نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۱۹-۱۱

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 11-19

تأثیر فشردگی خاک بر عملکرد، کیفیت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا

محمد بهبود[1*]- احمد گلچین[2]- حسین بشارتی[3]

تاریخ دریافت:۸۹/۵/۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۷/۱۰

چکیده

برای بررسی تأثیر سطوح مختلف فشردگی خاک بر عملکرد، کیفیت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا، یک آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان انجام شد. در این آزمایش غده‌های بذری گیاه سیب‌زمینی در خاکی با بافت لوم و با سه سطح فشردگی خاک، در جعبه‌های مخصوص کشت شدند. سطوح فشردگی خاک به گونه‌ای بود که دانسیته‌های ۱/۳ (شاهد)، ۱/۵۶ و ۱/۸ g/cm^3 را برای توده خاک ایجاد نمودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد گیاه و غلظت عناصر غذایی در برگ و غده سیب‌زمینی با افزایش میزان فشردگی خاک کاهش یافت و این کاهش غلظت برای سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشتر بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین عملکرد غده تیمار شاهد ۶/۳۲ کیلوگرم در مترمربع و میانگین عملکرد تیمارهای با فشردگی بیشتر (سطح دوم و سوم فشردگی خاک) به ترتیب ۵/۸۷ و ۵/۱۳ کیلوگرم در مترمربع بود که به ترتیب ۷ و ۱۹ درصد، نسبت به تیمار شاهد کاهش عملکرد داشتند. بالاترین میانگین تعداد غده نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد و میانگین‌های این صفت در سطح دوم و سوم فشردگی خاک به ترتیب ۴۶/۱ و ۴۷/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشتند؛ ولی بین سطح دوم و سوم فشردگی خاک از لحاظ تعداد غده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مورد اندازه غده نیز بیشترین میانگین طول و قطر غده در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد و طول و قطر غده با افزایش فشردگی خاک کاهش یافت. غلظت عناصر غذایی برگ در تیمار با فشردگی کم (شاهد) بیشتر از تیمارهای با فشردگی بالا بود و کاهش غلظت برای عناصر غذایی پرمصرف بیشتر از عناصر کم-مصرف بود. غلظت عناصر غذایی غده سیب‌زمینی نیز با افزایش فشردگی خاک کاهش یافت و ماکزیمم این کاهش برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵۲/۳، ۳۴/۷ و ۴۵/۶ درصد بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فشردگی خاک، با محدود کردن رشد و توسعه ریشه سیب‌زمینی، جذب مواد غذایی توسط آن را کاهش داده و باعث کاهش عملکرد، اندازه غده و غلظت مواد غذایی در برگ و غده می‌شود.

واژه های کلیدی: فشردگی خاک، جرم مخصوص ظاهری توده خاک، سیب‌زمینی، عناصر پر مصرف، عناصر کم مصرف

مقدمه

بر اساس گزارشات سازمان ملل، حدود ۸۰۰ میلیون نفر از جمعیت جهان (۱۴ درصد کل جمعیت) دچار فقر غذایی هستند که این رقم تا سال ۲۰۲۰ به یک میلیارد نفر خواهد رسید. از سوی دیگر بشر علی رغم استفاده کامل از منابع و امکانات موجود، برای افزایش تولیدات کشاورزی با محدودیت منابع مواجه است. سازمان ملل متحد سال ۲۰۰۸ را سال سیب‌زمینی[4] نامیده است و از سیب‌زمینی به عنوان "جواهر پنهان" یاد کرده است. این عنوان به دلیل نقش پر-رنگی است که این ماده غذایی دررفع بحران‌های جهانی، نظیر گرسنگی و فقر دارد. بسیاری از کارشناسان معتقدند که کاشت سیب-زمینی تنها راه حل مبارزه با گرسنگی گسترده در سطح جهان است. سیب زمینی چهارمین محصول غذایی پرمصرف در جهان است و بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین میزان استفاده را دارد (۴). اهمیت سیب‌زمینی تنها به مصرف آن به‌عنوان یک ماده غذایی در نظام تغذیه محدود نگشته است و از آن به‌عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده بعضی از مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت نیز یاد می‌شود. سیب‌زمینی بخش مهمی از تولیدات کشاورزی در کشورهای در حال

۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: mohammad.behbod@gmail.com)
۳- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

4- International year of potato

Archive of SID
www.SID.ir

توسعه را شامل می‌شود (بیش از یک سوم تولید جهانی سیب‌زمینی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد). به همین دلیل، افزایش عملکرد آن منجر به افزایش کار و درآمد، بهبود امنیت غذایی و جلوگیری از به زیر کشت رفتن اراضی جدید برای تولید غذا می‌شود. لذا افزایش عملکرد این محصول و بیشتر قرار دادن آن در جیره غذایی مردم ایران می‌تواند ضمن فراهم آوردن امکان تغذیه بهتر، از فشار موجود برای تولید گندم و برنج بیشتر بکاهد (۴).

