Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.4, No.1, Spring & Summer 2021
Research Paper

DOI: 10.22070/HPN.2021.5816.1113

Survey correlation between some soil physicochemical properties on the severity of tomato Fusarium wilt and yield in the Ramian region, Golestan province, Iran

N. Tatari [1] ***, S.E. Razavi*** [2*] ***, S.J. Sanei*** [3] ***, E. Lotalinezhad*** [4]

1- MSc. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Plant Protection, Gorgan, Iran.
nafiseh.tatari@gmail.com
2- Corresponding Author, Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Plant Protection, Gorgan, Iran.
razavi@gau.ac.ir
3- Instructor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Plant Protection, Gorgan, Iran.
sa_nei@yahoo.com
4- PhD Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Plant Protection, Gorgan, Iran.
elahelotfalinezhad@yahoo.com

Received Date: 2019/10/30 Accepted Date: 2020/11/25

Abstract

Introduction: Tomato is one of the widely grown vegetables worldwide. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* is the significant contributory pathogen of tomato vascular wilt, and is a limiting factor of tomato production in Ramian region, Golestan province, Iran. This experiment was conducted for evaluation of soil physicochemical properties impacts on tomato Fusarium wilt.

Material and methods: Soil samples were randomly selected from the Ramian region tomato fields and the physical (pH, EC) and chemical (organic matter, N, P, K) properties were measured by titration, flame photometry and spectrophotometry methods. Disease assessment (soil inoculum, external and internal scales) also recorded in different fields. A correlation analysis was used for analyzing the association between disease assessments with soil physicochemical properties, a correlation analysis was used.

Results and discussion: The results of the study showed a low positive, but significant correlation between pH and soil inoculum. In return, the correlations between EC, N, P, K and organic matter and soil inoculums were not statistically *significant*. There was a significant correlation between EC, K and soil inoculums with external scale, also a positive and negative correlation observed between internal scale with soil inoculums and with K and P levels, respectively. The correlation between soil inoculum with yield of first, second and total harvests were not statistically *significant*, but a negative significant correlation observed between soil inoculum with yield of third harvest. The correlation of internal scale and yield of first harvest was also negative and significant.

Conclusions: The results showed the low significant correlation of potassium and phosphorus on Fusarium wilt intensity in the Ramian region tomato fields.

Keywords: *Fusarium oxysporum*, Golestan, Nutrient elements, *Solanum lycopersicum*.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، (ص ۱۶- ۱)
مقاله پژوهشی

DOI: 10.22070/HPN.2021.5816.1113

بررسی همبستگی خصوصیات فیزیکی و عناصر غذائی خاک بر شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی و عملکرد گوجه‌فرنگی در منطقه رامیان، استان گلستان

نفیسه طاطاری [۱]، سید اسماعیل رضوی [۲*]، سید جواد صانعی [۳]، الهه لطفعلی نژاد [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان. ایران.
nafiseh.tatari@gmail.com

۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
razavi@gau.ac.ir

۳- مربی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
sa_nei@yahoo.com

۴- دانشجوی دکتری، گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
elahelotfalinezhad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵**

چکیده

دلایل مختلفی مانند بیماری‌های گیاهی سبب کاهش محصول گوجه‌فرنگی می‌شوند. بیماری پژمردگی آوندی ناشی از قارچ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های این محصول است که همه ساله خسارت زیادی را به تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی در سراسر جهان وارد می‌سازد. این آزمایش به منظور بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک بر شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی در منطقه رامیان (استان گلستان) اجرا گردید. بدین منظور تعدادی مزارع مختلف گوجه‌فرنگی در منطقه به صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. سپس ویژگی‌های مختلف فیزیکی (هدایت الکتریکی و pH) و شیمیایی (نیتروژن، پتاسیم، فسفر و ماده آلی) خاک اندازه‌گیری گردید. ارزیابی بیماری نیز با شمارش تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر در خاک و شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی توسط مقیاس‌های ظاهری (علائم برگی) و داخلی (تغییر رنگ آوندی) در مزارع مختلف ثبت شد. نتایج نشان داد که همبستگی بین pH خاک با مقدار مایه‌ی تلقیح بیمارگر اگرچه کم، اما معنی‌دار بود. در مقابل، همبستگی معنی‌داری بین EC، مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ماده آلی خاک با تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر مشاهده نشد. همبستگی‌های بین EC، مقدار پتاسیم خاک و مایه‌ی تلقیح بیمارگر با مقیاس ظاهری نیز پایین، اما معنی‌دار بوده است، هم‌چنین همبستگی بین مقیاس داخلی با تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر به صورت مثبت و با فسفر و پتاسیم خاک به صورت منفی مشاهده شد. در مزارع مورد بررسی هیچ‌گونه همبستگی بین تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر با صفات عملکرد چین اول، دوم و عملکرد کل مشاهده نشد، اما همبستگی بین تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر با عملکرد چین سوم منفی و معنی‌داری بوده است. مقیاس داخلی با عملکرد چین اول گوجه‌فرنگی نیز همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. به طور کلی، این مطالعه همبستگی معنی‌دار و پایین پتاسیم و فسفر خاک را بر شدت پژمردگی فوزاریومی در مزارع گوجه‌فرنگی منطقه رامیان نشان داد.

کلمات کلیدی: عناصر غذایی، گلستان، *Fusarium oxysporum*، *Solanum lycopersicum*.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از محبوب‌ترین سبزی‌های جهان محسوب می‌شود که به علت داشتن انواع ویتامین‌ها (به ویژه ویتامین C)، کاروتن، اسیدهای مفید، قند و املاح معدنی نقش ویژه‌ای در سلامتی انسان ایفا می‌کند (Zorb et al., 2020). میزان تولید گوجه‌فرنگی در سراسر جهان در سال ۲۰۱۸ به مقدار ۱۸۳ میلیون تن و عملکرد ۳۸ تن در هکتار بوده است (FAO, 2019). در همین سال میزان تولید گوجه‌فرنگی در ایران ۶ میلیون و ۲۰۰ هزار تن با متوسط عملکرد ۴۰ تن در هکتار برآورد شد. سهم استان گلستان از سطح زیر کشت و تولید سالانه گوجه‌فرنگی به ترتیب ۶ هزار هکتار و ۲۴۵ هزار تن می‌باشد که بخش اعظم آن در منطقه رامیان کشت می‌شود (Ahmady et al., 2019).

عوامل متعددی از جمله بیماری‌های گیاهی سبب کاهش یا از بین رفتن محصول گوجه‌فرنگی می‌شوند (Borrero et al., 2012). بیماری پژمردگی آوندی ناشی از قارچ *Fusarium oxysporum* Schlectend.: Fr. f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder and H.N. Hansen (FOL) یکی از مهم‌ترین بیماری‌های این محصول است که همه ساله خسارت زیادی را به تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی در سراسر جهان وارد می‌سازد (Srinivas et al., 2019). میزان خسارت ناشی از بیماری در دامنه ۴۰- ۲۰٪ محصول گزارش شده است که در شرایط آب و هوایی مناسب، خسارت ممکن است به ۸۰٪ برسد (Tyagi and Paudel, 2014). این بیماری اولین بار توسط ماسی در سال ۱۸۹۵ از انگلستان گزارش شد (Issaci et al., 2018). پژمردگی آوندی گوجه‌فرنگی در ایران برای نخستین بار در سال ۱۳۶۴ از استان هرمزگان و از مناطق قلعه قاضی، رضوان، سرخون و کهورستان معرفی گردید (Fassihiani, 1985). سپس در سال ۱۳۷۱ از حومه ورامین با حداکثر آلودگی ۲۷/۳ درصد گزارش شد (Etebarian, 1392). بیماری خشکیدگی بوته‌های گوجه فرنگی در آذربایجان شرقی در مرحله گلدهی از خزانه‌ها و مزارع نیز گزارش شده است (Manafi et al., 2012).

