اثر رطوبت خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی ارقام سیب‌زمینی بر فرسایش خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای (SLCH) در مزرعه تحقیقاتی مراغه

فرشته آذری فام مراغه[۱]، مهدی رحمتی[۱]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fazarifam71@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰
DOI: 10.30470/jsp.2025.735555

چکیده

هدررفت خاک ناشی از برداشت محصولات غده‌ای (SLCH) یک چالش مهم در پایداری خاک‌های کشاورزی است. این مشکل باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رطوبت خاک و ارقام مختلف سیب‌زمینی بر میزان هدررفت خاک طی برداشت انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح رطوبتی (آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز قبل از برداشت) و ده رقم مختلف سیب‌زمینی اجرا گردید. نتایج نشان داد که بیشترین میزان هدررفت خاک در سطح رطوبتی بالاتر (۵ روز قبل از برداشت) رخ داد و به‌طور معنی‌داری بیش از ده برابر مقدار آن در رطوبت پایین‌تر (۱۵ روز قبل از برداشت) بود. همچنین، تفاوت میان ارقام مختلف از نظر هدررفت خاک معنادار بود؛ به‌طوری که ارقامی مانند اینواتور، بانبا و رداسکارلت کمترین و فونتانه، چلنجر و آگریا بیشترین میزان هدررفت را داشتند. بررسی همبستگی نشان داد که خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها ارتباط معنی‌داری با میزان هدررفت خاک ندارند و نقش اصلی در این زمینه به رطوبت خاک مربوط است. این نتایج بر اهمیت مدیریت رطوبت خاک و زمان مناسب برداشت در کاهش هدررفت خاک تأکید داشته و انتخاب ارقام مناسب را به‌عنوان راهکار تکمیلی پیشنهاد می‌کند.

واژگان کلیدی: برداشت محصولات غده‌ای، خصوصیات مورفولوژیکی، رطوبت خاک، سیب‌زمینی، هدررفت خاک

The effect of soil moisture and morphological characteristics of potato cultivars on soil erosion caused by root crop harvesting (SLCH) in Maragheh research farm

F. Azarifam maragheh[1], M.Rahmati[1]

1.Department of Soil Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran
*Corresponding Author, Email: fazarifam71@gmail.com
Received: September 2025 Accepted: November 2025
DOI: 10.30470/jsp.2025.735555

Abstract

Soil loss due to crop harvesting (SLCH) is one of the major challenges for sustainable soil management in agricultural systems. This problem reduces soil quality. This study aimed to evaluate the effects of soil moisture and potato cultivars on SLCH during harvesting. A randomized complete block design was conducted with three soil moisture levels (irrigation at 5, 10, and 15 days before harvesting) and ten potato cultivars. The results showed that the highest SLCH occurred at the highest soil moisture level (5 days before harvesting), which was more than ten times higher than the lowest SLCH observed at 15 days before harvesting. Significant differences among cultivars were also detected; cultivars such as Innovator, Banba, and Red Scarlet showed the lowest SLCH, whereas Fontane, Challenger, and Agria exhibited the highest values. Correlation analysis revealed no significant relationship between tuber morphological traits and SLCH, highlighting the dominant role of soil moisture. These findings emphasize the importance of proper soil moisture management and optimal harvest timing to reduce SLCH, while the selection of suitable cultivars can serve as a complementary strategy.

Keywords: harvesting of tuber crops, morphological characteristics, potato, soil loss, soil moisture

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین تهدیدهای پایداری خاک و کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود. اگرچه فرسایش آبی، بادی و خاک‌ورزی در دهه‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته‌اند، اما گونه‌ای دیگر از فرسایش، یعنی فرسایش خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای (SLCH[1]) همچنان در بسیاری از مطالعات کمتر دیده شده، اما به‌طور فزاینده‌ای اهمیت آن آشکار می‌شود. در اوایل هزاره سوم، پواسن و همکاران به پدیده هدررفت خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای توجه ویژه‌ای نشان دادند (Poesen et al., 2001). در واقع فرآیند حذف خاک همراه با برداشت محصولاتی مثل سیب‌زمینی، چغندر قند، پیاز و کاساوا و... را SLCH می‌گویند؛ یعنی خاکی که به سطح محصولات می‌چسبد یا به‌شکل کلوخه در مرحله برداشت از مزرعه خارج می‌شود. براساس مطالعات انجام‌شده در اتحادیه اروپا، طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، سالانه نزدیک به ۱۴/۷ میلیون تن خاک به واسطه برداشت محصولات ریشه‌ای از اراضی کشاورزی خارج شده است که حدود ۶۵ درصد آن مربوط به برداشت چغندر قند و ۳۵ درصد مربوط به برداشت سیب‌زمینی بوده است (Panagos et al., 2019). مطالعات جهانی نشان داده‌اند که در اراضی مسطح که فرسایش آبی به دلیل شیب کم محدود است، برداشت محصولات ریشه‌ای اصلی‌ترین عامل از دست رفتن خاک است (Ruysschaert et al., 2004). در کشورهای اروپایی، میزان هدررفت خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای تقریباً معادل فرسایش آبی و بادی است و منجر به از دست رفتن عناصر غذایی، کاهش ماده آلی، افزایش مصرف کود و هزینه تولید و تخریب لایه حاصلخیز خاک می‌شود (Parlak et al., 2022; Ruysschaert et al., 2004; 2006; 2008). تحقیقات در ترکیه نشان داد حدود ۲۰ درصد از خاک از دست رفته سالانه (حدود ۱/۵ میلیون تن) ناشی‌از برداشت محصولات ریشه‌ای است (Oztas et al., 2002). مشابه آن، برداشت چغندر قند در آنکارا منجر به خروج ۴۷۹ هزار تن خاک در سال و کل ترکیه حدود ۹۵۱ هزار تن شده است (Parlak et al., 2008). در سریلانکا نیز برداشت کاساوا موجب هدررفت متوسط ۶۴/۷ کیلوگرم خاک به ازای هر هکتار شد (Sumithra et al., 2013). در مورد سیب‌زمینی، داده‌ها محدود است؛ اما پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند مقدار SLCH بین ۰/۴ تا ۱۶ تن در هکتار و میانگین ۲ تن در هکتار در بلژیک بود (Soenens, 1997)، که توسط بیازمنس با میانگین ۱/۲الی ۲ تن در هکتار تایید شد (Biesmans, 2002).

عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های خاک، خصوصیات مورفولوژیکی محصول و شرایط زراعی و روش برداشت در شدت SLCH نقش بسزایی دارند. رطوبت خاک در زمان برداشت به‌عنوان عاملی کلیدی شناخته می‌شود؛ رطوبت زیاد موجب چسبندگی خاک به غده‌ها شده و SLCH را افزایش می‌دهد. در واقع، رطوبت بالا باعث افزایش چسبندگی خاک به غده‌ها می‌شود. این امر به دلیل تشکیل پل‌های آبی بین ذرات خاک و سطح غده‌هاست. وقتی خاک مرطوب است، مولکول‌های آب میان ذرات خاک و سطح غده قرار می‌گیرند و این پل‌ها باعث می‌شوند که خاک بیشتر به غده‌ها بچسبد. تحقیقات مختلف نشان دادند (Busche et al., 2023; Isabirye et al., 2007).

در کشورهای اروپایی، تفاوت میزان بارندگی و رطوبت خاک، تغییرات SLCH بین ۰/۲تا ۶/۳ تن در هکتار را توضیح می‌دهد (Ruysschaert et al., 2005; 2006). مطالعات در تانزانیا و آلمان نیز نشان داد که شرایط آب و هوایی و رطوبت نقش مهمی در افزایش SLCH دارند (Mango et al., 2013; Auerswald, 2006). مورفولوژی محصول، مانند شکل و شیارهای غده، می‌تواند SLCH را کاهش دهد. به عنوان مثال، سیب‌زمینی شیرین نسبت به کاساوا[2] فرسایش کمتری دارد(Isabirye et al., 2007). همچنین بررسی ده رقم مختلف سیب‌زمینی شیرین در

[1] Soil Loss due to Crop Harvesting: SLCH

[2] Cassava

نیجریه نشان داد غده‌های صاف و کم‌شیار منجر به کاهش SLCH می‌شوند (Oshunsanya, 2016). مطالعه‌ای در جنوب برزیل نشان داد که ویژگی‌های مورفولوژیکی سیب‌زمینی (گرد یا کشیده) و میزان رطوبت خاک نقش مهمی در میزان خاک از دست‌رفته ایفا می‌کنند؛ سیب‌زمینی‌های کشیده حدود ۲۰ درصد بیشتر خاک همراه داشتند و رطوبت بالا (۲٦ درصد) منجر به سه برابر افزایش SLCH نسبت به شرایط خشک‌تر (۱٦ درصد) شد (Thomaz and Breze, 2021). مقدار SLCH در بین محصولات مختلف نیز متفاوت است به طوری‌که در استان خوزستان ایران، میزان SLCH به ترتیب برای سیب‌زمینی، سیر، چغندرقند، تربچه و چغندر لبویی ۲/٦، ۲/۵، ۲/۲، ۱/٤ و ۹/٦ تن در هکتار گزارش شد (Faraji et al., 2017). در سراسر دنیا، تأثیر روش زراعی به ویژه عملیات خاک‌ورزی بر میزان SLCH بارز است. تحقیق گسترده‌ای که روی سه گروه کلیدی محصولات ریشه‌ای (نظیر یام) صورت گرفت، نشان داد روش شخم مکانیزه منجر به SLCH متوسط ۳٤٦ کیلوگرم در هکتار به ازای هر برداشت شد، در حالی که در شرایط کشت بدون شخم تنها حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار ثبت گردید؛ حتی شخم حداقلی نسبتاً SLCH را کاهش داد (Oshunsanya et al,2018). یکی از عوامل دیگر اثرگذار بر مقدار خاک هدررفته در این نوع فرسایش نوع برداشت محصولات است (Gong et al., 2023). برداشت مکانیزه معمولاً منجر به هدررفت بیشتر خاک نسبت به برداشت دستی می‌شود؛ به عنوان مثال، برداشت هویج در ترکیه، دستی ۱٤ تن و مکانیزه ۲۲/٤تن در هکتار خاک از دست می‌دهد (Parlak et al., 2016). البته پیشرفت تکنولوژی ماشین‌آلات برداشت در اروپا طی چند دهه اخیر سبب کاهش هدررفت خاک شده است(Ruysschaert et al.,2008).

