

## اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با

### حداقل محدودیت در دانه‌های پسته رقم سرخس

غزاله عزیزی<sup>۱</sup>، داود زارع حقی<sup>۲\*</sup>، عادل ریحانی تبار<sup>۳</sup>، نصرت‌اله نجفی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۸

### چکیده

برای بررسی رفتار دانه‌های پسته (*Pistachio vera* L.) رقم سرخس در رطوبت و تراکم‌های مختلف، آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک آهکی با بافت لوم شنی با طرح آزمایشی آشیانه‌ای انجام گرفت. چهار سطح تراکم خاک و شش دامنه رطوبت حجمی در سه تکرار بر دانه‌های پسته اعمال شد. در مجموع ۲۴ سطح رطوبتی در داخل ۴ سطح تراکم آشیانه پیدا کرد و آزمایش آشیانه‌ای بر مبنای طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. چهار سطح تراکم (چگالی‌های ظاهری ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی متر مکعب) داخل لوله‌های به قطر ۱۵/۲۴ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و پس از انتقال دانه‌های پسته به لوله‌ها و استقرار آن‌ها شش دامنه رطوبت حجمی از نقطه اشباع تا کمتر از نقطه پژمردگی دائم برای هر سطح تراکمی اعمال شد. تراکم خاک سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی پسته و غلظت و مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی و ریشه شد. زیادی و کمبود رطوبت سبب کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطوح تراکم مختلف گردید و تراکم خاک اثر نامطلوب تنش بر پارامترهای مذکور را تشدید نمود. در سطوح تراکم ۱/۳۵، ۱/۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیش‌ترین غلظت نیتروژن و فسفر ریشه، بیش‌ترین مقدار جذب نیتروژن و پتاسیم ریشه و بیش‌ترین مقدار فسفر اندام هوایی و ریشه داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت مشاهده شد. در سطح تراکم ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب وزن خشک اندام هوایی و ریشه، مقدار جذب نیتروژن اندام هوایی، غلظت و مقدار جذب پتاسیم اندام هوایی در دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. بطور کل تراکم خاک، زیادی و کمی رطوبت خاک سبب کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده گردید.

**واژگان کلیدی:** جذب، رطوبت، ریشه، چگالی ظاهری و نقطه پژمردگی دائم

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه خاک شناسی، دانشگاه تبریز ایران.

<sup>۲</sup> استادیار، گروه خاک شناسی، دانشگاه تبریز ایران.

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه خاک شناسی، دانشگاه تبریز ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: (davoudhaghi@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

پسته گیاهی است از خانواده Anacardiaceae که ارزش اقتصادی حاصل از صادرات آن به ۶۶ کشور جهان، در حدود یک میلیارد دلار در سال می‌باشد و دومین منبع درآمد ارزی بعد از نفت محسوب می‌شود (۶). نیتروژن در تغذیه باغ‌های پسته نقش مهمی را ایفا می‌نماید (۱۹). پتاسیم از جمله عناصری است که سبب تحمل نسبی پسته نسبت به تنش خشکی می‌شود (۳). مکانیسم پخشیدگی در انتقال دو عنصر غذایی پتاسیم و فسفر از خاک به ریشه بسیار مهم می‌باشد که این مکانیسم وابسته به مقدار آب خاک می‌باشد (۱۳). در شرایط رطوبت مناسب خاک نسبت به وضعیت کمبود رطوبت به دلیل فعالیت خوب میکروبی و در نتیجه معدنی شدن فسفر آلی و همین‌طور واکنش‌های واجذب و انحلال و افزایش ضریب پخشیدگی فسفر بیشتری به محلول خاک آزاد می‌شود ولی اگر گیاه در معرض غرقاب طولانی مدت باشد؛ جذب فسفر توسط گیاه کاهش می‌یابد و ریشه چنین گیاهانی به شدت آسیب می‌بینند (۳۰). تحت شرایط زیادی آب خاک تصعید آمونیاک، نترات‌زدایی و آبشویی می‌تواند منجر به از دست رفتن بخش عمده نیتروژن از محلول خاک گردد و این شرایط ممکن است منجر به کمبود نیتروژن در گیاه شود (۲۲). از طرفی کمبود آب می‌تواند سبب پژمردگی ریشه و به میزان زیادی سبب کاهش تماس ریشه با خاک شود (۹). لتی<sup>۱</sup> (۲۳) با توجه به محدودیت تهویه خاک در رطوبت‌های زیاد (بین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و اشباع) از یک طرف، و محدودیت مقاومت مکانیکی خاک در مقابل نفوذ ریشه در رطوبت‌های کم از طرف دیگر، دامنه رطوبتی را که در آن جذب آب مشکلی برای رشد گیاه به وجود نمی‌آورد را پیشنهاد نمود. این پژوهشگر، این دامنه رطوبتی را دامنه رطوبتی بدون محدودیت<sup>۲</sup> (NLWR) نامید. داسیلوا و همکاران<sup>۳</sup> (۱۶) به دلیل اینکه تغییرات محیطی در محدوده فوق، بر روی رشد گیاه اثر دارد از واژه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت<sup>۴</sup> (LLWR) استفاده نمودند. برای یک خاک مشخص با یک ساختمان معین، منحنی رطوبتی و منحنی مقاومت تعیین و از روی آن دو، مقادیر رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک ۱/۰ و ۱/۵ مگا پاسکال، مقدار آب خاک در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد و مقدار آب خاک در مقاومت مکانیکی ۲ مگا پاسکال به دست آوردند. تفاضل بین دو حد رطوبتی بالا و پایین، LLWR است. حد بالایی آن رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ( $\theta_{fc}$ ) یا رطوبت در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد ( $\theta_{aff}$ )، هر کدام که کمتر باشد و حد پایینی آن رطوبت در نقطه پژمردگی دایم خاک ( $\theta_{pwp}$ ) یا رطوبت در مقاومت مکانیکی ۲ مگا پاسکال ( $\theta_{sr}$ )، هر کدام که بیشتر باشد است.