بیماری پژمردگی فوزاریومی به علت دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل انتشار گسترده، ایجاد خسارت قابل‌ملاحظه، بقای طولانی مدت عامل بیماری در خاک، داشتن نژادهای فیزیولوژیک مختلف و مشکل بودن مبارزه شیمیایی با آن در ردیف مهم‌ترین بیماری‌های گوجه فرنگی قرار گرفته است (Ajigbola and Babalola, 2013). در حال حاضر، مدیریت بیماری در مزرع و گلخانه شامل استفاده از پیوندهای رویشی، تناوب زراعی، تعویض خاک و مصرف سموم شیمیایی به ویژه ترکیبات ضدعفونی کننده خاک می‌باشد (Staniaszek et al., 2007).

یکی از شاخص‌های مدیریت در بیماری گیاهان، کیفیت خاک می‌باشد که به طور مستقیم و غیرمستقیم روی عوامل بیماری‌زا تاثیر می‌گذارد. شاخص‌های کیفیت خاک در یک اکوسیستم دربرگیرنده تعداد زیادی از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی هستند که ظرفیت یک خاک جهت حمایت از تولید گیاهان و فلور میکروبی خاک را تعیین می‌کنند (*Arshad and Martin, 2002*). عمده‌ترین این ویژگی‌ها مقدار کربن آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی، اسیدیته و میزان عناصر غذایی و متعاقب این موارد جمعیت میکروبی خاک‌زی هستند (Spaccini et al., 2004).

پژوهش‌های مختلفی به نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک بر بیماری پژمردگی فوزاریومی اشاره داشته‌اند (Corrales Escobosa et al., 2010). برخی از این ویژگی‌ها از جمله بافت خاک، پتانسیل آب خاک، تخلخل، pH، کربن آلی خاک، فراهمی کاتیون‌هایی از قبیل آهن، آلومینیوم و منگنز، به‌طور غیر مستقیم در سرکوبی بیماری‌های گیاهی نقش به سزایی دارند (Domınguez et al., 2001; Hoeper, et al., 1995). ویژگی‌های دیگر مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم با تاثیر بر رشد میزبان، تحریک

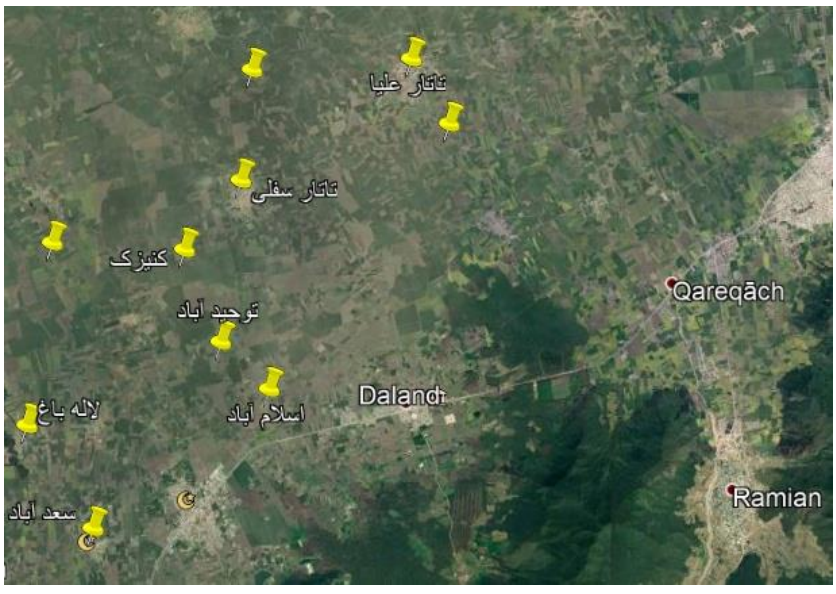
مقاومت میزبان و موجودات زنده خاک، نقش مهمی بر ظهور، درصد و شدت بیماری‌های گیاهی دارند (Song et al., 2004). در این رابطه، کاربرد عناصر غذایی در خاک به طور مستقیم یا غیرمستقیم روی عوامل بیماری‌زا، قدرت رشد گیاه، مشخصات سلولی و ساختمانی مانند ضخامت کوتیکول و اپیدرم، سیلیسی شدن و لیگنی‌شدن تاثیر می‌گذارد و به این ترتیب در اجتناب از بیماری پژمردگی فوزاریومی موثر است (Younesi et al., 2014).

پژوهش‌های مختلف در مورد تاثیر عناصر غذایی بر بیماری پژمردگی فوزاریومی اغلب در محیط آزمایشگاه بوده و کمتر به ارتباط بین کیفیت خاک و ایجاد و شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی در شرایط طبیعی (مزرعه) توجه شده است. با توجه به سطح زیر کشت بالای گوجه‌فرنگی استان گلستان در منطقه رامیان و گسترش کشت این محصول در منطقه، هم‌چنین خسارت اقتصادی پژمردگی فوزاریومی، لازم است کلیه عوامل موثر در کاهش این بیماری از جمله تاثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک به ویژه عناصر معدنی روی توسعه این بیماری بررسی شوند. در این تحقیق همبستگی بین مهم‌ترین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک بر شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی به منظور مهار آن مد نظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

به منظور تعیین همبستگی بین ویژگی فیزیکوشیمیایی خاک و شیوع بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی، ۲۰ مزرعه مختلف در ۱۰ منطقه از شهرستان رامیان (هر منطقه دو مزرعه) در سال زراعی ۱۳۹۸ انتخاب شد (نمودار ۱). این مزارع از نظر کشت رقم گوجه‌فرنگی (رقم زودرس Eden) و سابقه‌ی آلودگی به بیماری پژمردگی فوزاریومی مشابه بودند. نمونه‌برداری در هر مزرعه به صورت تصادفی، به صورت W و با استفاده از دستگاه GPS در سطح مزرعه صورت گرفت. در هر مزرعه شش واحد نمونه‌برداری با مساحت ۱۲ متر مربعی انتخاب و در هر واحد چهار گیاه برای بررسی انتخاب گردید. چین‌های اول، دوم و سوم مزارع پس از ۸۰، ۹۰ و ۱۱۰ روز از کاشت نشای گوجه‌فرنگی در اواسط فروردین بوده است.



نمودار ۱- مکان‌های نمونه‌برداری در مناطق مختلف شهرستان رامیان، استان گلستان.

Figure 1. Sampling points in different region of Ramian county, Golestan province

تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری بایوکس (Gee and Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌ی گِل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و pH توسط دستگاه پ‌هاش‌متر شیشه‌ای در گِل اشباع (Jackson, 1967) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل ماده آلی، پتاسیم و فسفر به ترتیب به روش‌های تیتراسیون (Nelson and Sommers, 1996)، فلیم‌فتومتر (Knudsen *et al.*, 1982) و رنگ‌سنجی (Olsen *et al.*, 1954) بوده است. مقدار نیتروژن خاک نیز بر اساس کربن آلی محاسبه گردید (Ayoubi et al., 2007).

اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر در گیاه

مقدار ۱ گرم از نمونه‌های برگ پس از خشک‌شدن در دمای ۷۲ درجه‌ی سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت و پودر شدن، در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شد. هضم نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال بوده و اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر به ترتیب به فلیم‌فتومتر (Knudsen et al., 1982) و رنگ‌سنجی (Olsen et al., 1954) بوده است.

جداسازی و تعیین جمعیت بیمارگر در خاک

به منظور جداسازی و برآورد قارچ بیمارگر در نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، از محیط کشت اختصاصی کومادا (Komada's selective medium) استفاده گردید (Komada,1975). در این روش پس از پخش نمودن ۰/۱ میلی‌لیتر از رقت‌های مختلف خاک بر روی سطح محیط کشت کومادا، تشتک‌های کشت در شرایط تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شد. پس از یک هفته جدایه‌های *Fusarium* spp. با توجه به ویژگی‌های رشد و شکل پرگنه و مشخصات میکروسکوپی و با استفاده از کلیدهای شناسایی Burgess et al. (1994) و لزلی و سومرل (Leslie and Summerell, 2006) شناسایی شدند.

