقشه سه‌بعدی سطح خاک با استفاده از روش‌های غیرتماسی

طیبه نیری‌فرد[۱]* و جعفر امیری پریان[۲]
۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا
ایمیل مکاتبه‌کننده: nayerifard@engineer.com

چکیده

تعیین فرسایش و زبری خاک و اندازه خاکدانه‌ها، از جمله پارامترهای اساسی و مهم در کشاورزی می‌باشند که می‌توانند بر خاک‌ورزی، کشت، جوانه‌زنی، سبز شدن گیاهان و جریان‌های آب سطحی اثرگذار باشند. همچنین تهیه پروفیل بستر سیال، همواره به عنوان یکی از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک مورد توجه بوده است. در همین راستا مدل‌سازی سه بعدی برای به دست آوردن نقشه پایه از سطح خاک و بستر سیال و بررسی تغییرات آن‌ها در طی زمان، یکی از اهداف مهم داده‌برداری غیرتماسی از سطح به شمار می‌آید. استفاده از تکنیک‌های غیرتماسی، منجر به استخراج داده‌های دقیق‌تر و بررسی‌های اصولی‌تر شده، به طوری که افزایش بازده و کاهش هزینه‌ها را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تصویر سه بعدی، بستر سیال، نقشه سه بعدی، لیزر، نقشه سطح خاک.

مقدمه

فشار روزافزون به منابع خاک، ناشی از ازدیاد جمعیت و پیامدهای آن از قبیل تخریب اراضی، بیابان‌زدایی و آلودگی آب و خاک نیاز به استفاده بهینه و پایدار از خاک را ضروری می‌نماید و این مهم، تنها با تعیین دقیق و قابل اعتماد نقشه پراکنش خاک و ویژگی‌های آن امکان‌پذیر می‌گردد (صالحی و خادمی، ۱۳۸۷). شناسایی خاک یا به عبارت بهتر، داده‌برداری از منابع خاک، روشی برای تعیین الگوی پوششی خاک، توصیف و نمایش آن به شکل قابل فهم و تفسیر برای کاربران گوناگون است (اسفندیارپور و باقری، ۱۳۸۵).

از قدیم الایام، کاربرد نقشه‌برداری خاک برای ارزیابی اراضی جهت مصارف کشاورزی متمرکز بوده، در حالی که امروزه تمایل و نیاز به ارزیابی خاک جهت کاربردهای مهندسی، منابع طبیعی و محیط‌زیست، بیش از پیش افزایش یافته است. از نقشه خاک به عنوان نقشه پایه برای تهیه نقشه‌های دیگر، از جمله نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری، قابلیت آبیاری و تناسب اراضی استفاده می‌شود. در نقشه‌برداری از خاک ویژگی‌های مفهومی آن به دو دسته درونی و بیرونی تقسیم می‌شوند. ویژگی‌های درونی بیانگر آن چیزی است که می‌خواهیم نقشه‌برداری کنیم. به عبارت دیگر، آن چیزی که از طریق راهنمای نقشه و یا سامانه طبقه‌بندی مورد استفاده، می‌توان درک نمود (مانند عمق و ویژگی افق‌های خاک). از سوی دیگر،

ویژگی‌های بیرونی بیانگر آن چیزی است که می‌توان در صحرا و یا بر روی عکس‌های هوایی به راحتی مشاهده نمود (مانند شیب، پوشش گیاهی، رطوبت سطحی و غیره) (صالحی و خادمی، ۱۳۸۷).

زبری سطح خاک یکی از پارامترهای اساسی درک خواص خاک و فرآیندهای فیزیکی مرتبط با انرژی و انتقال جرم بین اتمسفر و خاک، فرآیندهای سطحی جریان آب، فرسایش خاک و فرآیندهای مختلف زراعی از جمله جوانه‌زنی بذر و سبز شدن دانه است (Chimi-Chiadjeu et al., 2014). از طرفی زبری سطح خاک یک فاکتور مهم در تعیین میزان رضایت از عملکرد اجزای ماشین می‌باشد (Jeyapoovan & Murugan, 2013).

