بهینه‌سازی تغذیه پسته رقم احمد آقایی با استفاده از روش تاگوچی

شیما شهبازی منشادی[۱]، کاظم کمالی علی آباد[۲]*، علی تاج آبادی‌پور[۳]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

چکیده

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی نیمه گرمسیری و از مهمترین محصولات تجاری و صادراتی ایران می‌باشد. علی‌رغم سطح زیر کشت بالای پسته در ایران، عملکرد این محصول در واحد سطح پایین می‌باشد. بنابراین دستیابی به راهکارهای مدیریتی در جهت افزایش تولید در واحد سطح دارای اهمیت فراوانی است. در این پژوهش اثر هفت کود شیمیایی (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم، نیترات کلسیم، کلات آهن، کلات روی و کلات منگنز) که تامین‌کننده عناصر ضروری پرمصرف و کم‌مصرف برای درختان می‌باشند، مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. استفاده از روش تاگوچی در بهینه سازی مصرف کودها، یک راهکار نوین و کاربردی در جهت کاهش بی‌رویه کود و همچنین دستیابی به مقدار بهینه، در جهت تولید محصول با راندمان بالا می‌باشد. بعد از اعمال تیمارها در دو نوبت به صورت چالکود و محلول‌پاشی، برداشت محصول در شهریورماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد، کمترین درصد کالی میوه و ریزش جوانه‌های زایشی به ترتیب در تیمارهای ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱/۵ گرم در لیتر کود آهن، مشاهده شده‌است. همچنین تیمارهای ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات کلسیم به ترتیب موجب افزایش تشکیل شاخه جدید و جوانه‌های زایشی به مقدار ۹/۳۳ و ۱۵/۸ درصد، نسبت به سایر تیمارها شده‌اند. بر اساس این روش می‌توان به درجه اهمیت کودهای رایج در باغهای پسته در جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی محصول پی برد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد کمی و کیفی، عناصر غذایی، محصولات باغی، نرم افزار Minitab16

[۱] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

[۲] دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد (*نویسنده مسئول: kkamali@yazd.ac.ir)

[۳] استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.)، یکی از مهمترین محصولات باغی است که در ایران کشت می‌شود (Taghizadeh-aliSaraei *et al.*, 2017). این تولید یکی از آجیل‌های مورد علاقه جهان است و به طور گسترده در مناطق خشک و گرم خاورمیانه، کشورهای مدیترانه و ایالات متحده کشت می‌شود (Açikalin *et al.*, 2012). در مقیاس جهانی میزان تولید پسته از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴، از ۳۴۸ به ۸۵۶ هزارتن در هکتار افزایش یافته است (Bartzas & Komnitsas, 2018). ایران با تولید بیش از ۵۷۴ هزارتن بزرگ‌ترین تولیدکننده بزرگ پسته در سال ۲۰۱۷ بوده و ایالت متحده آمریکا بعد از ایران در رتبه دوم قرار گرفته‌است. از گونه‌های پسته تنها *P. mutica*، *P.khinjuk* و *P.vera* در ایران موجود است که فقط گونه‌ی *P.vera* میوه‌های خندان تجاری تولید می‌کنند. ارقامی که عمدتا در ایران کشت می‌شوند شامل اوحدی، کله‌قوچی، احمدآقایی، بادامی زرند، رضایی و پوست پیازی می‌باشند (Esmail-Pour, 2001). ارزش غذایی بالا و خندان بودن پسته باعث گسترش مصرف آن به صورت خام و برشته در نقاط مختلف جهان شده است. در دهه اخیر به دلیل افزایش سطح زیر کشت پسته در جهان و تنوع پسته عرضه شده به بازارهای جهانی، رقابت شدیدی بین کشورهای صادرکننده به وجود آمده است (Razavi *et al*., 2007). طبق گزارشات اعلام شده از فائو تا سال ۲۰۱۷، سطح زیر کشت درختان پسته در ایران و جهان به ترتیب حدود ۴۲۹ و ۷۷۰ هزار هکتار می‌باشد (FAO, 2019). برای موفقیت در تولید محصول با عملکرد بیشتر، تامین مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه لازم است. به این معنی که با فراهم نمودن صحیح عناصرغذایی در مقدار و نسبت بهینه، شرایط خاک باید به گونه ای تغییر داده شود که رشد گیاه بهبود یافته و محصول مناسبی به دست آید (روستا و همکاران، ۱۳۹۷). عناصر پرمصرف و کم‌مصرف نقش مهمی برای رشد گیاه و تولید محصول دارند. طبق مصرف رایج کودهای مورد نیاز پسته، تامین بعضی از عناصر دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. بنابراین محلول‌پاشی و مصرف کودی عناصر به صورت مکمل جهت رفع نیاز غذایی پسته عمل می‌کنند. کودهای شیمیایی رایج مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی برای تامین عناصر پرمصرف شامل اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم و نیترات کلسیم می‌باشد. همچنین برای تامین عناصر کم‌مصرف از محلول‌پاشی کلات‌های آهن، روی و منگنز استفاده می‌شود (موسی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). برای تامین ازت، از کود اوره استفاده می‌کنند. نیتروژن یک عنصر ضروری برای تکامل گیاه است که وجود آن برای سنتز بیومولکول‌ها مانند پروتئین، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل لازم است (Carlsson *et al.*, 2017). بر اساس نظریه Ben-Mimoun *et al.* (۲۰۰۴)، یکی از دلایل اهمیت پتاسیم برای درختان پسته، افزایش وزن میوه و کاهش درصد پوکی آن می‌باشد که از سولفات پتاسیم تامین می‌شود (Ben-Mimoun *et*