ارزیابی بیماری در مزرعه

ارزیابی بیماری در مزارع قبل از چین آخر بر اساس مقیاس علائم ظاهری بوته (۳-۰) انجام شد (Vakalounakis and Fragkiadakis, 1999) که در آن ۰= بدون علائم مشخص روی برگ، ۱= زردشدن برگ، پژمردگی و تیرگی کم یا متوسط در قسمت بالای ریشه و ریشه‌های ثانویه و خشکیدگی طوقه، ۲= زردی متوسط یا شدید برگ همراه یا بدون پژمردگی، کوتولگی شدید در قسمت بالای ریشه، ریشه‌های ثانویه، خشکیدگی طوقه همراه یا بدون پژمردگی هیپوکوتیل و تغییررنگ آوندی در ساقه و ۳= مرگ گیاهان بوده است. پس از ارزیابی علائم ظاهری بیماری، درصد بروز بیماری با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد (Song et al., 2004):

$$\text{درصد بروز بیماری} = \frac{\Sigma\left(\text{مقیاس} \times \text{تعداد گیاهان آلوده شده}\right)}{\text{تعداد کل گیاهان} \times \text{بالاترین مقیاس}} \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

علائم تغییر رنگ آوندی در بوته‌های آلوده بر اساس مقیاس داخلی ۳-۰ انجام شد. که در آن، ۰= فاقد تغییررنگ آوندها، ۱= تغییر رنگ کم آوندها (معمولا در نوک ریشه‌های بالایی)، ۲= تغییر رنگ شدید آوندها به صورت نواری در ریشه و ۳= تغییر رنگ شدید آوندها به صورت نواری در ریشه و ساقه بوده است (Rowe, 1980).

عملکرد محصول در قسمت‌هایی از مزرعه که نمونه‌گیری خاک از آن قسمت انجام شده بود، در چین‌های

مختلف اندازه‌گیری شد. بررسی قارچ بیمارگر در گیاهان آلوده با کشت قطعه‌هایی از ریشه و ساقه‌ی گیاهان بر روی محیط کشت اختصاصی کومادا پس از چین سوم انجام شد (Komada,1975).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار R 3.5.0 و Excel 2010 صورت گرفت و همبستگی بین هر یک از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با درصد بروز بیماری و علائم ظاهری و داخلی فوزاریوم گوجه‌فرنگی مشخص گردید.

نتایج و بحث

علایم بیماری

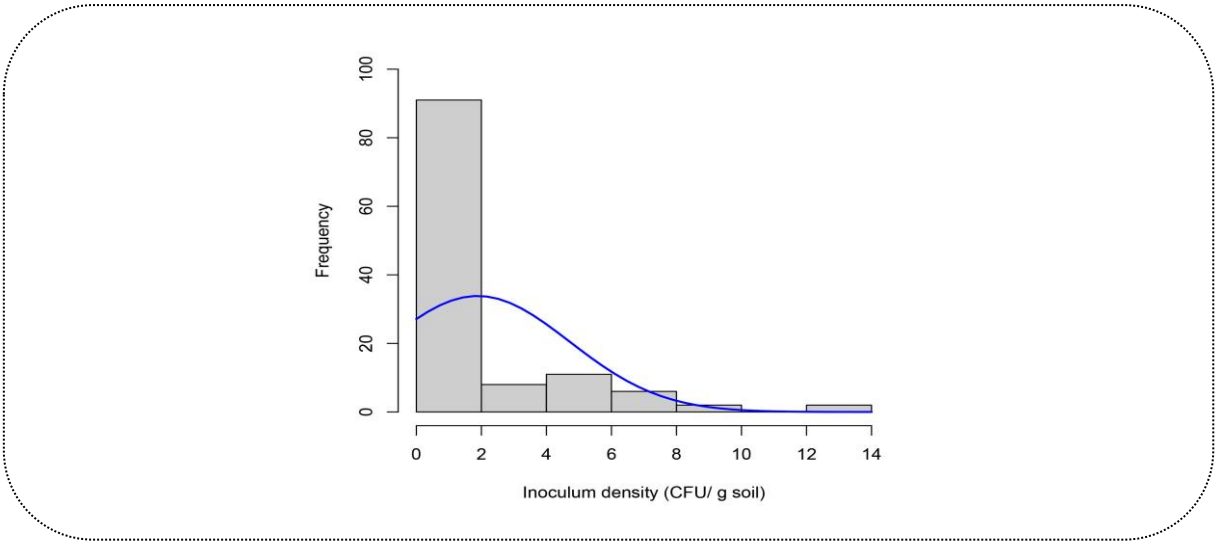
نشانه‌های بیماری پژمردگی گیاهان گوجه‌فرنگی در مزرعه‌های مورد بررسی با علایم گزارش شده توسط پژهشگران مشابه بود (Sally et al., 2006). این علایم در گیاهان بالغ به صورت خمیده‌شدن و پژمرده‌شدن برگ‌های پایین‌تر مشاهده شد. رگبرگ‌های بی‌رنگ شده و علایم زردی، در برگ‌های پایین‌تر از علایم زودهنگام بیماری بوده است. علایم زردی اغلب در یک طرف گیاه مشاهده می‌شدند (نمودار ۲).

نمودار ۲- علایم بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی در مزرعه: برگ آلوده (راست)، پژمردگی یک‌طرفه (وسط) و تغییر رنگ آوندی در محل طوقه (چپ).

Figure 2. Tomato fusarium wilt symptoms in field: Infected leaf (right), unilateral wilt (middle) and vascular discoloration in crown region (left).

جداسازی و تعیین تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر

کمترین و بیشترین مایه‌ی تلقیح در مزارع مورد بررسی در دامنه‌ی ۱ و ۱۴ زادمایه به ازای گرم خاک قرار داشت (۰/۲۶ ± ۲/۸۳). نمودار فراوانی تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر دارای چولگی به سمت چپ (با چولگی ۰/۷۴۵) می‌باشد که نشان می‌داد میزان آلودگی مزارع مورد بررسی به میزان متوسط بوده است (نمودار ۳). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد مایه‌ی تلقیح و مقیاس ظاهری مشاهده شد (جدول ۱). بنابراین، این مقیاس می‌تواند در تخمین میزان بیماری پژمردگی فوزاریومی در گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط بین مایه تلقیح و ایجاد و شدت بیماری در پژمردگی‌های فوزاریومی مختلف گزارش شده است (Paugh and Gordon, 2019; Scott et al. 2012).



نمودار ۳- فراوانی تعداد مایه‌ی تلقیح *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* در خاک مزارع گوجه‌فرنگی منطقه رامیان.
Figure 3. Frequency of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* inoculum in tomato fields of Ramian region.

جدول ۱- ضریب همبستگی پیرسون بین مقیاس‌های شدت برای بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی و مایه‌ی تلقیح *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*
Table 1. Pearson correlation between disease severity *scales* for tomato Fusarium wilt and *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* inoculum density