روش‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح خاک را می‌توان بر اساس نوع حسگرهای استفاده شده و یا ابعاد اندازه‌گیری دسته‌بندی نمود. در مطالعات آزمایشگاهی تعیین پستی بلندی‌های سطحی خاک پس از ایجاد باران مصنوعی، با کمک یکی از دو روش اندازه‌گیری تماسی و یا غیرتماسی تعیین می‌گردد. ابزارهای تماسی به نوبه خود، به دو دسته روش زنجیر غلطکی و روش سوزن‌های اندازه‌گیری، و ابزارهای غیرتماسی به دو دسته اسکنر لیزری و روش فتوگرامتری (اندازه‌گیری و مساحی از روی عکس‌های هوایی) تقسیم می‌گردند. سطوح تهیه شده توسط روش فتوگرامتری (PHM[1]) در مقایسه با اندازه‌گیری اسکنر لیزری (LSM[2]) تصاویری با سطوح صاف‌تری تولید می‌کند (Jester & Klik, 2005).

همچنین از جمله تحقیقات مد نظر مهندسان رودخانه، شناخت تغییرات توپوگرافی بستر و نحوه آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در مقاطع مختلف رودخانه است. به علاوه استقرار سازه‌های هیدرولیکی نظیر پایه و کوله پل‌ها، آبشکن‌ها، سرریزها و غیره می‌تواند تغییرات موضعی شدیدتری را در توپوگرافی بستر ایجاد کند (واقفی و همکاران، ۱۳۹۰).

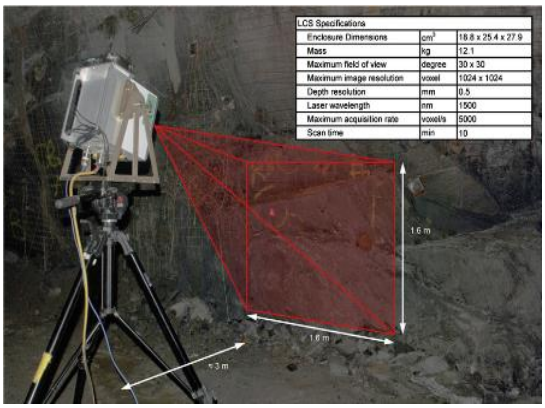
امروزه استفاده از تکنولوژی‌های جدید در تعیین فرسایش خاک و تهیه مدل‌های مورد نیاز، به علت وجود مزایایی مانند دقت و رزولوشن بالاتر در اندازه‌گیری، پردازش سریع‌تر داده‌ها، تکرارپذیری و غیرمخرب بودن آزمایشات و در نتیجه به دست آمدن نتایج دقیق و صحیح‌تر، رو به افزایش است. در این راستا تکنولوژی دوربین‌های لیزری، به عنوان یک روش غیرمخرب و غیرتماسی، به یک روش بسیار محبوب در کاربردهای اندازه‌گیری تبدیل شده است (*Razmjooy* et al., 2012).

استفاده از اشعه لیزر یکی از راه‌های استخراج نقشه پروفیل سه بعدی خاک بدون تماس با بستر خاک است. در حالت کلی، استفاده از روش‌های غیر تماسی، می‌تواند روشی قابل توجه برای استخراج داده‌ها باشد. دقت بالای این روش‌ها در مقایسه با روش‌های داده‌برداری فیزیکی، به علت کاهش خطاهای انسانی و ابزاری در طی مراحل داده‌برداری، از مزایای این روش‌ها است. در این مطالعه تلاش شده است تا برخی کاربردهای دوربین‌های لیزری در استخراج تصاویر سطح خاک بررسی و تحقیق شود.

تصویربرداری ۳ بعدی لیزری برای تحلیل ناهمواری‌های سطحی

1. Photogrammetric Method
2. Laser Scanner Measurement

تصاویر ۳ بعدی از سطوح صخره‌ها، اطلاعاتی کلیدی از عوامل جرمی صخره را شامل می‌شود. در بخش آزمایش‌های قسمت‌های زیر زمین (مانند چاه‌ها)، از تصویربرداری ۳ بعدی لیزری برای تعیین ناهمواری‌ها استفاده می‌گردد(*Mah* et al., 2013)، یک Laser Camera System (LCS) همراه با سه پایه را برای تصویربرداری از سطح یک صخره مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها لیزر را در فاصله ۳ متری هدف قرار داده و با اندازه‌گیری زمان پرواز پرتو نور تابیده و بازتابیده شده از سطح صخره، به اندازه‌گیری فاصله دقیق از هدف پرداختند. داده‌های به دست آمده دارای صحتی در حد میلی‌متر بود. از این دستگاه می‌توان برای آزمایش‌های روی سطح زمین و نیز زیر سطح زمین استفاده نمود (شکل ۱).