(*al.*, 2004). برای تغذیه درختان از عناصر فسفر و کلسیم به ترتیب از کودهای سوپرفسفات تریپل و نیترات کلسیم استفاده می‌شود. فسفر پس از نیتروژن به عنوان یکی از عوامل محدودکننده رشد و توسعه عملکرد می‌باشد (محمود سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین یک عنصر مهم برای رشد گیاه و تولید محصول است. بسیاری از خاک‌ها به طور ذاتی فسفر بسیار کمی در دسترس گیاه قرار می‌دهند، لذا استفاده از کودهای فسفره ضروری می‌باشد (Mori *et al*., 2016). یکی دیگر از مهم‌ترین عناصر غذایی در تغذیه درخت پسته، کلسیم می‌باشد. از آنجایی که کلسیم در استحکام دیواره سلولی نقش دارد، این عنصر قادر است با استحکام بخشیدن بـه سلول‌های موجود در محل اتصال جوانه گل به شاخه سبب کاهش ریزش جوانه‌های گل شود (Mohammadi *et al*., 2016). استفاده از کلسیم سبب کاهش ترک‌خوردگی میوه می‌شود. همچنین بر اساس تحقیقات داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، مشخص شده است که کلسیم سبب بهبود رشد و عملکرد درختان پسته می‌شود. محلول‌پاشی کلات‌های آهن، روی و منگنز منبع اصلی تامین این عناصر کم‌مصرف در درختان می‌باشد. بر اساس تحقیقات به عمل آمده توسط امیدی و همکاران (۱۳۸۹)، کمبود روی، سبب عارضه سرخشکیدگی درختان پسته می‌شود. آهن نقش مهمی در بیوسنتز کلروفیل دارد (امیدی و همکاران، ۱۳۸۹). این عنصر، سومین عنصر محدودکننده برای رشد و نمو گیاه می‌باشد (Samaranayake *et al*., 2012). بنابراین کمبود این عنصر فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد که باعث کاهش شدید عملکرد میوه می‌شود (Yadav *et al*., 2013). به دلیل نقش منگنز در کلروفیل‌سازی، این عنصر نقش اساسی درفرایند فتوسنتز دارد. از این رو کاهش میزان کلروفیل برگ و کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه از علائم اصلی کمبود منگنز در گیاهان است (Hopkins & Hüner, 2008). مصرف منگنز به عنوان یکی از عناصر کم‌مصرف به صورت محلول‌پاشی، موجب افزایش عملکرد بیولوژِیکی و عملکرد دانه می‌شود (Rezaei *et al.*, 2015). با توجه به ارزش غذایی پسته، اهمیت تجاری آن و افزایش تقاضای جهانی این محصول (تهامی‌پور و قویدل، ۱۳۹۷؛ Bayat & Ghasemian, 2016)، انجام تحقیقات جامع در زمینه تولید و افزایش عملکرد پسته و همچنین بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی ضروری به نظر می‌رسد. برای رسیدن به یک رشد سریع و مطلوب و همچنین افزایش باروری درختان، بررسی مدیریت غذایی پسته یک امر ضروری می‌باشد (محمدی محمدآبادی و همکاران، ۱۳۸۹). یک چالش مهم در تعیین حالت بهینه و نیز اثر عوامل مختلف بر روی یک پدیده تعداد زیاد حالت های ممکن می‌باشد که انجام همه حالت‌های مختلف را از نظر زمان و هزینه دچار مشکل می‌نماید. یکی از راهکارهای فنی و علمی، استفاده از روش تاگوچی می‌باشد. تاگوچی برای ارائه آزمایشات، گروه‌های ویژه‌ای از آرایه‌های ارتوگونال (orthogonal)را در ترکیب ایجاد می‌کند. آرایه های ارتوگونال، فرآیند طراحی آزمایشات را سهولت می‌بخشند. طراحی یک

آزمایش شامل انتخاب مناسب ترین آرایه ارتوگونال، تعیین فاکتورها با ستون های متناسب و در نهایت توضیح ترکیباتی از آزمایشات مجزا موسوم به شرایط آزمایش می‌باشد. این آزمایش به طور قابل توجهی زمان و هزینه آزمایشات را پس از رویکرد سیستماتیک محدود کرده و تعداد آزمایشات را کاهش می‌دهد (۱۴ و ۴۰). Qu & Han (۲۰۱۱)، در پژوهشی با استفاده از طراحی L9 تاگوچی، آزمایش‌های کود در غلظت‌های مختلف ازت، فسفر و پتاسیم بر روی نهال یکساله گردو در تبت مورد مطالعه قرار دادند. در آزمایشی دیگر که برای استخراج حلال از فعالیت آنتی‌اکسیدانی درخت چای صورت گرفت، از طرح آرایه متعارف روش تاگوچی برای برنامه‌ریزی آزمایش استفاده شد. این طرح جهت مشکل بهینه‌سازی روش تجربی مورد استفاده قرار گرفت (Wang *et al*., 2014). از اهداف این تحقیق، بررسی تاثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و کاربرد روش تاگوچی در کاهش سطوح آزمایشی، تعداد دفعات کوددهی و صرفه جویی در مصرف هزینه و زمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پژوهشکده پسته در باغی به مساحت چهار هکتار شامل ارقام مختلف پسته طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. درختان تحت تیمار از نظر ویژگی‌های قطر تنه، ارتفاع، قطر سایه‌انداز و سن (۲۲ ساله) با یکدیگر یکسان و از رقم احمدآقایی بودند. آبیاری درختان پسته به روش غرقابی با فاصله زمانی ۳۲ روزه صورت گرفت. ابتدا نمونه‌برداری خاک به صورت مرکب از دو عمق۵۰-۰ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متری در سایه‌انداز درختان جهت توصیه کودی انجام گرفت. به منظور تعیین برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه، نمونه ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سدیم محلول خاک در عصاره‌ی گل اشباع، پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیری استات آمونیوم توسط دستگاه شعله‌سنج مدل Jenway PFP7 (Hesse, 1971)، کلسیم و منیزیم به روش کلسیمتری و غلظت عناصر آهن، روی و منگنز به روش عصاره‌گیری با DTPA و با استفاده از دستگاه طیف سنج اتمی (مدل NOVA A300) اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شد. مقدار pH محلول خاک با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۸۲۷ و قابلیت هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج مدل ۸۶۵۰۳ اندازه‌گیری شد (Helmek & Sparks, 1996). فسفر قابل جذب به روش Olsen *et al.* (۱۹۵۴) و نیتروژن کل با استفاده از دستگاه اتوکلتک مدل Behr distillation unit S4 تعیین گردید. (جدول ۱). همچنین نمونه برداری آب از لوله خروجی چاه و ۱۰ تا ۱۵ دقیقه بعد از پمپاژ اولیه صورت گرفت و