یکی از عوامل محدودکننده رشد و نمو و عملکرد گیاه سیب-زمینی در مناطق خشک و نیمه خشک، تراکم خاک می‌باشد که از کمبود موادآلی خاک، ضعیف بودن ساختمان آن و استفاده بیش از حد از ماشین‌آلات کشاورزی ناشی می‌شود. در طی سی سال گذشته، به دلیل مکانیزه شدن کشاورزی و افزایش وزن ماشین‌های کاشت و داشت، تراکم خاک به صورت یک مشکل چندبعدی در مقابل کشاورزی پایدار قد علم نموده است که شامل اثرات متقابل ماشین، خاک، گیاه و اقلیم است (۲۳).

تراکم خاک معمولاً با افزایش جرم مخصوص ظاهری، کاهش درجه پوکی، تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای و نفوذپذیری خاک به آب و افزایش مقاومت خاک همراه می‌باشد و باعث تهویه ناکافی، کاهش جذب آب، کاهش بازده عناصر غذایی، رشد غیریکنواخت گیاه، کند شدن جوانه‌زنی بذر، کند شدن رشد سیستم ریشه‌ای و کاهش عملکرد می‌گردد (۲۰، ۲۲ و ۲۶).

فشردگی خاک می‌تواند رشد و توسعه غده گیاه سیب‌زمینی را در مراحل مختلف رشد محدود کند و در نتیجه عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی را کاهش دهد (۲۴). ولف و همکاران (۲۸) گزارش کردند که فشردگی خاک، بیومس اندام هوایی گیاه سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد که این امر باعث کاهش سطح کربن‌گیری و درنتیجه عملکرد می‌شود. سیب‌زمینی‌کاران استفاده از شخم عمیق را برای رفع اثرات منفی لایه‌های فشرده خاک و افزایش محصول سیب-زمینی، در سراسر ایالات متحده پیشنهاد می‌کنند.

رشد ریشه‌های گیاه سیب‌زمینی توسط فشردگی خاک محدود می‌شود و لایه‌های فشرده خاک، دسترسی ریشه‌ها به رطوبت خاک زیرین را کمتر می‌کنند. شخم عمیق، محصول سیب‌زمینی را در یک خاک فشرده ۱/۸ تن در هکتار نسبت به شخم معمولی افزایش داد و همچنین باعث افزایش اندازه غده‌های سیب‌زمینی شد (۵). کمبود مواد آلی خاک و استفاده بیش از حد از ماشین‌آلات کشاورزی از دلایل عمده فشردگی خاک در بسیاری از نقاط ایران، که در آن یخ زدن و ذوب‌شدن خاک کمتر اتفاق می‌افتد، است. اما اثر سوء فشردگی خاک بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول سیب‌زمینی، کمتر برای جامعه کشاورزی ایران محسوس می‌باشد. به همین دلیل، هدف این پژوهش بررسی تأثیر فشردگی خاک بر میزان کاهش عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در آزمایش از لایه سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) خاکی واقع در منطقه زنجان، به‌صورت نمونه مرکب، تهیه و پس از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری مقداری از آن جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج و بر پایه توصیه‌های مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای سیب‌زمینی، میزان فسفر و پتاسیم خاک با افزودن کودهای سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم به ترتیب به ۱۵ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسانده شد. میزان نیتروژن مصرفی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که از منبع اوره تأمین گردید.