در کشور ایران محصول سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی است و بر اساس آمارهای بخش کشاورزی (۱٤۰۲)، مجموع سطح زیرکشت سیب‌زمینی در کشور در سال‌های اخیر بین حدود ۱۵۰ تا ۱٦۰ هزار هکتار بوده است که از این سطح بیش از ۵ میلیون تن محصول برداشت می‌شود و این نشان می‌دهد سیب‌زمینی سهم قابل‌توجهی در تولید محصولات کشاورزی ایران دارد. در استان آذربایجان شرقی نیز سطح زیرکشت سیب‌زمینی (تابستانه و پاییزه) حدود ۹۱۷۸ هکتار گزارش شده است که سالانه بیش از ۲٦۷ هزار تن محصول تولید می‌شود و این استان از نظر سطح زیرکشت در کشور رتبه قابل‌توجهی دارد. همچنین در آذربایجان شرقی برخی ارقام خاص سیب‌زمینی به‌ویژه ارقامی مانند «جیلی»، «اسپریت» و «آگریا» به دلیل سازگاری خوب با اقلیم منطقه و بازارپسندی بیشترین سطح کشت را دارند (IANA, 2023).

فرسایش خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای(SLCH) عامل مهم و کم‌شناخته‌ای در کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش هزینه‌های تولید است. این پدیده موجب خروج خاک حاصلخیز و عناصر غذایی می‌شود و با افزایش جهانی کشت محصولات غده‌ای، به‌ویژه در آسیا و آمریکای لاتین، اهمیت آن بیشتر شده است. در سال ۲۰۱۹، حدود ۸.٤٪ از زمین‌های زراعی دنیا تحت تأثیر SLCH قرار داشت و تقریباً ٦۸٪ زمین‌های زراعی جهان بالقوه مستعد این فرسایش هستند (Kuhwald et al., 2022; Borrelli et al., 2023). توجه به این پدیده برای سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی و کشاورزی ضروری است. هدف این پژوهش بررسی عوامل مؤثر بر SLCH شامل رطوبت خاک و مورفولوژی محصول و ارائه داده‌های کمّی برای مدیریت پایدار خاک است. هدف این پژوهش بررسی عوامل مؤثر بر SLCH شامل رطوبت خاک و مورفولوژی محصول و ارائه داده‌های کمّی برای مدیریت پایدار خاک است. نوآوری پژوهش حاضر در این است که SLCH را در شرایط اقلیمی و خاک شمال‌غرب ایران و به‌ویژه مزرعه تحقیقاتی مراغه بررسی می‌کند، همزمان تأثیر رطوبت خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی ارقام سیب‌زمینی را بر

فرسایش کمّی می‌کند و داده‌های کاربردی برای انتخاب ارقام مناسب و مدیریت پایدار خاک ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی به وسعت یک هکتار در دانشگاه مراغه با مختصات جغرافیایی ۳۷.۳۷٤۷٦٤ درجه عرض شمالی و ٤٦.۲۷۲۳۷۰ درجه طول شرقی انجام شد. مراغه از توابع استان آذربایجان شرقی می‌باشد که در جنوب غربی این استان واقع شده است و متوسط ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱٤٥۰متر می‌باشد. آب و هوای مراغه معتدل متمایل به سرد و نسبتاً مرطوب است. میانگین بارندگی در این شهرستان حدود ۳۲۲ میلیمتر در یک سال زراعی می‌باشد. بیشینه دمای این شهر در تابستان‌ها حدود ۳٥ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و کمینه آن در زمستان‌ها حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر است.

این تحقیق پس از آماده‌سازی زمین و تهیه بذر ده رقم سیب‌زمینی شامل چلنجر[3]، سانته[4]، اینواتور[5]، بانبا[6]، رداسکارلت[7]، سیفرا[8]، پیکاسو[9]، آگریا[10]، فونتانه[11] و آریندا [12]از استان همدان اجرا شد. آزمایش در قالب اسپلیت‌پلات با طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار انجام گردید. فاکتور اصلی شامل سه سطح رطوبت خاک در زمان برداشت (٥، ۱۰ و ۱٥ روز قبل از برداشت) و فاکتور فرعی شامل ارقام مختلف سیب‌زمینی بود. برای هر تیمار کرت‌ها و زیرکرت‌ها به‌صورت تصادفی تخصیص داده شدند. کاشت دستی غده‌های بذری سیب‌زمینی اوایل خرداد ۱۳۹٦ در سیستم جوی و پشته‌ای انجام شد و آبیاری مزرعه به صورت قطره‌ای هر سه روز یک‌بار صورت گرفت. برداشت محصول اوایل مهرماه به صورت دستی انجام شد و غده‌ها برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل شدند.

در زمان برداشت، نمونه‌های خاک دست‌خورده و دست‌نخورده از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متر هر کرت جمع‌آوری شد. نمونه‌های دست‌خورده به‌صورت مرکب از چند نقطه مخلوط شدند و نمونه دست‌نخورده با سیلندرهای استاندارد برداشت شد. هر دو نوع نمونه از روی پشته و داخل جوی جمع‌آوری شدند تا تأثیر شرایط مکانی بر هدررفت خاک بررسی شود.

اندازه‌گیری هدر رفت خاک در این مطالعه با دو روش انجام شد: الف) محاسبه هدر رفت خاک نسبت به وزن خالص محصول (SLCHspec) با جدا کردن خاک سست و چسبیده به محصول و سنگ‌ها. ب) محاسبه هدر رفت خاک بر اساس واحد سطح (SLCHcrop) نسبت به عملکرد محصول در هکتار (Ruysschaert et al., 2004).