<sup>1</sup>Letey.

<sup>2</sup>Non limiting water range

<sup>3</sup>Da silva et al.

<sup>4</sup>Least limiting water range

تراکم خاک که یکی از چالش‌های عمده در کشاورزی پیشرفته است، از نظر تعریف بیان کمی رفتار خاک تحت تأثیر تنش و فشارهای مشخص می‌باشد که معمولاً این رفتار با تغییر چگالی، درجه پوکی، تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای، نفوذپذیری آب به خاک و مقاومت مکانیکی خاک بروز می‌کند (۲). معدنی شدن نیتروژن آلی در خاک فشرده به دلیل کاهش تهویه، کاهش نفوذ آب به خاک و افزایش سطح رواناب تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۵). به کرات کاهش غلظت فسفر و پتاسیم در محصولات زراعی در اثر تراکم خاک گزارش شده است (۱۶، ۲۹).

با توجه به ارزش اقتصادی پسته در کشور تعیین دامنه‌ای از رطوبت خاک که در این دامنه گیاه از لحاظ جذب عناصر غذایی با کمترین محدودیت مواجه شود از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. از طرفی چون این دامنه رطوبتی برای هر سطح تراکمی متفاوت است بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی غلظت و جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطوح تراکم مختلف با رطوبت‌های متفاوت است. بدین ترتیب در هر سطح تراکم دامنه‌ای از رطوبت خاک تعیین خواهد شد که در این دامنه حداکثر جذب عناصر غذایی فوق‌الذکر صورت می‌پذیرد.

## مواد و روش‌ها

خاک سطحی (۲۰ - ۰ سانتی‌متری) به مقدار کافی از باغ پسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (۱۷) و برخی ویژگی‌های شیمیایی از جمله pH، EC، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل خاک (CCE)، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و برخی عناصر کم مصرف قابل جذب خاک با روش‌های رایج در آزمون خاک اندازه‌گیری شد (۷). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. خاک مورد استفاده آهکی بوده و از نظر ماده آلی و شکل قابل جذب عناصر فقیر یا در مرز کمبود قرار داشت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	N	CCE	O.M	EC	*pH	کلاس بافت
(mg/kg)						(%)	(%)	(%)	dS/m		
۰/۶	۲/۱۴	۳/۹۴	۲/۵	۳۲۵	۵	۰/۰۵	۱۸	۰/۹۷	۱/۳	۷/۶	لوم شنی

\*عصاره گل اشباع

این آزمایش در شرایط گلخانه، به صورت آشیانه‌ای (۱۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت که در آن ۲۴ سطح رطوبتی در داخل ۴ سطح تراکم آشیانه پیدا کرده است. برای هر سطح تراکمی، شش سطح رطوبتی و سه تکرار در نظر گرفته شده بود بنابراین برای هر سطح تراکمی ۱۸ گلدان و مجموعاً ۷۲ گلدان آماده گردید. خاک پس از عبور از الک ۴/۷۵ میلی‌متری داخل استوانه‌های پی‌وی‌سی به قطر ۱۵/۲۴ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر به تدریج ریخته و متراکم

اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با ...

گردید. در نهایت چگالی خاک تیمارها تا عمق ۳۵ سانتی‌متری به ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب رسید. پنج سانتی‌متر خاک الک شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متری بر روی خاک متراکم شده ریخته شد تا پس از انتقال دانهال‌های پسته به استوانه‌های خاک آماده شده، دانهال‌ها بتوانند به راحتی استقرار یابند. با توجه به اینکه خاک حاوی دانهال‌ها نیز ۵ سانتی‌متر بود، بنابراین پس از انتقال دانهال‌ها به درون استوانه‌ها، تنها ۵ سانتی‌متر از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری استوانه‌ها خالی باقی ماند که آن هم فضای مورد نیاز جهت افزودن آب به استوانه‌ها در نظر گرفته شد. برای فشرده کردن خاک، یک صفحه فلزی متصل به یک میله بر روی سطح خاک در استوانه قرار داده شده است. یک وزنه ۲/۵ کیلوگرمی که در طول میله می‌توانست سقوط آزاد داشته باشد از ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری بر روی صفحه فلزی به دفعات متعدد رها گردیده است تا خاک ریخته شده به حجم از قبل تعیین شده برسد. در هر استوانه به سطح خاک یک سانتی‌متر سنگریزه اضافه شد تا هنگام آبیاری به هم ریختگی ایجاد نگردد. دانهال‌های پسته رقم سرخس رشد یافته (۲۵ روزه) درون ظروف یکبار مصرف به داخل استوانه‌ها انتقال داده شدند و در طول ۱ هفته پس از انتقال، رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگه داشته شد تا دانهال‌ها کاملاً در محیط جدید استقرار یابند. بعد از این مدت هر استوانه‌ای که حاوی بیش از یک دانهال بود تنک گردید به طوری که فقط یک دانهال در هر استوانه باقی ماند. پنج دامنه درصد رطوبت حجمی از نقطه اشباع تا نقطه پژمردگی دایم (دامنه رطوبتی ۱ تا ۵) و یک دامنه رطوبتی پایین‌تر از نقطه پژمردگی دایم (دامنه رطوبتی ۶) برای هر سطح تراکمی اعمال گردید، که در مجموع در این آزمایش ۲۴ سطح رطوبتی در داخل ۴ سطح تراکم توزیع گردید. جدول ۲ سطوح رطوبتی اعمال گردیده در ۴ سطح تراکم را نشان می‌دهد.