سپس جعبه‌های مخصوص کاشت سیب‌زمینی از خاک مربوطه پر و مرطوب گردیدند. آنگاه با استفاده از چکش تراکم و زدن ضربه به سطح خاک، دانسیته‌های مختلفی در جعبه‌ها ایجاد گردید که عبارت بودند از ۱/۳، ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب. سپس با استفاده از سیلندر فلزی، حفره‌هایی به اندازه غده‌های بذری سیب-زمینی و به تعداد پنج عدد در هر جعبه ایجاد و غده‌های سیب‌زمینی داخل این حفره‌ها قرار داده شدند و روی آنها با خاک نرم پوشانده شد. گیاهان به مدت ۱۲۵ روز در گلخانه نگهداری و آبیاری آنها با آب معمولی (pH=۷ و EC=۱ دسی‌زیمنس بر متر) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار، در گلخانه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان انجام شد. در نیمه مرداد ماه نمونه‌برداری برگ از تیمارهای مختلف انجام و پس از شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی مخصوص به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون، در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس نمونه‌های برگ آسیاب و توزین شده و برای تعیین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، مراحل هضم و عصاره‌گیری را طی نمودند. میزان نیتروژن توسط دستگاه کجلدال، پتاسیم و فسفر به ترتیب با دستگاه‌های فلیم‌فتومتر و اسپکتروفتومتر و عناصر کم‌مصرف با دستگاه جذب اتمی اندازه-گیری شدند. پس از اتمام دوره رشد، برداشت محصول انجام و تعداد و وزن غده‌های هر تیمار شمارش و اندازه‌گیری شد. همچنین طول و قطر غده‌های هر تیمار، به وسیله کولیس اندازه‌گیری و میانگین طول و قطر غده‌ها برای هر تیمار به‌دست آمد. از هر تیمار پنج غده انتخاب و بعد از گرفتن پوست آنها، به صورت لایه‌های نازک برش داده شدند و از برش‌های تهیه شده برای اندازه‌گیری ماده خشک و اندازه‌گیری میزان عناصر غذایی استفاده گردید. داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار آماری MSTAT-C تجزیه و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تأثیر فشردگی خاک بر عملکرد، تعداد، طول و قطر غده، درصد ماده خشک غده و تعداد ساقه هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول۲). بررسی تأثیر سطوح مختلف فشردگی خاک بر عملکرد غده نشان می‌دهد که بالاترین میانگین عملکرد غده متعلق به تیمار شاهد، به میزان ۶/۳۲ کیلوگرم در مترمربع می‌باشد و میانگین عملکرد غده در سطح دوم و سوم فشردگی خاک، به ترتیب ۵/۸۷ و ۵/۱۳ کیلوگرم در مترمربع می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد ۶/۹۲ و ۱۸/۶۹ درصد کاهش عملکرد نشان می‌دهد (جدول۳). همچنین نتایج حاکی از آن است که بیشترین میانگین تعداد غده نیز از تیمار شاهد، به میزان ۲۹/۳۳ عدد به‌دست آمد و میانگین تعداد غده به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۵/۸۳ و ۱۵/۴۲ بود که به‌ترتیب ۴۶/۱ و ۴۷/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشتند. سطح دوم و سوم فشردگی خاک از نظر تعداد غده اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. بالاترین میانگین طول غده نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد. در این تیمار میانگین طول غده ۴/۸۴۴ سانتی‌متر بود، در صورتی که این صفت درسطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۴/۲۱۴ و ۲/۷۰۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۳/۱ و ۴۴/۱۸ درصد کاهش طول داشتند. در مورد قطر غده نیز، بیشترین میانگین قطر غده از تیمار شاهد (۴/۳۵۹ سانتی‌متر) به‌دست آمد. میانگین قطر غده در سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۳/۹۲۱ و ۲/۳۰۵ سانتی‌متر بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۰/۱ و ۴۷/۱ درصد کاهش قطر داشتند.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میانگین درصد ماده خشک غده، به‌میزان ۲۰/۹۵ درصد، از سطح تیمار شاهد به‌دست آمد و میانگین درصد ماده خشک به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۹/۷۸ و ۱۹/۰۸ درصد بود که به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد ۵/۶ و ۹ درصد کاهش داشتند (جدول۳).

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز خاک اولیه

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	واکنش خاک	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	درصد اشباع (٪)	بافت خاک	فسفر	پتاسیم	روی	آهن	منگنز	مس
							($mg\ kg^{-1}$)					
۰-۲۰	۲	۷/۵	۰/۴۵	۱۵	۳۵	لوم	۷	۱۷۰	۱/۵	۵/۱	۳	۰/۷

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف فشردگی خاک بر عملکرد، تعداد و اندازه غده، درصد ماده‌خشک و تعداد ساقه هوایی

	میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد غده	تعداد غده	طول غده	قطر غده	ماده خشک غده	تعداد ساقه هوایی
فشردگی خاک	۲	۰/۲۶۴**	۱۵۰۴/۳۸۹**	۲۹/۰۲**	۲۸/۰۹۸**	۲۱/۳۶۱**	۱۰۸۷۰/۳۳۸**
خطا	۴۸	۰/۰۰۱	۲/۱۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۱۵/۷۵۷
C.V	-	۰/۵۸	۷/۱۹	۲/۹۴	۳/۱۷	۰/۵۸	۶/۸۷

ns اختلاف معنی‌دار نیست، ** در سطح ۱٪ معنی‌دار است، * در سطح ۵٪ معنی‌دار است

جدول ۳- اثر سطوح مختلف فشردگی خاک بر عملکرد، تعداد، اندازه غده، درصد ماده خشک و تعداد ساقه هوایی

سطوح مختلف فشردگی ($g\ cm^{-3}$)	عملکرد ($kg\ m^{-2}$)	تعداد غده	طول غده (cm)	قطر غده (cm)	ماده خشک غده (٪)	تعداد ساقه هوایی
شاهد: ۱/۳	۶/۳۲a	۲۹/۳۳a	۴/۸۴۴a	۴/۳۵۹a	۲۰/۹۵a	۱۲/۷۹a
C_2:۱/۵۶	۵/۸۷b	۱۵/۸۳b	۴/۲۱۴b	۳/۹۲۱b	۱۹/۷۸b	۱۲b
C_3: ۱/۸	۵/۱۳c	۱۵/۴۲b	۲/۷۰۴C	۲/۳۰۵c	۱۹/۰۸c	۱۱/۶۳b
LSD	۰/۰۱۸	۱/۱۲۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۹۱	۰/۳۸۶

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند

Archive of SID

www.SID.ir

بیشترین میانگین تعداد ساقه هوایی نیز از سطح تیمار شاهد به‌میزان ۱۲/۷۹ عدد به‌دست آمد، ولی میانگین‌های تعداد ساقه‌های هوایی به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۲ و ۱۱/۶۳ عدد بودند که نسبت به تیمارشاهد به‌ترتیب ۶/۲ و ۹/۱ درصد کاهش داشتند. میانگین‌های تعداد ساقه‌های هوایی در سطح دوم و سوم فشردگی خاک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. فشردگی با کاهش تخلخل خاک باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه شده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم رشد و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (۱۳). کاهش رشد ریشه و دسترسی آن به مواد غذایی، کاهش تهویه خاک و کاهش سرعت حرکت آب و مواد غذایی به طرف ریشه از جمله دلایل ذکر شده برای این کاهش رشد و عملکرد می‌باشد (۱ و ۱۱). کاهش رشد ریشه و سطح آن در خاک فشرده، حجم خاک اشغال شده توسط ریشه را کاهش داده و باعث کاهش جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه رشد گیاه می‌شود (۶). مطالعات محققین مختلف نشان می‌دهد که فشردگی خاک، وزن خشک ریشه را در اعماق مختلف کاهش و سطح آن را نیز از این طریق و از طریق کاهش طول تارهای کشنده کاهش می‌دهد (۲ و ۲۱).