شکل ۱– راه‌اندازی و آزمایش لیزر اسکنر برای دیواره تونل (*Mah* et al., 2013).

مبنای کار LCS در طیف بینایی مادون قرمز و با استفاده از یک لیزر و آشکارساز است که عمق کار را با قدرت تفکیک ۰/۵ میلی‌متر مشخص می‌کند. در این روش در هر سانتی‌متر مربع داده‌های ۴۱ نقطه از سطح مورد نظر تعیین و برای هر نقطه، سه مختصات در دستگاه دکارتی (X,Y,Z) و یک مقدار سطح خاکستری (I) استخراج می‌شود.

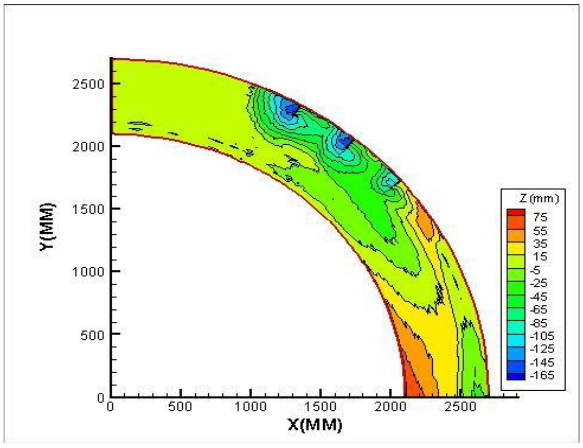
نتایج کار (*Mah* et al., 2013) نشان داد که، تصویربرداری ۳ بعدی لیزری نه تنها می‌تواند به صورت موفقیت‌آمیزی برای اندازه‌گیری ضریب اتصال ناهمواری‌ها (JRC[1]) استفاده شود، بلکه می‌تواند ناهمواری‌های سطحی را نیز مشخص کند. در حالی که اندازه‌گیری‌های دستی بسیار پر زحمت بوده و تعداد اندازه‌گیری‌ها و داده‌برداری‌های آن نیز محدود است. در مقابل، تصویربرداری ۳ بعدی لیزری توان ضبط بالا و پردازشی و تحلیل کارآمدی دارد و همچنین برای بررسی ویژگی‌های بیشتر صخره و سنگ می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

دستگاه لیزری برداشت پروفیل بستر سیال

واقفی و همکاران (۱۳۹۰)، در یادداشت تحقیقاتی خود به معرفی دستگاه جدید برداشت پروفیل بستر لیزری (LBP[2])، به منظور برداشت داده در کانال‌های آزمایشگاهی، پرداختند. این دستگاه قابلیت برداشت پروفیل بستر را در مسیرهای قوسی و مستقیم دارد. دستگاه مذکور به صورت خودکار و بدون هیچ‌گونه تماسی با بستر کانال، بر روی عرض کانال حرکت کرده و

1. Joint Roughness Coefficient
2. Laser Bed Profile

با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر، تراز رسوب‌های کف کانال را با استفاده از لیزر ثبت می‌کند و به صورت مختصات سه بعدی در اختیار کاربر قرار می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲– نمونه‌ای از توپوگرافی بستر برداشت شده توسط دستگاه لیزری برداشت پروفیل بستر در قوس ۹۰ درجه با آب‌شکن T شکل (واقفی و همکاران ۱۳۹۰).