جدول ۲- شش دامنه رطوبت حجمی (درصد حجمی) اعمال شد در چهار سطح تراکمی خاک

سطوح رطوبتی						$\theta_{pwp}$	$\theta_{fc}$	سطح تراکم
۶	۵	۴	۳	۲	۱			
۱۰-۷	۱۴-۱۰	۱۹-۱۴	۲۴-۱۹	۳۹-۲۴	۴۹-۳۹	۱۰	۲۴/۵	۱/۳۵g/cm <sup>3</sup>
۱۱-۷	۱۴-۱۱	۱۹-۱۴	۲۵-۱۹	۳۳-۲۵	۴۳-۳۳	۱۱	۲۴	۱/۵ g/cm <sup>3</sup>
۱۲-۸	۱۷-۱۲	۲۲-۱۷	۲۸-۲۲	۳۳-۲۸	۳۸-۳۳	۱۲/۲	۲۹	۱/۶۵g/cm <sup>3</sup>
۱۳-۸	۱۵-۱۳	۱۹-۱۵	۲۳-۱۹	۲۷-۲۳	۳۲-۲۷	۱۳/۳	۳۱	۱/۸g/cm <sup>3</sup>

کنترل رطوبت خاک داخل استوانه‌ها توسط دستگاه TDR<sup>۱</sup> و هر دو روز یکبار انجام گردید. هر موقع که درصد رطوبت حجمی استوانه‌ها به حد پایین دامنه رطوبتی مورد نظر می‌رسید آب به استوانه‌ها اضافه گردید تا به حد بالایی

<sup>۱</sup>Time domain reflectometry

رطوبت تعیین شده برسند. مقدار آب مورد نیاز از فرمول زیر محاسبه شد:

$$V = aD (\theta_{v2} - \theta_{v1}) \quad [1]$$

که در این رابطه  $V$ : حجم آب مورد نیاز بر حسب سانتی متر مکعب.

$a$ : سطح مقطع استوانه‌های خاک بر حسب سانتی متر مربع.

$D$ : عمق خاک استوانه‌ها بر حسب سانتی متر.

$\theta_{v2}$ : حد بالای دامنه رطوبتی برای هر تیمار ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$\theta_{v1}$ : رطوبت حجمی قرائت شده با TDR ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

بعد از خروج ریشه‌ها از انتهای ستون‌های خاک (۹۰ روز) در اولین سطح تراکم (۱/۳۵) گرم بر سانتی متر مکعب، دانهال‌ها از سطح خاک بریده و در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشکانده شدند و سپس استوانه‌ها برش داده شده و ریشه‌ها با شستشوی خاک، به‌طور کامل جمع‌آوری و در آون در دمای فوق‌الذکر خشکانده شدند. جهت تعیین غلظت عناصر در اندام هوایی و ریشه، ۰/۵ گرم از ماده خشک گیاهی توزین و سپس با اسید نیتریک ۶۵٪ به روش اکسایش تر هضم گردید. اندازه‌گیری غلظت فسفر عصاره‌های گیاهی با روش وانادومولیبیدو فسفریک اسید یا روش زرد و با دستگاه اسپکتروفتومتر (۲۹) و اندازه‌گیری غلظت پتاسیم گیاه با دستگاه فلیم‌فوتومتر (۲۰) انجام گرفت. نیتروژن موجود در بخش هوایی و ریشه گیاه با استفاده از روش کج‌دال اندازه‌گیری شد (۳۵). مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی و ریشه از حاصل ضرب غلظت در ماده خشک محاسبه گردید (۳۱).

## نتایج و بحث

در تحقیق انجام گرفته توسط زارع‌حقی و همکاران (۴ و ۵) بر روی دانهال‌های پسته رقم سرخس، مشخص شد که در سطح تراکم ۱/۳۵ و ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب، سطوح رطوبتی ۳، ۴ و ۵ در داخل محدوده رطوبتی LLWR و سطوح رطوبتی ۱، ۲ و ۶ خارج از آن قرار گرفته‌اند. سطوح رطوبتی ۳ و ۴ در سطح تراکم ۱/۶۵ و سطح رطوبتی ۳ در سطح تراکم ۱/۸ گرم بر سانتی متر مکعب در داخل محدوده رطوبتی LLWR و بقیه سطوح رطوبتی (۱، ۲، ۵ و ۶ در سطح تراکم ۱/۶۵ و ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶ در سطح تراکم ۱/۸) در خارج از آن قرار گرفته‌اند. این نتایج بر اساس روابط ارائه شده (۱۶) توسط محققین مذکور برای سطوح مختلف تراکم خاک تعیین گردیده بودند. در تحقیق حاضر فاکتورهای اندازه‌گیری شده در داخل و خارج از محدوده LLWR تعیین شده، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آشیان اکولوژیک نشان داد که تأثیر سطوح رطوبتی در درون هر تراکم بر تمامی فاکتورهای اندازه‌گیری شده به جز غلظت فسفر اندام هوایی و پتاسیم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود

اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با ...

(جدول ۳).