ویژگی‌های آن تعیین گردید. EC، pH و SAR آب آبیاری به ترتیب ۲/۷۴ دسی زیمنس بر متر، ۷/۳۰ و ۴/۴۴ گزارش شده‌است.

ب- طراحی آزمایش به روش تاگوچی

برای طراحی آزمایش به روش تاگوچی از نرم افزار Minitab16 استفاده شد. این نرم افزار توانایی بررسی همزمان چندین تیمار در سطوح مختلف با ویژگیهای مختلف را دارا می‌باشد. در روش تاگوچی ابتدا عوامل و سطوح مورد نظر تعیین می‌شود و سپس با استفاده از نرم افزار، جدول آرایه های متعامد طراحی می‌گردد. پس از انجام آزمایش‌ها، نرم افزار با تجزیه و تحلیل مقدار عوامل بهینه را پیشنهاد می‌دهد که بر اساس آن باید آزمایش تأییدی انجام شود. تیمارها شامل ۷ نوع کود مختلف می‌باشد. اوره (۳۰۰-۲۵۰-۲۰۰-۱۵۰)، سوپرفسفات تریپل (۳۵۰-۳۰۰-۲۵۰-۲۰۰)، سولفات پتاسیم (۴۵۰-۴۰۰-۳۵۰-۳۰۰) و نیترات کلسیم (۲۵۰-۲۰۰-۱۵۰-۱۰۰) با واحد کیلوگرم در هکتار به صورت چالکود و همچنین کلات آهن (در دو سطح ۱/۵-۰/۷۵)، کلات روی (در دو سطح ۱/۵-۰/۷۵) و کلات منگنز (در دو سطح ۱-۰/۵) با واحد گرم در لیتر به صورت محلول‌پاشی مصرف شده‌اند. بر اساس سطوح واردشده، تاگوچی از طریق نرم‌افزار، آزمایش را پیشنهاد نمود (جدول ۲).

ج- اعمال تیمارها و محاسبه برخی ویژگی‌های کمی و کیفی پسته

با توجه به الگوی آزمایشات طراحی شده توسط تاگوچی که در جدول ۲ گزارش شده‌است، ۱۶ ردیف مشابه از درختان رقم احمدآقایی برای ۱۶ آزمایش طراحی شده و در هر ردیف ۸ تکرار انتخاب شد و علامت‌گذاری شدند. سپس طرح آزمایشی مربوط به هر ردیف به صورت تصادفی تعیین گردید. مخلوط لازم کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم و نیترات کلسیم طبق سطوح پیشنهادی برای هر آزمایش و برای هر درخت محاسبه و توزین شد. سپس مخلوط کودها در آذرماه ۹۶ به صورت چالکود (در عمق ۶۰ سانتی‌متری سایه‌انداز درختان) به درخت‌ها اضافه و برای حلالیت و جذب آن‌ها، درخت‌های مورد آزمایش آبیاری شدند. در هفته دوم اردیبهشت‌ماه ۹۷، محلول‌پاشی مخلوط کلات‌های آهن، روی و منگنز بر روی همه درخت و با سم‌پاش دستی در اوایل صبح هنگامی که سرعت باد حداقل و دمای هوا مناسب بود، انجام گرفت. برداشت کل محصول درختان پسته تحت تیمار در اواخر شهریورماه ۹۷ صورت و سپس برخی ویژگی‌های کمی و کیفی پسته مانند درصد

کالی میوه، تعداد جوانه‌های زایشی، طول شاخه جدید و درصد ریزش جوانه‌های زایشی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از میانگین نسبت سیگنال به نویز روش تاگوچی انجام شد. در انتها مطابق با آنچه نرم‌افزار با در نظر گرفتن سهم هر یک از کودها در آزمایش در نظر می‌گیرد، مهمترین کود و مقدار سطوح بهینه هر کود پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

عمق	هدایت الکتریکی (EC)	اسیدیته (pH)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)	درصد نیتروژن کل (TN)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	آهن (Fe)	روی (Zn)	منگنز (Mn)
(cm)	$dS\ m^{-1}$		$meq\ l^{-1}$		%	$mg\ kg^{-1}$				
۰-۵۰	۱/۲۲	۷/۵	۴/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۲۸	۲۵	۲۴۰	۲/۵	۰/۴۸	۱/۰۳
۵۰-۱۰۰	۱/۴۰	۷/۶۵	۵/۰۰	۲/۵۰	۰/۰۳۰	۲۰	۲۹۰	۲/۶	۰/۵۰	۱/۰۴

جدول۲- آزمایش‌های طراحی شده (آرایه‌های متعامد M-16) به روش تاگوچی با توجه به سطوح پیشنهاد شده کودها.