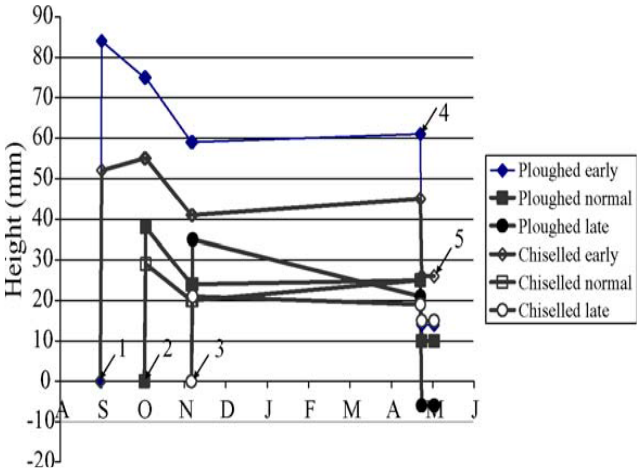
نتایج واقفی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که استفاده از دستگاه برداشت لیزری در مقایسه با دستگاه‌های دیگری مانند عمق‌سنج دیجیتالی از دقت بیشتر و خطای کمتری برخوردار است. همچنین سرعت برداشت داده‌ها با LBP بسیار بیشتر از عمق‌سنج دیجیتالی بوده و حدود ۳۰۰٪ تا ۷۰۰٪ کاهش در زمان داده‌برداری را نشان داده است. ضمن این‌که مختصات تعداد نقاط برداشت شده نیز بیشتر است. همچنین از نتایج به دست آمده از این دستگاه، می‌توان برای کالیبره نمودن سایر دستگاه‌ها استفاده کرد (واقفی و همکاران ۱۳۹۰).

اندازه‌گیری اثر رطوبت خاک در خاک‌ورزی اولیه توسط لیزر

ارویدسون و بولنیوس (۲۰۰۶)، تاثیرات رطوبت اولیه خاک را مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی آن‌ها از این تحقیق، بررسی تاثیر رطوبت سطحی خاک بر روی خاک‌ورزی اولیه و ویژگی‌های فیزیکی خاک بود. آن‌ها برای این کار تغییرات سطحی خاک را بعد از شخم به کمک یک چیزل و یک گاوآهن برگردان‌دار مخصوص خاک رس، به کمک لیزر اندازه‌گیری نمودند. میزان دقت لیزر در حد ۱ میلی‌متر بود و بر روی یک قاب سه‌پایه ثابت نصب شده بود. لیزر درون قاب، به صورت افقی در دو جهت X در راستای مسیر شخم و جهت Y عمود بر جهت شخم، حرکت می‌کرد و حرکت آن توسط یک موتور پله‌ای با حداکثر قدرت تفکیک ۱ میلی‌متر کنترل می‌شد (شکل ۳).

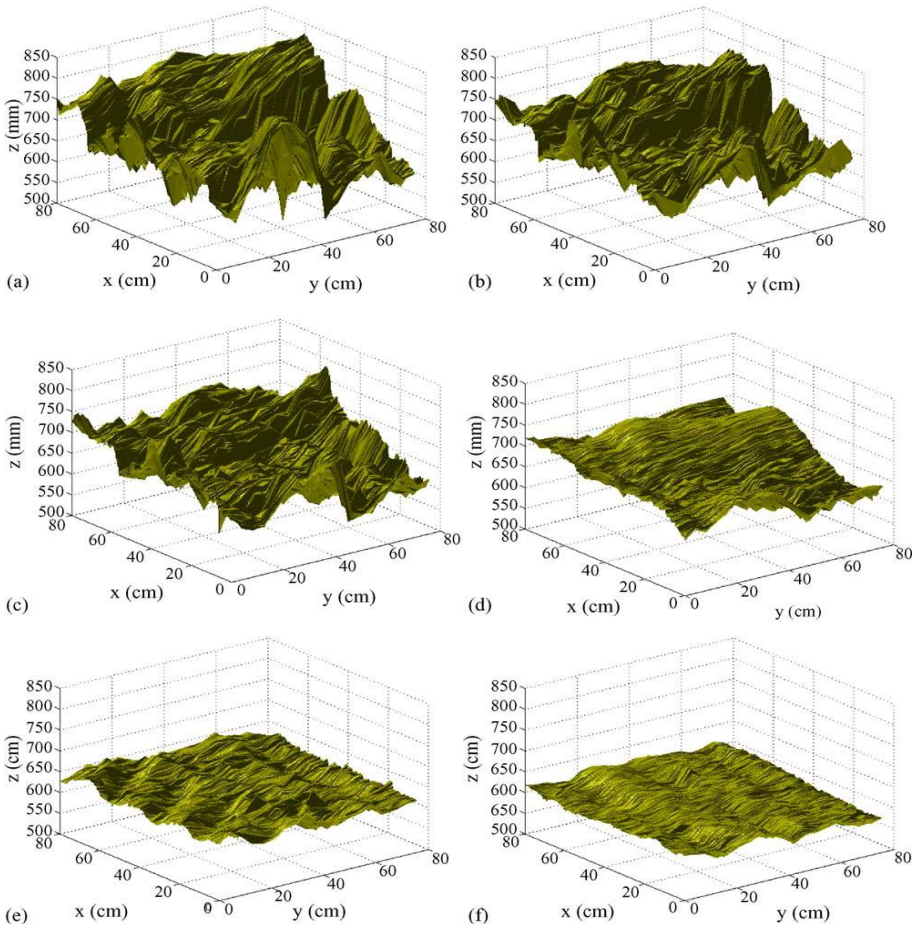
شکل ۳- تنظیمات لیزر برای اندازه‌گیری ارتفاع (*Arvidsson & Bolenius, 2006*).