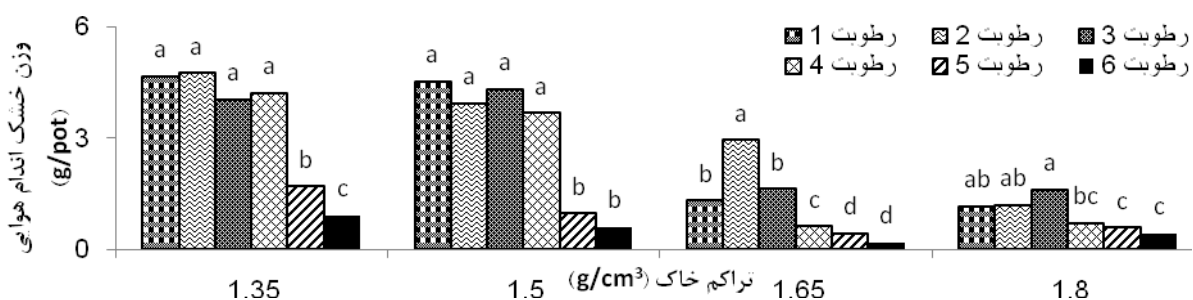
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تراکم و رطوبت بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه دانه‌های پسته

منابع تغییر		وزن خشک		میانگین مربعات				درجه آزادی	تراکم
		اندام هوایی	ریشه	غلظت	فسفر اندام هوایی	فسفر اندام ریشه	نیتروژن ریشه		
۳	۳/۳۶*	۵/۸۹*	۱۳/۳۱*	۰/۹۳ n.s	۰/۷۴*	۲/۰۵*	۷۴/۱*	۸۳/۶*	پتاسیم اندام هوایی
۲۰	۰/۶۸*	۰/۴۹۰*	۲/۵۰*	۴/۳۶*	۰/۰۹ n.s	۰/۳۴*	۴/۶۳*	۳۰/۴ n.s	پتاسیم اندام ریشه
۴۸	۰/۰۲	۰/۰۴۵	۱/۱۰	۱/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۲/۴	۲۶/۸	ریشه

ns و \* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

### وزن خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که در سطح تراکم ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در سطح رطوبتی ۲ حاصل شد که با سطوح رطوبتی ۳ و ۴ (داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) و ۱ تفاوت معنی‌دار نداشت. در سطح تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در سطح رطوبتی ۱ مشاهده شد که با سطح رطوبتی ۲ (خارج از دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) و ۳ و ۴ (داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) تفاوت معنی‌دار نداشت. به دلیل زهکشی سریع آب در سطوح رطوبتی ۱ و ۲ در این دو سطح تراکم خاک، این سطوح رطوبتی به سطح رطوبتی ۳ رسیده و لذا نتیجه مشاهده شده بدین شکل قابل توجیه است. در سطح تراکم ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نظر به تراکم زیاد خاک، زهکشی آب در سطح رطوبتی ۱ کند بوده و تنش حاصل از کمبود تهویه باعث کاهش رشد دانه‌های پسته شده است. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در سطح رطوبتی ۲ (خارج از دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) به‌دست آمد. در سطح تراکم ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در سطح رطوبتی ۳ (داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) مشاهده شد. در این سطح تراکم، دانه‌ها در دو سطح رطوبتی ۱ و ۲ دچار تنش تهویه شدند (شکل ۱). در دو گونه لگوم علوفه‌ای چند ساله (۳۳) و ذرت علوفه‌ای (۱۰) کاهش وزن خشک اندام هوایی با افزایش تنش غرقابی گزارش شده است.

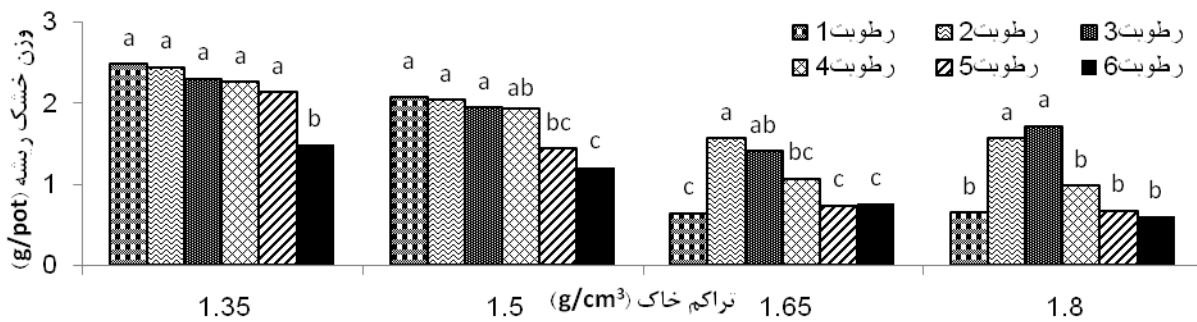


شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم‌های ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر وزن خشک اندام هوایی دانه‌های پسته

### وزن خشک ریشه

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که در سطوح تراکم ۱/۳۵ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سطح رطوبتی ۶ (تیمار تحت تنش رطوبتی) کمترین وزن خشک ریشه را داشت که تفاوت معنی‌دار با سطوح رطوبتی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در سطح تراکم ۱/۳۵ و سطوح رطوبتی ۱، ۲، ۳، ۴ در سطح تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب داشت. در سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ علاوه بر کاهش وزن خشک ریشه در سطح رطوبتی ۶ (تیمار تحت تنش رطوبتی) کاهش معنی‌دار آن در سطح رطوبتی ۱ (تیمار تحت تنش تهویه) نسبت به سطوح رطوبتی ۲ و ۳ مشاهده شد (شکل ۲). در گیاه آفتابگردان (۱۱) و دو گونه لگوم علوفه‌ای چند ساله (۳۳) نیز کاهش وزن خشک ریشه تحت تنش غرقابی گزارش شده است. با افزایش تراکم خاک (از ۱/۳۵ تا ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه مشاهده شد (جدول ۴). در صورتی که خاک خیلی متراکم شده باشد، رشد ریشه متوقف شده و قادر به عبور از لایه‌های متراکم شده نمی‌باشد (۲). وقتی جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یابد، مقاومت نفوذ نیز افزایش یافته و در نتیجه میزان تراکم خاک بیشتر می‌گردد که بر شاخص‌های تخلخل، نفوذپذیری و آب قابل استفاده، تأثیر نامطلوبی دارد، در نتیجه باعث کاهش جذب آب و عناصر غذایی، رشد ریشه و گیاه شده و عملکرد کاهش می‌یابد. تراکم زیاد خاک، نفوذ و گسترش ریشه را محدود کرده، از رشد آن کاسته و مقدار تولید محصول را کاهش می‌دهد (۲۳). گزارش شده است که وقتی مقاومت نفوذ از ۰/۴ به ۴/۲ مگاپاسکال در اثر تراکم تغییر یابد طول ریشه اصلی گیاه ۷۱ درصد و ریشه‌های جانبی ۳۱ درصد کاهش می‌یابد (۲۱).

اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با ...



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم‌های ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر وزن خشک ریشه داننهال‌های پسته

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح تراکم خاک بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه داننهال‌های پسته

غلظت						وزن خشک			اثر اصلی
پتاسیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	فسفر ریشه	فسفر اندام هوایی	نیتروژن ریشه	نیتروژن اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	سطوح	
(g/kg)						(g/pot)			
۱۲/۵۳a	۱۵/۵۷a	۲/۶۲a	۱/۸۹a	۹/۸۶ a	۱۱/۶۲ a	۲/۱۸ a	۳/۳۷ a	۱/۳۵	جرم مخصوص
۱۴/۱۶a	۱۳/۴۷b	۲/۶۵a	۱/۸۲a	۱۰/۲۲ a	۱۱/۸۷ a	۱/۷۷ b	۲/۹۹ b	۱/۵	ظاهری
۱۰/۱۰b	۱۰/۶۸c	۲/۰۸b	۱/۴۴b	۹/۷۱ a	۱۰/۰۵ b	۱/۰۳ c	۱/۱۸ c	۱/۶۵	(g/cm³)
۹/۵۴b	۱۲/۵۹b	۱/۹۴b	۱/۶۱b	۱۰/۰۸ a	۱۰/۵۸ b	۱/۰۳ c	۰/۹۴ c	۱/۸	

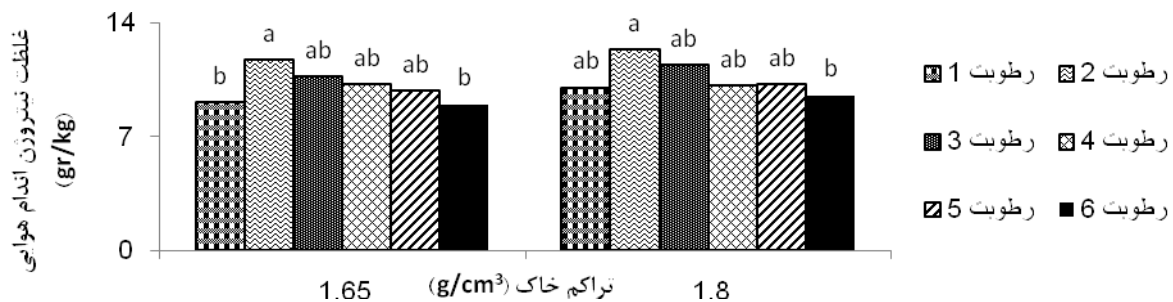
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

### غلظت نیتروژن اندام هوایی

اثر رطوبت در درون سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر غلظت نیتروژن اندام هوایی داننهال‌های پسته معنی‌دار بود. در سطح تراکم ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب غلظت نیتروژن اندام هوایی در سطح رطوبتی ۱ (تنش غرقابی) نسبت به سطح رطوبتی ۲ کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۳). در شرایط غرقاب خاک، تصعید آمونیاک، نیترات‌زدایی و آبشویی می‌تواند منجر به از دست رفتن بخش عمده نیتروژن از محلول خاک شود (۲۶). اثرات کمبود اکسیژن در تنش غرقابی بر متابولیسم ریشه گیاه سبب کاهش جذب نیترات می‌شود و کمبود آن نقش مهمی در کاهش غلظت نیتروژن در گیاهان دچار آب گرفتگی بازی می‌کند (۳۴). در سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش کمبود آب سبب کاهش غلظت نیتروژن اندام هوایی داننهال‌های پسته شد (شکل ۳). چون توسعه ریشه به‌ویژه ریشه‌های مویین در این سطح رطوبتی مختل و سبب کاهش رشد و جذب عناصر غذایی شد. کاهش غلظت نیتروژن اندام هوایی در شرایط تنش کمبود آب، به کاهش میزان تعرق و انتقال نیتروژن از ریشه به اندام هوایی نسبت داده شده است (۳۲). این نتایج با مشاهدات محمدی محمدآبادی و همکاران (۸) در پسته مطابقت

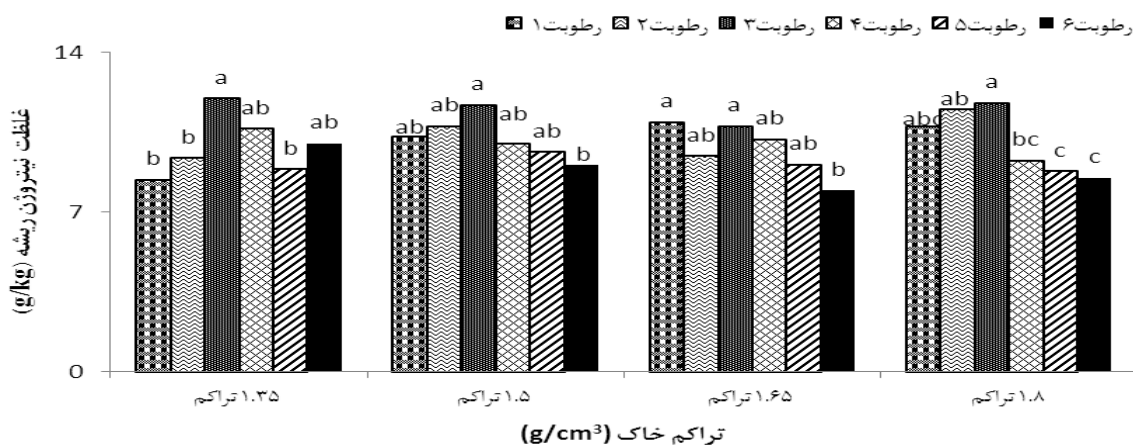


داشت. غلظت نیتروژن در سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ کمتر از سطوح تراکم ۱/۳۵ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تهویه ضعیف خاک بر اثر تراکم بالا، معدنی شدن مواد آلی را کاهش (۲۱) و نیترات‌زدایی را ۵۰ درصد افزایش (۱۴) داده و به تبع آن‌ها غلظت نیتروژن در گیاه کاهش می‌یابد.