در خاک‌های فشرده، مقاومت مکانیکی خاک در برابر رشد ریشه و کاهش تهویه اغلب از دلایل اصلی برای کاهش عملکرد است و به طور معنی‌داری ظرفیت تولید خاک را مختل می‌کند (۳). هاسون و ریدر (۷) گزارش کردند که عملکرد محصول، در اولین سال عبور چرخ‌های ماشین‌آلات بر روی خاک‌های کشاورزی در هفت کشور اروپایی و آمریکای شمالی، ۱۴ درصد کاهش یافت. خلیلیان و همکاران (۱۲) گزارش نمودند که میزان مقاومت خاک بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوپاسگال، باعث کاهش عملکرد می‌شود.

نگونجری و سیمنز (۱۷) رشد ذرت را تحت تاثیر فشردگی خاک مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند که در کرت‌های آزمایشی که در آن تردد چرخ ماشین‌آلات بیشتر است، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تراکم خاک ابتدا بر روی رشد ریشه، سپس بر جذب عناصر غذایی و سرانجام بر تمام رشد گیاه تاثیر می‌گذارد (۱۹). به طوری که محققین گزارش کردند فشردگی شدید خاک، کل طول ریشه را به میزان ۲۳ و سطح برگ را به میزان ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش می‌دهد (۱۰). همچنین فشردگی خاک غلظت بعضی از ترکیبات ریشه را که با تأمین نیتروژن مرتبط می‌باشند، تغییر می‌دهد؛ برای مثال فشردگی زیاد غلظت سلولز و همی‌سلولز را در حدود ۳۰ درصد کاهش داد (۱۰). طبق گزارش مولارت (۱۶)، فشردگی خاک مانع از رشد ریشه می‌شود و میزان ماده خشک گیاهان در خاک‌های فشرده کاهش می‌یابد. در خاک فشرده جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد و کمبود مواد غذایی در بافت‌ها سبب کاهش عملکرد، کیفیت غده و میزان ماده خشک غده می‌گردد (۲۳).

غلظت عناصر غذایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر فشردگی خاک بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ و غده سیب‌زمینی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول۵). نتایج بیانگر آن است که با افزایش فشردگی خاک، غلظت عناصر غذایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به دلیل محدودیت رشد ریشه در خاک فشرده، حجم خاک قابل دسترس برای گیاهان کاهش یافته و جذب عناصر غذایی محدود می‌شود (۸).

بیشترین غلظت عناصر غذایی برگ و غده سیب‌زمینی، از تیمار شاهد ($1/3\ g/cm^3$) و کمترین غلظت آنها از سطح سوم فشردگی خاک ($1/8\ g/cm^3$) به‌دست آمد. بیشترین میانگین غلظت نیتروژن برگ، به میزان ۴/۳۹۶ درصد از سطح تیمار شاهد به‌دست آمد، ولی در سطح دوم و سوم فشردگی خاک، میانگین غلظت نیتروژن برگ به‌ترتیب ۳/۴۳۳ و ۲/۴۰۲ درصد بود که نسبت به شاهد، به ترتیب ۲۳ و ۴۵/۴ درصد کاهش داشت (جدول ۴). بیشترین میانگین غلظت فسفر برگ نیز از تیمار شاهد به میزان ۰/۲۲ درصد به‌دست آمد، ولی در سطح دوم و سوم فشردگی خاک، غلظت فسفر برگ به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۱ درصد بود که نسبت به تیمار شاهد، به‌ترتیب ۲۷/۸ و ۵۰ درصد کاهش داشت. بیشترین میانگین غلظت پتاسیم برگ نیز در تیمار شاهد به میزان ۳/۴۴۱ درصد اندازه‌گیری شد، ولی در سطح دوم و سوم فشردگی خاک، میانگین غلظت پتاسیم به ۲/۴۵۱ و ۱/۹۵۹ درصد کاهش یافت که به‌ترتیب نسبت به شاهد، ۲۸/۸ و ۴۳/۱ درصد کاهش نشان داد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، بیشترین میزان کاهش غلظت عناصر غذایی مربوط به فسفر برگ می‌باشد (۵۰ درصد) که از بالاترین سطح فشردگی خاک ناشی می‌شود. محدوده کفایت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ خشک سیب‌زمینی در مرحله گلدهی، به‌ترتیب ۴-۳، ۰/۵-۰/۲و ۵-۳ درصد گزارش شده است (۹). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، غلظت این عناصر غذایی در تیمار شاهد در محدوده کفایت است و کمبودی از لحاظ این عناصر غذایی در تیمار شاهد مشاهده نمی‌شود؛ ولی با افزایش فشردگی خاک و در سطح دوم آن، غلظت فسفر و پتاسیم به کمتر از حد کفایت کاهش می‌یابد و کمبود این عناصر می‌تواند یکی از عوامل بازدارنده رشد و عملکرد با افزایش فشردگی باشد، در سطح سوم فشرده‌گی، علاوه بر کمبود فسفر و پتاسیم، کمبود نیتروژن نیز حادث شده است، بنابراین کاهش رشد و عملکرد سیب‌زمینی با افزایش فشرده‌گی را می‌توان تا حدودی به کاهش جذب مواد غذایی و ایجاد کمبود آن‌ها در گیاه نسبت داد (۱۴).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول٤- اثر سطوح مختلف فشردگی خاک بر غلظت عناصر N، P و K در برگ سیب‌زمینی

