تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۷۸۰-۷۶۹)

اثر فرسایش شخم بر میزان جابه‌جایی و توان تولید خاک (مطالعهٔ موردی: توتکابن در استان گیلان)

سیده نساء سیدالعلماء[۱]، حسین اسدی[۲*]، محسن زواره[۳]

۱. کارشناس‌ارشد علوم خاک، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۳. استادیار گروه زراعت، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت : ۱۳۹۳/۱۱/۲۲ – تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۵/۱۷)

چکیده

در تحقیق حاضر که در بخشی از اراضی دیم‌کاری در جنوب استان گیلان صورت گرفت، تأثیر فرسایش ناشی از شخم بر جابه‌جایی و توان تولید خاک بررسی شد. به این منظور هجده نقطهٔ نمونه‌برداری در موقعیت‌های مختلف زمین بر مبنای همجواری با مرز زمینی ایجادشده در هفت قطعه زمین مجاور هم در نظر گرفته شد. ویژگی‌های حاصلخیزی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، همچنین اجزای عملکرد گندم در هر نقطهٔ نمونه‌برداری تعیین شد. آنالیز داده‌ها با تجزیهٔ خوشه‌ای به روش ward، خاک را با توجه به مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی و توان تولید را بر مبنای ویژگی‌های تعداد سنبله، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در سه گروه تقسیم کرد. بین مناطق گروه‌بندی‌شده از نظر حاصلخیزی با گروه‌های عملکرد ارتباط معناداری وجود نداشت که به نظر می‌رسد به دلیل تفاوت در مدیریت زراعی زمین‌های مجاور مورد بررسی باشد. نتایج نشان داد اختلاف ارتفاع ایجادشده بین قطعات در جهت شیب بین ۱ تا ۳/۲ متر و در جهت جانبی بین ۱ تا ۱/۳ متر است. همچنین، حجم خاک جابه‌جاشده در این دو جهت به ترتیب بین ۸ تا ۳۶ و ۵ تا ۲۲ تن در هکتار در سال برآورد شد.

کلید واژگان: پشتهٔ خاکی، جابه‌جایی خاک، شخم طولانی‌مدت، فرسایش مکانیکی.

مقدمه

افزایش جمعیت در ایران طی دهه‌های اخیر، گسترش کشاورزی، دامداری، سکونتگاه‌های روستایی و شهری، راه‌های ارتباطی و صنایع جدید را به دنبال داشته است که این عوامل روند دستبرد به عرصه‌های منابع طبیعی را اجتناب‌ناپذیر کرده است. در این میان، عدم اعمال مدیریت‌های صحیح در نحوهٔ تبدیل و بهره‌برداری و حفاظت از منابع آب و خاک و پوشش گیاهی موجب تشدید فرسایش خاک، تشدید سیلاب‌های مخرب و افزایش آلودگی منابع آب و خاک شده است (Shahoei, 1998). در مناطق مختلف، کشت روی دامنه‌های پرشیب تا حد ممکن گسترش یافته و عملیات زراعی با ماشین‌آلات سنگین موجب از بین رفتن ساختمان و در نتیجه افزایش فرسایش خاک شده است که نقش بسیار مهمی در ایجاد فقر مواد غذایی خاک و کاهش توان تولیدی آن دارد (Asadi *et al.*, 2012; Nazmi *et al.*, 2012; Mehdizade *et al.*, 2013). فرسایش خاک تحت تأثیر عوامل زیادی است، از جمله نوع خاک، مقدار بارش و توپوگرافی زمین (Evans, 2002). نوع و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی زمین در طول سالیان تغییرات اندکی را نشان می‌دهد، در حالی که بارندگی و عملیات کشاورزی در طول زمان به شدت تغییر می‌کند (Fiener *et al.*, 2011).

یکی از دلایل عمدهٔ فرسایش و در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک در ایران تبدیل اراضی با شیب‌های زیاد به دیمزارها به‌خصوص مزارع تحت کشت گندم است. از آنجا که گندم یکی از محصولات استراتژیک است (Karimi, 1992) و خودکفایی پایدار در امر تولید آن مستلزم انجام تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی است، بدیهی است هر گونه تلاش در راستای افزایش تولید گندم در واحد سطح نقش مهمی در اقتصاد کشور ایفا خواهد کرد (Asghari-Meydani *et al.*, 2010). اجرای شیوه‌های مناسب خاک‌ورزی و روش صحیح کاشت از جمله عملیات زراعی است که تأثیر زیادی در افزایش عملکرد دارد (Asghari-Meydani, 2001). اما از آنجا که آماده‌کردن بستر بذر یا خاک‌ورزی در دیمزارها اغلب به روش مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و در جهت شیب انجام می‌گیرد، مشکلات زیادی در خصوص تراکم خاک، فرسایش آبی و بادی خاک و در نهایت کاهش عملکرد به‌وجود می‌آید.

* نویسندهٔ مسئول : asadi@guilan.ac.ir

فرسایش ناشی از شخم، فرایند جهانی هدررفت خاک در اراضی کشاورزی به‌شمار می‌رود (Lindestrom *et al.*, 1990) که سبب مسطح‌شدن زمین‌نما[1] و بازپخش اجزای تشکیل‌دهندهٔ خاک درون آن می‌شود (Van Oost *et al.*, 2006). در فرسایش ناشی از شخم در موقعیت‌های محدب شیب، هدررفت خاک و در موقعیت‌های مقعر رسوبگذاری و تجمع خاک رخ می‌دهد (Lobb *et al.*, 2007). همچنین، فرسایش شخم به تغییر ویژگی‌های خاک می‌انجامد و به طور معناداری دو ویژگی کیفی خاک شامل حاصلخیزی و ظرفیت تنظیم سپری[2] را تحت تأثیر قرارمی‌دهد (Da Silva and Alexandra, 2004). هدررفت خاک بر اثر فرسایش عامل محدودکنندهٔ تولید محصولات و رشد گیاهان در سراسر جهان شناخته شده است. کاهش مقدار محصولات در نتیجهٔ فرسایش خاک وابسته به مقدار هدررفت خاک سطحی به‌ویژه مواد مغذی و مواد آلی آن طی فرسایش است. ویژگی‌های خاک سطحی، خاک زیرین و مواد مادری عامل‌های مدیریتی (شامل نوع محصول و کوددهی) و شرایط محیطی عوامل مؤثر در رشد گیاه‌اند (Alvarez and Steinbach, 2009). تحقیقات Papiernik و همکاران (2007) در زمینهٔ توزیع مکانی ویژگی‌های خاک در زمین‌نما و تحت تأثیر شخم درازمدت نشان داد که کربن آلی خاک و عناصر غذایی مانند فسفر و نیتروژن در قسمت‌هایی از زمین‌نمای دارای هدررفت خاک کمتر از مناطقی است که خاک در آن تجمع پیدا کرده است.

از جمله مشکلات دیگر خاک‌ورزی، تشکیل مرزها و پشته‌های خاکی بین قطعات زمین‌های مجاور است. پشته‌ها علاوه بر ایجاد مشکل در تردد، اعمال مدیریت یکپارچه را در این اراضی با مشکل مواجه می‌کنند. زمانی که بین مزارع همجوار مرزبندی صورت گرفته باشد مرزهای بین قطعات، همانند حصارهای فیزیکی عمل می‌کنند که شار جریان خاک در آن‌ها صفر است. این مرزها سبب ایجاد عدم‌تعادل در بین تجمع خاک و هدررفت آن می‌شود، به‌طوری که هدررفت خاک در قسمت پایین مرز و تجمع خاک در شیب بالای مرز به وجود می‌آید. در نتیجه شکل زمین تغییر می‌کند و سبب به‌وجود آمدن برآمدگی یا پشتهٔ خاکی می‌شود (Zhang *et al.*, 2009). اهمیت این پشته‌های خاکی زمانی بسیار بیشتر می‌شود که وسعت زمین تحت شخم کم است (Van Oost *et al.*, 2006). Van Oost و همکاران (2000) مرزهای زمینی را خطوط با انتقال صفر معرفی کردند و با بررسی چهل‌ساله به این نتیجه رسیدند که اندازهٔ زمین طی مدت مطالعه به دلیل کاهش درجهٔ شیب افزایش یافته است. همچنین، در فرسایش آبی جریان آب عبوری از زمین در مرزهای خاکی ایجادشده کند است. بنابراین، ظرفیت نفوذپذیری در پایین دست محل این سدهای خاکی به طور معناداری نسبت به قسمت‌های بالادست کمتر خواهد بود که این امر تفاوت در شرایط خاک سطحی و پوشش گیاهی را به همراه دارد.