شماره آزمایش	کود اوره	کود سوپرفسفات تریپل	کود سولفات پتاسیم	کود نیترات کلسیم	کلات روی	کلات آهن	کلات منگنز
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۲
۳	۱	۳	۳	۳	۱	۲	۲
۴	۱	۴	۴	۴	۲	۲	۱
۵	۲	۱	۲	۳	۲	۲	۱
۶	۲	۲	۱	۴	۱	۲	۲
۷	۲	۳	۴	۱	۲	۱	۲
۸	۲	۴	۳	۲	۱	۱	۱
۹	۳	۱	۳	۴	۲	۱	۲
۱۰	۳	۲	۴	۳	۱	۱	۱
۱۱	۳	۳	۱	۲	۲	۲	۱
۱۲	۳	۴	۲	۱	۱	۲	۲
۱۳	۴	۱	۴	۲	۱	۲	۲
۱۴	۴	۲	۳	۱	۲	۲	۱
۱۵	۴	۳	۲	۴	۱	۱	۱
۱۶	۴	۴	۱	۳	۲	۱	۲

به طور کلی سه نوع شاخص کیفیت در تعیین نسبت سیگنال به نویز وجود دارد که بر اساس آنها، نرم‌افزار نتایج را گزارش می‌دهد:

۱- نسبت سیگنال به نویز برای HB (بیشترین مقدار آن، بهترین پاسخ است)

- ویژگی‌هایی که بیشترین مقدار آن، بهترین حالت پاسخ‌دهی به کود است.

۲- نسبت سیگنال به نویز برای LB (کمترین مقدار آن، بهترین پاسخ است)

- ویژگی‌هایی که کمترین مقدار آن مورد نظر است.

۳- نسبت سیگنال به نویز برای NB (مقدار مشخص‌شده مورد نظر، بهترین پاسخ است)

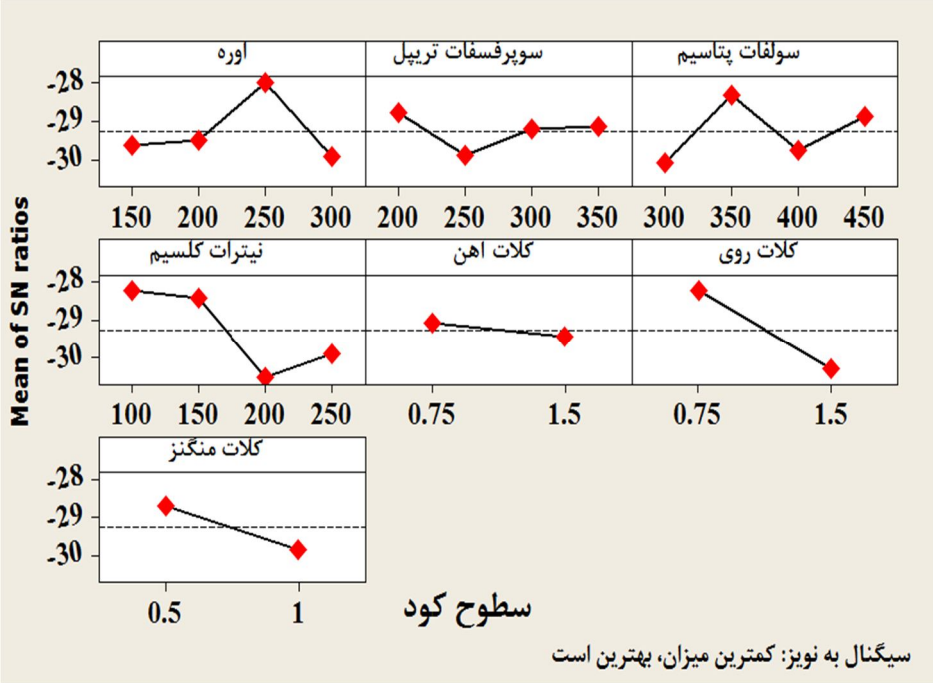
- ویژگی‌هایی که دارای محدوده بهینه می‌باشد و رسیدن به آن مورد نظر است.

نتایج و بحث

الف- درصد کالی میوه

منظور از درصد کالی میوه، جدا نشدن به آسانی پوست سبز پسته از پوست سخت آن می‌باشد و در برخی از آن‌ها جنین تشکیل شده، ولی به تکامل نرسیده است. با توجه به اطلاعات به دست آمده از آزمایش، کمترین درصد کالی میوه در تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱/۵ گرم در لیتر کلات روی مشاهده شده و به دنبال آن کاربرد کود نیترات کلسیم بیشترین تاثیر را روی درصد کالی میوه داشته است (شکل ۱).

به علت اینکه درصد کالی میوه فاکتوری منفی می‌باشد و هدف ما به حداقل رساندن این پارامتر می‌باشد. بنابراین میانگین سیگنال به نویز داده‌ها به صورت LB و منفی گزارش شده‌اند (شکل ۱). روی یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه می‌باشد که کمبود آن موجب نابسامانی‌های فراوانی در باغهای میوه می‌شود (صبحی رستمی و گلچین، ۱۳۹۰). طبق نظریه داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، کاربرد کود اوره یا سایر کودهای حاوی ازت موجب بهبود عملکرد محصول از طریق پر کردن مغز و کاهش کالی میوه می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایش نیز گواه اهمیت این عنصر ضروری می‌باشد. همچنین با توجه به نقش مهم کلات روی در کاهش درصد کالی میوه، Khayyat *et al.* (۲۰۰۷) در پژوهشی دریافتند، محلول‌پاشی برگی روی به طور معنی‌داری عملکرد میوه و وزن آن را افزایش داده است. که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. بنابراین عنصر روی در کاهش درصد کالی اهمیت فراوانی دارد.



شکل ۱- اثرات اصلی نسبت سیگنال به نویز درصد کالی میوه.