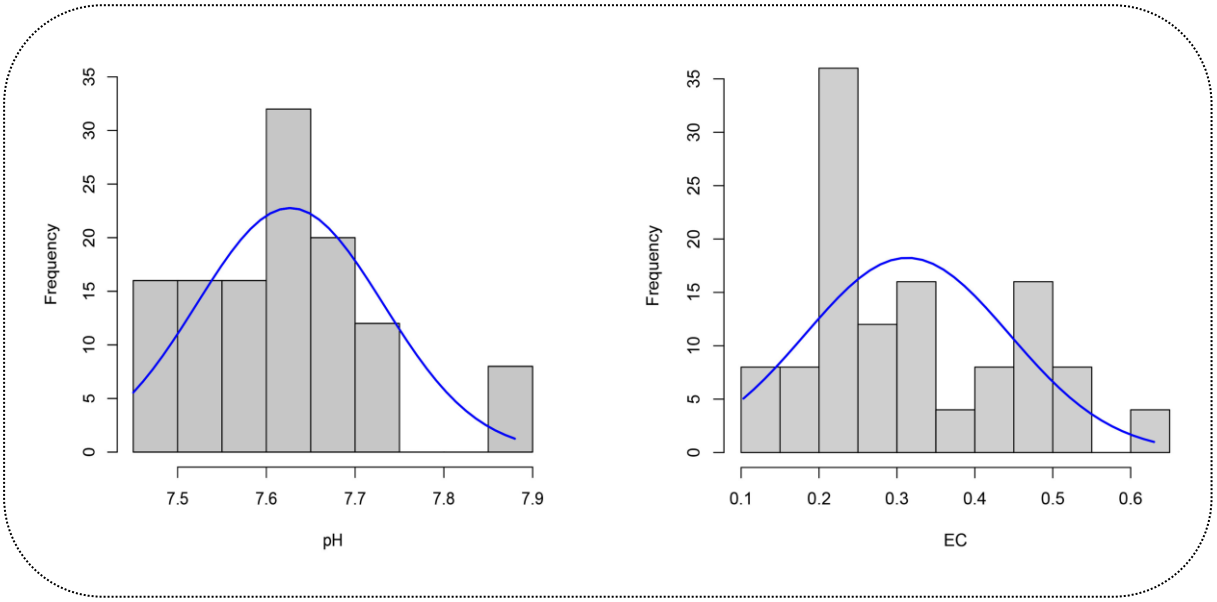
Variable	External scale	Internal scale	Inoculum density
External scale	1.00		
Internal scale	0.56 **a	1.00	
Inoculum density	0.38 **	0.31 ***	1.00

a **: همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، *: همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵. ns: فاقد همبستگی معنی‌دار.
a **: Significant at the 0.01 level, *: Significant at the 0.05 level, ns: Nonsignificant.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

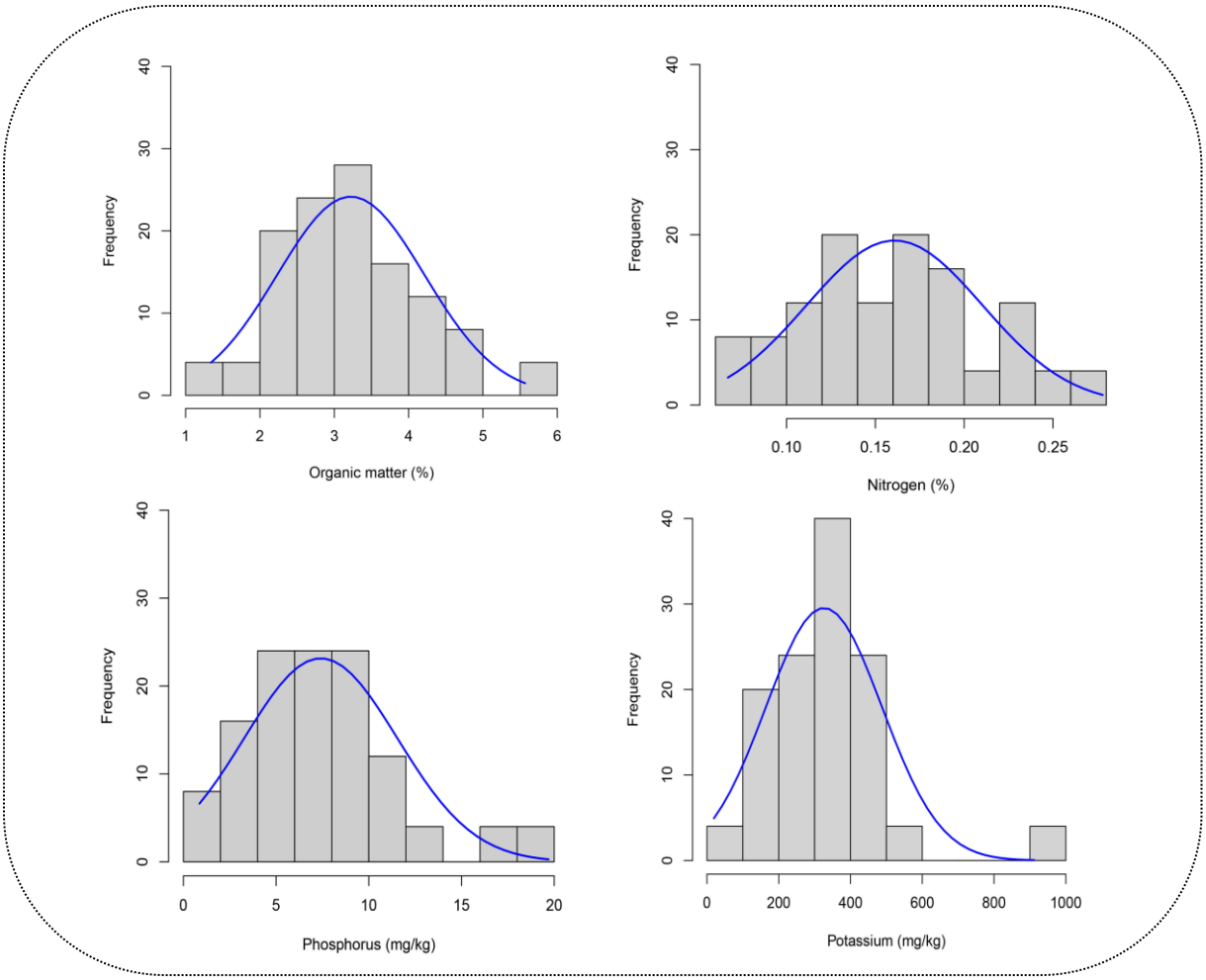
ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل هدایت الکتریکی و pH خاک در نمودار ۴ آمده است. هدایت الکتریکی خاک‌های مورد بررسی در دامنه‌ی ۰/۱۰۳- ۰/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود و چولگی این نمودار اندکی به سمت راست (۰/۷۸۷) تمایل داشت. بیشترین مقدار فراوانی pH ۷/۸۸ بود، به نحوی که pH حدود ۴۵ درصد مزارع در این محدوده قرار داشت. چولگی این صفت تمایل بسیار اندکی به سمت راست (۰/۲۰۹) داشته است.

ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ماده‌ی آلی خاک در نمودار ۵ آمده است. مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ماده‌ی آلی خاک به ترتیب در دامنه‌ی ۰/۰۶۷-۰/۲۷۸، ۰/۸۶۶- ۱۹/۶۸۹، ۱۹/۴۴-۹۱۱/۹۱ و ۱/۳۴۱- ۵/۵۶۷ قرار داشتند. بیشترین درصد فراوانی برای مقدار نیتروژن خاک مربوط به مقدار ۰/۱۲ و ۰/۱۶ درصد بود. نمودار فراوانی این صفت دارای چولگی به سمت راست (۰/۶۹۰) بود. بیشترین درصد فراوانی مقدار فسفر مربوط به مقادیر ۴- ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. هم‌چنین مشخص شد که نمودار فراوانی مقادیر فسفر دارای چولگی به سمت راست (۰/۹۸۴) می‌باشد. بیشترین درصد فراوانی مقدار پتاسیم خاک به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با چولگی ۱/۵۴مربوط بود. چولگی‌های درصد فراوانی ماده آلی و کربن خاک نیز به سمت راست گرایش داشته‌اند.



نمودار ۴- خصوصیات فیزیکی خاک قبل از اجرای آزمایش.

Figure 4. Physical properties of the soil before the experiment.

