

تأثیر تنش خشکی بر بیماری پوسیدگی ریشه دانه‌های پسته
در اثر *Fusarium solani**

**EFFECT OF WATER STRESS ON ROOT ROT DISEASE OF
PISTACHIO SEEDLINGS CAUSED BY *Fusarium solani***

فهیمة سلاجقه تدرجی^۱، حمید محمدی^{۲*} و مهدی سرچشمه پور^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۳۰)

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش رشد در گیاهان است و می‌تواند باعث افزایش شیوع بیماری‌های پوسیدگی ریشه در گیاهان گردد. در این تحقیق اثر تنش خشکی بر بیماری پوسیدگی ریشه دانه‌های پسته ناشی از *Fusarium solani* در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در سه سطح رطوبتی (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه = D0، ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه = D1 و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه = D2) و سه سطح قارچ عامل بیماری (شاهد = F0 و دو جدایه فوزاریوم = F1 و F2) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار اجرا گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و درصد کلنیزاسیون ریشه دانه‌های پسته توسط عامل بیماری نشان داد که اثرات اصلی ناشی از مایه‌زنی عامل بیماری و تنش خشکی بر کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. اثرات متقابل تنش خشکی با عامل بیماری بر کلیه صفات مورد بررسی به جز وزن خشک ریشه (معنی‌دار در سطح ۵٪) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج به دست آمده تنش خشکی باعث تشدید آثار منفی ناشی از مایه‌زنی بیمارگر شد و با تشدید تنش خشکی تاثیر بیمارگر نیز افزایش یافت به طوری که جدایه F2 فوزاریوم و سطح رطوبتی ۲۵ درصد، بیشترین تأثیر منفی را از این نظر داشتند. با افزایش تنش خشکی میزان کلنیزاسیون ریشه توسط جدایه‌های فوزاریوم و همچنین شدت بیماری‌زایی افزایش یافت. بنابراین این مطالعه نشان داد که تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش آثار منفی *F. solani* روی دانه‌های پسته شود.

واژه‌های کلیدی: پسته، پوسیدگی فوزاریومی ریشه، تنش رطوبتی، کلنیزاسیون ریشه

*: بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول ارائه شده به دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

** : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hmoammadi@uk.ac.ir

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استادیار بیماری شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

مقدمه

پوسیدگی فوزاریومی ریشه در نخود فرنگی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. روش‌های آبیاری و مدیریت آب و خاک در مدیریت بیماری‌های خاک برد از اهمیت بالایی برخوردار است به گونه‌ای که آبیاری متناوب (یک دوره آبیاری کافی تا حد ظرفیت مزرعه و یک دوره عدم آبیاری تا نقطه پژمردگی) باعث افزایش عملکرد و کاهش اثر بیماری و آبیاری بیش از حد ظرفیت مزرعه و عدم آبیاری تا نقطه پژمردگی باعث ایجاد تنش خشکی و اکسیژن و در نتیجه افزایش بیماری‌های ریشه می‌شود (Biles et al. 1992). طی مطالعه‌ای ساگیر و همکاران (Sagir et al. 2005) اثر روش‌های مختلف آبیاری را بر بیماری پوسیدگی طوقه فلفل ناشی از *Phytophthora capsici* مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که دور آبیاری طولانی‌تر باعث افزایش بیماری می‌شود.

گودرزی و همکاران (Goudarzi et al. 2011) گزارش دادند که علائم بیماری *M. phaseolina* در دوره‌های آبیاری بالا (۷ و ۱۰ روز) ظاهر شده و آلودگی بیشتر طوقه و ریشه با افزایش دور آبیاری مشاهده می‌گردد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al. 2012) نشان دادند که تأثیر برهمکنش تنش خشکی و بیماری پوسیدگی ریشه گیاه نخودفرنگی در اثر *Fusarium solani f.sp. pisi* باعث کاهش شاخص‌های رشد مانند وزن تر و خشک ساقه و ریشه نسبت به گیاهان شاهد می‌شود و شدت بیماری را افزایش می‌دهد. اخیراً بیماری پوسیدگی ریشه نهال‌های پسته در اثر *F. solani* در استان کرمان از اهمیت زیادی برخوردار شده است و به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خشکیدگی و زوال نهال‌های پسته در بسیاری از نهالستان‌ها شناخته می‌شود. با توجه به اهمیت اقتصادی نهال‌های پسته جهت احداث باغ درختان پسته در استان

تنش خشکی به عنوان یکی از عوامل اصلی و تأثیرگذار بر رشد نهال‌های پسته محسوب می‌شود و با کاهش شاخص‌های رشد، شدت بروز بیماری‌های پوسیدگی ریشه را افزایش می‌دهد (Mohammadi & Haghdel 2009). تأمین نیاز آبی درختان با دور آبیاری مناسب باعث رشد مطلوب و پایین آمدن خسارت آفات و بیماری‌ها شده و افزایش کمی و کیفی محصول را در پی دارد. در آزمایشی محمدی و حقل (۲۰۰۹) دریافتند که تنش خشکی باعث افزایش علائم بیماری ناشی از *Phytophthora* در پسته تحت شرایط گلخانه‌ای می‌شود. هیس (His 1961) و ادمنوز (Edmunds 1964) نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش بیماری پوسیدگی ریشه در اثر بیمارگر *Macrophomina phaseolina* در گیاه سورگوم می‌گردد. بر اساس مطالعات انجام شده تنش خشکی به عنوان یک فاکتور مهم در افزایش بیماری پوسیدگی ریشه در اثر بیمارگر *M. phaseolina* در پنبه محسوب می‌شود (Ghaffar & Erwin 1969).