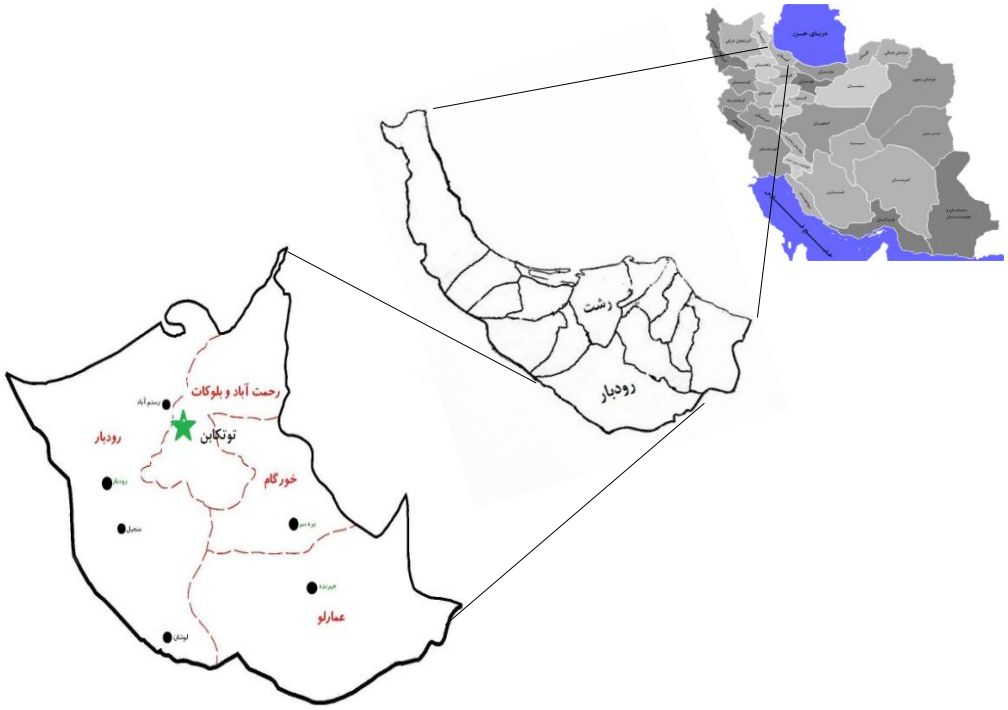
در تحقیقات جدیدتر (Logsdon, 2013; Wildemeersch *et al.*, 2014) از ردیاب‌های مختلف برای مطالعهٔ میزان جابه‌جایی خاک در اثر شخم استفاده شده است. Logsdon (2013) میزان جابه‌جایی عمودی و افقی خاک را با ردیاب‌های رنگی از جنس سنگ آهک و در شخم با استفاده از چیزل بررسی کرد. نتیجهٔ نهایی مؤید اهمیت فرسایش شخم در بازپخش خاک بود. همچنین، شخم با چیزل تنها موجب جابه‌جایی خاک نزدیک سطح شد و اثری بر کل خاک در عمق شخم نداشت. مطالعهٔ Wildemeersch (2014) و همکاران ضمن تأکید بر تأثیر شخم در جهت شیب در جابه‌جایی خاک به سمت پایین شیب، بیانگر ارتباط بین میزان جابه‌جایی خاک با عمق شخم بود، هرچند که برخلاف مطالعات پیشین رابطه‌ای بین میزان جابه‌جایی خاک با درجهٔ شیب نیافتند. نتایج Zhang (2014) و همکاران نیز نشان داد که شکل تراس‌های ایجادشده در اثر شخم بلندمدت در جهت شیب، بسته به شکل زمین، منابع خاک و روش‌های سنتی مورد استفاده در مناطق مختلف، مشابه نبوده است. آن‌ها فرسایش شخم را در مقایسه با فرسایش آبی عامل اصلی و غالب بازپخش خاک دانستند.

نتایج تحقیقات در سطح جهانی به صورت کلی بیانگر اهمیت بسیار زیاد فرسایش شخم در بازپخش خاک در زمین‌نما و اثر آن بر تغییر ویژگی‌های خاک و درنتیجه توان تولید آن است. هر چند شدت فرسایش شخم و میزان اثر آن بر ویژگی‌های خاک تابعی از ویژگی‌های توپوگرافی، شیوه و نوع ابزار شخم و نوع خاک بیان شده، در ایران مطالعات اندکی در این مورد انجام شده است. بنابراین، مطالعهٔ حاضر با هدف تعیین اختلاف ارتفاع حاصل و برآورد حجم خاک جابه‌جاشده در بین قطعات زمین‌های زراعی به علت فرسایش شخم انجام شده است. همچنین، بررسی اثر فرسایش شخم بر عملکرد گیاه گندم در موقعیت‌های مختلف ایجادشده در دو طرف پشته‌های خاکی در مزرعه به دلیل هدف دیگر تحقیق بوده است. این تحقیق در بخشی از اراضی دیم توتکابن، شهرستان رودبار در جنوب استان گیلان صورت گرفته است.

1. Landscape
2. Buffer adjustment

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی آثار فرسایش ناشی از شخم بر توان تولید خاک، همچنین تعیین اختلاف ارتفاع حاصل بین قطعات زمین در نتیجهٔ کشت و زرع، منطقه‌ای از اراضی دیمکاری شهر توتکابن انتخاب شد. این منطقه از توابع شهرستان رودبار واقع در استان گیلان با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹۶ دقیقهٔ عرض جغرافیایی و ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقهٔ طول جغرافیایی بود. منطقهٔ مورد بررسی از مجموعهٔ هفت قطعه‌زمین مجزا تشکیل شده و دارای سابقهٔ شخم بیش از چهل سال و وسعت حدود ۱۱ هکتار است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

شخم در جهت شیب و با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار پنج خیشه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از جمله عملیات زراعی است که هر کشاورز به طور مستقل در هر قطعه انجام می‌داد. شخم دوم با استفاده از دیسک با هدف هموارکردن زمین برای بذرپاشی انجام می‌شود. استفاده از گاوآهن برگردان‌دار در مدت بیش از چهل سال و ایجاد پشته‌های خاکی با ارتفاع بیش از ۱ متر در بین قطعات افقی مجاور و اختلاف ارتفاعی بین ۱ تا ۲ متر در بین قطعات هم‌مرز در جهت شیب از مهم‌ترین عارضه‌های شایان ذکر در منطقه است.

به‌منظور تعیین میزان اختلاف ارتفاع حاصل بین هر دو قطعه زمین مجاور، همچنین تعیین میزان حجم خاک جابه‌جاشده طی سال‌های کشت و زرع، نقشهٔ رقومی منطقه با استفاده از دوربین تئودولیت تهیه شد (شکل ۲ الف). سپس، با استفاده از نرم‌افزار اتوکد نیم‌رخ‌هایی در راستای طولی و عرضی با فواصل مشخص (فاصلهٔ بین نیم‌رخ‌های طولی ۲۵ متر و برای نیم‌رخ‌های عرضی به ترتیب ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ متر در نظر گرفته شد) روی نقشهٔ رقومی رسم شد (شکل ۲الف). مبدأ نیم‌رخ‌های طولی بالاترین نقطه از نظر ارتفاع و در نیم‌رخ‌های عرضی شمالی‌ترین نقطهٔ روی مرز زمینی در نظر گرفته شد. با رسم نمودار مربوط به هر نیم‌رخ و با مشخص‌بودن معادلهٔ خط (شکل ۳)، اختلاف ارتفاع بین دو قطعه زمین مشخص شد.