$$SLCH_{crop}\ (Kg\ ha^{-1}\ harvest^{-1}) = SLCHspec \times M_{cy} \quad (۱$$

که در آن M_{cy} بیانگر جرم خالص عملکرد محصول در هکتار(بر حسب کیلوگرم بر هکتار به ازای برداشت) می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی تاثیر خصوصیات مورفولوژیکی سیب‌زمینی در میزان هدر رفت خاک از مزارع، ابعاد غده ها (طول، عرض و ارتفاع) با استفاده از کولیس برای تمامی غده‌ها ثبت شد (شکل ۱) و سپس میانگین آنها برای هر کرت گزارش شد. همچنین حجم غده‌های سیب‌زمینی با معلق کردن غده‌ها در داخل حجم مشخصی از آب و ثبت تغییرات آب اندازه‌گیری شد. همچنین سطح ویژه غده‌ها با محاسبه قطر معادل و استفاده از روابط هندسی برای غده‌های کروی تعیین شداندازه گیری بافت خاک به روش هیدرومتری انجام شد (Gee and Or, 2002). جرم مخصوص ظاهری خاک از طریق نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهای نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد (Grossman and Reinsch, 2002). رطوبت خاک از طریق نمونه‌های به‌هم‌خورده و روش

[3] Challenger
[4] Sante
[5] Innovator
[6] Banba
[7] Red scarlet
[8] Sifra
[9] Picasso
[10] Agria
[11] Fontane
[12] Arinda

وزنی در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه EC متر و مقدار pH خاک با استفاده از pH متر در سوسپانسیون خاک–آب با نسبت ۱ به ۲/۵ (خاک:آب) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کربن آلی (*OC*) خاک با استفاده از روش اکسایش تر صورت گرفت(Nelson and sommers, 1996).

شکل ۱- توزین خاک از دست رفته و اندازه‌گیری ویژگی‌های غده‌ها با کولیس

برای تحلیل داده‌های حاصل از هدررفت خاک ناشی از فرسایش غده‌ای، از نرم‌افزار SAS استفاده گردید. به‌منظور بررسی اثر عوامل مورد مطالعه بر متغیر وابسته (میزان هدررفت خاک)، تحلیل واریانس (Anova) بر پایه طرح آزمایشی اجرا شده انجام شد. پیش از انجام آزمون‌ها، داده‌ها از نظر نرمال بودن و یکنواختی واریانس‌ها بررسی گردید. در صورت معنی‌دار بودن اثر عوامل، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های چنددامنه‌ای مناسب نظیر Duncan در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

در این مطالعه، میزان خاک از دست رفته ناشی از برداشت ارقام مختلف سیب‌زمینی در رطوبت‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت و تأثیر ده رقم مختلف سیب‌زمینی در سه سطح رطوبتی مختلف بر میزان SLCH تحلیل شد. برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، خاک مزرعه در کلاس بافت لوم شنی قرار دارد و دارای درصد رس پایینی (حدود ۱۲درصد) است که آن را از نظر عناصر غذایی در زمره خاک‌های نسبتاً فقیر قرار می‌دهد. همچنین، مقدار هدایت الکتریکی (EC) معادل ۲ دسی‌زیمنس بر متر وpH برابر با ۷/٦، نشان‌دهنده وضعیت غیرشور و نزدیک به خنثی خاک است که شرایط مناسبی برای کشت سیب‌زمینی فراهم می‌کند.

جدول۱- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد مطالعه

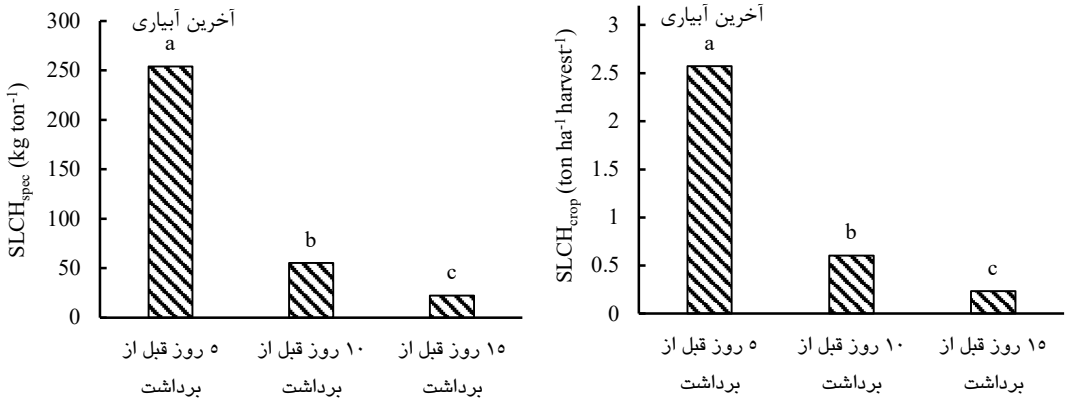
شن	سیلت	رس	بافت خاک	هدایت الکتریکی	pH
	(درصد)		–	(*دسی‌زیمنس* برمتر)	–
٥٤/٨٨	٣٣/٩٨	١١/٨	لوم شنی	٢/٠٧	٧/٥٧

نتایج جدول تجزیه واریانس متغیرهای SLCHcrop و SLCHspec (جدول ۲) نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد از نظر میزان SLCHspec در بین بلوک‌ها و دورهای آبیاری مختلف و همچنین نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری از نظر میزان SLCHcrop در بین دورهای آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) و در بین بلوک و ارقام مختلف سیب‌زمینی (در سطح احتمال ۵ درصد) می‌باشد. با این وجود اختلاف معنی‌داری از نظر SLCHspec در بین واریته‌های مختلف سیب‌زمینی مشاهده نشد. نتایج همچنین بیانگر عدم معنی‌داری اثرات متقابل واریته‌های سیب‌زمینی و دورهای آبیاری بر روی SLCHcrop و SLCHspec بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس هدررفت خاک در ارقام مختلف و دوره های آبیاری