مطالعات انجام شده روی گیاه سویا نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث افزایش جمعیت قارچی در ریزوسفر گیاه سویا نسبت به شرایط بدون تنش می‌شود و افزایش رطوبت خاک موجب کاهش بیماری ناشی از *M. phaseolina* و *Fusarium spp.* می‌گردد (Farzana & Abdul 1991). طی مطالعه‌ای روی بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه نخود (با عامل *Rhizoctonia bataticola*) مشخص شد که افزایش شدت خشکی و دمای خاک بیماری را تشدید می‌کند (Sharma & Pande 2013). تیو (Tu 1994) در آزمایشی نشان داد که در رطوبت خاک معادل ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بیماری

در این آزمایش از بذر پسته رقم بادامی ریز زرنندی استفاده شد. برای کشت، ابتدا بذرها به مدت ۱۵-۱۲ دقیقه با هیپوکلریت سدیم ۵٪ درصد ضدعفونی شدند و سپس سه مرتبه (هر مرتبه به مدت پنج دقیقه) با آب مقطر سترون شسته شدند. بذور سترون شده به مدت یک شب در ظروف یکبار مصرف حاوی آب مقطراستریل ریخته شدند و پس از این مدت آب ظروف خارج و بذور جهت جوانه زنی بین دو لایه دستمال کاغذی اتوکلاو شده قرار داده شدند. برای کاشت بذرها از گلدان‌های پلاستیکی ۵ کیلوگرمی استفاده گردید. برای این کار ابتدا هر گلدان از مخلوط خاک و ماسه شسته سترون (به نسبت ۱:۲) و با مشخصات فیزیکی ارائه شده در جدول ۱ پر شدند. سپس ۸-۷ عدد بذر جوانه زده پسته در هر گلدان قرار داده شد و روی بذور با دو سانتی‌متر ماسه سترون پوشانده شد. بعد از اطمینان از سبز شدن بذر، در هر گلدان چهار نهال یکسان نگه داشته شد و بقیه نهال‌ها حذف گردیدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه (دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد) و به مدت چهار هفته نگهداری شدند و در طول زمان آزمایش با روش وزنی در حد ظرفیت مزرعه آبیاری گردیدند.

مایه‌زنی دانهال‌های پسته با قارچ عامل بیماری و اعمال تیمارهای خشکی

جهت انجام این کار ابتدا یک روز قبل از عمل مایه‌زنی گلدان‌ها آبیاری شدند تا عمل مایه‌زنی راحت‌تر انجام شود. جهت تهیه سوسپانسیون اسپور از قارچ *F. solani*، ابتدا یک قرص میسیلیومی (به قطر پنج میلی‌متر) از حاشیه کشت هفت روزه جدایه‌ها به چندین تشتک پتری حاوی محیط کشت PDA منتقل و به مدت ۷ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب

کرمان و شرایط آب و هوایی این استان لازم است که نقش تنش‌های مختلف به خصوص تنش خشکی بر پیشرفت این بیماری مورد بررسی قرار گیرد. هدف اصلی این تحقیق مطالعه تأثیر محتوای رطوبتی محیط ریشه بر روند بروز و ظهور علائم بیماری دو جدایه مختلف قارچ فوزاریوم می‌باشد. بدین منظور دو جدایه از *F. solani* که بر اساس آزمون غربالگری اولیه بیشترین میزان بیماری‌زایی را روی نهال‌های پسته نشان داده بودند انتخاب و تأثیر آنها در سه سطح مختلف محتوای رطوبتی محیط ریشه بر بیماری پوسیدگی ریشه و همچنین فاکتورهای رشد نهال‌های پسته ارزیابی شد.

روش بررسی

طرح آزمایش

در این مطالعه تأثیر سطوح مختلف خشکی بر بیماری‌زایی دو جدایه *F. solani* که قبلاً از نهال‌های بیمار در استان کرمان جداسازی و شناسایی شده بودند (Salajegheh Tezerji et al. 2013) روی دانهال‌های پسته در شرایط گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب یک طرح پایه‌ای کاملاً تصادفی انجام شد. در این آزمایش تأثیر ۳ سطح قارچ (شاهد=F0، F1 و F2 دو جدایه از فوزاریوم) و ۳ سطح تنش خشکی (D0 (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه)، D1 (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) و D2 (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) در ۶ تکرار بر روی دانهال‌های پسته مورد ارزیابی قرار گرفت.

کشت بذر پسته

تا سوسپانسیون از اسپورها و ریشه‌های قارچ به دست

مقطر استریل به هر تشتک پتری اضافه گردید و سطح پرگنه‌ها با یک میله L شکل سترون کاملاً خراش داده شد جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Physical properties of soil used in this study.

Texture	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	SP (%)	PWp (%)	FC (%)	pH	EC (ds/m)	عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)
Sandy	9.32	2.4	88.28	30	4.5	26	7	3	0-30

درصد ظرفیت مزرعه کاهش یافتند. لازم به ذکر است که هدف کلی این تحقیق داشتن سه سطح رطوبتی متفاوت در طول دوره آزمایش بود که این سه سطح اعمال و تفاوت بین آنها در طول آزمایش رعایت و همواره برقرار بوده است.