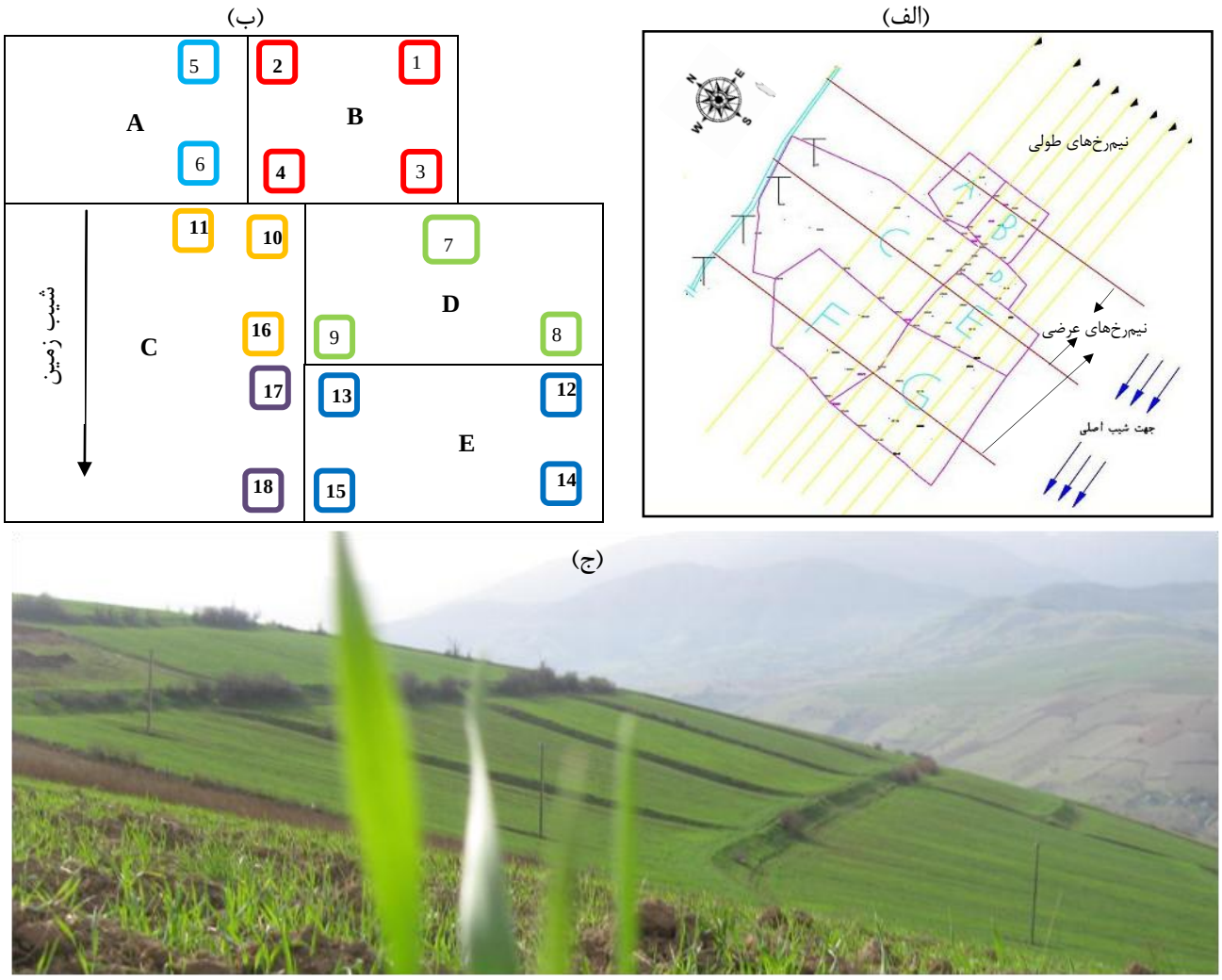
مقدار حجم خاک جابه‌جاشده در دو طرف مرزها در واحد عرض از رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

$$V = \frac{\left(\frac{\Delta h}{۲}\right)\times\left(\frac{\Delta x}{۲}\right)\times W}{W} \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

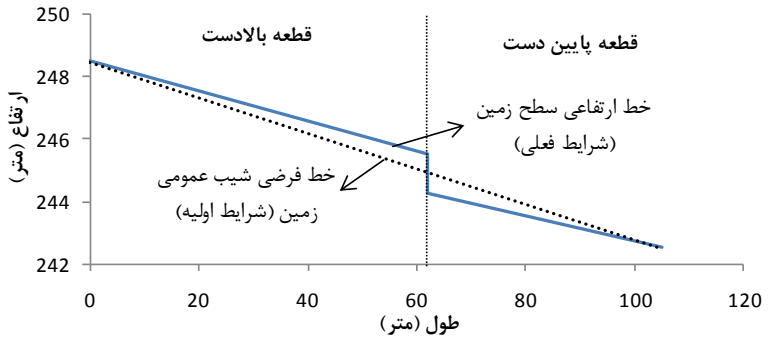
که در آن V حجم خاک جابه‌جاشده در واحد عرض زمین (مترمکعب بر متر)، Δh اختلاف ارتفاع حاصل بین دو قطعه (متر)، Δx طول قطعه (متر)، W عرض زمین (متر) است. در این محاسبات فرض شده است که جابه‌جایی خالص در نقطهٔ وسط هر قطعه صفر است، بنابراین از نیمهٔ اول هر قطعه برداشت و در نیمهٔ دوم تجمع صورت گرفته است.

محاسبات با توجه به جهت شخم و جهت برگردان خاک توسط گاوآهن و با این فرض انجام شده است که در جهت

شیب، برداشت خاک از نیمهٔ بالایی هر قطعه و تجمع آن در نیمهٔ پایینی و در جهت افقی، برداشت خاک از نیمهٔ راست (جنوب جغرافیایی) و تجمع آن در نیمهٔ چپ هر قطعه صورت می‌گیرد. سمت راست و چپ قطعات بر مبنای نگاه از روبه‌رو به آن‌ها و از دید ناظر تعریف شده است. بر این اساس در هر مرز بین دو قطعه، با توجه به اختلاف ارتفاع دو قطعه، تجمع خاک برای قطعهٔ بالادست (یا سمت راست) و برداشت خاک برای قطعهٔ پایین‌دست (یا سمت چپ) محاسبه شده است.



شکل ۲. (الف) محل نیم‌رخ‌های رسم‌شده و نامگذاری قطعات روی نقشهٔ رقومی منطقهٔ مورد مطالعه، (ب) الگوی نقاط نمونه‌برداری (شکل بدون مقیاس است و تنها موقعیت نسبی نقاط نمونه‌برداری نسبت به مرزها و در قطعات را نشان می‌دهد) و (ج) عکسی از منطقه



شکل ۳. نیم‌رخ طولی نمونه برای نشان‌دادن محل انباشت و برداشت در دوطرف مرز بین دو قطعه

به منظور بررسی اثر فرسایش ناشی از شخم بر حاصلخیزی خاک و عملکردگیاه گندم، هجده نقطهٔ نمونه‌برداری در موقعیت‌های مختلف زمین(شکل ۲) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از خاک و گیاه به ترتیب در پاییز و خرداد سال بعد انجام شد. نمونه‌برداری به دلیل آیش از دو قطعهٔ انتهایی زمین، قطعات G و F انجام نگرفت. نمونه‌برداری از هر نقطه با توجه به

هم‌جواری زمین‌های زراعی و با در نظر گرفتن اختلاف ارتفاع بین قطعات مجاور، از حاشیهٔ قطعات با فاصلهٔ ۱ متری از مرز دو زمین زراعی انجام گرفت. در هر دو جهت (به موازات شیب و عمود بر شیب) از ابتدا و انتهای هر قطعه زمین و ابتدای قطعه زمین بعدی از سه نقطه، نمونهٔ گیاه و نمونهٔ خاک برداشت شد (شکل ۲ ب). به این ترتیب که تمام گیاهان رشدیافته در مساحت ۱ مترمربعی در نقاط نمونه‌برداری برداشت شد. به منظور بررسی عملکرد گندم، صفاتی از قبیل وزن مادهٔ خشک گیاه، وزن هزاردانه، تعداد خوشه، وزن سنبله و وزن کاه و کلش اندازه‌گیری شد. برای بررسی زمین مورد مطالعه از نظر حاصلخیزی نیز در نقاط مشخص‌شده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونهٔ خاک برداشت شد (شکل۲ب). در نمونه‌های خاک، مقدار مادهٔ آلی با استفاده از روش Walkly و Blak، مقدار نیتروژن با روش کجلدال، فسفر با روش Olsen و مقدار پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شد (Page *et al.*, 1982).