شکل ۳- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر غلظت نیتروژن اندام هوایی دانه‌های پسته غلظت نیتروژن ریشه

اثر رطوبت در درون هر تراکم بر غلظت نیتروژن ریشه دانه‌های پسته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین غلظت نیتروژن ریشه دانه‌های پسته در سطوح تراکم ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت مشاهده شد. در سطوح تراکم ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش کمبود آب، کاهش غلظت نیتروژن ریشه دانه‌های پسته مشاهده شد (شکل ۴). کمبود آب سبب کاهش وزن زیست‌توده ریشه، در نتیجه کاهش جذب و غلظت نیتروژن در پسته شده است. نتایج مشابه در موز گزارش شده است (۲۷).



شکل ۴- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم‌های ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر غلظت نیتروژن ریشه دانه‌های پسته

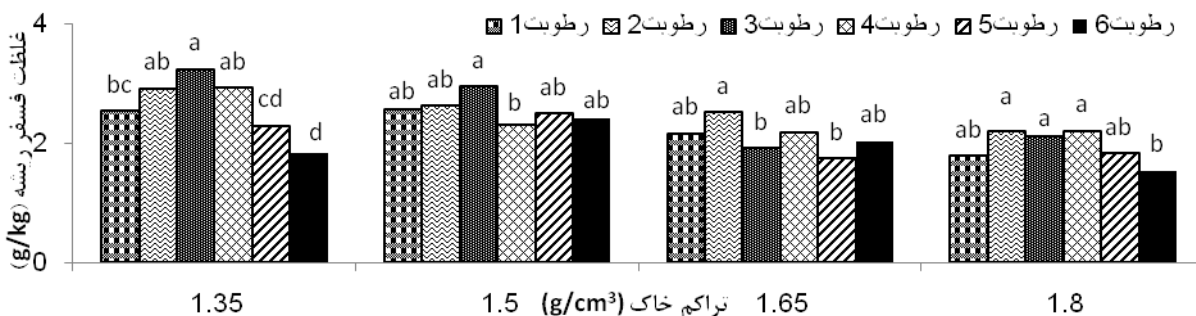
#### غلظت فسفر اندام هوایی

اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با ...

تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آشیان اکولوژیک نشان داد که اثر رطوبت در درون هر تراکم بر غلظت فسفر اندام هوایی دانه‌های پسته معنی‌دار نبود (جدول ۳). غلظت فسفر اندام هوایی با افزایش تراکم خاک تا سطح تراکم ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش یافت ولی در سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ۴). در گیاه جو (۱۳) نیز کاهش غلظت فسفر با افزایش تراکم خاک از ۱/۱۴ تا ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شده است. کم تحرکی فسفر در خاک و محدودیت رشد و گسترش ریشه گیاهان در اثر تراکم خاک، میزان جذب و غلظت فسفر گیاه را به شدت کاهش می‌دهد (۱۳). گزارش شده است که در اثر افزایش تراکم خاک از ۱/۳۴ به ۱/۷۹ مگاگرم بر متر مکعب تخلخل، نفوذپذیری و آب قابل استفاده گیاه به ترتیب ۶۳/۹، ۸۱/۴ و ۳۴ درصد تقلیل یافت (۱).

### غلظت فسفر ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آشیان اکولوژیک نشان داد که اثر رطوبت در درون هر تراکم بر غلظت فسفر ریشه دانه‌های پسته تأثیر معنی‌دار داشته‌اند (جدول ۳). بیش‌ترین غلظت فسفر ریشه دانه‌های پسته در سطوح تراکم ۱/۳۵ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سطح رطوبتی ۳ (داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت) مشاهده شد. در سطوح تراکم ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب غلظت فسفر ریشه دانه‌های پسته در سطح رطوبتی ۱ (تیمار تحت تنش غرقابی) نسبت به سطح رطوبتی ۲ کاهش داشت (شکل ۵). گزارش شده است که غرقاب نهال‌ها در کاج چهار ماهه (*Pinustaeda L.*) غلظت فسفر را کاهش داد (۱۸).

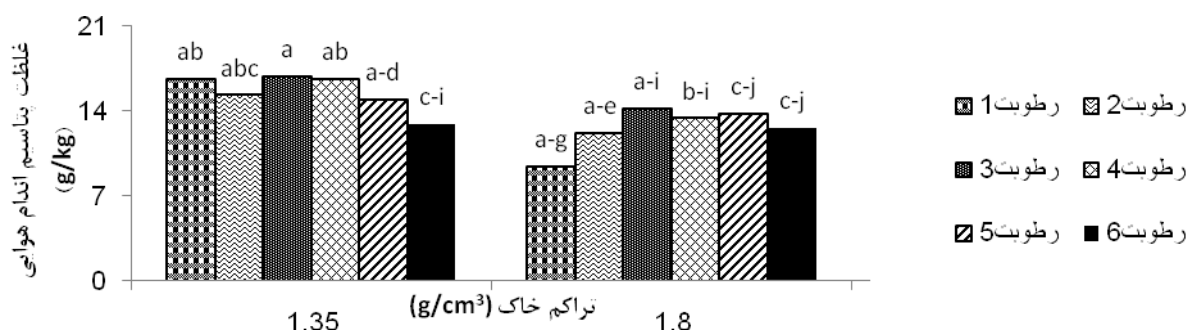


شکل ۵- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم‌های ۱/۳۵، ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر غلظت فسفر ریشه دانه‌های پسته