قبل از شروع به اندازه‌گیری‌ها، آن‌ها یک صفحه استیل به ابعاد ۱×۱ مترمربع را در زیر سطح خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری و پایین‌تر از عمق شخم قرار دادند، که این صفحه در طول آزمایشات ثابت باقی مانده و به عنوان مرجعی برای سنجش ارتفاع استفاده شد. آن‌ها مساحتی به مقدار ۰/۶۴ مترمربع از سطح صفحه استیل را پس از سه مرحله خاک‌ورزی در پاییز و دو مرحله در بهار سال بعد، قبل و بعد از آماده‌سازی بستر بذر، به کمک لیزر اندازه‌گیری کردند و ارتفاع سطح خاک اندازه‌گیری شده را با سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز مقایسه نمودند. اندازه‌گیری پستی و بلندی‌های سطح خاک، نسبت به ارتفاع نقاط ثابت، روش غیرمخربی را برای نمایش فرآیندهای سست یا فشرده شدن خاک در طی سال را فراهم نمود. نتایج نشان داد که خاک‌ورزی در کمترین مقدار آب سطحی خاک (۰/۷۶ × حد پلاستیک) بیشترین مقدار خاکدانه‌های ریز را تولید کرده است که مناسب‌ترین شرایط خاک برای رشد محصول است (*Arvidsson & Bolenius, 2006*).



شکل ۴- تغییرات در ارتفاع خاک در ۵ وضعیت: ۱) خاک‌ورزی زودتر از موعد ۲) خاک‌ورزی به موقع ۳) خاک‌ورزی دیرتر از موعد ۴) قبل از کاشت بذر در بهار ۵) بعد از کاشت بذر در بهار (*Arvidsson & Bolenius, 2006*).

با اندازه‌گیری‌های لیزری و مقایسه بین خاک‌ورزی توسط چیزل و گاوآهن برگردان‌دار مشخص شد که عملا هیچ کاهش ارتفاعی در اواسط نوامبر و اوایل ماه می رخ نداده است (شکل ۴). کاهش اصلی در ارتفاع سطح خاک، در طول زمان آماده‌سازی بستر بذر روی داد و در نمونه‌هایی که بیشترین سستی خاک را در خاک‌ورزی اولیه داشتند، بیشترین تغییرات مشاهده شد. تغییرات در ارتفاع خاک، بین فواصل خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار در شکل ۵ نشان داده شده است.