به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول (شاخص توان تولید خاک) در نقاط و در قطعات مختلف، از تجزیهٔ خوشه‌ای برای گروه‌بندی بین داده‌ها به دسته‌های همگن و متمایز با توجه به میزان شباهت آن‌ها استفاده شد. روش مورد استفاده برای تجزیهٔ خوشه‌ای نیز روش ward و مناسب‌ترین روش برای تجزیهٔ داده‌های کمّی است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۱ انجام شد (Soltani, 2007).

نتایج و بحث

اثر شخم بر جابه‌جایی و بازپخش خاک

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از رسم نیم‌رخ‌ها مشاهده شد که حداکثر اختلاف ارتفاع حاصل بین دو قطعه زمین مجاور در جهت شیب ۳ متر (بین قطعات مجاور A و C) و در جهت افقی (جانبی) ۱/۳ متر (بین قطعات مجاور F و G) است (جدول ۱ و ۲). اختلاف حاصل بین قطعات به دلیل استفادهٔ طولانی‌مدت (بیش از چهل سال) از ابزار شخم و کشت‌وکار در زمین مورد نظر است، به طوری که می‌توان بیان کرد مرزهای زمینی بین دو قطعهٔ مجاور به صورت مرزهای با جریان خاکی صفر عمل می‌کند و شار جریان خاک در این مرزها صفر است. به این ترتیب، تجمع خاک در قسمت بالادست و هدررفت خاک در پایین‌دست مرز زمینی صورت می‌گیرد (Van Oost *et al.*, 2006). Govers و همکاران (1994) ارتفاع این پشته‌ها در منطقه‌ای از واشنگتن ۳ تا ۴ متر اعلام کردند که سبب‌شده حرکت ماشین‌آلات کشاورزی در این زمین‌ها با سختی صورت پذیرد و دسترسی و اعمال مدیریت با مشکل مواجه شود.

فرسایش شخم تابعی از فرسایش‌پذیری زمین‌نماست (Boardman and Poesen, 2006)، به طوری که جهت شیب، درجهٔ شیب و میزان تقعر، همچنین شکل و اندازهٔ زمین از عوامل تأثیرگذار بر مقدار جابه‌جایی به وسیلهٔ شخم است (Van Oost *et al.*, 2006). Zangh و همکاران (2004) رابطهٔ روشنی بین درجهٔ شیب و شار جریان خاک نیافتند. آن‌ها بیان داشتند که خصوصیات ذاتی خاک در هر عملیات شخم بر مقدار جابه‌جایی خاک بسیار تأثیرگذار است، به‌طوری که در بسیاری از مواقع اثر درجهٔ شیب کم‌رنگ می‌شود. شیب بیشتر در قطعات A، B و D سبب افزایش بازپخش خاک و در نتیجه اختلاف ارتفاع بیشتر در این قطعات شده است. Lindestrom و همکاران (2001)، Van Oost و همکاران (2006) و Zhang و همکاران (2004) نیز بیان کردند که حرکت خاک در هر عملیات شخم در رابطهٔ مستقیم با درجهٔ شیب است و زمانی که شخم در جهت بالا به پایین با تراکتور انجام‌گیرد، رابطهٔ معناداری بین درجهٔ شیب و مقدار جابه‌جایی خاک وجود دارد، در حالی که این رابطهٔ معنادار در شخم پایین به بالا وجود ندارد.

بیشترین مقدار هدررفت و تجمع خاک در هر دو جهت مورد بررسی (جدول ۳ و ۴)، در قطعهٔ C و کمترین مقدار این جابه‌جایی در واحد عرض، در قطعهٔ D است. به نظر می‌رسد که بزرگ‌تربودن قطعهٔ C نسبت به سایر قطعات سبب ایجاد تفاوت در حجم جابه‌جایی خاک شده است. قطعهٔ D به عنوان کوچک‌ترین واحد مورد بررسی، کمترین مقدار جابه‌جایی است. هنگامی‌که شخم در جهت شیب صورت می‌گیرد، رابطهٔ معناداری بین درجهٔ شیب و مقدار جابه‌جای خاک وجود دارد، زیرا شار جریان خاک به طور مستقیم وابسته به درجهٔ شیب است (Van Oost *et al.*, 2006). افزایش مقدار جابه‌جایی خاک در قطعهٔ G در نیم‌رخ شمارهٔ چهار طولی را می‌توان به بزرگ‌تر بودن این قطعه نسبت به قطعهٔ B با مقدار درجهٔ شیب بیشتر در همان نیم‌رخ نسبت داد. میزان جابه‌جایی جانبی خاک با افزایش درجهٔ شیب کاهش می‌یابد، به طوری‌که می‌توان بیان کرد که جابه‌جایی جانبی رفتاری برعکس جابه‌جایی در جهت شیب را نشان می‌دهد. قطعهٔ A وB کمترین مقدار جابه‌جایی و قطعهٔ G و F با مقدار درجهٔ شیب کمتر، بیشترین مقدار جابه‌جایی جانبی را به خود اختصاص می‌دهد. مقدار بیشتر جابه‌جایی جانبی در قطعهٔ C را نسبت به قطعات F و G می‌توان به وسعت بیشتر این قطعه در مقایسه با دو قطعه دیگر دانست. نتایج حاصل با نتایج Zhang و همکاران (2009) و Nyssen و همکاران (2000) مبنی

بر رابطهٔ مستقیم بین طول قطعه و میزان جابه‌جایی در جهت شیب و رابطهٔ معکوس بین میزان جابه‌جایی جانبی با درجهٔ شیب موافق است. Van Oost و همکاران (2006) جهت شخم را عامل بسیار مهمی در تعیین قدرت فرسایندگی گاوآهن بیان کردند و اظهار داشتند که شخم روی خطوط تراز دارای ضریب فرسایش شخم کمتری نسبت به شخم در جهت شیب است. Govers و همکاران (1994) نیز بیان داشتند که در هر عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار مقدار ۴۰۰۰ تن در هکتار از خاک بازپخش می‌شود.

جدول ۱. اختلاف ارتفاع در دو قطعه زمین مجاور در راستای نیم‌رخ‌های طولی (در جهت شیب)

شماره نیم‌رخ	قطعات عبوری*	قطعات مجاور**	اختلاف ارتفاع(m)
۱	E,G	E,G	۲/۱۵
۲	E,G	E,G	۲/۶۸
۳	D,E,G	D,E	۲/۶۹
		E,G	۲/۸۱
۴	B,D,E,G	B,D	۲/۵۱
		D,E	۲/۲۰
		E,G	۱/۴۵
۵	B,D,E,G	B,D	۲/۷۷
		D,E	۲/۲۷
		E,G	۱/۴۶
۶	B,C,F	B,C	۳/۲
		C,F	۲/۰۴
۷	A,C,F	A,C	۳/۰۵
		C,F	۱/۰۵
۸	C,F	C,F	۱/۰۴

***با توجه به شکل ۲، هر نیم‌رخ طولی در راستای عمود بر جهت شیب از قطعات مشخصی عبور می‌کند.**

****با توجه به شکل ۲، اختلاف ارتفاع بین هر دو قطعهٔ مجاور در امتدا نیم‌رخ رسم شده است.**

جدول ۲. اختلاف ارتفاع بین دو زمین مجاور در راستای نیم‌رخ عرضی (عمود بر جهت شیب)

قطعات مجاور	اختلاف ارتفاع بین دو قطعه (m)
A و B	۱/۰
E و C	۱/۱
F و G	۱/۳

جدول ۳. حجم خاک جابه‌جاشده در جهت شیب (راستای نیم‌رخ‌های طولی) در مقطع مشخص در هر قطعه