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		$SLCH_{spec}$	$SLCH_{crop}$
بلوک	١	٥/٨٤٧**	٤/٥٥٤*
آبیاری	٢	٣٠/١٨٣**	٢٩/٣٣٦**
واریته	٩	٠/٧٧٦^{ns}	١/٣٦٦*
اثر متقابل	١٨	٠/٨٤٨^{ns}	٠/٨٠٩^{ns}
خطا	٢٩	٠/٧٣٣	٠/٦٦٧

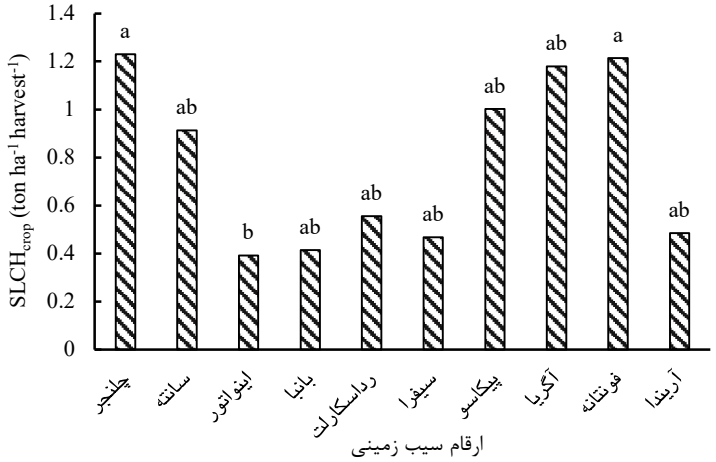
شکل ۲ میانگین SLCHcrop و SLCHspec در دورهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. مطابق نتایج، در هر دو مورد SLCHcrop و SLCHspec بیشترین مقدار هدر رفت خاک در دور اول آبیاری (۵ روز قبل از برداشت) اتفاق افتاده است و کمترین مقدار هدرفت در دور سوم آبیاری (۱۵ روز قبل از برداشت) رخ داده است. دور اول آبیاری (۵ روز قبل از برداشت) با SLCHcrop برابر با ۲/٦ تن بر هکتار به ازای هر برداشت و SLCHspec برابر با ۲٥٤ کیلوگرم به ازای برداشت هر تن محصول سیب‌زمینی بیش از ۱۰ برابر آن در دور سوم آبیاری (۱۵ روز قبل از برداشت) با SLCHcrop برابر با ۰/۲۳ تن بر هکتار به ازای هر برداشت و SLCHspec برابر با ۲۲ کیلوگرم به ازای برداشت هر تن محصول سیب‌رمینی بود. به نظر می‌رسد با افزایش میزان رطوبت خاک، چسبندگی ذرات خاک به غده‌ها بیشتر شده و باعث هدر رفت بیشتر خاک می‌شود. این مورد به طور خاص در مزرعه بررسی شده در این تحقیق با توجه به اینکه از درصد رس (۱۲ درصد) و مقدار کربن آلی (۰/٤ درصد) کمتری برخوردار است می‌تواند نمود بیشتری داشته باشد. چون در خاک‌هایی که مقادیر رس و کربن آلی پایینی دارند، چسبندگی بین ذرات خاک عمدتا از رطوبت خاک ناشی می‌شود. مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر با نتایج رایسچارت و همکاران (Ruysschaert et al, 2007) در بلژیک، دوال (Duval, 1988) در فرانسه هم سو می‌باشد به طوری که آنها نیز در تحقیق مشابه نشان دادند که با افزایش رطوبت خاک در طی برداشت محصول مقدار هدر رفت خاک دراثر چسبندگی خاک افزایش می یابد



شکل ۲- مقدار هدر رفت خاک از مزراع در قالب $SLCH_{crop}$ (سمت راست) و $SLCH_{spec}$ (سمت چپ) در رطوبت‌های مختلف خاک در زمان برداشت محصول

مقدار SLCHcrop در ده رقم مختلف سیب زمینی در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است ارقام اینواتور، بانبا، رداسکارلت، سیفرا و آریندا کمترین مقدار هدررفت خاک و رقم فونتانه، چلنجر و آگریا بیشترین مقدار هدر رفت خاک در یک هکتار را داشتند و میزان هدررفت خاک در بقیه ارقام کشت شده حالت بینابین بود. مقدار هدر رفت خاک در ارقام فونتانه، چلنجر و آگریا ۰/۰۳ ± ۱/۲۱ تن بر هکتار به ازای هر برداشت محصول بود که حدودا سه برابر هدررفت خاک در ارقام اینواتور، بانبا، رداسکارلت، سیفرا و آریندا با میزان هدر رفت حدود ۰/۰٦ ± ۰/٤٦ تن بر هکتار به ازای هر برداشت بود. بالا بودن مقدار SLCHcrop در رقم چلنجر و آگریا می‌تواند به دلیل ابعاد ریزتر (با متوسط حجم غده برابر با ۰/۰۹ ± ٤۳ سانتیمترمکعب) آنها باشد که اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی نیز این مورد را تایید می‌کند ولی مقدار بالای هدر رفت خاک در رقم فونتانا با توجه به مشابهت مورفولوژیکی این رقم به دیگر ارقام نیاز به بررسی بیشتری دارد. به نظر می‌رسد از

دلایل احتمالی بالا بودن هدررفت خاک در این رقم می‌تواند به متفاوت بودن ساختار پوست غده این محصول مرتبط باشد که نیاز هست در تحقیقات آتی بررسی شود. متاسفانه گزارشی که به بررسی اثرات ارقام مختلف سیب‌زمینی و همچنین مرفولوژی مختلف آنها در میزان هدررفت خاک ارائه نشده است. تنها تحقیق مرتبط صورت گرفته در این خصوص تحقیق انجام شده در نیجریه (Oshunsanya, 2016) می‌باشد که اثرات ارقام مختلف سیب‌زمینی شیرین در میزان هدررفت خاک در نیجریه را بررسی کردند که در این تحقیق نیز خصوصیات مروفولوژیکی ارقام بررسی نشده است.