ارزیابی فاکتورهای مختلف رشد

چهارده هفته بعد از اعمال تنش خشکی، گیاهان برداشت و فاکتورهای مختلف رشد شامل ارتفاع ساقه و طول ریشه، وزن تر و خشک ساقه (دارای برگ) و ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، حجم ریشه، شاخص شدت بیماری و درصد کلنیزاسیون ریشه گیاهان توسط عامل بیماری مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری طول ساقه ابتدا گیاهان از محل طوقه جدا شدند و طول ساقه از ناحیه طوقه تا قسمت نوک با خط‌کش اندازه‌گیری گردید. طول ریشه نیز از محل طوقه تا انتهای ریشه اصلی اندازه‌گیری شد. حجم ریشه‌ها از روی حجم آب جابجا شده پس از غوطه‌ور ساختن ریشه‌ها در آب موجود در یک استوانه مدرج تعیین شد (Alizade 1999). برای تعیین سطح برگ، ابتدا کلیه پهنک‌های برگ در هنگام برداشت اندام هوایی از ساقه جدا و توزین شدند و سپس با استفاده از رابطه رگرسیونی حاصل از داده‌های مساحت و وزن تعدادی از

آید. سوسپانسیون حاصل از پارچه ململ عبور داده شد و سوسپانسیون اسپوری به غلظت 1×10^6 اسپور در میلی‌لیتر با هموسایتومتر تهیه گردید. برای مایه‌زنی مقداری از خاک اطراف هر بوته کنار زده شد و در کنار طوقه هر گیاه ۹ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اسپور جدایه‌ها با غلظت 1×10^6 اسپور در میلی‌لیتر ریخته شد (در گیاهان شاهد از ۹ میلی‌لیتر آب مقطر استریل استفاده گردید). گیاهان مایه‌زنی شده در شرایط گلخانه نگهداری شدند. اعمال تنش خشکی بر اساس محاسبه ظرفیت مزرعه (اف سی = Field capacity) خاک صورت گرفت. بدین منظور ابتدا اف سی خاک مورد مطالعه به روش وزنی تعیین گردید و سپس با داشتن وزن خاک و گلدان و توزین گلدان‌ها در هر نوبت، مقدار آب لازم جهت رسیدن به سه سطح رطوبتی مورد نظر تعیین و به گلدان‌های مربوطه اضافه گردید. تیمارهای خشکی دو هفته بعد از مایه‌زنی گیاهان با عامل بیماری اعمال شد. آبیاری تیمارهای بدون تنش تا سطح حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه و به نحوی انجام گردید که در طول دوره رشد، گیاهان دچار تنش نشوند. آبیاری تیمارهای تنش تا حدی از ظرفیت مزرعه انجام شد که به ترتیب در طول دوره رشد با تنش متوسط و شدید خشکی مواجه شدند و به تدریج تا سطح ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید)

به عنوان شاخص شدت بیماری و حروف a تا e به عنوان درجه آسیب در نظر گرفته می‌شوند. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) و MSTATC (MSTATC software version, 2.1) تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تمام شاخص‌ها به جزء وزن خشک ریشه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $\alpha=1\%$ انجام گردید.

نتایج و بحث

اولین علائم بیماری در گیاهان مایه‌زنی شده با *F. solani* (جدایه F2)، چهار هفته بعد از مایه‌زنی و به صورت زردی برگ‌های پایینی مشاهده گردید. علائم بیماری به تدریج به قسمت‌های بالاتر گسترش یافت و در نهایت با ظهور همزمان علائم زردی، پژمردگی، کاهش رشد و برگ‌ریزی (شکل ۱)، باعث خشکیدگی کامل دانهال‌ها گردید. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان دهنده اثرات متفاوت تیمارهای آزمایشی به کار رفته روی صفات مورد ارزیابی می‌باشد (جدول ۲).

شدت بیماری

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال سطوح مختلف تنش خشکی باعث افزایش شدت علائم بیماری و در نتیجه آسیب ناشی از قارچ فوزاریوم در دانهال‌های پسته می‌گردد. تیمارهای D1 و D2 باعث افزایش شدت بیماری نسبت به تیمار شاهد گردیدند. بر اساس نتایج به دست آمده میزان شاخص شدت بیماری در جدایه F2 نسبت به جدایه F1 افزایش چشمگیری داشت. طبق جدول ۳، شدت بیماری بر روی اندام‌های هوایی و ریشه در تیمار F2D2 به ترتیب ۴/۱۲ و ۴/۱۶ ارزیابی گردید. تیو (۱۹۹۴)

برگ‌ها، سطح کل برگ به ازای هر گلدان تعیین شد (Fagaria 2005). وزن تر ریشه و اندام هوایی به طور جداگانه با ترازو اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه و اندام هوایی به صورت جداگانه درون پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بعد از این مدت مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی شاخص شدت بیماری بر روی اندام هوایی از مقیاس ۶ درجه‌ای (۵-۰) پیشنهاد شده توسط کرافت و کالسر (Kraft and Kalsner 1993) و کرافت و همکاران (Kraft et al. 1994) استفاده شد. مقیاس ۶ درجه‌ای (۵-۰) پیشنهاد شده به ترتیب زیر است:

- سالم (بدون آسیب)، ۱- آسیب ضعیف (۱۰-۱٪)، ۲- آسیب متوسط (۲۵-۱۰٪)، ۳- آسیب نسبتاً زیاد (۵۰-۲۶٪)، ۴- آسیب زیاد (۷۵-۵۱٪)، ۵- آسیب بسیار زیاد که موجب تخریب کل گیاه می‌شود (۷۶-۱۰۰٪). ارزیابی شاخص شدت پوسیدگی ریشه نیز با استفاده از مقیاس ۶ درجه‌ای (۵-۰) پیشنهاد شده توسط مک فادن و همکاران (McFadden et al. 1989) و به ترتیب زیر انجام شد.