ب- درصد ریزش جوانه‌های زایشی

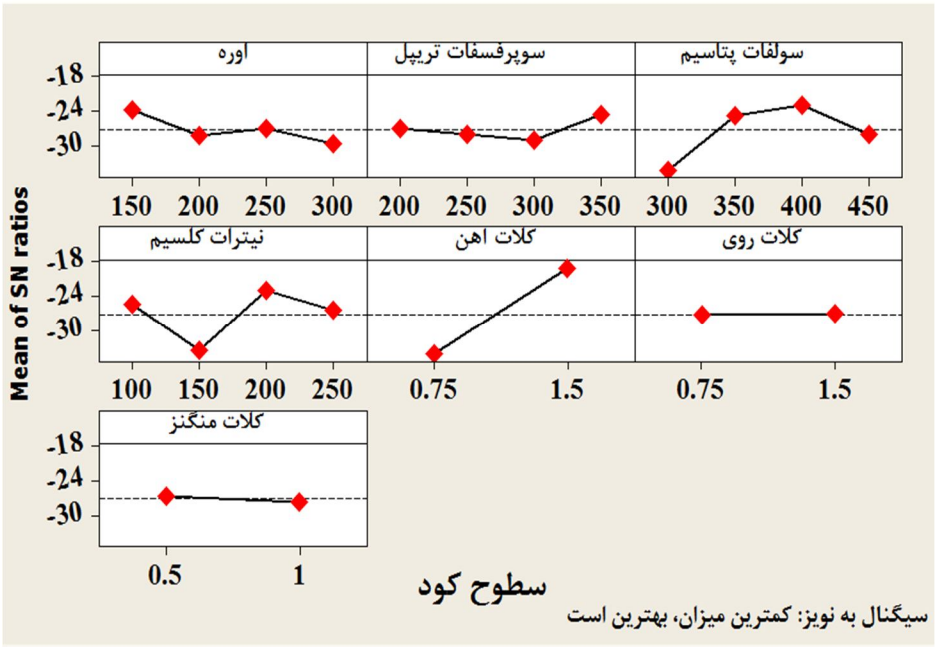
ریزش جوانه گل یکی از مهمترین ناهنجاریهای فیزیولوژیکی است که در درختان پسته مشاهده میشود. نتایج این پژوهش نشان داد، کاربرد کلات آهن با درجه اهمیت ۱ بیشترین تاثیر را روی کاهش درصد ریزش جوانه‌های زایشی گذاشته است (شکل ۲).

ریزش فرآیندی است که باعث جدایی اندام میشود و در هر زمان از رشد رویشی رخ میدهد و شامل ریزش برگ، گل و میوه است (Kolaric, 2010). شرایط نامطلوب زیست‌محیطی و رقابت برای کربوهیدرات‌ها و مواد مغذی از مهمترین علل ریزش میوه است (محمود سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Khezri *et al*., 2010). کمبود عنصر آهن باعث کاهش فتوسنتز می‌شود و قندها محصول اصلی فتوسنتز می‌باشند. ازآنجایی که برای مکانیسم تشکیل جوانه و مقاومت آن به قند وابسته است، این عنصر نقش اساسی در ریزش جوانه‌ها دارد (Werner *et al*., 2008). که با نتایج حاصل از این آزمایش و درجه اهمیت آهن مطابقت دارد. همچنین با توجه به درجه اهمیت نیترات کلسیم در کاهش درصد ریزش جوانه های زایشی، از آنجا که کلسیم در استحکام دیواره سلولی نقش دارد، به نظر می‌رسد این عنصر با استحکام بخشیدن به سلول‌های موجود در محل اتصال

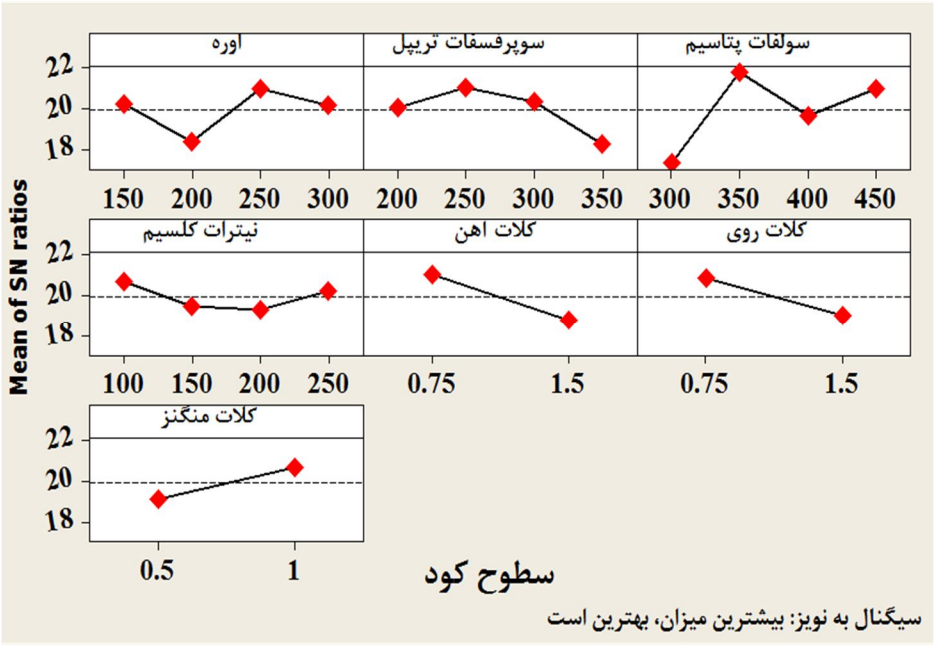
جوانه‌های گل به شاخه می‌تواند سبب کاهش ریزش جوانه‌های گل شده باشد (Hepler & Winship, 2010) که با نتایج حاصل از این پژوهش و تاثیرگذاری کود نیترات کلسیم مطابقت دارد.

ج- طول شاخه جدید

تشکیل طول شاخه جدید تاثیر بسزایی روی تعداد جوانه‌های رویشی و زایشی درخت دارد و به دنبال آن با افزایش طول شاخه جدید، میزان عملکرد کل محصول افزایش می‌یابد. طبق نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها، طول شاخه جدید بیشتر تحت تاثیر کود سولفات پتاسیم نسبت به سایر کودهای شیمیایی می‌باشد. بیشترین میانگین طول شاخه جدید مربوط به سطح ۲ کود سولفات پتاسیم (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به سطح ۱ این کود (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که این نتیجه نشانگر اهمیت به‌سزای این کود می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۲- اثرات اصلی نسبت سیگنال به نویز درصد ریزش جوانه‌های زایشی.