### غلظت پتاسیم اندام هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آشیان اکولوژیک نشان داد که اثر رطوبت در درون هر تراکم بر غلظت پتاسیم اندام هوایی دانه‌های پسته معنی‌دار بود (جدول ۳). در داخل سطوح تراکم ۱/۵ و ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بین سطوح رطوبتی از نظر غلظت پتاسیم اندام هوایی دانه‌های پسته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سطوح تراکم ۱/۳۵ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیش‌ترین غلظت پتاسیم اندام هوایی داخل دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت

بود و کمترین غلظت آن در سطح رطوبتی ۶ (تیمار تحت تنش کمبود آب) مشاهده شد (شکل ۶). کاهش غلظت این عنصر به ممانعت انتقال آن‌ها از خاک به ریشه گیاه تحت تنش خشکی نسبت داده شد. از طرف دیگر کلوئیدهای خاک در شرایط تنش کمبود آب با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب می‌کنند و مانع جذب آن توسط ریشه گیاه می‌شوند (۲۸). در سطح تراکم ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش غلظت پتاسیم اندام هوایی در سطح رطوبتی ۱ (تیمار تحت تنش غرقابی) نسبت به سطح رطوبتی ۲ احتمالاً به دلیل محدود شدن جذب فعال بر اثر کمبود اکسیژن رخ داده است. کاهش در غلظت پتاسیم اندام هوایی سویا نیز با غرقاب خاک گزارش شده است (۱۵). ولی سطح رطوبتی ۱ در سطح تراکم ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دلیل چگالی کم و داشتن منافذ درشت سریعاً از آب خالی شده و به سطح رطوبتی ۲ رسیده است. با افزایش تراکم خاک از سطح تراکم ۱/۳۵ تا ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب غلظت پتاسیم اندام هوایی کاهش یافت (جدول ۴). در ذرت (۳۶) و نخود (۲۴) نیز کاهش غلظت پتاسیم را با افزایش تراکم خاک گزارش و دلیل آن را محدودیت توسعه ریشه عنوان کردند.



شکل ۶- مقایسه میانگین سطوح رطوبتی در تراکم‌های ۱/۸ و ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر غلظت پتاسیم اندام هوایی دانه‌های پسته

### غلظت پتاسیم ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آشیان اکولوژیک نشان داد که اثر رطوبت در درون هر تراکم بر غلظت پتاسیم ریشه دانه‌های پسته غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین غلظت پتاسیم ریشه در سطح تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با سطح تراکم ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نداشت. با افزایش تراکم خاک تا سطح تراکم ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت (جدول ۴). این نتیجه را می‌توان به کاهش جذب آب، کاهش توسعه ریشه، تهویه ضعیف و اختلال در تنفس و تولید ATP<sup>۱</sup> در چگالی بالای خاک نسبت داد.

<sup>1</sup>Adenosine triphosphate

اثر تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در داخل و خارج از دامنه رطوبتی با ...

## نتیجه گیری کلی

تراکم خاک سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی و ریشه دانه‌های پسته گردید. زیادی و کمبود آب سبب کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطوح تراکم مختلف گردید و تراکم خاک اثر نامطلوب تنش بر پارامترهای مذکور را تشدید نمود. در مجموع تأثیر رطوبت خاک بر رشد و جذب عناصر غذایی وابسته به جرم مخصوص ظاهری خاک است. می‌توان دامنه‌های رطوبتی با حداقل محدودیت محاسبه شده به روش داسیلوا و همکاران (۱۶) برای سطوح تراکم پایین و بالا را به عنوان بهترین محدوده برای عملکرد و غلظت بالای عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در دانه‌های پسته معرفی نمود ولی در سطوح تراکمی نسبتاً بالا این دامنه نمی‌تواند مشخص کننده بهترین دامنه رطوبتی از لحاظ جذب عناصر غذایی برای گیاه پسته باشد. بدین ترتیب با مشخص نمودن دامنه‌ای از رطوبت خاک در هر سطح تراکم خاک می‌توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب (عدم آبیاری تا حد اشباع خاک) از کاهش جذب عناصر غذایی جلوگیری نموده و بهترین عملکرد را به لحاظ کمی و کیفی برداشت نمود.

**سپاسگزاری:** بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تأمین هزینه تحقیق، آقای دکتر محمد مقدم استاد محترم گروه اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به دلیل کمک در تحلیل آماری داده‌ها صمیمانه تشکر می‌کنیم.

## منابع

- ۱- آزادگان، ب. ۱۳۸۸. مجله آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۳ (شماره ۲)، ۶۰-۷۰.
- ۲- برزگر، ع. ر. ۱۳۸۰. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- تاج آبادی، ا. ۱۳۸۳. تأثیر کاربرد پتاسیم بر مقاومت نسبی سه رقم پسته به تنش آبی و شوری، رساله دکتری بخش خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
- ۴- زارع‌حقی، د.، نیشابوری، م.، گرجی، م.، منیرفر، ح. و م. شرفاء. ۱۳۹۱. تعیین دامنه رطوبتی بدون محدودیت برای رشد نهال پسته در دو سطح تراکمی خاک. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۲ (شماره ۳)، ۵۹-۷۱.
- ۵- زارع‌حقی، د.، نیشابوری، م.، گرجی، م.، صادق زاده ریحان، م.، ا. و ج. عمارت پرداز. ۱۳۹۳. ارزیابی دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت در دانه‌های پسته رقم سرخس. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸ (شماره ۲)، ۳۵۳-۳۶۳.
- ۶- شرافتی، ع. ۱۳۸۷. پسته کاری کاربردی. چاپ اول، انتشارات سروا، تهران.
- ۷- علی‌احیایی، م. و ع. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. موسسه تحقیقات خاک و آب.