۰- گیاه سالم یعنی بدون علائم بیماری روی ریشه، ۱- تغییر رنگ اندک ریشه (قهوه ای رنگ شدن) به گونه ای که کمتر از ۵۰٪ سطح محور زیر لپه (هیپوکتیل) این نوع تغییر رنگ را نشان دهد، ۲- مشابه معیار ۱ ولی تغییر رنگ سطح محور زیر لپه بیش از ۵۰٪ باشد، ۳- تغییر رنگ ریشه‌ها و محور زیر لپه و تخریب آنها، ۴- سیاه شدن کامل ریشه و محور زیر لپه و تخریب کامل آنها، ۵- گیاه از بین رفته یا در حال مرگ باشد. داده‌های به دست آمده با به کارگیری فرمول $(D1 = 1 \times a + 2 \times b + 3 \times c + 4 \times d + 5 \times e / n)$ به عنوان شاخص شدت بیماری محاسبه شدند که در آن D1

خاک افزایش می‌یابد. نتایج مشابه‌ای نیز توسط ریستینو و دونیوی (۱۹۸۹) روی گوجه فرنگی‌های مایه‌زنی شده

در آزمایشی نشان داد که شدت علائم بیماری ناشی از *Fusarium* در اندام هوایی گیاهان نخود با کاهش رطوبت



شکل ۱. علائم بیماری به صورت کاهش رشد و پژمردگی در دانه‌های پسته. (A) - دانه‌های شاهد تحت تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه = D2)، (B) دانه‌های مایه‌زنی شده با *Fusarium solani* تحت تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه = D2).

Fig. 1. Reduced growth and wilting symptoms in pistachio seedlings. (A) Control seedlings under water stress (D0=25% of F.C.), (B) Seedlings inoculated by *Fusarium solani* under water stress (D2= 25% of F.C.)

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای تنش خشکی و جدایه‌های فوزاریوم بر شاخص‌های رشد دانه‌های پسته در شرایط گلخانه‌ای

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of water stress and *Fusarium* isolates on growth parameters of pistachio seedlings under greenhouse conditions.

میانگین مربعات (Mean Square)								
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	طول ریشه	تعداد برگ	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	سطح برگ
Source of variation	df	Shoot height (cm)	Root length (cm)	Leaf number	Root volum (cm ³)	Root dry weight (g)	Shoot dry weight (g)	Leaf surface area (cm ²)
تنش خشکی	2	57.39**	81.61**	240.18**	598.22**	161.29**	52.75**	8331**
فارچ	2	154.26**	199.33**	68.82**	925.72**	216.83**	21.95**	2989**
تنش خشکی × فارچ	4	1.49**	1.008**	1.48 ^{n.s}	11.19**	9.8*	14.51**	821**
خطا	40	0.23	0.07	0.58	0.58	2.1	0.19	42
ضریب تغییرات		4.33	3.04	9.7	4.6	17.2	19	7.2

*: معنی دار در سطح پنج درصد، **: معنی دار در سطح یک درصد، n.s غیر معنی دار

(*) Significant at $P < 0.05$, (**) Significant at $P < 0.01$, (^{n.s}) Non significant

جدول ۳. تأثیر متقابل تنش خشکی و جدایه‌های فوزاریوم بر شدت بیماری دانه‌های پسته

Table 3. Interactive effects of fungal isolates and water stress on disease severity of pistachio seedlings.

تنش خشکی	F2			F1			F0		
	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	شدت بیماری	
Water stress	مجدد (%)	ریشه	برگ	مجدد (%)	ریشه	برگ	مجدد (%)	ریشه	برگ
	Re-isolation (%)	Disease severity (Root)	Disease severity (Leaf)	Re-isolation (%)	Disease severity (Root)	Disease severity (Leaf)	Re-isolation (%)	Disease severity (Root)	Disease severity (Leaf)
80% F.C	50	1.7	1.75	46.7	1.29	1.208	0	0	0
50% F.C	73.3	2.79	2.875	60	1.87	1.625	0	0	0
25% F.C	90	4.16	4.125	66.7	2.45	2.5	0	0	0

بر اساس داده‌های موجود در جدول (۳) اعمال تنش خشکی بر دانه‌های پسته مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم باعث افزایش میزان کلینزاسیون ریشه توسط هر دو جدایه گردید. میزان کلینزاسیون ریشه توسط جدایه F1 در سه تیمار D0، D1 و D2 به ترتیب ۴۶/۷، ۶۰ و ۶۶/۷ درصد و در جدایه F2 نیز به ترتیب ۵۰، ۷۳/۳ و ۹۰

با *Phytophthora parasitica* ارائه گردیده است. مطالعات نشان می‌دهند که تنش خشکی باعث افزایش آثار منفی *M. phaseolina* در گیاهان می‌گردد (Mayek-Perez et al. 2002).

سطح کلینزاسیون ریشه توسط جدایه‌های فوزاریوم

درصد ارزیابی گردید. بر این اساس و تحت شرایط گفته شده جدایه F2 نسبت به جدایه F1 قابلیت بیشتری را در کلنیزاسیون دانه‌های پسته نشان داد. هیس (۱۹۶۱) و ادموندز (۱۹۶۴) نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش بیماری پوسیدگی ریشه در گیاه سورگوم و افزایش میزان کلنیزاسیون ریشه توسط عامل بیمارگر می‌شود. طی مطالعه‌ای که توسط غفار و اروین (۱۹۶۹) روی گیاه پنبه انجام شد نشان داده شد که تنش خشکی باعث افزایش میزان کلنیزاسیون ریشه توسط *M. phaseolina* می‌شود و در نتیجه تحت این شرایط میزان شدت بیماری نیز افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز توسط فرزانا و عبدل (۱۹۹۱) در گیاهان سویا با ایجاد شرایط تنش خشکی مشاهده و گزارش شده است. گودرزی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که بین میزان کلنیزاسیون ریشه سورگوم توسط *M. phaseolina* و تنش خشکی رابطه مستقیمی دیده می‌شود.