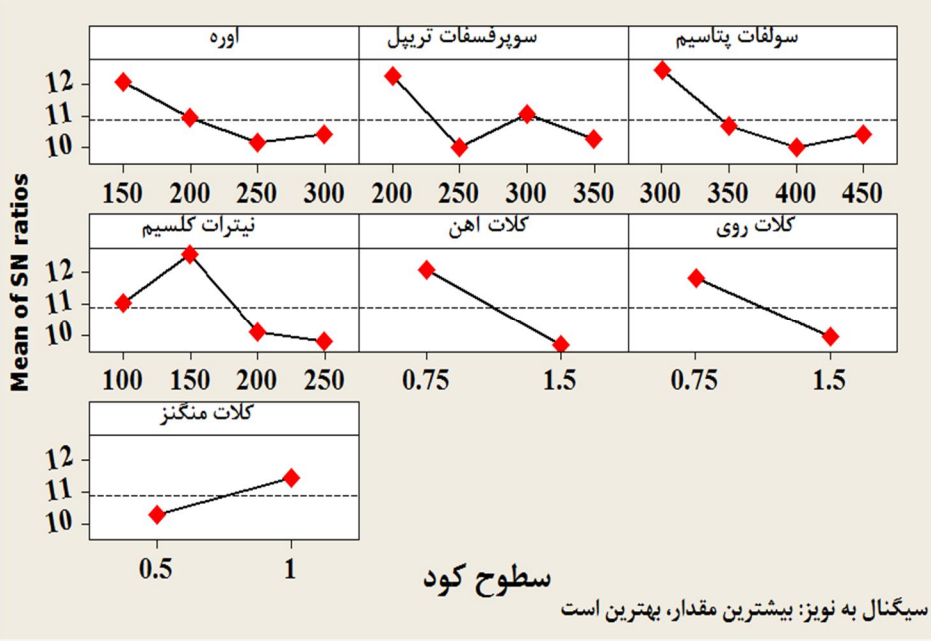
شکل ۳- اثرات اصلی نسبت سیگنال به نویز طول شاخه جدید.

پتاسیم نقش مهمی در فتوسنتز دارد. در صورت کمبود این عنصر فرایندهای مربوط به فتوسنتز کاهش و تنفس افزایش پیدا می‌کند، بنابراین سرعت رشد و نمو کاهش می‌یابد (Lester *et al*., 2005). از طرفی دیگر پتاسیم نقش مهمی در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله تقسیم و بزرگ‌شدن یاخته‌ای، سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و رشد مریستمی گیاه دارد (El-Bassiony *et al.*, 2010; Hegazi *et al.*, 2011). بنابراین پتاسیم در طول شاخه جدید دخالت دارد که با درجه اهمیت آن در این شاخص مطابقت دارد. طبق گزارشات داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، کاربرد کود سولفات پتاسیم موجب افزایش رشد طولی و قطر سرشاخه‌های جدید می‌شود. همچنین در تحقیقی دیگر مشاهده شد، کاربرد کود پتاسیم موجب افزایش طول شاخه جدید در درخت به رقم اصفهان شد (احمدی پوررق آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). گزارشات حاصل از این پژوهش‌ها با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد.

د- تعداد جوانه‌های زایشی

جوانه‌های زایشی منبع تولید خوشه‌های پسته در سال آینده می‌باشند. لذا عوامل تاثیر گذار در افزایش تعداد این جوانه‌ها بسیار با اهمیت می‌باشد. طبق نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها، کود نیترات کلسیم موجب افزایش تولید جوانه‌های زایشی شده و بیشترین میزان تاثیر را در تشکیل آن‌ها داشته است.

سطح ۲ کود نیترات کلسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و به دنبال آن سطح ۱ کود سولفات پتاسیم (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین میزان تاثیر در افزایش تولید جوانه‌های زایشی را داشته‌اند (شکل ۴). تشکیل گل قبل از شکفتن و ظاهر شدن آن بر اثر تحول جوانه رویشی صورت می‌گیرد. در این تحول جوانه رویشی بر اثر یکسری تغییرات فیزیولوژیکی و ساختاری به جوانه گل‌دهنده تبدیل می‌شود. با گذشت زمستان با آغاز فصل رویشی آینده، گل‌های آن ظاهر و شکفته می‌شوند. کود نیترات کلسیم و کلات آهن به دلیل اینکه نقش مهمی در فرایند فتوسنتز و تشکیل کربوهیدرات‌ها دارند موجب افزایش نسبت C/N می‌شوند. بنابراین با افزایش ذخایر کربن نسبت به نیتروژن موجب افزایش جوانه‌های زایشی و گلدهی درختان نسبت به رشد رویشی می‌شود (Taiz & Zeiger, 2006). گزارشات بیان‌شده با نتایج حاصل از اهمیت کود نیترات کلسیم و کلات آهن در این شاخص مطابقت دارد. با توجه به درجه اهمیت سولفات پتاسیم در این پارامتر و پژوهش Hussein (۲۰۰۸)،



شکل ۴- اثرات اصلی نسبت سیگنال به نویز تعداد جوانه‌های زایشی.