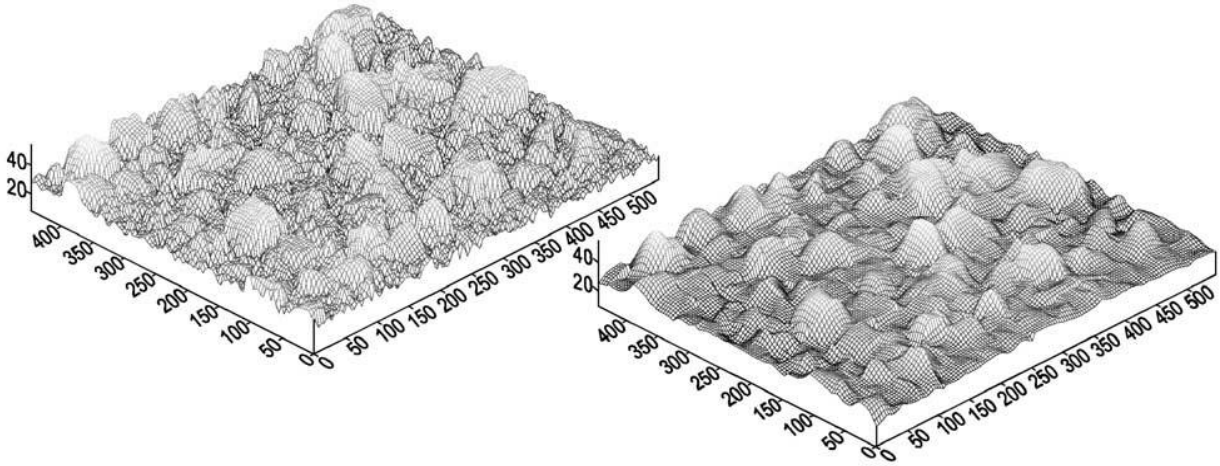


شکل ۵- ناهمواری‌های سطح خاک، با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار طی ۶ مرحله داده‌برداری: a) بعد از خاک‌ورزی اولیه در ۱۵ سپتامبر b) ۱۷ اکتبر c) ۱ دسامبر d) ۲۴ آوریل، قبل از کاشت بذر e) ۴ می، بعد از کاشت بذر f) ۴ می، بستر بذر اصلی (*Arvidsson & Bolenius, 2006*).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های انجام شده حاکی از آن بود که استفاده از لیزر برای مطالعه تغییرات به وجود آمده در ساختار خاک در طی زمان، روشی مناسب بوده است. اندازه‌گیری‌های لیزر نشان داد که خاک‌ورزی اولیه در شرایط خشک و پاییز، سستی بسیار بیشتری را در خاک، نسبت به شرایط مرطوب به وجود می‌آورد. همچنین این روش مشخص کرد که در روش‌های خاک‌ورزی متفاوت، دانستن ویژگی‌های فیزیکی خاک در طول زمان، برای مدل‌سازی فرآیندهای صورت گرفته روی خاک، ضروری است.

مقایسه روش LSM و PHM

جستر و کلیک (۲۰۰۵)، روش‌هایی از اندازه‌گیری ناهمواری‌های سطحی خاک را مورد بررسی قرار دادند و دو روش LSM و PHM را مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عمده تصویر خاکدانه‌ها و تصویر کلی سطح در هر دو روش یکسان است، اما بخش‌های ساختاری مناسب و خاکدانه‌های ریز و شکاف‌ها نمی‌تواند با روش فتوگرامتری مدل‌سازی شود که دلیل آن را فقدان روشی مناسب برای تطبیق نقاط در آن نواحی و فرآیند فیلترسازی با روش درون‌یابی شبکه‌ای عنوان کردند. لذا ارائه مشخصه‌های فیزیکی سطح خاک در مرحله پیش از بارش باران، مانند ظرفیت ذخیره‌سازی، مناطق حوضچه‌ای، اتصالات گودال‌های کوچک آب و غیره در این روش مورد سوال است. به این منظور، در ابتدا توزیع ارتفاعات سطح خاک برای نمایش تفاوت‌های موجود میان دو روش مذکور، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. قبل از ایجاد باران، داده‌های به دست آمده به روش سیستم اندازه‌گیری با لیزر متقارن‌تر بود و محدوده بزرگتری از ابعاد را نمایش می‌داد (۴۶/۲۰ میلی‌متر تا ۳۹/۲۳ میلی‌متر). برای روش اندازه‌گیری با فتوگرامتری ضریب چولگی تقریبا ۲ برابر بوده و ۶۴٪ از داده‌ها در ۳ دسته طبقه‌بندی شدند. این مسئله نشان می‌داد که بخش عظیمی از سطوح خاک، تنها مقدار کمی در میزان ارتفاع تفاوت دارند و این دلیلی برای صاف‌تر بودن سطوح نقشه در روش PHM است (شکل ۶). پس از بارش باران نیز تغییر زیادی در توزیع ارتفاع به روش PHM به وجود نیامد (*Jester & Klik, 2005*).