ارتفاع ساقه و ریشه

بر اساس نتایج به دست آمده، اعمال تیمارهای عامل بیماری به تنهایی باعث کاهش معنی‌دار طول ساقه و ریشه نسبت به تیمار شاهد شدند. بر این اساس گیاهان شاهد (F0) دارای بالاترین ارتفاع ساقه و ریشه و گیاهان مایه‌زنی شده با جدایه F2 دارای کمترین طول ساقه و ریشه بودند. با اعمال سه سطح تنش خشکی طول ساقه و ریشه در سطوح تنش D1 (تنش متوسط) و D2 (تنش شدید) نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و در این مورد بالاترین و کمترین طول ساقه و ریشه به ترتیب مربوط به تیمارهای D0 و D2 بود. در دانه‌های مایه‌زنی شده با دو جدایه فوزاریوم اعمال تنش شدید خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه و ریشه نسبت به تیمار شاهد و همچنین تیمارهای بدون تنش و تنش متوسط خشکی گردید.

بیشترین طول ساقه (۱۶/۷۸ سانتی‌متر) و طول ریشه (۱۴/۹ سانتی‌متر) در تیمار F0D0 و کمترین طول ساقه (۷/۰۴ سانتی‌متر) و ریشه (۴/۱۵ سانتی‌متر) نیز در تیمار F2D2 دیده شد (جداول ۴ و ۵). میزان کاهش ارتفاع ساقه دانه‌های پسته مایه‌زنی شده با دو جدایه F1 و F2 تحت تنش شدید خشکی نسبت به گیاهان شاهد مایه‌زنی شده با فوزاریوم به ترتیب ۷۲/۳۷ و ۶۷/۶۲ درصد ارزیابی شد (جدول ۴). میزان کاهش طول ریشه گیاهان مایه‌زنی شده با دو جدایه فوزاریوم F1 و F2 تحت تنش شدید خشکی نسبت به گیاهان شاهد مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم نیز به ترتیب ۵۲/۹۵ و ۵۳/۲۷ درصد ارزیابی شد (جدول ۵). طی آزمایشی تیو (۱۹۹۴) نشان داد که ارتفاع گیاه نخود آلوده به *Fusarium* با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد همچنین علائم بیماری و میزان خسارت وارده (کاهش رشد و وزن تر گیاه) افزایش می‌یابد. طی تحقیقی ریستینو و دونیوی (Ristaino & Duniway 1989) اعلام کردند که طول ریشه گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به *P. parasitica* با افزایش تنش خشکی و دما کاهش می‌یابد که با نتایج حاصل مطابقت دارد.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

بر اساس داده‌های موجود در جداول ۶ و ۷ اعمال تیمارهای عامل بیماری به تنهایی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه و ریشه نسبت به تیمار شاهد شدند. بر اساس نتایج به دست آمده گیاهان مایه‌زنی شده با جدایه F2 و گیاهان شاهد به ترتیب دارای کمترین و بیشترین وزن خشک ساقه و ریشه بودند. با اعمال تیمارهای تنش خشکی شاخص‌های وزن خشک ساقه و ریشه به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت به گونه‌ای

ضمناً با افزایش شدت تنش خشکی تأثیر کاهنده جدایه‌ها تشدید شد و بین دو جدایه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. وودز و دونیوی (Woods & Duniway 1986) نشان دادند که وزن خشک گل صد تومانی آلوده به *Fusarium* و *Phytophthora* با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد. طی تحقیقی محمدی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که تأثیر برهمکنش تنش خشکی و بیماری پوسیدگی ریشه ناشی از *Fusarium solani* f.sp. *pisi* در گیاه نخودفرنگی باعث کاهش وزن خشک ریشه نسبت به گیاهان شاهد می‌شود.

تیو (۱۹۹۴) در آزمایشی بیان داشت که گیاهان نخود در رطوبت خاک ۷۵ درصد ظرفیت زراعی رشد خوبی دارند و میزان بیماری پوسیدگی ریشه فوزاریومی به طور قابل

که دو تیمار D2 و D0 به ترتیب کمترین و بیشترین وزن خشک ساقه و ریشه را نشان دادند.

در بررسی شاخص وزن خشک ساقه و ریشه در گیاهان پسته مایه‌زنی شده با دو جدایه فوزاریوم تنش خشکی شدید باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه و ریشه در مقایسه با شاهد گردید. بیشترین وزن خشک ساقه (۷/۴۳ گرم) و وزن خشک ریشه (۱۴/۲۵ گرم) مربوط به تیمار F0D0 بود. در حالی که کمترین وزن خشک ساقه (۰/۴۹ گرم) و وزن خشک ریشه (۱/۶۲ گرم) در تیمار F2D2 دیده شد. میزان کاهش وزن خشک ساقه ۲۳/۷۸ درصد (جدول ۶) و میزان کاهش وزن خشک ریشه ۱۶/۲۳ درصد محاسبه گردید (جدول ۷).

با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها، مایه‌زنی گیاه با عامل بیماری در سطح تنش متوسط باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد بدون عامل بیماری شد

جدول ۴. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های قارچی و تنش خشکی بر ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) دانه‌های پسته در شرایط گلخانه

Table 4. Comparison of mean shoot height (cm) in fungal isolates and water stress interaction in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی Water stress
10.41 ^e	11.62 ^d	16.78 ^a	80% F.C
9.37 ^f	9.75 ^f	13.86 ^b	50% F.C
7.04 ^h	8.41 ^g	12.66 ^c	25% F.C

جدول ۵. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های قارچ و تنش خشکی بر طول ریشه (سانتی‌متر) دانه‌های پسته در شرایط گلخانه.