شکل ۳- مقدار هدر رفت خاک از مزراع در قالب $SLCH_{crop}$ در ارقام مختلف سیب‌زمینی

نتایج جدول تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیکی گیاه (جدول ۳) نشان داد که میان دوره‌های مختلف آبیاری و همچنین اثر متقابل دور آبیاری و واریته‌های سیب‌زمینی تفاوت معناداری در پارامترهای طول، عرض، ارتفاع، حجم و سطح ویژه غده‌ها مشاهده نشد. با این حال، بین واریته‌های مختلف، اختلاف معناداری در طول، عرض، ارتفاع و سطح ویژه غده‌ها و همچنین عملکرد محصول به ثبت رسید. عدم تأثیر معنی‌دار دورهای آبیاری بر خصوصیات گیاه قابل پیش‌بینی بود، زیرا محصول پیش از دور آخر آبیاری به حداکثر رشد زایشی و رویشی خود رسیده و تفاوت زمانی ۱۰ روزه آخرین دور آبیاری تأثیر قابل توجهی بر مورفولوژی غده‌ها و عملکرد نداشته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات گیاه در ارقام مختلف و دوره های آبیاری

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن غده	طول غده	عرض غده	ارتفاع غده	حجم غده	سطح ویژه هر غده	عملکرد گیاه
بلوک	۱	۲۳/۲۵۰^{ns}	۱۱/۵۷۹^{ns}	۷/۷۹۳^{ns}	۱۸/۹۰۲^{ns}	٤۳/۰۹۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۷٤۸۷٤۳^{ns}
آبیاری	۲	۲٤۸/۲۷۰^{ns}	۷٦/۲۳۲^{ns}	۱۳/٤۲۲^{ns}	٦/٤۲۳^{ns}	۱۵۷^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}	٤۹۵۲۸۲۱/۱^{ns}
واریته	۹	۵۲۳/۸٦٤^{ns}	۹۳/۹۳۰*	٦۱/۵۳۹**	۳٦/۱۵۳**	٤٤٦/۰۷٦^{ns}	۰/۰۳۷*	٤۱۲۸۲۵٦۰*
اثرمتقابل	۱۸	۲۱۲/٤٤٦^{ns}	۳٦/۹۰۷^{ns}	۱۰/۵۲۹^{ns}	۸/۵۹٦^{ns}	۱۸۲/۹۳۹^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۱۱٤۵۵۰۳۰/۹^{ns}
خطا	۲۹	۲۷۵/٤٤٤	۳۸/٦۵٦	۱٤/٦۹۷	۱۱/۳۹٦	۲۵۱/٤۳۰	۰/۰۱۷	۱۹۷۹۵۲۰۵

به منظور بررسی تأثیر خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها بر میزان هدررفت خاک، همبستگی بین این خصوصیات و مقدار SLCHcrop بررسی شد (جدول ٤). نتایج نشان داد که هیچ همبستگی قوی و معناداری بین

خصوصیات مورفولوژیکی غده‌های سیب‌زمینی و میزان هدررفت خاک وجود ندارد. این امر احتمالاً ناشی از نقش غالب و کنترل‌کننده رطوبت خاک بر هدررفت خاک است، به گونه‌ای که تأثیرات جزئی خصوصیات مورفولوژیکی در مقایسه با اثر رطوبت خاک قابل توجه نیست. اثر غالب رطوبت خاک بر میزان هدررفت در طول برداشت محصول در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Ruysschaert et al., 2007). علاوه بر این، معناداری اثر دورهای مختلف آبیاری بر هدررفت خاک، که نمایانگر تغییرات رطوبت خاک در زمان برداشت است، به‌طور ضمنی این یافته را تأیید می‌کند.

جدول۴- همبستگی بین خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها و میزان هدررفت خاک در قالب $SLCH_{crop}$

R	وزن غده	طول غده	عرض غده	ارتفاع غده	حجم غده	سطح ویژه غده
$SLCH_{crop}$	۰/۰۵	۰/۰۶۹	۰/۱۱۶	-۰/۰۰۷	۰/۱۰۳	-۰/۰۱۱

مشابه بررسی همبستگی بین میزان SLCHcrop و خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها، رابطه بین SLCHcropو خصوصیات فیزیکی خاک نیز تحلیل شد (جدول ۵). برخلاف همبستگی ضعیف بین خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها و SLCHcro، همبستگی قابل توجهی بین رطوبت خاک (R=0.698) و میزان SLCHcrop مشاهده شد. اثرات مشخص خصوصیات فیزیکی خاک، به ویژه رطوبت، بر میزان هدررفت خاک توسط مطالعات پیشین نیز تأیید شده است. برای نمونه، پژوهشگران در تحقیقی (Isabirye et al., 2007) نشان دادند که کاهش رطوبت خاک در زمان برداشت موجب کاهش چسبندگی خاک به غده سیب‌زمینی و هدررفت کمتر خاک می‌شود. همچنین، به دلیل بارندگی کمتر در فصل برداشت در آلمان، میزان فرسایش خاک ناشی از برداشت محصولات ریشه‌ای (SLCH) در این کشور نسبت به کشورهای فرانسه، بلژیک و هلند کمتر بوده است (Ruysschaert et al., 2005). تحقیق دیگری از همان گروه در بلژیک نشان داد که بیشترین تغییرات SLCH در برداشت سیب‌زمینی با تغییرات رطوبت خاک قابل توجیه است (Ruysschaert et al., 2006). همچنین نتایج پژوهش‌های اخیر در آلمان شمالی نشان داد که برداشت مکانیزه چغندرقند منجر به هدررفت قابل توجه خاک (به‌طور میانگین ۵/۷ تن در هکتار در هر برداشت) می‌شود و میزان هدررفت خاک به‌طور قابل توجهی با رطوبت خاک مرتبط است و افزایش رطوبت باعث افزایش SLCH می‌شود (Saggau et al., 2024). مطالعات متعدد دیگر در شرایط آب و هوایی و مناطق مختلف نیز همبستگی بالای بین رطوبت خاک و میزان هدررفت خاک را تأیید کرده‌اند (Jurišić et al., 2011; Mango et al.,°2013; Auerswald, 2006).