شکل ۶- توزیع سطوح قبل از بارش باران با خاکدانه‌هایی کمتر از ۶۳ میلی‌متر تعیین شده توسط اندازه‌گیری لیزری (سمت چپ) و فتوگرامتری (سمت راست). فاصله شبکه‌ای ۴×۴ میلی‌متر و واحد محورها بر حسب میلی‌متر است (*Jester & Klik, 2005*).

از سوی دیگر، در تصویر به دست آمده با استفاده از روش اندازه‌گیری لیزری، تغییرات قابل توجهی در توزیع ارتفاع بعد از بارش باران، نسبت به قبل از آن ایجاد شد. جستر و کلیک (۲۰۰۵)، نتیجه‌گیری کردند که بعد از ایجاد بارش باران، شکل‌های به دست آمده به هر دو روش مشابه بودند اما درجه‌بندی سطوح نسبت به تاثیرات ناشی از بارش باران توسط لیزر بسیار بهتر ارائه شده است. لذا روش LSM برای ارائه تغییرات سطح، کارآمدتر بود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، استفاده از لیزر، در زمینه‌های کاری مختلف مربوط به خاک، مورد بررسی قرار گرفت. همگی نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه، نشان‌دهنده کارآمدی و سرعت بیشتر این روش در مقیاس آزمایشگاهی بوده است. همچنین نتایج نشان داده است که میزان خطای استفاده از لیزر در مقابل استفاده از روش‌های دیگر، بسیار کمتر است. از سوی دیگر، به علت غیرمخرب و غیرتماسی بودن داده‌برداری‌های لیزری، امکان تکرار آزمایشات نیز وجود خواهد داشت.

منابع و مآخذ

۱. اسفندیارپور، ع. باقری، م. ۱۳۸۵. شناسایی و نقشه‌برداری خاک. نشر پلک. ۱۸۶ ص.

۲. صالحی، م.ح. خادمی، ح. ۱۳۸۷. مبانی نقشه‌برداری خاک. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. ۲۱۲ ص.

۳. واقفی، م. قدسیان، م. بهنام تقدسی، م. ۱۳۹۰. معرفی دستگاهی جدید برای اندازه‌گیری پروفیل بستر. مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس، دوره ۱۱(۱). ۸۵-۱۱۷.

4. Arvidsson, J. & Bolenius, E. 2006. Effects of soil water content during primary tillage – laser measurements of soil surface changes. Soil & Tillage Research. Vol 90, 222-229.

5. Chimi-Chiadjeu, O., Hégarat-Mascle, S.L., Vannier, E., Taconet, O. & Dusséaux, R. 2014. Automatic clod detection and boundary estimation from Digital Elevation Model images using different approaches. Catena. Vol 118, 73-83.

6. Jester, W. & Klik, A. 2005. Soil surface roughness measurement, methods, applicability, and surface representation. Catena, Vol 64(2-3), 174-192.

7. Jeyapoovan, T. & Murugan, M. 2013. Surface roughness classification using image processing. Measurement. Vol 46(7), 2065-2072.

8. Mah, J., Smason, C., McKinnon, S.D. & Thibodeau, D. 2013. 3D laser imaging for surface roughness analysis. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. Vol 58, 111-117.

9. Razmjooy, N., Mousavi, B.S. & Soleymani, F. 2012. A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision. Computers & Mathematics with Applications. Vol 63(1), 268-279.

A Review of Some Applications of 3D Map of Soil Surfaces Extraction Using Non-Contact Methods

Abstract

Determining soil erosion, soil roughness, the size of aggregates and high of soil surface is one of the basically and important parameters in agriculture that can affect on tillage, cultivation, germination and surface water flows. Furthermore, mapping fluid bed profile is one of the important issues in hydraulic engineering. In this regard, 3D modeling to obtain a basic map of soil surface and fluid bed and also estimating their changes during the time is an important aim in non-contact operating data from a surface which leads to more accurate data extraction and more substantive studies. And it causes more Efficiency and decrease in charges.

Keywords: 3D image, Fluid Bed, 3D Map, Laser, Soil Surface Map.