سطوح مختلف فشردگی خاک ($g\ cm^{-3}$)	N	P (٪)	K
شاهد: ۱/۳	۴/۳۹۶a	۰/۲۲a	۳/۴۴۱a
C2: ۱/۵۶	۳/۴۳۳b	۰/۱۶b	۲/۴۵۱b
C3: ۱/۸	۲/۴۰۲c	۰/۱۱c	۱/۹۵۹c
LSD	۰/۱۸۲	۰/۳۸۹	۰/۱۱۴

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

بالاترین میانگین غلظت نیتروژن غده سیب‌زمینی در تیمار شاهد، به میزان ۳/۲۸۷ اندازه‌گیری شد، ولی میانگین غلظت نیتروژن در سطح دوم و سوم فشردگی به‌ترتیب ۲/۲۸۳ و ۱/۵۶۳ بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۰/۶ و ۵۲/۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. بالاترین میانگین غلظت فسفر غده سیب‌زمینی نیز در تیمار شاهد به میزان۰/۱۷۳ اندازه‌گیری شد، ولی میانگین غلظت فسفر در سطح دوم و سوم فشردگی به‌ترتیب ۰/۱۳۶ و ۰/۱۱۳ بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱/۴ و ۳۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. میانگین غلظت پتاسیم غده در تیمار شاهد ۳/۰۸۲ درصد بود، ولی میانگین غلظت پتاسیم به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی به‌ترتیب ۲/۲۴۷ و ۱/۶۷۵ درصد بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۷/۱ و ۵۴/۳ درصد کاهش داشت (جدول۶).

کاهش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه با افزایش فشرده‌گی خاک و کاهش غلظت این عناصر در بافت‌های گیاه توسط محققین مختلفی از جمله لووری و اسچولر (۱۵)، رینتام و کوت (۲۱) و وسیم و همکاران (۲۷) گزارش شده است.

تهویه ضعیف خاک‌های فشرده، معدنی شدن ماده آلی را کاهش داده که این امر باعث کاهش معدنی شدن نیتروژن، فسفر و عناصر دیگر و در نتیجه جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شود. به‌علاوه، تخریب نیترات‌ها در خاک‌های فشرده و اتلاف نیتروژن به صورت گاز از جمله عوامل دیگری است که باعث کاهش جذب نیتروژن و کاهش غلظت آن در بافت‌های گیاهی می‌شود (۱۳).

همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین میانگین غلظت روی از سطح تیمار شاهد به‌میزان ۳۳/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ به‌دست آمد و میانگین غلظت روی به دست آمده از سطح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۳۰/۷۵ و ۲۸/۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۹/۲ و ۱۵/۲ درصد کاهش داشت. بیشترین میانگین غلظت آهن، از تیمار شاهد به میزان ۱۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ به‌دست آمد و میانگین غلظت به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۴۲/۱ و ۱۳۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ بود که به‌ترتیب ۴/۷ و ۱۱/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت. بیشترین میانگین غلظت منگنز نیز از تیمار شاهد، به‌میزان ۱۴۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ به‌دست آمد و میانگین غلظت به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۴۰/۲ و ۱۲۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۳/۸ و ۱۱/۸ درصد کاهش نشان داد. همچنین بیشترین میانگین غلظت مس نیز از سطح تیمار شاهد، به‌میزان ۳۷/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و میانگین غلظت به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۳۶/۳۳ و ۳۵/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴/۱ و ۷/۵ درصد کاهش داشت.

مطابق نتایج جدول ۸، بیشترین میانگین غلظت روی در غده، از تیمار شاهد به‌میزان ۲۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم غده به‌دست آمد و میانگین غلظت به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۱۸/۷۸ و ۱۵/۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم غده بود که به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۷ و ۲۰/۸ درصد کاهش داشت. بالاترین میانگین غلظت آهن غده نیز ۸۳/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از سطح اول فشردگی خاک یا تیمار شاهد به‌دست آمد، ولی میانگین غلظت‌های بدست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک کمتر و به‌ترتیب ۷۷/۱۸ و ۶۵/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم غده بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۷/۴ و ۲۰ درصد کاهش داشت. بیشترین میانگین غلظت منگنز نیز در تیمار شاهد، به‌میزان ۳۹/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم غده اندازه‌گیری شد و میانگین غلظت‌های به دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۳۴/۷۲ و ۲۶/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۳۲/۲ درصد کاهش داشت. در مورد عنصر مس نیز بالاترین میانگین غلظت متعلق به تیمار شاهد بود و میانگین غلظت‌های به‌دست آمده از سطوح دوم و سوم فشردگی خاک به‌ترتیب ۵/۹ و ۳۹/۳ درصد کاهش نشان داد.