جدول۵- همبستگی (R) بین خصوصیات فیزیکی خاک و میزان هدررفت خاک در قالب $SLCH_{CROP}$

-	رطوبت (درصد)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
$SLCH_{crop}$	۰/۶۹۸	-۰/۳۵۱

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که میزان هدررفت خاک ناشی از برداشت سیب‌زمینی (SLCH) به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر رطوبت خاک قرار دارد. بیشترین هدررفت خاک در شرایط رطوبتی بالاتر (آبیاری ۵ روز قبل از برداشت) و کمترین مقدار آن در رطوبت پایین‌تر (آبیاری ۱۵ روز قبل از برداشت) ثبت شد. این امر بیانگر نقش غالب رطوبت خاک در افزایش چسبندگی ذرات خاک به غده‌ها و در نتیجه افزایش میزان SLCH است. بررسی ارقام مختلف سیب‌زمینی نیز نشان داد که تفاوت‌هایی در میزان هدررفت خاک وجود دارد؛ به‌طوری که برخی ارقام نظیر اینواتور، بانبا و رداسکارلت کمترین و ارقامی مانند چلنجر و آگریا بیشترین مقدار هدررفت را داشتند. هرچند

نتایج همبستگی نشان داد که خصوصیات مورفولوژیکی غده‌ها ارتباط معناداری با میزان هدررفت خاک ندارند و نقش آن‌ها در مقایسه با اثر رطوبت خاک ناچیز است. علاوه بر اندازه غده، ساختار پوست غده (صاف، زبر، عمق چشم‌ها) و میزان ترشح مواد موسیلاژی از غده‌ها می‌توانند تأثیر زیادی بر چسبندگی خاک و دشواری برداشت داشته باشند. غده‌هایی با پوست زبر یا چشم‌های عمیق‌تر، سطح بیشتری برای جذب ذرات خاک ایجاد می‌کنند. همچنین، مواد موسیلاژی ترشح‌شده از غده‌ها می‌توانند به عنوان عامل چسبندگی عمل کنند. این عوامل نیاز به تحقیق بیشتری دارند تا اثرات دقیق‌تر آن‌ها در تفاوت ارقام مشخص شود.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق تأکید می‌کند که مدیریت زمان برداشت پس از آبیاری و سطح رطوبت خاک عامل کلیدی در کاهش هدررفت خاک طی برداشت محصولات ریشه‌ای است. انتخاب ارقام مناسب نیز می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مکمل مدنظر قرار گیرد، هرچند اثر آن به‌مراتب کمتر از رطوبت خاک است. برای بهبود پایداری تولید سیب‌زمینی و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از برداشت، توصیه می‌شود که تحقیقات آینده علاوه بر بررسی ارقام مختلف، به نقش ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ساختاری غده‌ها و همچنین روش‌های نوین برداشت مکانیزه در شرایط متفاوت خاکی و اقلیمی پرداخته شود.

REFERENCES

Auerswald, K. Gerl, G. Kainz, M. (2006). Influence of cropping system on harvest erosion under potato. *Soil and Tillage Research*, *89*(1), 22-34.

Biesmans, M. (2002). Bodemverlies door het rooien van suikerbieten en aardappelen: ruimtelijke variatie op perceels-en regionaal niveau. *Unpublished M. Sc. thesis. Department of Geography, KU Leuven, Leuven*.

Borrelli, P. Alewell, C. Yang, J.E. Bezak, N. Chen, Y. Fenta, A.A. Fendrich, A.N.,Gupta, S. Matthews, F. Modugno, S. Haregeweyn, N. Robinson, D.A. Tan, F. Vanmaercke, M. Verstraeten, G. Vieira, D.C. Panagos, P., (2023). Towards a better understanding of pathways of multiple co-occurring erosion processes on global cropland. Int. *Soil Water Conserv*. Res. 11, 713–725. Https: //doi.org/10.1016/j. iswcr.2023.07.008.

Busche, F., Kuhwald, M., Saggau, P., & Duttmann, R. (2023). Soil loss due to crop harvesting-a spotlight on research gaps and the need of further research activities at the global scale. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU-13709).

Duval, Y. (1988). Pour réduire la tare, connaître et observer les sols. *Le Betteravier Français*, *531*, 27-29.

Faraji, M. Amirian Chakan, A. Jafarizadeh, M. and Mohammadian Behbahani, A. (2017). Soil and nutrient losses due to root crops harvesting: a case study from southwestern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(11), 1523-1534

Gee, G. W. and Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part*, *4*(598), 255-293.

Gong, Z. Song, Q. and Yang, Y. (2023). Development and Evaluation of Mechanical Harvesting of Root Crops and its Performance Optimization. In *2023 7th International Conference on Electrical, Mechanical and Computer Engineering (ICEMCE)* (pp. 782-788). IEEE.