Table 5. Comparison of mean root length (cm) in fungal isolates and water stress interaction in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی Water stress
7.79 ^e	10.14 ^d	14.9 ^a	80% F.C
6.29 ^f	7.84 ^e	12.06 ^b	50% F.C
4.15 ^h	5.37 ^g	10.53 ^c	25% F.C

جدول ۶. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های فوزاریوم و تنش خشکی بر وزن خشک ساقه (گرم) دانه‌های پسته در شرایط گلخانه

Table 6. Comparison of mean shoot dry weight (g) in *Fusarium* isolates and water stress interaction effects in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی Water stress
2.06 ^c	3.01 ^b	7.43 ^a	80% F.C
1.12 ^e	1.75 ^{cd}	1.7 ^{cd}	50% F.C
0.49 ^f	1.3 ^{de}	1.1 ^e	25% F.C

جدول ۷. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های قارچ و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه (گرم) دانه‌های پسته در شرایط گلخانه

Table 7. Comparison of mean root dry weight (g) in *Fusarium* isolates and water stress interaction effects in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی Water stress
9.98 ^b	9.25 ^b	14.25 ^a	80% F.C
7.5 ^c	6.26 ^c	13.43 ^a	50% F.C
1.62 ^e	4.33 ^d	9.81 ^b	25% F.C

مربوط به تیمار D2 و بیشترین حجم ریشه مربوط به تیمار D0 بود. در تیمارهای مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم، اعمال تنش خشکی شدید نسبت به سایر تیمارهای خشکی تأثیر بیشتری در کاهش حجم ریشه نشان داد. نتایج در این زمینه نشان داد که بیشترین حجم ریشه (۲۹/۶۶ سانتی‌مترمکعب) مربوط به تیمار F0D0 و کمترین حجم ریشه (۷/۱۶ سانتی‌مترمکعب) مربوط به تیمار F2D2 می‌باشد. میزان کاهش حجم ریشه گیاهان پسته مایه‌زنی شده با دو جدایه F1 و F2 تحت تنش شدید خشکی نسبت به گیاهان پسته شاهد مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم نیز به ترتیب ۴۱/۱۴ و ۳۷/۰۴ درصد ارزیابی شد (جدول ۸). وودز و دونیوی (۱۹۸۶) نشان دادند که *Fusarium* و *Phytophthora* در شرایط تنش خشکی باعث کاهش طول ریشه‌های اولیه، تعداد

توجهی تحت این شرایط کاهش می‌یابد ولی در رطوبت بالاتر و پایین‌تر از این حد رشد گیاهان کم خواهد شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد زیرا در رطوبت خاک ۷۵-۸۰ درصد ظرفیت زراعی نهال‌های پسته از رشد خوبی برخوردار بوده و میزان بیماری پوسیدگی فوزاریومی نیز کاهش یافت.

حجم ریشه

در گیاهان مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم حجم ریشه به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت هر چند که در این مورد اختلاف معنی‌داری بین دو جدایه فوزاریوم دیده نشد. با اعمال تیمارهای تنش خشکی نیز حجم ریشه نسبت به تیمارهای بدون تنش کاهش نشان داد. بر این اساس کمترین حجم ریشه

مربوط به تیمار F1D2 است و از این نظر بین تیمارهای F1D2 و F2D2 اختلاف معنی داری دیده نشد. میزان کاهش سطح برگ گیاهان پسته مایه‌زنی شده با دو جدایه F1 و F2 تحت تنش شدید خشکی نسبت به گیاهان شاهد (مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم) به ترتیب ۱۷/۸۴ و ۱۷/۶۱ درصد ارزیابی شد (جدول ۹). بر اساس نتایج به دست آمده مایه‌زنی گیاهان و اعمال تیمارهای تنش خشکی باعث کاهش تعداد برگ نسبت به تیمار شاهد شدند. کمترین تعداد برگ در تیمارهای F2 و D2 و بیشترین تعداد برگ نیز در تیمار F0 و D0 مشاهده گردید. اگر چه اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی و جدایه‌های قارچی به طور معنی داری باعث کاهش تعداد برگ گردیدند ولی اثرات متقابل تیمارهای گفته شده تأثیر معنی داری در کاهش تعداد برگ دانه‌های پسته نداشتند (شکل های ۲ و ۳). طی مطالعه‌ای که در خصوص تأثیر تنش آب بر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersecci* جدول ۸. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های فوزاریوم و تنش خشکی بر حجم ریشه (سانتی متر مکعب) دانه‌های پسته در شرایط

انشعابات ریشه و در نتیجه کاهش توسعه سیستم ریشه‌ای در گل صد تومانی می‌شوند.

سطح و تعداد برگ

بر اساس نتایج به دست آمده در دانه‌های مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم شاخص سطح برگ کاهش یافت و اگرچه هر دو جدایه فوزاریوم نسبت به تیمار شاهد دارای اختلاف معنی داری بودند ولی بین دو جدایه استفاده شده اختلاف معنی داری دیده نشد. با اعمال تیمارهای تنش خشکی نیز سطح برگ کاهش یافت و در این مورد بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ به ترتیب مربوط به تیمارهای D0 و D2 بود. در گیاهان مایه‌زنی شده با جدایه‌های فوزاریوم اعمال تنش خشکی شدید باعث کاهش معنی دار شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد و همچنین دو سطح دیگر تنش خشکی گردید. بیشترین سطح برگ (۲۲۹/۳ سانتی مترمربع) مربوط به تیمار F0D0 و کمترین سطح برگ (۲۴/۲۲ سانتی مترمربع)

گلخانه

Table 8. Comparison of mean root volume (cm³) in *Fusarium* isolates and water stress interaction effects in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی Water stress
19.33 ^c	19.83 ^c	29.66 ^a	80% F.C
10 ^d	9.66 ^d	24.5 ^b	50% F.C
7.16 ^f	8.16 ^e	20.16 ^c	25% F.C