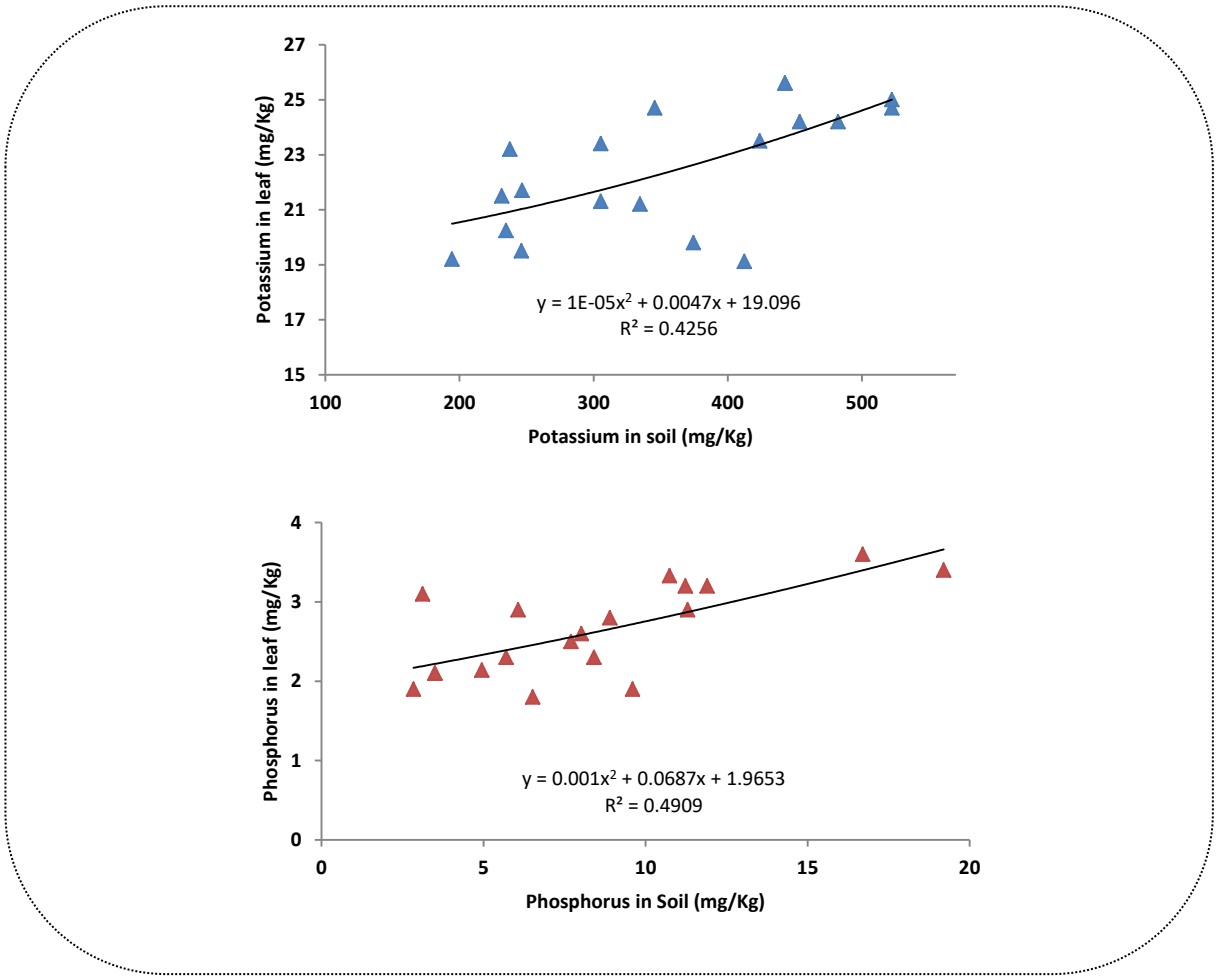


نمودار ۵- خصوصیات شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش.

Figure 5. Chemical properties of the soil before the experiment.

غلظت پتاسیم و فسفر در گیاه و خاک

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر در برگ نشان داد که تغییر غلظت پتاسیم و فسفر در خاک میزان این عناصر را در برگ گیاه تحت تاثیر قرار می‌دهد، اگرچه همبستگی مقدار عناصر در خاک و گیاه در هر دو عنصر کمتر از ۰/۵ بوده است (۰/۴۲۵۶ برای پتاسیم و ۰/۴۹۰۹ برای فسفر، نمودار ۶). همبستگی‌های پایین به دست آمده با مطالعات مختلف در رابطه با تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر جذب عناصر توسط گیاه پشتیبانی می‌شود (Villamil et al., 2019 Bindraban et al., 2020;).



نمودار ۶- ارتباط بین مقادیر پتاسیم و فسفر در خاک و برگ گیاه.

Figure 6. The relationship between potassium and phosphorus concentrations in soil and leaf.

همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با تعداد مایه‌ی تلقیح FOL

ضرایب همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه با تعداد مایه‌ی تلقیح FOL در مزارع گوجه‌فرنگی در جدول ۲ آمده است. در این رابطه، همبستگی بین pH با مقدار مایه‌ی تلقیح بیمارگر اگرچه کم (۰/۱۸)، اما معنی‌دار بود. در مقابل، همبستگی معنی‌داری بین EC، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ماده آلی با تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر مشاهده نشد.

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین pH و تعداد مایه‌ی تلقیح FOL در خاک نشان می‌دهد که محیط‌هایی با pH بالاتر برای بیمارگر در خاک مناسب‌تر می‌باشند. در

آزمایش حاضر، pH مزارع گوناگون بین ۷/۴ تا ۷/۹ متغیر بوده و در این بازه، مقادیر بالاتر، افزایش شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی در گوجه‌فرنگی را البته با همبستگی بسیار کم (۰/۱۸) به همراه داشت. اگرچه، pH بهینه برای رشد، اسپورزایی و بیماری‌زایی فرم‌های اختصاصی *Fusarium oxysporum* در دامنه ۷- ۵ گزارش شده است، اما pHهای ۸-۷ نیز کاهش چشمگیری را برای رشد، اسپورزایی و بیماری‌زایی به همراه ندارد (Pal et al., 2019; Sharma et al, 2011).

همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با مقیاس ظاهری بیماری

ضرایب همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه با مقیاس ظاهری بیماری پژمردگی در مزارع گوجه‌فرنگی در جدول ۲ آمده است. در این رابطه، همبستگی‌های بین EC، پتاسیم و مایه‌ی تلقیح بیمارگر با مقیاس ظاهری معنی‌دار بوده است. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت الکتریکی با مقیاس ظاهری بیماری پژمردگی در مزارع گوجه‌فرنگی (۰/۲۷) تاثیر مثبت افزایش EC را بر بیماری نشان می‌دهد. سایر محققین نیز تاثیر هدایت الکتریکی خاک (در دامنه‌ی غیرتنش) بر بیماری‌های گیاهی خاک‌زی را گزارش کرده‌اند (Paplonatas et al., 1992). در مقابل، شوری شدید خاک (۴ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر) باعث کاهش تعداد مایه‌ی تلقیح FOL می‌شود (Amir and Alabouvette, 1993; Chitarra et al., 2014). در آزمایش حاضر، تاثیر مثبت افزایش هدایت الکتریکی خاک بر شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی مشاهده شد. این نتایج احتمالا به دامنه‌ی غیرتنش شوری (کمتر از یک و بین ۰/۱ تا ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر) در خاک‌های مورد بررسی مربوط بوده است.

وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین مقدار پتاسیم خاک با مقیاس ظاهری بیماری پژمردگی در مزارع گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده‌ی واکنش معکوس این دو صفت می‌باشد. پتاسیم یک عنصر ضروری برای کلیه‌ی موجودات زنده است و به عنوان مهم‌ترین کاتیون به صورت فعال جذب می‌شود. این عنصر در تنظیم سنتز ترکیب‌های مختلف دخالت دارد و در فعالیت آنزیمی از جمله افزایش رشد و استحکام ریشه و بهبود جذب آب و مواد غذایی، افزایش تولید بافت‌های ساختاری، بهبود فرآیندهای چرخه‌ی فتوسنتز و تنفس، افزایش انتقال قند در گیاه، کاهش پژمردگی گیاه و کاهش و به تعویق انداختن بیماری‌های گیاهی اثر می‌گذارد (Carvalhais et al., 2011; Fageria et al., 2010). تاثیر پتاسیم بر ایجاد و شدت بیماری‌های گیاهی به صورت مثبت، منفی یا بی‌تاثیر توسط محققان مختلف گزارش شده است (Hao et al., 2009; Huber and Haneklaus, 2007). پتاسیم کافی در ارتباط نزدیک با رشد و مقاومت گیاه علیه بیمارها می‌باشد (Amtmann et al., 2008; Pretorius et al., 1999). گزارش‌های مختلف افزایش مقدار پتاسیم خاک را در ارتباط با کاهش ایجاد و شدت بیمارگرهای مختلف خاک-زی از جمله بیماری پژمردگی‌های آوندی نشان می‌دهد (Cao et al., 2016; Wang et al., 2013). یافته‌های Tavakol Norabadi et al. (2012) در بررسی اثر متقابل تغذیه پتاسیمی و بیماری پژمردگی فوزاریومی نشان داد که افزایش غلظت پتاسیم خاک سبب القا مقاومت در گیاه گوجه‌فرنگی و کاهش خسارت ناشی از بیماری پژمردگی فوزاریومی می‌شود. این عنصر غذایی در خاک ممکن است به طور مستقیمی یا غیرمستقیم روی عوامل بیماری‌زا، قدرت رشد گیاه، ویژگی‌های سلولی و ساختمانی گیاه (مانند ضخامت کوتیکول و اپیدرم، سیلیسی شدن و لیگنی شدن) تاثیر گذارد (Younesi et al., 2007). در این رابطه، پتاسیم با افزایش ترکیب‌های فنولی در افزایش مقاومت گیاهان گوجه‌فرنگی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی موثر بوده است (Sereme et al., 2016). از طرفی، کودهای پتاسیم در خاک‌هایی که به طور طبیعی پتاسیم بالایی دارند، کاهش پژمردگی را به همراه نداشته است (Huber and

Haneklaus, 2007). هم‌چنین مؤثر بودن پتاسیم در کاهش پژمردگی به سطح مقاومت میزبان و تراکم میکرواسکلروت بیمارگر در خاک بستگی دارد (Hao et al., 2009; Sharoubeem et al., 1966). فقدان اطلاعات در مورد رفتار گوجه‌فرنگی Eden در مقابل سطوح مختلف پتاسیم در خاک، هم‌چنین میزان تحمل این رقم در مقابل مقادیر مختلف مایه‌ی تلقیح FOL در خاک، تفسیر اثرگذاری پایین پتاسیم را بر کاهش پژمردگی فوزاریمی در مزارع مختلف گوجه‌فرنگی منطقه‌ی رامیان با مشکل مواجه می‌کند.

جدول ۲ همبستگی معنی‌داری بین مقدار نیتروژن و فسفر خاک با مقیاس ظاهری بیماری پژمردگی در مزارع گوجه‌فرنگی را نشان نمی‌دهد. نیتروژن از عناصر غذایی است که بیشترین تحقیقات مربوط به تاثیر آن روی بیماری‌های گیاهی گزارش شده است. در این رابطه، میزان نیتروژن در دسترس نسبت به نیازهای گیاه و هنگام دادن آن تاثیر چشمگیری روی ایجاد بیماری داشته است (Snoeijers et al., 2000). شکل نیتروژن، شرایط محیطی، میزان مایه‌ی تلقیح بیمارگر و پرآزاری آن هم‌چنین بر تاثیر مثبت، منفی یا عدم تاثیر این عنصر موثر بوده است (Sarhan et al., 1982). فسفر همراه با نیتروژن و پتاسیم برای رشد و تولید مثل گیاه ضروری است. این عنصر نیز نقش حیاتی در مجموعه واکنش‌های آنزیمی دارد. تاثیر فسفر بر مقاومت گیاهان به بیماری‌ها متفاوت بوده است. این تفاوت به حساسیت رقم، میزان اولیه‌ی فسفر در خاک، میزان مایه‌ی تلقیح در خاک و سطح عناصر غذایی دیگر نسبت داده می‌شود (Sanogo et al., 20001; Yergeau et al., 2006). تغییر در مقدار مایه‌ی تلقیح و میزان مختلف عناصر خاک می‌تواند فقدان همبستگی معنی‌دار را در این بررسی توجیه نماید.

نقش مهم pH خاک در مهار عوامل بیمارگرهای خاک‌زی به ویژه قارچ *Fusarium oxysporum* توسط Pal et al. (2019) پیشنهاد شد. بیشترین رشد عامل پژمردگی فوزاریومی در ریزوسفر گوجه‌فرنگی در pH خنثی صورت می‌گیرد. البته سویه‌های مختلف *Fusarium* از نظر واکنش به pH خاک، رفتار متفاوتی بروز می‌دهند (Bonanomi et al., 2010؛ Fayzalla et al., 2008). Borrero et al. (2012) مهار *Fusarium* در مزارع گوجه‌فرنگی در pHهای قلیایی‌تر را گزارش کردند. در آزمایش حاضر عدم همبستگی بین pH و میزان بیماری را می‌توان به عدم تغییرات زیاد pH در مزارع گوناگون (۷/۴ تا ۷/۹) نسبت داد. اگرچه همبستگی نیتروژن با پژمردگی فوزاریومی در برخی از آزمایش‌های مشخص شده است (Sarhan et al., 1982; Borrero et al., 2012).

همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی با مقیاس داخلی بیماری

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی بین صفات نشان داد که بین مقیاس داخلی و تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). این نتایج نشان‌دهنده‌ی تاثیر مثبت تغییرات داخلی گیاه بر ایجاد بیماری می‌باشد.

از بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، همبستگی پایین منفی و معنی‌داری بین مقدار فسفر و پتاسیم خاک با مقیاس داخلی بیماری پژمردگی فوزاریومی مشاهده شد. هر چند همبستگی در مورد پتاسیم بیشتر بود. این نتایج نشان می‌دهد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه از نظر دو عنصر فسفر و پتاسیم باعث افزایش مقاومت گوجه فرنگی به بیماری پژمردگی فوزاریومی می‌شود. افزایش میزان پتاسیم با تغییر مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی، ایجاد و شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی را کاهش می‌دهد (Sereme et al., 2016) که با کاهش نشانه‌های داخلی بیماری (مقیاس داخلی) همراه خواهد بود. کاهش شدت بیماری‌های گیاهی در اثر افزایش غلظت پتاسیم در خاک در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Kim et al., 2012؛ Scheffknecht et al., 2006).

فسفر از جمله عناصر ضروری برای رشد و تکثیر گیاهان می‌باشد و کارکردهای آن توسط هیچ عنصر دیگری

انجام نمی‌شود. فسفر نقش مهمی در ذخیره و انتقال انرژی در گیاهان ایفا می‌کند. آدنوزین دی فسفات و آدنوزین تری فسفات که هر دو در فرآیند فتوسنتز و تنفس مطرح هستند، ترکیباتی با گروه فسفاتی پر انرژی هستند که سبب هدایت اکثر فرآیندهای زیستی در گیاهان شامل فتوسنتز، تنفس، سنتز اسید نوکلئیک، پروتئین و انتقال یون از میان غشای سلول می‌شوند (Fageria et al., 2010). بر این اساس، وضعیت بهینه فسفر خاک باعث بهبود رشد و نمو گیاه و افزایش مقاومت (از طریق تامین انرژی لازم برای فعالیت آنزیم‌ها) نسبت به عوامل بیماری‌زا می‌گردد. تاثیر مثبت فسفر بر شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی می‌تواند در کاهش تنش در گیاهان آلوده موثر باشد (El-Shennawy et al., 2010; Worku et al., 2018).