پتاسیم در تحریک رشد درخت و جذب عناصر غذایی نقش مهمی دارد و استفاده از پتاسیم در مرحله ظهور جوانه باعث افزایش آن می‌شود (Ramzy *et al*., 2011) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. به صورت کلی، مدیریت کود پتاسیم و مصرف آن به مقدار بهینه، نقشی مهم و اساسی در تولید جوانه‌های زایشی دارد (Zhi-Yong et al., 2009).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، کاربرد کودهای مغذی به صورت چالکود و محلول‌پاشی در سطح بهینه تاثیر بسزایی روی برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی پسته داشته است. از آنجا که دستیابی به سطح بهینه مصرف این کودها، بسیار زمان‌بر و پر هزینه می‌باشد، لذا دستیابی به شیوه‌های نوین توصیه کودی مانند استفاده از روش تاگوچی که تعداد آزمایشات را به حداقل می‌رساند، بسیار دارای اهمیت است. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها، در تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱/۵ گرم در لیتر کلات آهن به ترتیب کمترین درصد کالی میوه و ریزش جوانه‌های زایشی مشاهده شده‌است. همچنین بیشترین مقدار طول شاخه جدید و تعداد جوانه‌های زایشی به ترتیب در تیمارهای ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بوده‌است. به طور کلی، عناصر نیتروژن، آهن، پتاسیم و کلسیم به ترتیب بیشترین تاثیر را روی پارامترهای آزمایشی داشته‌اند. تامین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در حد بهینه و مورد نیاز گیاه می‌تواند بیشترین عملکرد و بهترین کیفیت محصول را موجب شود. با توجه به نتایج حاصل پیشنهاد می‌گردد، بسته به غلظت عناصر غذایی خاک و برگ درختان، هدف تولید محصول، کودهای در دسترس، مقدار عناصر مورد نیاز گیاه در حد بهینه و نقش عناصر مغذی و ضروری، مدیریت تغذیه درختان صورت گیرد. همچنین توصیه کودی برای محصولات باغی چندساله، باید طی چندین فصل رشد مورد ارزیابی قرار گیرد تا نتایج حاصل قابل استناد باشد.

منابع

۱- احمدی پوررق آبادی، م، پاک‌کیش، ز، و صفاری، ور. (۱۳۹۵). تأثیر محلول پاشی پوترسین و نیترات پتاسیم در بهبود رشد رویشی و زایشی درخت به رقم اصفهان. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۷(۲): ۲۸۵-۲۷۵.

۲- امیدی، ل، مظفری، و، تاج آبادی‌پور، آ، و دشتی، ح. (۱۳۸۹). تأثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی و مس بر خصوصیات کمی و کیفی پسته. *مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۱۴(۵۲): ۱۶۲-۱۴۹.

۳- تهامی‌پور، م، ورهرامی، و، و قویدل، و. (۱۳۹۷). اندازه‌گیری ریسک قیمت پسته و تعیین عوامل موثر بر آن در استان‌های مهم تولیدکننده پسته. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۱(۱): ۲۶۲-۲۳۷.

۴- داوری نژاد، غح، عزیزی، م، و آخرتی، م. (۱۳۸۸). اثر محلول‌پاشی برخی از عناصر غذایی بر خصوصیات کمی، کیفی و سال‌آوری درختان پسته. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۳(۲): ۱۰-۱.

۵- روستا، مج، رسولی، ف، میراب‌زاده اردکانی، م، عنایتی، ک، و جوکار، ل. (۱۳۹۷). تأثیر کاربرد نیتروژن و فسفر بر عملکرد اندام هوایی و ریشه گیاه روناس در شرایط شور استان فارس. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۸(۲): ۱۶۲-۱۴۹

۶- صبحی رستمی، ف، و گلچین، ا. (۱۳۹۰). بررسی تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن، منگنز و روی بر عملکرد و کیفیت میوه انار در استان مازندران. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۵(۲): ۲۴۲-۲۳۴.

۷- محمدی محمدآبادی، ا، علیپور، ح، غفاری موفق، ف، و منعم‌زاده، ع. (۱۳۸۹). تأثیر سطوح مختلف ازت و آبیاری بر صفات کمی و کیفی پسته در منطقه خاش. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۱(۱): ۳۸-۲۷.

۸- محمود سلطانی، ش، کاووسی، م، اله قلی پور، م، شکوری، م، و پیکان، م. (۱۳۹۶). بررسی رفتار فسفر قابل استفاده تحت شرایط غرقابی در خاک های شالیزاری پس از کاربرد کود فسفره. *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲۴(۶): ۴۶-۲۵.

۹- موسی‌نژاد، م.، اسفندیارپور، پ. و صباح، آ. (۱۳۹۶). بررسی اثر دو روش محلول پاشی و مصرف خاکی عناصر ریزمغذی برخصوصیات کیفی و عملکرد پسته در کرمان. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۶ تا ۸ شهریورماه، دانشگاه صنعتی اصفهان.

10- Acar, I, and Eti, S. (2007). Abscission of pistachio flowers and fruits as affected by different pollinators. *Biology Science*, 10: 2920–2924.

11- Açikalin, K, Karaca, F, & Bolat, E. (2012). Pyrolysis of pistachio shell: effects of pyrolysis conditions and analysis of products. *Fuel*, 95: 169–77.

12- Bartzas, G, & Komnitsas, K. (2018). Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio production in Greece. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 28: 73-80.

13- Bayat, R, & Ghasemian, A. (2016). Investigating the effective factors on Iran's pistachio export demand (assuming continuation of U.S. pistachio price behavior). *Business Management and Economic Research*, 7(1): 463-473.

14- Ben-Mimoun, M, Loumi, O, Ghrab, M, Latiri, K, & Hellali, R. (2004). Foliar potassium application on pistachio tree. *Horticulture Science*, 111: 224-228.

15- Carlsson, J, Svennerstam, H, Moritz, Th, Egertsdotter, U, & Ganeteg, U. (2017). Nitrogen uptake and assimilation in proliferating embryogenic cultures of Norway spruce investigating the specific role of glutamine. *PLOS ONE*, 12(8): e0181785. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191208.

16- Chou, CS, Ho, CY, & Huang, CI. (2009). The optimum conditions for combination of magnetic particles driven by a rotating magnetic field using the Taguchi method. *Advanced Powder Technology*, 20: 55–61.