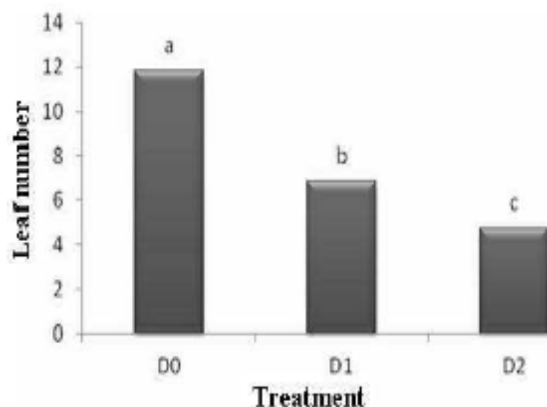
جدول ۹. مقایسه میانگین آثار متقابل جدایه‌های قارچی و تنش خشکی بر شاخص سطح برگ (سانتی متر مربع) دانه‌های پسته در شرایط

گلخانه

Table 9. Comparison of mean leaf surface area (cm²) in fungal isolates and water stress interaction effects in pistachio seedlings under greenhouse conditions.

F2	F1	F0	تنش خشکی water stress
139.8 ^b	135.7 ^b	229.3 ^a	80% F.C

35.63 ^d	37.78 ^d	88.23 ^c	50% F.C
24.63 ^e	24.22 ^e	93.11 ^c	25% F.C



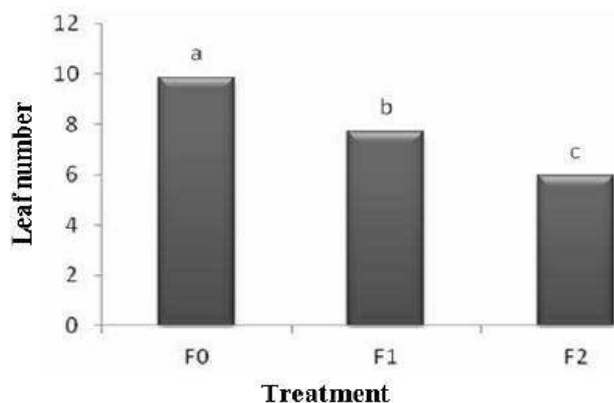
شکل ۳. مقایسه میانگین تعداد برگ دانهال‌های پسته تحت اعمال تنش خشکی (D0=با ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه D1=با ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و D2=تحت شرایط ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه).

Fig. 3. Comparison of mean leaf number of pistachio seedlings under water stress (D0=80% of F.C., D1=50% of F.C. and D2= 25% of F.C.).

باشد. به طور کلی سطوح تنش خشکی شدید شیوع و خسارت حاصل از بیماری‌های پوسیدگی ریشه را افزایش می‌دهد و کاهش شاخص‌های رشدی را در بر دارد. از آنجایی که شوری خاک نیز به عنوان یکی از فاکتورهای مهم خاک محسوب می‌شود لازم است که تأثیر شوری و همچنین برهمکنش شوری و خشکی بر بیماری پوسیدگی ریشه دانهال‌های پسته در اثر *F. solani* نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

جهت ملاحظه به صفحات (131-133) متن انگلیسی مراجعه شود.



شکل ۲. مقایسه میانگین تعداد برگ در دانهال‌های پسته مایه‌زنی شده با *Fusarium solani* (F0= شاهد و F1 و F2 جدایه‌های فوزاریوم).

Fig. 2. Comparison of mean leaf number of pistachio seedlings inoculated by *Fusarium solani* (F0= control and F1 and F2 *Fusarium* isolates).

روی فاکتورهای رشد گوجه‌فرنگی انجام شد مشخص گردید که با تنش خشکی و وجود فوزاریوم در خاک فاکتورهای مختلف از جمله سطح برگ، وزن خشک ساقه، طول گیاه و میزان نیتروژن ساقه کاهش می‌یابد (Ghaemi et al. 2009). کاهش تعداد برگ در پسته در شرایط کم‌آبی و همچنین افزایش سطح برگ در اثر آبیاری کافی توسط کانبر و همکاران (Kanber et al. 1993) نیز گزارش شده است.

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش میزان کلنیزاسیون ریشه دانهال‌های پسته توسط جدایه‌های *F. solnai* و در نتیجه افزایش شدت بیماری‌زایی این جدایه‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد گردد. بنابراین مدیریت آبیاری می‌تواند در کاهش میزان بیماری پوسیدگی ریشه نهال‌های پسته در نهالستان‌ها موثر

EFFECT OF WATER STRESS ON ROOT ROT DISEASE OF PISTACHIO SEEDLINGS CAUSED BY *Fusarium solani**

F. SALAJEGHEH Tezerji^{1**}, H. MOHAMMADI² and M. SARCHEMEHPUR¹

(Received : 25.11.2013; Accepted : 21.7.2014)

Abstract

Water stress is a major limiting factor in plant growth and can increase the incidence and severity of root rot diseases. The effects of water stress on root rot disease of pistachio seedlings caused by *Fusarium solani* were studied in a greenhouse experiment. Treatments consisted of three levels of soil moisture (D0= 80% Field capacity (FC), D1= 50% Field capacity (FC) and D2=25% Field capacity (FC)) and three levels of fungal pathogen (F0= control and F1 and F2 for two isolates of *F. solani*). The experimental arrangement was factorial with completely randomized design with six replications. According to the results, the main effects of fungal isolates and water stress treatments caused a significant reduction (at 1%) in shoot height and root length, shoot and root dry weight, shoot and root fresh weight, leaf numbers, root volume and leaf surface area over the control. Water stress and *Fusarium* interaction caused a significant reduction (at 1%) in all plant growth parameters except for root dry weight. Based on the results, water stress increased the negative effects of the pathogen. In this regard, the interaction between F2 isolate and 25% field capacity had a greater impact on reducing growth parameters. Root colonization of pistachio seedlings by *Fusarium* isolates and disease severity increased by increasing water stress. Therefore, water stress can increase the negative effects caused by *F. solani* in pistachio seedlings.