با توجه به اینکه میزان عناصر جذب شده از حاصل‌ضرب غلظت عناصر در میزان ماده خشک تولیدی حاصل می‌شود، نظر به غلظت بالاتر عناصر در تیمار شاهد و ماده خشک تولیدی بیشتر این تیمار، نتایج نشان می‌دهد که میزان عناصر جذب شده توسط گیاه در تیمار شاهد بیشتر می‌باشد و فشردگی خاک باعث کاهش میزان عناصر غذایی جذب شده، مخصوصاً عناصر غذایی پر مصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، در برگ و غده شده است و این امر ضمن کاهش کیفیت غده، از راندمان عناصر غذایی در خاک‌های فشرده می‌کاهد.

Archive of SID

www.SID.ir

در مطالعه‌ای که رحمان و همکاران (۲۰) انجام دادند مشخص گردید که با افزایش فشردگی خاک، جذب عناصر غذایی Zn، Mn، Fe، K، P، N و Cu توسط گیاهان سویا، نخود و عدس کاهش می‌یابد. غلظت پایین‌تر نیتروژن در تیمار حاوی خاک فشرده، می‌تواند به خاطر دنیتریفیکاسیون یا کاهش معدنی شدن نیتروژن آلی در خاک باشد (۱۳). غلظت پایین‌تر فسفر و پتاسیم نیز می‌تواند به خاطر کاهش رشد و توسعه ریشه باشد. اگرچه به‌طور معمول یون‌هایی که توسط انتشار انتقال می‌یابند (مثل فسفر و پتاسیم) نسبت به یون‌هایی که به وسیله جریان توده‌ای منتقل می‌شوند بیشتر تحت تأثیر فشردگی خاک قرار می‌گیرند (۱۴ و ۱۹)، ولی نتایج این آزمایش نشان داد که کاهش جذب نیتروژن نیز قابل ملاحظه و تقریباً معادل کاهش جذب فسفر می‌باشد. محدوده کفایت عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، روی و مس در برگ خشک سیب‌زمینی در مرحله گلدهی به‌ترتیب ۱۵۰–۴۰، ۳۰–۱۰۰، ۶۰–۳۰ و ۱۰–۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۸). همان‌طوری‌که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، غلظت این عناصر به‌جز روی، در تیمار شاهد در محدوده کفایت بوده و کمبود آن‌ها وجود ندارد. با افزایش فشردگی خاک و در سطح دوم و سوم آن، اگر چه غلظت این عناصر نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است، به کمتر از حد کفایت تقلیل نیافته است. بنابر این به نظر می‌رسد که فشردگی خاک، جذب عناصر پرمصرف را نسبت به عناصر کم‌مصرف بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. لووری و اسچولر (۱۵) نیز مشاهده کردند که فشرده‌گی خاک باعث کاهش جذب نیتروژن و پتاسیم توسط گیاه ذرت شد؛ درحالی‌که جذب آهن و منگنز را افزایش داد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فشردگی خاک باعث کاهش عملکرد و تعداد غده سیب‌زمینی در واحد سطح می‌شود. با افزایش جرم مخصوص ظاهری توده خاک، از ۱/۳ به ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ و غده سیب‌زمینی کاهش یافت؛ به‌طوری‌که غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ به کمتر از حد کفایت تقلیل یافت. بنابراین قسمتی از کاهش عملکرد سیب‌زمینی با افزایش فشردگی خاک را می‌توان به کمبود عناصر غذایی پرمصرف ایجاد شده در گیاه نسبت داد. فشردگی خاک با کاهش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف غده، ضمن کاستن از ارزش غذایی آن، میزان ماده خشک غده را نیز کاهش داد و آن را برای فرآوری و انبارداری نامناسب ساخت. فشردگی خاک با کاهش اندازه غده و تغییر فرم آن، باعث تولید غده‌هایی شد که بازارپسندی کمتری داشت.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف فشردگی خاک بر غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ و غده سیب‌زمینی

میانگین مربعات

منبع تغییرات	درجه آزادی	برگ						غده					
		N	P	K	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu
فشردگی خاک	۲	۲۳/۸**	۴۹۶/۲**	۱۳/۶**	۱۸۱۷/۶**	۱۷۸۴/۶**	۵۳/۷**	۴۸/۱**	۹۸۳/۶**	۲۰۷۹/۳**	۱۰۹/۲**	۱۳۶/۲**
خطا	–	۰/۰۹۹	۰/۴۵۰	۰/۰۳۹	۲/۰۱۹	۰/۸۲۳	۰/۹۴۸	۰/۳۶۸	۰/۳۹۲	۱/۲۰۶	۰/۶۶۲	۰/۳۶۶
C.V	–	۹/۲۲	۴/۱۹	۷/۵۳	۱/۰۳	۰/۶۴	۳/۱۹	۱/۶۷	۱/۸۷	۱/۴۶	۴/۴۵	۶/۳۲

ns: اختلاف معنی‌دار نیست، **: در سطح ۱٪ معنی‌دار است، *: در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول٦- اثر سطوح مختلف فشردگی خاک بر غلظت عناصر N، P و K در غده سیب‌زمینی