17- El-Bassiony, AM, Fawzy, ZF, Abd El-Samad, EH, & Riad, GS. (2010). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *American Science*, 6(12): 722-729.

18- Esmail-Pour, A. (2001). Distribution, use and conservation of pistachio in Iran. pp. 14-17, In: S, Padulosi, and A, Hadj-Hassan (eds), Project on underutilized mediterranean species. Pistacia: towards a comprehensive documentation of distribution and use of its genetic diversity in central &west Asia, North Africa and mediterranean Europe. IPGRI, Rome, Italy.

19- FAO. (2019). Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize.

20- Hegazi, E, Samira, S, Mohamed, M, El-Sonbaty, MR, Abd El-Naby, SKM, & El-Sharony, TF, (2011). Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status, yield and fruit quality of olive cv. 'Picual'. *Horticultural Science and Ornamental Plant*, 3(3): 252-258.

21- Helmek, PA, & Sparks, DL. (1996). Lithium, sodium potassium, rubidium and cesium, In: D.L. Sparks. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of American Madison Wisconsin, pp. 551-575.

22- Hepler, PK, & Winship, LJ. (2010). Calcium at the cell wall-cytoplast interface. *Integrative Plant Biology*. 52 (2): 147–160.

23- Hesse, PR (1971). A text book of soil chemical analysis. John Murray. London.

24- Hopkins, WG, & Hüner, NPA. (2008). Introduction to Plant Physiology. 4th Ed., John Wiley and Sons Inc, Hoboken, New Jersey.

25- Hussein, AHA. (2008). Response of 'Manzanillo' olive (*Olea europaea L.*) cultivar to irrigation regime and potassium fertigation under Tabouk conditions, Saudi Arabia. *Agronomy*, 7(4): 285-296.

26- Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S. & S. Rajaee. (2007). Effect of nitrogen, boron, potassium and zinc sprays on yield and fruit quality of date palm. *Agriculture and Environmental Science*, 2(3): 289-296.

27- Khezri, M, Talaei, A, Javanshah, A, & Hadavi, F. (2010). Effect of exogenous application of free polyamines on physiological disorders and yield of 'Kaleh-Ghoochi' pistachio shoots (*Pistaci avera L.*). *Science Horticulture*, 125: 270-276.

28- Kolaric, J. (2010). Abscission of young apple fruits (*Malus domestica* Borkh.). *Agricultura scientific*, 7: 31-36.

29- Lester GE, Jifon, JL, & Rogers, G. (2005). Supplemental foliar potassium application during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid and Beta-Caratone contents. *The American society for Horticultural Science*, 130(4): 649-653.

30- Mohammadi, H, Davary Nejad, GH, & Khezri, M. (2017). Effect of spray application of calcium compounds combined with free polyamines at different growth stages on physiological problems and yield of 'Ahmad-Aghaii' pistachio (*Pistacia vera L.*). *Horticulture Science*, 30(4): 733-742.

31- Mori, A, Fukuda, T, Vejchasarn, Ph, Nestler, J, Pariasca-Tanaka, J, & Wissuwa, M. (2016). The role of root size versus root efficiency in phosphorus acquisition in rice. *Experimental Botany*, 67(4): 1179-1189.

32- Olsen, SR, Watanabe, FS, Cosper, HR, Larson, WE, & Nelson, LB. (1954). Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. *Soil Science*, 78(2): 141–152.

33- Qu, FX, & Han, YL. (2011). Study of N, P, K fertilizers in seedling stage of *Juglans Regia* in Tibet on Taguchi method. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 4.

34- Ramzy, GS, Abd El-Wahob, SM, Habashy, SA, & Keleni, RA. (2011). Productivity and fruit quality of three mango cultivars in relation to foliar sprays of calcium, zinc, boron or potassium. *Horticultural Science and Ornamental. Plants*, 3(2): 91-98.

35- Razavi, SMA, Emamzadeh, B, Rafe, A, & Mohammad Amini, A. (2007). The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: part I. Geometrical properties. *Food Engineering*, 81: 209-217.

36- Rezaei, CA, Zehtab, SS, Pirzad, A, & Rahimi, A. (2015). Effect solut spray micronutrients iron, zinc, manganese on the yield, yield components and oil seeds in *Calendula officinalis* L. *Horticultural Science*, 29(1): 95-102.

37- Samaranayake, P, Peiris, BD, & Dssanayake, S. (2012). Effect of excessive ferrous (Fe^{2+}) on growth and iron content in rice (*Oryza sativa*). *Agricultural Biology*, 14: 296-298.

38- Taghizadeh-aliSaraei, A, Alizade-assar, H, Ghobadian, B, & Motevali, A. (2017). Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72: 510-522.

39- Taiz, L, & Zeiger, E. (2006). Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts, USA.

40- Wang, TY, & Huang, CY. (2007). Improving forecasting performance by employing the Taguchi method. *Operational Research*, 176: 1052–1065.

41- Wang, SW, Su, TL, Yu Ye, Jh, & Lo, L. (2014). Application of Taguchi method in the optimization of antioxidant activity for Australian tea tree. *Applied Mechanics and Materials*, 595: 253-257.

42- Werner, T, Holst, K, Pors, Y, Guivarch, A, Mustroph, A, Chriqui, D, Grimm, B, & Schmulling, T. (2008). Cytokinin deficiency causes distinct changes of sink and source parameters in tobacco shoots and roots. *Experimental Botany*, 59: 2659-2672.

43- Yadav, V, Singh, PN, & Yadav, P. (2013). Effect of foliar fertilization of boron, zinc and iron on fruit growth and yield of low-chill peach cv. Sharbati. *Scientific and Research Publications*, 3(8): 2250-2256.

44- Zhi-Yong, Z, Qing-Lian, W, Zhao-Hu, L, Liu-Sheng, D, & Xiao-Li, T. (2009). Effect of potassium deficiency on root growth of cotton seedlings and its physiological mechanisms. *Acta Agronomica Sinica*, 35(4): 718-723.