Keywords: Pistachio, *Fusarium* root rot, Root colonization, Moisture stress.

See Persian text for figures and tables (Pages ۲۶۹-۲۸۰).

*: A Part of MSc. Thesis of the First Author Submitted to College of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman, Kerman, Iran

** : Corresponding Author, Email: hmohammadi@uk.ac.ir

1. Former MSc. Student and Assis. Prof. of Soil Sci., respectively, College of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman, Kerman, Iran.

2. Assis. Prof. of Plant Pathol., College of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman, Kerman, Iran.

References

- ALIZADE, A. 1999. **Soil, Water and Plant Relationship**. 1th ed., Astan Quds Razavi Pub., Mashhad, Iran. 353 P.
- BILES, G. L., LINDSEY, D. and LIDDEL, C. M. 1992. Control of *Phytophthora* root rot of chile peppers by irrigation practices and fungicides. **Crop Protec.** 11: 58-61.
- EDMUNDS, L. K. 1964. Combined relation of plant maturity, temperature and soil moisture to charcoal stalk rot development in grain sorghum. **Phytopathology** 54: 514-517.
- FAGARIA, N. K. 2005. Soil fertility and plant nutrition research under controlled conditions: basic principle and methodology. **J. Plant Nutr.** 28 : 1975-1999.
- FARZANA, A. and ABDUL, G. 1991. Effect of water stress on rhizosphere mycoflora and root infection of soybean. **Pak. J. Bot.** 23 : 135-139.
- GHAEMI, A., RAHIMI, A. and BANIHASHEMI, Z. 2009. Effects of water stress and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on growth (leaf area, plant height, shoot dry matter) and shoot nitrogen content of tomatoes under greenhouse conditions. **Iran Agric. Res.** 28 :52-62.
- GHAFFAR, A. and ERWIN, D. C. 1969. Effect of soil water stress on root rot of cotton caused by *Macrophomina phaseolina*. **Phytopathology** 59: 795-797.
- GOUDARZI, A., BANIHASHEMI, Z. and MAFTOUN, M. 2011. Effect of salt and water stress on root infection by *Macrophomina phaseolina* and ion composition in shoot in sorghum. **Iran. J. Plant Pathol.** 47(3): 69-83.(In Farsi With English Summary).
- HIS, C. H. 1961. An effective technique for screening sorghum for resistance to charcoal rot. **Phytopathology** 51: 340-341.
- KANBER, R., YAZAR, A., ONDER, S. and KOKSAL, H. 1993. Irrigation response of pistachio. **Irrig. Sci.** 14(1) : 7-14.
- KRAFT, J. M., HAWARE, M. P., JIMENEZ-DAZ, R. M., BAYAA, B. and HARRABI, M. 1994. Screening techniques and sources of resistance to root rots and wilts in cool season food legumes. **Euphytica** 73: 27-39.
- KRAFT, J. M., KAISER, W. J. 1993. Screening for Disease Resistance in Pea. Pp. 123-144, *In*: K. B. Singh and M. C. Saxena (Eds.), **Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes**. John Wiley and Sons Pub., New York.
- MCFADDEN, W., HALL, R. and PHILLIPS, L. G. 1989. Relation of initial inoculum density to severity of fusarium root rot of white bean in commercial fields. **Can. J. Plant Pathol.** 11:122-126.
- MAYEK-PEREZ, N., GARCIA-ESPINOSA, R., LOPEZ-CASTANED, C., ACOSTA-GALLEGO, J. A. and SIMPSON, J. 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** 60: 185-195
- MOHAMMADI, A. H. and HAGHDEL, M. 2009. The effects of different levels of drought in *Phytophthora* crown and root rot of pistachio in the greenhouse. **Proc. 11th Iran. Soil Sci. Cong., Gorgan, Iran.**
- MOHAMMADI, H., SARCHESHMEHPOUR, M. and MAFI, E. 2012. Effects of drought and salinity stress on pea root rot caused by *Fusarium solani* f.sp. *pisi*. **Proc. 20th Iran. Plant Protec. Cong., Shiraz, Iran,** 1 (Abst).
- RISTAINO, J. B. and DUNIWAY, J. M. 1989. Effect of preinoculation and postinoculation water stress on the severity of *phytophthora* root rot in processing tomatoes. **Plant Dis.** 73: 349-352.
- SAGIR, A., EYLEN, M. and PIRING, V. 2005. Effect of irrigation methods on pepper crown rot disease caused by *Phytophthora capsici* Leonian. **Intl. J. Agric. Biol.** 804-806.
- SALAJEGHEH-TEZERJI, F., MOHAMMADI, H. and SARCHESHMEHPOUR, M. 2013. Root rot disease of pistachio seedlings by *Fusarium solani* in Kerman province. **Proc. 8th Iran. Horticult. Sci. Cong., Hamedan, Iran.**
- SHARMA, M. and PANDE, S. 2013. Unravelling effects of temperature and soil moisture stress response on development of dry root rot (*Rhizoctonia bataticola* (Taub.)) Butler in Chickpea. **Am. J. Plant Sci.** 4: 584-589.

- TU, J. C. 1994. Effect of soil compaction, temperature and moisture on the development of the *Fusarium* root rot complex of pea in southwestern Ontario. **Phytoprotection** 75: 125-131.
- WOODS, D. M. and DUNIWAY, J. M. 1986. Some effects of water potential on growth, turgor and respiration of *Phytophthora cryptogea* and *Fusarium moniliforme*. **Phytopathology** 76: 1248-1254.