شمارهٔ نیم‌رخ	نام قطعه	خاک تجمع‌یافته ($m^3\ m^{-1}$)	خاک برداشت‌شده ($m^3\ m^{-1}$)	خاک تجمع‌یافته در واحد سطح قطعه ($m^3\ m^{-2}$)	خاک برداشت‌شده در واحد سطح قطعه ($m^3\ m^{-2}$)	خاک تجمع‌یافته ($kg\ ha^{-1}$)	خاک فرسایش‌یافته ($kg\ ha^{-1}$)
۱	B	۱۵/۳	–	۰/۲۵	–	۲۱۷۲۶۰	–
	A	–	۱۳/۴	–	۰/۲۵	–	۱۹۰۲۸۰
۲	E	۳۲/۴	–	۰/۲۷	–	۴۶۳۳۲۰	–
	C	–	۶۳	–	۰/۲۷	–	۸۹۴۶۰۰
۳	G	۴۵	–	۰/۳۲	-	۶۴۳۵۰۰	–
	F	–	۴۰/۴	–	۰/۳۲	–	۵۷۷۷۲۰

جدول ۴. حجم خاکبرداری و انباشت خاک در نیم‌رخ‌های عرضی (راستای عمود بر جهت شیب)

شمارهٔ نیم‌رخ	نام قطعه	خاک تجمع‌یافته ($m^3\ m^{-1}$)	خاک برداشت‌شده ($m^3\ m^{-1}$)	خاک تجمع‌یافته در واحد سطح قطعه ($m^3\ m^{-2}$)	خاک برداشت‌شده در واحد سطح قطعه ($m^3\ m^{-2}$)	خاک تجمع‌یافته ($kg\ ha^{-1}$)	خاک برداشت‌شده ($kg\ ha^{-1}$)
۱	E	۳۴	-	۰/۵	–	۴۸۶۲۰۰	–
	G	-	۸۰	–	۰/۵	–	۱۱۴۴۰۰۰
۲	E	۴۶	–	۰/۶۷	–	۶۵۷۸۰۰	–
	G	–	۹۶	–	۰/۶۷	–	۱۳۷۲۸۰۰
۳	D	۲۵/۳	–	۰/۶۷	–	۳۵۹۲۶۰	–
	E	۵۱	۴۹	۰/۷	۰/۶۷	۷۲۹۳۰۰	۷۰۰۷۰۰
	G	–	۹۸	–	۰/۷	–	۱۴۰۱۴۰۰
۴	B	۴۷	–	۰/۶۲	–	۶۶۷۴۰۰	–
	D	۲۲	۲۵	۰/۵۵	۰/۶۲	۳۱۲۴۰۰	۳۵۵۰۰۰
	E	۲۸	۴۳	۰/۳۶	۰/۵۵	۴۰۰۴۰۰	۶۱۴۹۰۰
	G	–	۴۸/۵	–	۰/۳۶	–	۶۹۳۵۵۰
۵	B	۵۱/۳	–	۰/۷	–	۷۲۸۴۶۰	–
	D	۲۲/۵	۲۷/۵	۰/۵۶	۰/۷	۳۱۹۵۰۰	۳۹۰۵۰۰
	E	۳۰/۱	۴۹	۰/۳۶	۰/۵۶	۴۳۰۴۳۰	۷۰۰۷۰۰
	G	–	۴۷	–	۰/۳۶	–	۶۷۲۱۰۰
۶	B	۵۵/۳	–	۰/۸	–	۷۸۵۲۶۰	–
	C	۶۵	۱۰۲	۰/۵	۰/۸	۹۲۳۰۰۰	۱۴۴۸۴۰۰
	F	–	۶۴	–	۰/۵	–	۹۱۵۲۰۰
۷	A	۵۶/۵	–	۰/۷۶	–	۸۰۲۳۰۰	–
	C	۳۲/۱	۹۳/۳	۰/۲۶	۰/۷۶	۴۵۵۸۲۰	۱۳۲۴۸۶۰
	F	–	۳۱/۵	–	۰/۲۶	–	۴۵۰۴۵۰
۸	C	۲۹/۳	–	۰/۲۶	–	۴۱۶۰۶۰	–
	F	–	۳۱/۱	–	۰/۲۶	–	۴۴۴۷۳۰

اثر شخم بر ویژگی‌ها و توان تولید خاک

آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ خاک و اجزای عملکرد محصول در جدول ۵ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ویژگی‌های حاصلخیزی خاک و به تبع آن عملکرد و اجزای عملکرد گندم تغییرات زیادی دارد. با توجه به حد بحرانی هر یک از عناصر پرمصرف در اراضی کشت گندم، مشاهده می‌شود که زمین مورد مطالعه از لحاظ عناصر غذایی و مقدار کربن آلی در خاک فقیر است (جدول ۵). در تمام نقاط نمونه‌برداری مقدار کربن آلی خاک کمتر از ۱ درصد اندازه‌گیری شده است، در حالی که حد بحرانی آن مقداری بیش از ۱ درصد است (Olfati *et al.*, 2000; Bybordi and Malakouti, 2001). همچنین، مقدار حد بحرانی فسفر و پتاسیم در خاک‌های تحت کشت گندم به ترتیب ۱۲ تا ۱۵ و ۲۵۰ تا ۲۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (Olfati *et al.*, 2000; Bybordi and Malakouti, 2001) که در تمام نقاط نمونه‌برداری کمبود مقدار پتاسیم دیده می‌شود و زمین مورد مطالعه از نظر مقدار فسفر به جز در نقاط ۲، ۴، ۱۱، ۱۲،۱۷ و ۱۸ دارای کمبود است. زمانی‌که تمام عناصر غذایی مورد نیاز در دسترس گیاه قرارمی‌گیرد، بالاترین عملکرد حاصل می‌شود. بنابراین، در صورتی که مقدار هر یک از عناصر غذایی ضروری کمتر از مقدار بحرانی باشد، گیاه نمی‌تواند از سایر عناصر غذایی موجود با کارایی مناسب استفاده کند. در نتیجهٔ عدم دسترسی کافی گیاه به هر یک از عناصر ضروری، کاهش عملکرد رخ می‌دهد (Mazaheri and Majnon-Hosseyni, 2010).

بر این اساس، تجزیهٔ آماری خوشه‌ای به منظور بررسی اثر فرسایش مکانیکی بر توان تولید خاک، منطقهٔ مورد مطالعه را از نظر حاصلخیزی خاک در سه گروه طبقه‌بندی کرد. گروه اول با حاصلخیزی بالا شامل نقاط ۴، ۱۲، ۱۷ و ۱۸، گروه دوم با حاصلخیزی متوسط شامل نقاط ۲، ۵، ۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۴ و گروه

سوم با کمترین سطح حاصلخیزی شامل نقاط ۱، ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۵ و ۱۶ بود. همچنین، نتایج به‌دست آمده، عملکرد گیاه گندم را نیز در سه گروه طبقه‌بندی کرد. گروه اول شامل نقاط ۲، ۱۲، ۱۴ و ۱۶دارای عملکرد بالا، نقاط ۱، ۴، ۷، ۹، ۱۵، ۱۷ و ۱۸ در گروه دوم با عملکرد متوسط و نقاط ۳، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ نیز در گروه سه دارای عملکرد کم قرارگرفتند. گروه‌بندی صورت‌گرفته، حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ایی در مورد حاصلخیزی و عملکرد به صورت نسبی انجام گرفته است، به طوری‌که قطعاتی که در گروه یک با حاصلخیزی بالا جای گرفته‌اند نسبت به دو گروه دیگر حاصلخیزترند و از نظر مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی مقادیر بالاتری دارند، در حالی‌که ممکن است از نظر تغذیه‌ای، این مقادیر برای گیاه زراعی کافی نباشد.