سطوح مختلف فشردگی خاک ($g\ cm^{-3}$)	N	P	K
		(٪)	
شاهد: ۱/۳	۳/۲۸۷a	۰/۱۷۳a	۳/۰۸۲a
C2: ۱/۵۶	۲/۲۸۳b	۰/۱۳۶b	۲/۲۴۷b
C3: ۱/۸	۱/۵۶۳c	۰/۱۱۳c	۱/۶۷۵c
LSD	۰/۰۹۱	۰/۳۳۵	۰/۰۱۸

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول۷- اثر سطوح مختلف فشردگی خاک بر غلظت عناصر Fe، Zn، Mn و Cu در برگ سیب‌زمینی

سطوح مختلف فشردگی خاک ($g\ cm^{-3}$)	Zn	Fe	Mn	Cu
		($mg\ kg^{-1}$)		
شاهد: ۱/۳	۳۳/۸۵a	۱۴۹/۰a	۱۴۵/۷a	۳۷/۸۸A
C2: ۱/۵۶	۳۰/۷۵b	۱۴۲/۱b	۱۴۰/۲b	۳۶/۳۳B
C3: ۱/۸	۲۸/۷۱c	۱۳۱/۹c	۱۲۸/۶c	۳۵/۰۵C
LSD	۰/۶۲۲	۰/۵۲۶	۰/۸۲۴	۰/۳۵۲

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول۸- اثر سطوح مختلف فشردگی خاک بر غلظت عناصرFe، Zn، Mn و Cu در غده سیب‌زمینی

سطوح مختلف فشردگی خاک ($g\ cm^{-3}$)	Zn	Fe	Mn	Cu
		($mg\ kg^{-1}$)		
شاهد: ۱/۳	۲۰/۱۵a	۸۳/۳۳a	۳۹/۲۷a	۱۱/۲۶a
C2: ۱/۵۶	۱۸/۷۸b	۷۷/۱۸b	۳۴/۷۲b	۱۰/۶۰b
C3: ۱/۸	۱۵/۹۷c	۶۵/۰۴c	۲۶/۶۳c	۶/۸۴C
LSD	۰/۴۷۲	۰/۶۳۷	۰/۳۶۳	۰/۳۵۱

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

منابع

1- Alakukku L., and Elonen P. 1996. Long term effect of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops, Soil Tillage Research, 36(3-4): 141-152.
2- Alessa L. and Earnhart C.G. 2000. Effects of soil compaction on root and root hair morphology: implication for campsite rehabilitation, USDA Forest Service Proceedings RMRS, 5:15.
3- Boone F.R. and Veen B.W. 1982. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of maize roots, Netherland Journal of Agriculture Science, 30: 179-192.
4- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2008. Available at www.potato2008.org.
5- Copas M.E., Bussan A.J., Drilias M.J. and Wolkowski R.P. 2009. Potato yield and quality response to subsoil tillage and compaction, Agronomy Journal, 101: 82-90.
6- DeJong-Hughes J., Moncrief J.F., Voorhees W.B. and Swan J.B. 2001. Soil Compaction. Causes, effects and control. In Communication and Educational Services, University of Minnesota Extension Service, p17. Available at
7- http://www.extension. umn.edu/distribution/cropsystems/components/3115s02.html.
8- Hakansson I. and Reeder R.C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response, Soil and Tillage Research, 29 (2–3): 277–304.
9- Horn R., Domzal H., Slwinska-Jukiewicz A., and Van Ouwerkerk C. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment, Soil and Tillage Research, 35, 23-36
10- Hochmuth G., Maynard D., Vavrina C., Hanlon E. and Simonne E. 2009. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida, University of Florida IFAS Extension, pp. 38-50. Available at http://edis.ufl.edu.
11- Ian J., Bingham A., Glyn Bingoush A. and Robert M. 2010. Soil compaction-n interaction in barley: Root growth and tissue composition, Soil and Tillage Research, 106: 241- 246.