Grossman, R. B. and Reinsch, T. G. (2002). 2.1 Bulk density and linear extensibility. *Methods of soil analysis: Part:4 physical methods*, (methodsofsoilan4), 201-228.

Iran Agricultural News Agency (IANA). (2023). Production of 267 thousand tons of autumn potatoes in East Azerbaijan province. Retrieved from https://www.iana.ir

Isabirye, M. Ruysschaert, G. Poesen, J. Magunda, M. K. and Deckers, J. (2007). Soil losses due to cassava and sweet potato harvesting: A case study from low input traditional agriculture. *Soil and Tillage Research,* 92(1-2), 96-103.

Jurišić, A. Kisić, I. Bašić, F. Zgorelec, Z. and Matotek, S. (2011). Soil Losses and Soil Degradation Processes Coused by Harvest of Sugar Beet. *Növénytermelés//Crop Production*, *60*, 255.

Kuhwald, M. Busche, F. Saggau, P. Duttmann, R. (2022). Is soil loss due to crop harvesting the most disregarded soil erosion process? A review of harvest erosion. *Soil Tillage Res*. 215, 105213 https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105213.

Mango, S. Msanya, B. Mtakwa, P. Kimaro, D. Deckers, S. Poesen, J. and Sanga, E. (2013). Soil loss due to crop harvesting in Western Usambara Mountains, Lushoto District, Tanzania: The case of carrot, onion and round potato. In *The 27th Soil Science Society of East Africa and 6th Soil Science Society of Africa Conference. Date: 2013/01/21-2013/01/25, Location: Nakuru, Kenya* (pp. 137-138).

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, *5*, 961-1010.

Oshunsanya, S. O. (2016). Alternative method of reducing soil loss due to harvesting of sweet potato: A case study of low input agriculture in Nigeria. *Soil and Tillage Research*, *158*, 49-56.

Oshunsanya, S. O. (2016). Quantification of soil loss due to white cocoyam (Colocasia esculentus) and red cocoyam (Xanthosoma sagittifolium) harvesting in traditional farming system. *Catena*, *137*, 134-143.

Oshunsanya, S.O. Yu, H. and Li, Y. (2018). Soil loss due to root crop harvesting increases with tillage operations. *Soil and Tillage Research*, 181, pp.93–101.

Oztas, T. Ozbek, A. K. and Turan, M. (2002). The cost of soil lost from fields due to removal on harvested sugarbeet: a case study in Turkey. *Soil use and management*, *18*(3), 236-237.

Panagos, P. Borrelli, P. and Poesen, J. (2019). Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. *Science of the Total Environment*, *664*, pp.487-498.

Parlak, M., Everest, T., Tunçay, T., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Soil losses due to leek and groundnut root crop harvesting: An unstudied regional problem in Turkey. *Land Degradation & Development*, *33*(11), 1799-1809.

Parlak, M. Karaca, S. and Turkmen, N. (2008). The cost of soil lost caused by sugar beet harvest: a case study for Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, *14*(3), 284-287.

Parlak, M. Palta, Ç. Yokuş, S. Blanco-Canqui, H. and Çarkacı, D. A. (2016). Soil losses due to carrot harvesting in south central Turkey. *Catena*, 140, 24-30.

Poesen, J. W. Verstraeten, G. Soenens, R. and Seynaeve, L. (2001). Soil losses due to harvesting of chicory roots and sugar beet: an underrated geomorphic process? *Catena*, *43*(1), 35-47

Ruysschaert, G. Poesen, J. Notebaert, B. Verstraeten, G. and Govers, G. (2008). Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: A case study from Belgium. *Agriculture, ecosystems & environment*, *126*(3-4), 217-228.

Ruysschaert, G. Poesen, J. Verstraeten, G. and Govers, G. (2004). Soil loss due to crop harvesting: significance and Ruysschaert, G., Poesen, J., Verstraeten, G., & Govers, G. (2006). Soil losses due to crop harvesting in Europe. *Soil Erosion in Europe*, 609-621.

Ruysschaert, G. Poesen, J. Verstraeten, G. and Govers, G. (2005). Interannual variation of soil losses due to sugar beet harvesting in West Europe. *Agriculture, ecosystems & environment*, *107*(4), 317-329.

Ruysschaert, G. Poesen, J. Verstraeten, G. and Govers, G. (2007). Soil loss due to harvesting of various crop types in contrasting agro-ecological environments. *Agriculture, ecosystems & environment*, *120*(2-4), 153-165.

Ruysschaert, G. Poesen, J. Wauters, A. Govers, G. and Verstraeten, G. (2007). Factors controlling soil loss during sugar beet harvesting at the field plot scale in Belgium. *European journal of soil science*, *58*(6), 1400-1409.

Saggau, P. Busche, F. Brunotte, J. Duttmann, R. and Kuhwald, M. (2024). Soil loss due to crop harvesting in highly mechanized agriculture: A case study of sugar beet harvest in northern Germany. *Soil and Tillage Research*, *242*, p.106144.

Soenens, R. (1997). Bodemverlies bij het rooien van wortelgewassen. *Unpublished M. Sc. thesis. Department of Geography, KU Leuven, Leuven*.

Sumithra, R. Thushyanthy, M. and Srivaratharasan, T. (2013). Assessment of soil loss and nutrient depletion due to cassava harvesting: A case study from low input traditional agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*, *1*(2), 72-79.

Thomaz, E.L. and Bereze, J. (2021). Soil loss due to crop harvest in Southern Brazil: effect of potato morphology. *Plant and Soil*, *468*(1), pp.67-76.