جدول ۵. آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک و اجزای عملکرد محصول

آماره	کربن آلی (٪)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	تعداد در متر مربع	سنبله تعداد در سنبله	دانه وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد کل ($kg\ ha^{-1}$)
حداقل	۰/۵۴	۸۶	۶/۱	۰/۰۴۵	۱۰۸	۱	۳۱/۲	۱۳۱	۴۳۰۳
حداکثر	۱/۴۰	۲۶۹	۱۶/۴	۰/۱۱۶	۷۶۰	۲۲	۶۱/۳	۲۰۲۲	۱۱۲۱۹
میانگین	۰/۸۳	۱۳۷	۱۰/۵	۰/۰۶۸	۲۹۴	۷	۴۸	۱۰۰۰	۶۶۸۰
ضریب تغییرات (٪)	۳۰	۳۶	۳۰	۳۲	۵۵	۷۷	۲۱	۵۹	۲۶

قرارگیری نقاط ۱۲، ۱۷و ۱۸درگروه یک از نظر حاصلخیزی خاک را می‌توان به دلیل قرارگرفتن در پای شیب و بالابودن میانگین عناصر غذایی دانست (جدول ۶). کمتر بودن درجهٔ شیب در این قسمت از زمین و نزدیک‌بودن این نقاط به پای شیب و تجمع مواد در نتیجهٔ فرسایش آبی و نیروی ثقل سبب افزایش مقدار عناصر غذایی در این موقعیت‌ها شده است. Nyssen *et al.* (2000) و Poesen *et al.* (2000) نیز بیان داشتند که فرسایش شخم سبب ایجاد منطقه‌ای با حاصلخیزی کم در بالای شیب و منطقه‌ای با حاصلخیزی زیاد در قسمت پایین شیب می‌شود. Papiernik *et al.* (2007) با مقایسهٔ مناطق تجمع و هدررفت خاک بیان داشتند که مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و مقدار فسفر استخراج‌شده مقادیر پایین‌تری را در مناطق فرسایش یافتهٔ خاک نشان می‌دهد. Van Oost *et al.* (2006) بیان داشتند که علاوه بر تفاوت‌های ایجادشده در ویژگی‌های خاک سطحی و پوشش گیاهی در محل این مرزها، تغییر شکل و کوچک‌شدن زمین از مشکلات ایجادشده در نتیجهٔ فرسایش شخم است. شاید بتوان قرارگیری منطقهٔ نمونه‌برداری ۴ در بالادست پشته‌های خاکی و تجمع خاک سطحی در این قسمت را دلیلی بر قرارگیری این نقطه در گروه یک حاصلخیزی دانست.

نقاط نمونه‌برداری ۱، ۳، ۷، ۸، ۱۳ و ۱۵در گروه سوم حاصلخیزی قرارگرفته‌اند. علت این امر را می‌توان به موقعیت قرارگیری این نقاط در پایین‌دست پشته‌های زمینی ایجادشده در نتیجهٔ فرسایش دانست. همچنین، با توجه به نقشهٔ رقومی به دست آمده، منطقهٔ مورد بررسی شیب جانبی رو به شمال دارد که نقاط نمونه‌برداری گروه سوم حاصلخیزی در بخش جنوبی زمین با ارتفاعی بیشتر قرارگرفته‌اند. همین امر سبب افزایش فرسایش و هدررفت خاک می‌شود. وجود پشته‌های خاکی ایجادشده در نتیجهٔ فرسایش ناشی از شخم در زمین مورد مطالعه و عدم تعادل در بین تجمع و هدررفت خاک در دو طرف این مرزهای خاکی سبب کاهش مقدار میانگین عناصر غذایی در این موقعیت‌ها شده است (جدول ۵). Liang *et al.* (2009) کاهش مقدار فسفر و نیتروژن را با افزایش مقدار فرسایش شخم در سه نوع خاک با شدت فرسایش متفاوت بررسی کردند. آن‌ها اظهار داشتند که بین مقادیر پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی در سه نوع خاک اختلاف معناداری وجود ندارد. Mikhailova *et al.* (2000) بیان کردند که در زمین شخم‌خورده مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک نسبت به زمین شخم‌نخورده کمتر است و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. همچنین، Zhang *et al.* (2008) نشان دادند که بعد از شخم تغییر معناداری در مقدار Cs^{137} در موقعیت قلهٔ شیب و پای شیب رخ می‌دهد، به طوری که در موقعیت قلهٔ شیب فرسایش و در موقعیت پای شیب تجمع حاصل می‌شود. همچنین، بیان داشتند که بین مقدار حاصلخیزی خاک قبل و بعد از فرسایش شخم تفاوت وجود دارد، به طوری که مقدار کربن آلی و فسفر در موقعیت قلهٔ شیب کاهش یافته است.

میزان مادهٔ آلی به‌طور کلی در همهٔ نقاط نمونه‌برداری‌شده کمتر از ۱ درصد بود (جدول ۶). فقر منطقهٔ مورد بررسی نسبت به مادهٔ آلی (جدول ۶) و سابقهٔ شخم طولانی‌مدت در منطقهٔ شیب‌دار، سبب شده است که با انتقال خاک سطحی، مخلوط

کردن خاک رویی با خاک زیرین و در نهایت رسوب‌گذاری، مقدار مادهٔ آلی خاک کاهش می‌یابد (Chen *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2008). این سه فرایند سبب تغییراتی در مقدار عناصر غذایی خاک فرسایش‌یافته می‌شود (Gregorich *et al.*, 1998). تغییر در سطوح کربن آلی خاک یکی از مهم‌ترین تأثیراتی است که شخم طولانی‌مدت روی خاک می‌گذارد (Papiernik *et al.*, 2007). انجام عملیات کشت‌وکار در طولانی‌مدت (بیش از چهل سال)، عدم مدیریت صحیح و استفاده از ابزار شخم غیرمناسب و عدم آیش‌گذاری در زمین زراعی مورد نظر سبب کاهش دامنهٔ کربن آلی خاک در عمق توسعهٔ ریشه شده است. De Gryze و همکاران (2008) نیز بیان داشتند که فرسایش همانند حامل عمل می‌کند که سبب انتقال مادهٔ آلی خاک از قسمت‌های فرسایش‌یافته و تجمع آن در دامنه‌های شیب می‌شود.

جدول ۶. میانگین عناصر غذایی در موقعیت‌های مختلف نمونه‌برداری

نقاط نمونه‌برداری	کربن آلی (٪)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)
۱	۰/۰۵	۱۷۳/۶	۶/۲	۰/۰۴۵
۲	۰/۷۵	۱۵۴/۱	۱۴/۱	۰/۰۴۸
۳	۰/۶۲	۹۱/۰	۸/۲	۰/۰۵۱
۴	۱/۱۳	۱۱۶/۰	۱۲/۴	۰/۰۹۵
۵	۰/۸۲	۱۵۰/۳	۱۰/۵	۰/۰۶۸
۶	۰/۷۶	۲۲۳/۸	۱۰/۳	۰/۰۶۴
۷	۰/۵۷	۸۶/۳	۶/۱	۰/۰۴۷
۸	۰/۶۴	۱۷۱/۹	۱۰/۱	۰/۰۵۴
۹	۰/۶۶	۸۹/۱	۱۰/۱	۰/۰۵۵
۱۰	۰/۸۹	۱۰۰/۷	۱۰/۵	۰/۰۷۵
۱۱	۰/۷۶	۹۴/۳	۱۴/۵	۰/۰۶۴
۱۲	۱/۱۰	۲۶۸/۸	۱۶/۴	۰/۰۹۲
۱۳	۰/۶۸	۱۵۷/۳	۸/۲	۰/۰۵۷
۱۴	۰/۸۹	۱۲۵/۶	۸/۵	۰/۰۷۴
۱۵	۰/۷۶	۱۰۶/۰	۶/۱	۰/۰۶۴
۱۶	۰/۶۵	۱۰۰/۵	۸/۱	۰/۰۵۴
۱۷	۱/۴۰	۱۳۶/۰	۱۴/۵	۰/۱۱۶
۱۸	۱/۳۶	۱۳۲/۷	۱۴/۲	۰/۱۱۳