محدود بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای در رابطه با تاثیر عناصر غذایی بر بیماری پژمردگی فوزاریومی و عدم بررسی ویژگی‌های خاک در اغلب این پژوهش‌ها، همبستگی‌های پایین فسفر و پتاسیم و شدت بیماری در این بررسی، تاثیر زیاد این عناصر در کاهش بیماری در پژوهش‌های دیگر (El-Shennawy et al., 2010; Scheffknecht et al., 2006) را پشتیبانی نمی‌کند.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین مقیاس‌های شدت برای بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی و مایه‌ی تلقیح *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2. Pearson correlation between disease severity *scales* for tomato Fusarium wilt and *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* inoculum density with physical and chemical properties of the soil

Variable	External scale	Internal scale	Inoculum density
pH	-0.15 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.18 *
EC	0.27 **	-0.05 ^{ns}	-0.04 ^{ns}
Organic matter	0.13 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Nitrogen	0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Potassium	-0.29 **	-0.33 **	-0.11 ^{ns}
Phosphorus	0.06 ^{ns}	-0.18 *	0.07 ^{ns}
First harvest	0.05 ^{ns}	-0.23 *	0.11 ^{ns}
Second harvest	0.15 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.02 ^{ns}
Third harvest	0.11 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.23 *
Yield	0.17 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.09 ^{ns}

a **: همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، *: همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵. ^{ns}: فاقد همبستگی معنی‌دار.
a **: Significant at the 0.01 level, *: Significant at the 0.05 level, ns: Nonsignificant.

همبستگی شاخص‌های بیماری با عملکرد

در مزارع مورد بررسی هیچ‌گونه همبستگی بین تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر با صفات عملکرد چین اول، دوم و عملکرد کل مشاهده نشد، اما همبستگی بین تعداد مایه‌ی تلقیح بیمارگر با عملکرد چین سوم منفی و معنی‌داری بود (جدول ۲). هم‌چنین همبستگی بین مقیاس ظاهری شدت بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی با صفات عملکرد (هر سه چین و عملکرد کل)، نیتروژن، فسفر، ماده آلی، کربن، سیلت و pH معنی‌دار نبود. در مزارع مورد بررسی، بین مقیاس داخلی با صفات عملکرد چین دوم و سوم و عملکرد کل، EC، نیتروژن، ماده آلی، کربن، سیلت و pH همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در این بررسی، مقیاس داخلی با عملکرد چین اول گوجه‌فرنگی همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). به عبارت دیگر با

افـزایش مقیـاس داخلـی بیمـاری پژمردگـی فوزاریـومی، عملکرد چین اول گوجه‌فرنگی روند کاهشی را نشان داد.

به طور کلی، در همه‌ی مزارع مورد بررسی قارچ FLO به میزان ۱ تا ۱۴ مایه‌ی تلقیح به ازای هر گرم خاک ردیابی گردید. با توجه به اهمیت منطقه رامیان برای توسعه کشـت گوجه‌فرنگـی و وجـود مایـه‌ی تلقـیح بیمـارگر، مـدیریت بیماری در این منطقه اهمیت خواهد داشت. نتـایج حاصـل از این آزمایش نشان داد که همبستگی مثبـت و معنـی‌داری بین مقیاس ظاهری و داخلی با تعـداد مایـه‌ی تلقـیح FLO وجود دارد، بنابراین که تعداد مایه‌ی تلقـیح هنگـام کشـت مـی‌توانـد جهـت پـیش‌بینـی شـدت بیمـاری پژمردگـی فوزاریومی مورد استفاده قرار گیرد (جـدول ۲). هـم‌چنـین ضرایب همبستگی پایین نشان داد که مایه‌ی تلقیح، مقیاس ظاهری و مقیاس داخلی بیماری بر خـلاف نتـایج محققـان دیگر به میزان زیاد تحت تـاثیر پتاسـیم، فسـفر، EC و pH خاک نبوده است. این نتیجه با توجه به کشت رقم یکسـان در مـزارع مـورد بررسـی نشـان مـی‌دهـد کـه فاکتورهـای تاثیرگذار دیگر در این رابطه باید مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

Ahmady, k., H. R. Ebadzadeh, H. Abdshah, A. Kazemian, and M. Rafiei. 2019. Agricultural Statistics Yearbook 2018-2019. Ministry of Agriculture Jihad, Tehran.

Ajigbola, C. F., and O. O. Babalola. 2013. Integrated Management Strategies for Tomato *Fusarium* Wilt. *Biocontrol Sciences*. 18 (3): 117-127.

Amir, H., and C. Alabouvette. 1993. Involvement of soil abiotic factors in the mechanisms of soil supressiveness to Fusarium wilt. *Soil Biology & Biochemistry*. 25: 157-164.

Amtmann, A., T. Stephanie, and A. Patrick. 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiological Plantarum*. 133: 682-691.

Arshad, M. A., and S. Martin. 2002. Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 88: 153-160.

Ayoubi, S. H., S. Mohammad Zamani, and F. Khormali. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(4): 78-87. (In Persian).

Baetz, U., and M. Enrico. 2014. Root exudates: the hidden part of plant defense. *Trends in Plant Science*. 19:90-98.

Bindraban, P. S., C. O. Dimkpa, and D. Pandey. 2020. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategiesfor improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*. 56: 299-317.

Bonanomi, G., V. Antignani, M. Capodilupo, and F. Scala. 2010. Identifying the characteristics of organicsoil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry*. 42: 136-144.

Borrero, C., M. I. Trillas, A. Delgado, and M. Avilés. 2012. Effect of ammonium⁄ nitrate ratio in nutrient solution oncontrol of Fusarium wilt of tomato by *Trichoderma asperellum* T34. Plant Pathology 61: 132-139.

Burgess, L. W., B. A. Summerell, S. Bullock, K. P. Gott, and D. Backhouse, 1994. Laboratory Manual for *Fusarium* Research. Univercity of Sydney, Sydney.

Cao, Z.Q., T. F. Fan, Y. M. Bi, G. L. Tian and L.S. Zhang. 2016. Potassium deficiency and root exudates reduce root growth and increase *Fusarium oxysporum* growth and disease incidence in continuously cultivated strawberry. *New ZealandJournal of Crop and Horticultural Science*. 44: 58-68.

Carvalhais, L. C., P. G. Dennis, D. Fedoseyenko, M. R. Hajirezaei, R. Borriss, and N. Wiren. 2011. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, pot-assium, and iron deficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 174: 3-11.

Chitarra, W., Cogliati, E., Pugliese, M., Gilardi, G., Gullino, M. L., and Garibaldi, A., 2014. Effect of silicates and electrical conductivity on Fusarium wilt of tomato grown soiless. *In VII Intemational Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation*. 1044, 53-55.

Corrales Escobosa, A. R., K. Wrobel, J. A. Landero Figueroa, J. F. Gutierrez Corona, and K. Wrobel. 2010. Effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on the soil-to-root translocation of heavy metals in tomato plants susceptible and resistant to the fungus. *Journal of agricultural and food chemistry*. 58(23): 12392-12398.

Domınguez, J., M. A. Negrín, and C. M. Rodrıguez. 2001. Aggregate water-stability, particle-size and soil solution properties in conducive and suppressive soils to Fusarium wilt of banana from Canary Islands (Spain). *Soil Biology and Biochemistry*. 33(4-5): 449-455.

El-Shennawy, R. Z., M. M. Omran, and A. A. El-Motteleb. 2010. Effect of phosphorus fertilizer treatments on incidence of Fusarium root-rot/wilt disease complex and on yield components of lupin, chickpea and lentil crops. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*. 18(1): 193-202.

Etebarian, H. R. 1992. Studies on Fusarium wilt of tomato and its chemical control in Varamin area. *Iranian Journal of Aricultural sciences*. 23(1): 1-13. (In Persian).

Fageria, N. K., V. C. Baligar, and C. A. Jones. 2010. Growth and mineral nutrition of field crops. CRC Press.

FAO. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterly bulletion of Statistucs. Rome, Italy.

Fassihiani, A. 1985. Occurrence of *Fusarium* wilt of tomato in Hormozgan. *Iranian journal of Plant Pathology*. 21: 29-32. (In Persian).

Fayzalla, E. S. A., Y. M. Shabana, and N. S. Mahmoud. 2008. Effect of environmental conditions on wilting and root rot fungi pathogenic to solanaceous plants. *Plant Pathology Journal*. 7(1): 27-33.

Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle-Size Analysis. In A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1. *Physical and Mineralogical Methods* (pp. 383-411). *American society of agronomy/soil science society of America, Madison, USA.*

Hao, J. J., M. E. Yang, and R. M. Davis. 2009. Effect of soil inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* race 4 on disease development in cotton. *Plant Disease*. 93: 1324-1328.