چاپ اول (شماره ۸۹۳). ۳۳-۴۵.

- ۸- محمدی محمدآبادی، ا.، علیپور، ح. و ف. غفاری موفق. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و دور آبیاری بر صفات کمی و کیفی پسته در منطقه کرمان. پژوهش‌های تولید گیاهی. (شماره ۱)، ۱۷-۴۲.
- ۹- محمدی مقدم، م. ۱۳۸۶. مطالعه وضعیت آلودگی پسته در ترمینال‌های فرآوری استان سمنان و ارزیابی مقاومت ارقام پسته به قارچ اسپرژیلوس فلاووس و آفلاتوکسین B<sub>1</sub>. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مؤسسه تحقیقات پسته کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی.
- ۱۰- نجفی، ن. و سرهنگ‌زاده، ا. و ش. اوستان. ۱۳۹۰. اثر شوری کلرید سدیم و غرقاب شدن خاک بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم اندام هوایی و ریشه ذرت علوفه‌ای. پنجمین همایش منطقه‌ای یافته‌های پژوهشی کشاورزی (غرب کشور)، ۲۸ و ۲۹ اردیبهشت، دانشگاه کردستان.
- ۱۱- نجفی، ن. و س. مردمی. ۱۳۸۹. تأثیر تنش غرقابی بر رشد جذب عناصر پرمصرف و سدیم در گیاهان آفتابگردان. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. ۳۲۹۵-۳۲۹۸.
- ۱۲- یزدی صمدی، ب.، رضایی، ع. م. و م. ولی‌زاده. ۱۳۷۶. طرح‌های آماری در پژوهش‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

- 13- Arvidsson, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant and Soil*, 208:9-19.
- 14- Barzegar, A.R., Nadian, H., Heidari, F., Herbert, S.J. and A.M. Hashemi. 2006. Interaction of soil compaction, phosphorus and zinc on clover growth and accumulation of phosphorus. *Soil and Tillage Research*, 87:155-162.
- 15- Board, J.E. 2008. Water logging effects on plant nutrient concentrations in soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 31:828-838.
- 16- Da Silva, A.P., Kay, B.D. and E. Perfect. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1775-1781.
- 17- Gee, G.W. and J. W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. In pages 383-411. In: Klute A (ed). *Method of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd edition. No 9 (part 1) in the Agronomy Series. ASA and SSSA. Madison, WI.
- 18- Hook, D.D., Debell, D.S., Mckee, Jr., W.H. and J.L. Askew. 1983. Responses of loblolly pine (Mesophyte) and swamp tupelo (Hydrophyte) seedlings to soil flooding and phosphorus. *Plant and Soil*, 71:383-394.
- 19- Hosseinfard, J., Salehi, M.H. Salehi F. and A. Heydarinejad. 2005. Status of soil and leaf boron in pistachio orchards, Iran. international symposium on pistachios and almonds, Tehran, ISHS, Tehran, Iran. P: 94.
- 20- Jones, J.B. 2001. *Laboratory Guides for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press.
- 21- Khut, J. and E. Reintam. 2004. Soil compaction effect on soil physical properties and the content of nutrients in spring barley and spring wheat. *Agronomy Research*, 2(2): 187-194.
- 22- Ladha, J.K., Kundu, D.K., Angelo-Van Coppenolle, M.G., Peoples, M.B., Carangal, V. R. and P.J. Dart. 1996. Legume productivity and soil nitrogen dynamics in lowland rice-based cropping systems. *Soil Science Society America Journal*, 60:183-192.

- 23- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, 1: 277-294.
- 24- Lowery, B. and R.T. Schuler. 1991. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. *Soil Science Society America Journal*, 55: 216-223.
- 25- Lipiec, J. and W. Stepniewski. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil and Tillage Research*, 35:37-52.
- 26- Lipiec, J., Medvedev, V.V., Birkas, M., Dumitru, E., Lyndina, T.E. and S. Rousseva. 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *International Agrophysics*, 17: 61-69.
- 27- Mahouachi, J. 2009. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. *Scientia Horticulturae*, 120: 460-466.
- 28- Marschener, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2<sup>nd</sup> edition, Academic Press, London.
- 29- Olsen, S. R. and Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. In: Page AL, et al (eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2<sup>nd</sup> edn, Agron Monogr 9. ASA and ASSA, Madison WI, pp 403-430.
- 30- Partick, W.H., Jr. and I.C. Mahapatra. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advanced Agronomy*, 20: 323-352.
- 31- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Method and Application*. Longman Scientific and Technical, Wiley, UK. P. 350.
- 32- Scott, H. D. and A. Sallam. 1987. Effects of prolonged flooding on soybean at the R2 growth stage: 11. N and P uptake and translocation. *Journal of Plant Nutrition*, 10: 593-608.
- 33- Teakle, N.L., Real, D. and T.D. Colmer. 2006. Growth and ion relations in response to combined salinity and waterlogging in the perennial forage legumes *Lotus corniculatus* and *Lotus tenuis*. *Plant Soil*, 289: 369-383.
- 34- Trought, M.C.T. and M.C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in young wheat plants in anaerobic solution culture. *Journal of Experimental Botany*, 31: 1573-1585.
- 35- Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G. and J.J. Van der lee. 1989. *Soil and Plant Analysis, a series of syllabi*. Part 7. *Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University, Netherland.
- 36- Wolkowski, R.P. 1991. Corn growth response to K fertilization on three compacted soils. *Soil and Tillage Research*, 21:287-298.