مناطق نمونه‌برداری ۱۲، ۱۴ و ۱۶ در گروه اول با عملکرد بالا قرارگرفته‌اند. به نظر می‌رسد که قرارگیری این نقاط در موقعیت پای شیب و تجمع خاک سطحی و افزایش عناصر غذایی (جدول ۶ و شکل ۲ ب) سبب افزایش عملکرد در این نقاط شده است. میانگین عملکرد نقاط ۱۴ و ۱۶ (جدول ۷) نسبت به سایر نقاط نمونه‌برداری بالاتر است که ممکن است به دلیل قرارگیری در بالادست پشته‌های زمینی ایجادشده در نتیجهٔ کشت‌وکار باشد. مناطق ۳، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ در گروه سوم با عملکرد کم قرارگرفته‌اند. نقاط ۱۰، ۱۱ و ۱۳ از لحاظ مقدار عملکرد، وزن هزاردانه و تعداد سنبله مقادیر کمتری دارند (جدول ۷) که به نظر می‌رسد به دلیل قرارگیری این نقاط در پایین‌دست مرزهای زمینی و هدررفت خاک سطحی و کاهش مقدار عناصر غذایی باشد (شکل ۲). با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، مقدار هدررفت خاک در نقاط ۱۰، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب ۱۰۲، ۹۳/۳ و ۳۴ مترمکعب بر متر است. مقدار هدررفت خاک سطحی بیشتر در نقطهٔ ۱۰، سبب ایجاد حداقل عملکرد در این نقطه نسبت به سایر نقاط نمونه‌برداری شده است. در نقاط ۳، ۶، ۸ به ترتیب۴۷، ۵۵/۳ و ۲۵/۳ مترمکعب بر متر خاک در نتیجهٔ فرسایش انباشته می‌شود. شاید عملکرد کمتر نقطهٔ ۸ به دلیل تجمع کمتر خاک سطحی در این نقطه باشد. مناطق ۱، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۵، ۱۷ و ۱۸در گروه دوم، عملکرد متوسط دارند. شاید بتوان مقدار یکسان نسبت کربن به نیتروژن را در این نقاط نمونه‌برداری، در حدود ۱۱ تا ۱۲، دلیلی بر عملکرد یکسان آن‌ها دانست.

جدول ۷. میانگین اجزای عملکرد در موقعیت‌های مختلف نمونه‌برداری

نقاط نمونه‌برداری	تعداد سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)
۱	۲۲۴	۷/۴۷	۳۶/۵۴	۹۲۳/۹
۲	۳۷۷	۱/۵۱	۳۹/۸۷	۱۷۹۰/۷
۳	۲۵۵	۲/۱۴	۴۳/۵۴	۳۵۷/۵
۴	۳۶۵	۵/۲۸	۴۶/۸۲	۸۹۶/۹
۵	۲۷۲	۳/۶۶	۳۱/۲۰	۱۰۶۰/۶
۶	۳۴۴	۱/۴۳	۳۳/۶۸	۲۶۱/۲
۷	۷۶۰	۲/۰۸	۴۸/۷۰	۱۰۲۰/۹
۸	۲۵۸	۱/۱۹	۵۱/۹۸	۴۴۵/۳
۹	۵۹۶	۰/۹۷	۵۶/۸۵	۷۹۳/۹
۱۰	۱۰۸	۶/۴۸	۳۹/۸۴	۱۳۰/۷
۱۱	۲۱۰	۹/۳۳	۳۸/۵۴	۲۹۹/۰
۱۲	۳۱۰	۹/۷۸	۴۷/۸۰	۱۸۵۵/۹
۱۳	۱۳۵	۴/۰۰	۵۸/۹۰	۶۵۲/۵
۱۴	۳۲۶	۷/۰۲	۶۰/۰۲	۱۸۴۰/۸
۱۵	۱۵۷	۲۲/۳۱	۵۸/۹۰	۱۱۷۴/۲
۱۶	۲۳۴	۱۰/۳۷	۶۱/۳۶	۲۰۲۱/۸
۱۷	۱۶۴	۱۵/۷۲	۵۵/۸۹	۱۰۴۳/۰
۱۸	۲۰۳	۱۴/۱۵	۵۷/۵۰	۱۴۳۸/۶

نتایج حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ای نشان می‌دهد که لزوماً مناطقی با حاصلخیزی بالا که درگروه اول جای می‌گیرند بر گروه اول عملکرد منطبق نیست. همچنین، مناطق نمونه‌برداری گروه سوم حاصلخیزی با گروه سوم عملکرد انطباق ندارد. به نظر می‌رسد که تفاوت در مدیریت قطعات زمین‌های مجاور در منطقهٔ مورد بررسی اعم از تراکم کاشت، کاربرد یا عدم کاربرد کود آلی، استفاده از مقادیر متفاوت کود شیمیایی، سموم دفع آفت‌کش و حتی تفاوت در زمان کشت، سم‌پاشی، کوددهی، شخم و استفاده از گاوآهن سبب ایجاد تفاوت عملکرد در بین قطعات شده است. استفاده از ابزار شخم متفاوت و کشت محصولات مختلف (Pedersen and Lauer, 2003; Ribera *et al.*, 2004)، شرایط مدیریتی متفاوت مانند تاریخ کشت (Sainju and Singh, 2001) یا شرایط کوددهی متفاوت (Halvonson *et al.*, 2000)، ویژگی‌های خاک (Popp *et al.*, 2002) و زمان (Halvonson *et al.*, 2000; Pedersen and Lauer, 2003) بر مقدار عملکرد گیاهان زراعی مؤثر است. در بررسی‌های متعددی مشخص شده است که مقدار عملکرد محصول در مدیریت‌های متفاوت زراعی متغیر است، به طوری که در شرایط استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی در یک سال مرطوب مقدار عملکرد افزایش یافته است، در حالی که در یک سال خشک در همان منطقه و با شرایط یکسان با استفاده از سیستم بدون شخم مقدار عملکرد محصول کاهش یافته است (Alvarez and Steinbach, 2009).

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر با هدف تعیین اختلاف ارتفاع ایجادشده و حجم خاک جابه‌جاشده در بین قطعات زمین‌های زراعی به علت فرسایش ناشی از شخم، همچنین بررسی اثر فرسایش بر عملکرد گیاه گندم در موقعیت‌های مختلف ایجادشده در دو طرف پشته‌های خاکی در مزرعه، در بخشی از اراضی دیم توتکابن، شهرستان رودبار در جنوب گیلان انجام گرفت. وجود پشته‌های خاکی بیش از ۲ متر در مرز دو زمین زراعی مجاور، از پیامدهای فرسایش شخم در منطقهٔ تحقیق بود، که سبب تغییرشکل زمین و مشکلات مدیریتی شده است، به طوری که دسترسی به زمین و استفاده از ادوات خاک‌ورزی با مشکل مواجه است. پشته‌ها سبب ایجاد عدم تعادل در بین تجمع خاک و هدررفت آن می‌شود، به طوری‌که هدررفت خاک در قسمت پایین مرز و تجمع خاک در شیب بالای مرز به وجود می‌آید. بنابراین، تفاوت در شرایط خاک سطحی و پوشش گیاهی در محل این پشته‌ها دیده می‌شود. فرسایش شخم تابعی از فرسایش‌پذیری زمین‌نماست، به‌طوری که جهت شیب، درجهٔ شیب و میزان تقعر، همچنین شکل و اندازهٔ زمین از عوامل تأثیرگذار بر مقدار جابه‌جایی به وسیلهٔ شخم است. بنابراین، در قطعاتی با شیب کمتر، جابه‌جایی در واحد عرض نسبت به سایر قطعات با شیب بیشتر، مقدار کمتری است. میزان جابه‌جایی جانبی خاک با افزایش درجهٔ شیب کاهش می‌یابد که می‌توان بیان کرد رفتاری برعکس جابه‌جایی در جهت شیب را نشان می‌دهد. به منظور بررسی اثر فرسایش ناشی از شخم بر توان تولید خاک از تجزیهٔ خوشه‌ای به روش ward استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ای، خاک را با استفاده از مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی و عملکرد را با استفاده از ویژگی‌های تعداد سنبله، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در سه گروه تقسیم‌بندی کرد. وجود پشته‌های خاکی ایجادشده در نتیجهٔ فرسایش ناشی از شخم در زمین مورد مطالعه و عدم تعادل در بین تجمع و هدررفت خاک در دوطرف این مرزهای خاکی سبب کاهش مقدار میانگین عناصر غذایی در موقعیت‌های پایین‌دست مرز زمینی و افزایش در بالادست مرز شده است. بین مناطق گروه‌بندی‌شده از نظر حاصلخیزی با گروه‌های عملکرد ارتباط معناداری وجود نداشت که به نظر می‌رسد به دلیل تفاوت در مدیریت زراعی قطعات زمین‌های مجاور در منطقهٔ تحقیق باشد.