Hoeper, H., C. Steinberg, and C. Alabouvette. 1995. Involvement of clay type and pH in the mechanisms of soil suppressivenes to Fusarium wilt of flax. *Soil Biology and Biochemistry*. 27: 955-967.

Huber, D. M., and S. Haneklaus. 2007. Managing nutrition to control plant disease. *Landbauforschung Völkenrode* 4:313-322.

Issaci, R., S. G. Leyva-Mir, J. sahagun-Castellanos, K. Camara-Correla, J. M. Tovar-Pedraza, and J. E. Rodriguez-Prez. 2018. Occurrence, identification, and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tomato wilt in Mexico Micah. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 46(2): 483-493.

Jackson M. L., 1975. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. *Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.*

Kim, S. W., J. H. Jung, K. Lamsal, Y. S. Kim, J. S. Min, and Y. S. Lee. 2012. Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. *Mycobiology*. 40(1): pp.53-58.

Komada, H. 1975. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. *Review of Plant Protection Research*. 8: 114-124.

Knudsen, D., G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and potassium. In: A. L. Page etal (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2 (pp. 225-246). American society of agronomy, Madison. WI.

Leslie, J. F., and B. A. Summerell. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing professional, Ames, lowa, USA. 388 Pages.

Manafi, R., A. Babay ahari, M. Arzanlou, and M. Valizadeh. 2012. Assessment of resistance in tomato varieties under greenhouse conditions against *Fusarium* Wilt, and biological control of the disease. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 2(2): 145-158. (In Persian).

Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A.L. Page et al (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (pp. 961-1010). 2nd Edition, Agronomy Series No. 9, ASA SSSA, Madison.

Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19). Washington, DC: US Department of Agriculture.

Pal, N., A, Kumar, and A. B. Malannavar. 2019. Effect of temperature and pH levels on the growth and sporulation of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lini* causing linseed wilt. *International Journal of Chemical Studies*. 7(3): 4494-4497

Paplonatas, E. J., D. M., Bassett, J. C. Broome, and J. E. Davay. 1992 Incidence of Verticillium wilt and yield losses of cotton cultivars (*Gossypium hirsutum*) Based on soil inoculumdensity of *Verticillium dahliae*. *Phytopathology*. 82: 1417-1420.

Paugh, K. R., and T. R. Gordon. 2019. The effect of planting date and inoculum density on severity of Fusarium wilt of lettuce in California. *Plant Disease*. 103(7): 1498–1506.

Pretorius, J. C., D. T. Nieuwoudt, and D. Eksteen. 1999. Sucrose synthesis and translocation in *Zea mays* L. during early growth, when subjected to N and K deficiency. *South African Journal of Plant and Soil*. 16:173-179.

Rowe, R. C. 1980. Comparative pathogenicity and host ranges of *Fusarium oxysporum* isolates causing crown and root rot of Greenhouse and field-grown tomatoes in North America and Japan. *Phytopathology*. 70(12): 1143-1148.

Sally, A. M., C. R. Randal, and M. R. Richard. 2006. Fusarium and Verticillium wilts of Tomato, Potato, Pepper and Eggplant. The Ohio State University Extension.

Sanogo, S., and X. B. Yang. 2001. Relation of sand content, pH, andpotassium and phosphorus nutrition to the development of sudden death syndrome in soybean. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 23:174-180.

Sarhan, A. R. T., B. Barna, and Z. Kiraly. 1982. Effect of nitrogen nutrition on Fusarium wilt of tomato plants. *Annals of Applied Biology*. 101 (2): 245-250.

Sereme, A., C. Dabire, M. Kolala, M. K. Somda, and A. S. Traore. 2016. Influence of organic and mineral fertilizers on the antioxidants and total phenolic compounds level in tomato (*Solanum lycopersicum*) var. mongal F1. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 4(4): 414-420.

Scheffknecht, S., R. Mammerler, S. Steinkellner, and H. Vierheilig. 2006. Root exudates of mycorrhizal tomato plants exhibit a different effect on microconidia germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* than root exudates from non-mycorrhizal tomato plants. *Mycorrhiza*. 16 (5): pp.365-370.

Scott, J., T. Gordon, S. Kirkpatrick, S. Koike, M. Matheron, O, Ochoa, M. Truco, and R. Michelmore. 2012. Crop rotation and genetic resistance reduce risk of damage from Fusarium wilt in lettuce. California Agriculture. 66: 20-24

Sharma, B. K., R. P. Singh, S. Saha, A. Kumar, A. B. Rai. 2011. Effect of temperature, pH and media on the growth and sporulation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causing wilt of tomato. *Progressive Horticulture*. 43(2): 186-192.

Sharoubeem, H. H., M. S. Naim, A. A. Habib. 1966. Effect of different levels of potassium on growth-vigour of cotton variety plants in relation to fusarium spp. associated with the vascular-wilt disease. *Mycopathologia et Mycologia Applicata*. 29**,** 65-81.

Snoeijers, S., A. Pérez-García, M. Joosten, and P. De Wit. 2000. The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology*. 106: 493-450.

Srinivas, C., D. N. Devi, K. N. Murthy, C. D. Mohan, T. R. Lakshmeesha, B. Singh, N. K. Kalagatur, S. R. Niranjana, A. Hashem, A. A. Alqarawi, B. Tabassum, E. F. Abd Allah, and S. C. Nayaka. 2019. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity- A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26(7): 1315–1324.

Song, W., L. Zhou, C. Yang, X. Cao, L. Zhang, and X. Liu. 2004. Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*. 23 (3): 243-247.

Spaccini, R., J. S. C. Mbagwu, C. A. Igwe, P. Conte, and A. Piccolo. 2004.Carbohydrate and aggregation in lowland soils of Nigeria as influenced by organic input. *Soil and Tillage Research*. 75:161-172.

Staniaszek, M., E. U. Kozik, and W. Marczewski. 2007. A CAPS marker TAO1902 diagnostic for the I-2 gene conferring resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2 in tomato. *Plant breeding*. 126 (3): 331-333.

Tavakol Norabadi, M., Hasanzadeh, M., Dashtipoor, S., Mostafanegad, H., Mohammadifor, M., and Roostaei, A., 2012. Investigate the interaction of plant potassium (K) and tomato fusarium wilt disease (*Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*) in tomato plants. 20th Iranian Plant Protection Congress, 25-28 August 2012, p. 138.

Tyagi, S., and R. Paudel. 2014. Effect of different pH on the growth and sporulation of *Fusarium oxysporum*: The causal organism of wilt disease of tomato. *International Journal of Basic and Applied Biology*. 2: 103-106.

Vakalounakis, D. J., and G. A. Fragkiadakis. 1999. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from cucumber: differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility, and RAPD fingerprinting. *Phytopathology*. 89 (2): 161-168.

Villamil, M. B., E. D. Nafziger, and G. D. Behnke. 2019. New grain P and K concentration values for Illinois field crops. *Crop Forage Turfgrass Manage*. 5 (1): 1-7.

Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen, and S. Guo. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14: 7370-7390.

Worku, M., and S. Sahe. 2018. Review on disease management practice of tomato wilt caused F*usarium oxysporum* in case of Ethiopia. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*. 9(11): 460. doi: 10.4172/2157-7471.1000460.

Yergeau, E., D. W. Sommerville, E. Maheux, V. Vujanovic, C. Hamel, J. K. Whalen, and M. Arnaud. 2006. Relationships between *Fusarium* population structure, soil nutrient status and disease incidence in field-grown asparagus. *Federation of European Microbiological Societies* 58: 394-403.

Younesi, P., H. R. Etebarian, and A. M. Roustaee. 2014. Study of interaction between plant nutrition and cucumber Fusarium wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum*. *Journal of Novel Researches on Plant Protection*. 6(3): 297-308. (In Persian).

Zorb, C., H. P. Piepho, S. Zikeli, and B. Horneburg. 2020. Heritability and variability of quality parameters of tomatoes in outdoor production. *Research*. 2020, Article ID 6707529,