Archive of SID

www.SID.ir

12- Ishaq M., Ibrahim M., and Lal R. 2003. Persistence of subsoil compaction effects on soil properties and growth of wheat and cotton in Pakistan, Experimental Agriculture, 39: 341-348.
13- Khalilian A., Hood C.E., Palmer J.H., Garner T.H. and Bathke G.R. 1991. Soil compaction and crop response to wheat/soybean inter seeding, Trans. ASAE 34 (6): 2299–2303.
14- Kuht J. and Reintam E. 2004. Soil compaction effect on soil physical properties and the content of nutrients in spring barley (*Hodeum vulgare* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.), Agronomy Research, 2(2): 187-194.
15- Lipiec J. and Stepniewski W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients, Soil and Tillage Research, 35: 37–52.
16- Lowery B. and Schuler R.T. 1991. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth, Soil Science Society of America Journal, 55: 216-223.
17- Moullart J. 1998. Factors influencing soil and subsoil compaction and impact of compaction on yield, Proceedings of the First Workshop of the Concerted Action on Subsoil Compaction, DLO-Staring Centre, Wageningen, the Netherlands. pp. 145–154.
18- Ngunjiri G.M.N. and Siemens J.C. 1995. Wheel traffic effects on corn growth. Trans. ASAE 38 (3):691–699.
19- Parish D.H. 1971. Effects of compaction on nutrient supply to plants. pp 279–291. In W. M. Barnes., H. M. Charleton., R. Taylor. and I. Throckmorton (eds) Compaction in Agricultural Soils, American Society Agriculture and Engineers, Michigan.
20- Pavlista A.D. and Blumental J.M. 2000. Potatoes in nutrient management of agronomy crops in Nebraska. In R. B Ferguson. and K. M. Dee Groot (eds) Publition University Nebraska Cooperative Extension (EC00-155), Lincol, N E.
21- Rahman M.H., Hara M. and Hoque S. 2005. Growth and nutrient uptake of grain legumes as affected by induced compaction in Andisol, International Journal of Agriculture and Biology, 5: 740-743.
22- Reintam E. and Kuht J. 2003. Changes in nutrient uptake and cellular fluid pH of spring barley as affected by soil compaction, Indian Journal Plant Physiology, Special Issue, p, 522-526.
23- Soane B.D. 1990. The role of organic matter in soil compatibility: a review of some practical aspects, Soil Tillage Research. 16: 179-202.
24- Soane B.D. and Van Ouwerkerk C. 1994. Soil compaction in crop production, Elsevier, p. 684.
25- Stahlman M.A. and Allen E.J. 2001. Effect of variety, irrigation regime and planting date on depth, rate, duration, and density of root growth in potato crop, Journal Agriculture Science, 137: 251-270.
26- Stark J. and Love S. 2003. Field selection, crop rotation, and soil management. P. 71-80. In J. C. Stark and S. L. Love (eds.) Potato production systems. University of Idaho Agricultural Communications, Moscow.ID.
27- Voorhees W.B. 1985. Some effects of soil compaction on root growth, nutrient uptake and yield. Proc. 15th North Central Extension-Industry Soil Fertility Workshop. St. louis, MO. pp.58-65.
28- Waseem R., Sohail Y., Abid N., Khalid R. and Iqbal H. 2005. Subsoil compaction effects on soil properties, nutrient uptake and yield of maize fodder (*Zea Mays* L.), Pakistan Journal of Botany, 37(2):933-940.
29- Wolf D.W., Topoloski D.T., Gundersheim N.A. and Ingal B.A. 1995. Growth and yield sensitivity of four vegetable crops to soil compaction, Journal of the American Society for Horticultural Science, 120: 956-963.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 11-19

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۱۹-۱۱

The Effects of Soil Compaction on Tuber Yield and Quality and Uptake of Nutrients by Potato Plant (*Solanum tuberosum* L.)

M. Behbood [1]*- A. Golchin[2]- H. Besharati[3]

Received: 25-7-2010
Accepted: 30-9-2011

Abstract

To evaluate the effects of soil compaction on tuber yield and quality and uptake of nutrients by potato plant, an experiment with completely randomized design and three replications was conducted in greenhouse of Soil Science Department, Zanjan University, Zanjan, Iran. In this experiment, potato tubers were sown in a loamy soil with different levels of compaction or bulk density. The bulk densities of soils used in this study were 1.3 (control), 1.56 and 1.8 gr/cm^3 respectively. The results of analysis of variance of data showed that potato yield and the concentrations of macro- and micronutrients, in leaf and tuber, decreased as the level of soil compaction increased. The decrease in concentration was greater for N, P and K than the other nutrients. Comparison of means showed that potato yield was 6.32 kg/m^2 for control treatment which was significantly more than those treatments with higher bulk densities (5.87 and 5.13 kg/m^2 respectively). The tuber yield of control was respectively 7 and 19 % higher than those of treatments with densities of 1.56 and 1.8 g/cm^3. The highest mean for tuber number was obtained for control and it decreased by 46.1 and 47.5% in treatments with densities of 1.56 and 1.8 g/cm^3 respectively. The difference in tuber number was not significant between second and third levels of compaction. The highest tuber length and diameter were measured in control treatment and the size of tuber decreased as the compaction level of soil increased. The leaf concentrations of macro- and micro- nutrients were higher in control treatment than the treatments with higher bulk densities compaction and the decrement of concentration with compaction was greater for macronutrients than micronutrients. The tuber concentrations of nutrients were also decreased by increasing soil compaction and the highest decrement in N, P and K concentrations were 52.3, 34.7 and 45.6 % respectively. The result of this study indicate that soil compaction restricts root growth and development and thereby decreases plant uptake of nutrients, potato yield, size and number of tubers and leaf and tuber concentrations of macro- and microelements.

Keywords: Soil compaction, Bulk density, Potato, Macro-elements, Micro-elements

Archive of SID

1,2- MSc Student and Professor of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University
(*-Corresponding Author Email: mohammad.behbod@gmail.com
3- Assistant Professor of Soil Science, Soil and Water Research Institute, Karaj

www.SID.ir