REFERENCES

Alvarez, R. and Steinbach, H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 104: 1–15.

Asadi, H.; Raeisvandi, A.; Rabiei, B. and Ghadiri, H. (2012). Effect of land use and topography on soil properties and agronomic productivity on calcareous soils of semiarid region, Iran. *Land Degradation and Development*, 23: 496-504. DOI: 10.1002/ldr.1081

Asghari-Meidani, E., Karimi, S. and Mousavi, B. (2010). Tillage effects on water yield and soil water content and bulk density in dryland wheat-fallow rotation, in Maragheh. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science*, 60(16): 119-128. (In Farsi)

Asghari-Meydani, J. (2001). Recommendation for tillage and dryland wheat harvest. Technical Publications of Assistance Popularization. (In Farsi)

Boardman, J. and Poesen, J. (2006). Soil Erosion in Europe. John Willy and Sons Ltd. Chi Chester.

Bybordi, A. and Malakouti, M. J. (2001). Effects of different levels phosphorus and zinc on cadmium

content of two potato varieties in Sarab, East Azarbayjan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science*, 15(1): 25-36.(In Farsi)

Chen, H. Q., Hou, R. X., Gong, Y. S., Li, H. W., Fan, M. S. and Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 106: 85-94.

Da Silva, J. R. and Alexandre, C. (2004). Soil carbonation processes as evidence of tillage-induced erosion. *Soil and Tillage Research*, 78: 217-224.

De Gryze, S., Six, J., Bossuyt, H., Van Oost, K. and Merckx, R. (2008). The relationship between landform and the distribution of soil C, N and P under conventional and minimum tillage. *Geoderma*, 144: 180-188.

Evans, R. (2002). An alternative way to assess water erosion of cultivated land-field based measurements and analysis of some results. *Applied Geography Journal*, 22: 187–208.

Fiener, P., Auerswald, K. and Van Oost, K. (2011). Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments- a review. *Earth Science Reviews*, 106: 92-104.

Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P. and Bunte, K. (1994). The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 45: 469-478.

Gregorich, E. G., Greer, K. J., Anderson, D. W. and Liang, B. C. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 47: 291-302.

Halvonson, A. D., Black, A. L., Krupinsky, J. M., Merrill, S. D., Wienhold, B. J., and Tanaka, D. L. (2000). Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. *Agronomy Journal*, 92:136–144.

Karimi, H. (1992). *Wheat*. University of Tehran Press. (In Farsi)

Liang, A., Yang, X., Zhang, X., Mclaughlin, N., Shen, Y.and Li, W. (2009). Soil organic carbon change in particle – size fractions following cultivation of black soils in China. *Soil and Tillage Research*, 105: 21-26.

Lindestrom, M. J., Lobb, D. A. and Schumacher, T. E. (2001). Tillage erosion: an overview. *Annals of Arid Zone*, 40:337-349.

Lindestrom, M. J., Nelson, W. W., Schumacher, T. E. and Lemme, G. D. (1990). Soil movement by tillage as affected by slope. *Soil and Tillage Research*, 17: 255-264.

Lobb, D. A., Li, S., Lindstrom, J. and Farenhorst, A. (2007). Tillage and water erosion on different landscapes in the northern North American Great Plains evaluated using ^{137}Cs technique and soil erosion models. *Catena*, 70: 493-505).

Logsdon, S.D. (2013). Depth dependence of chisel plow tillage erosion. *Soil and Tillage Research* 128: 119-124.

Mazaheri, D. and Majnon Hosseyni, N. (2010). *Foundations General Agriculture*. University of Tehran Press. (7th ed.).(In Farsi)

Mehdizade, B., Asadi, H., Shabanpour, M., and Ghadiri, H. (2013). The impact of erosion and tillage on the productivity and quality of selected semiarid soils of Iran. *International Agrophysics*, 27: 291-297.

Mikhailova, E. A., Bryant, R. B., Vassenev, I. I., Schwager, S. J. and Post, C. J. (2000). Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in Russian Chernozem. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 738-745.

Nazmi, L., Asadi, H., Manukyan, R. and Naderi, H. (2012). Influence of tillage displaced soil on the productivity and yield components of barley in northwest Iran. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(4): 665–672.DOI: 10.4141/cjss2011-096.

Nyssen J., Poesen J., Haile M., Moeyersons J. and Deckers J. (2000). Tillage erosion on slope with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil and Tillage Research*, 57: 115-127.

Olfati, M., Malakouti, M. J. and Balali, M. R. (2000). Determination the critical level of wheat in Iran. Balanced nutrition wheat. Publications of Agricultural Education. (In Farsi)

Page, A. L., Miller, R. H.and Keeney, D. R. (1982). *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, INC. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.

Papiernik, S. K., Lindstrom, M. J., Schumacher, T. E., Schumacher, J. A., Malo, D. D. and Lobb, D. A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long- term tillage. *Soil and Tillage Research*, 93: 335-345.

Pedersen, P. and Lauer, G. (2003). Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. *Agronomy Journal*, 95: 965-971.

Poesen, J., Turkelboom, F., Ohler, I., Ongprasert, A. S and Vlassak, K. (2000). Tillage erosion in Northern Thailand: intensities and implications. *Bulletin des Séances, Académie Royale des Sciences d'Outre*, 46(4): 489-512.

Popp, M. P., Keisling, T. C., McNew, R. W., Oliver, L. R., Dillon, C. R., and Wallace, D. M. (2002). Planting date, cultivar, and tillage systems effects on dryland soybean production. *Agronomy Journal*, 94:81–88.

Ribera, L. A., Hons, F. M. and Richardson, W. (2004). An economic comparison between conventional and no-tillage farming systems in Burleson County, Texas. *Agronomy Journal*, 96:415–424.

Sainju, U. M. and Singh, B. P. (2001). Tillage, cover crop, and kill-planting date effects oncorn yield and soil nitrogen. *Agronomy Journal*, 93: 878–886.

Shahoei, S. (1998). *Soil Erosion and Productivity*. Publications of Agricultural Education. (In Farsi)

Soltani, A. (2007). *Application and Using of SAS Program in Statistical Analysis*. Jihad-Daneshgahi Press, Mashhad, Iran. (In Farsi)

Van Oost, K., Govers G. and Desmet, P.H. (2000). Evaluation the effects of changes in Landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15: 577-589.

Van Oost, K., Govers, G., De Alba, S. and Quine, T.A. (2006). Tillage erosion: A review of controlling factors and implications for soil quality. *Progress in Physical Geography*, 30: 443-466.

Wildemeersch, J.C.J., Vermang, J., Cornelis, W.M., Diaz,J., Gabriels, D. and Ruiz, M.E. (2014). Tillage erosion and controlling factors in traditional farming systems in Pinar del Río, Cuba. Catena, 121: 344-353.

Zhang, J.H., Lobb, D.A., Li, Y. and Liu, G.C. (2004). Assessment of tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China. *Soil and Tillage Research*, 75: 99-107.

Zhang, J.H., Nie, X.J. and Su, Z.A. (2008). Soil profile properties in relation to soil redistribution by intense tillage on a steep hillslope. *Soil Science Society of America journal*, 72(6): 1767-1773.

Zhang, J.H., Su, Z.A. and Nie, X.J. (2009). An investigation of soil translocation and erosion by conservation hoeing tillage on steep lands using magnetic tracer. *Soil and Tillage Research*, 105: 177-183.

Zhang, J.H., Wang, Y. and Zhang, Z.H. (2014). Effect of terrace forms on water and tillage erosion on a hilly landscape in the Yangtze River Basin, China. *Geomorphology*, 216: 114-124.