

Study on the use of biodegradable fertilizer hydrogels in tomato cultivation affected by soil salinity in greenhouse conditions

Fatemeh Yazdany nejad¹, Mostafa Chorom^{id}*² and Mohammad Javaherian³

- 1- PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran, fyazdani89@yahoo.com
- 2- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran. Corresponding author: m.chorom@scu.ac.ir
- 3- Associate Professor, Department of chemistry, College of Science, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran javaherin@scu.ac.ir

«Research Article»

Received: March 16, 2025, and Accepted: July 22, 2025

Abstract

Salinity stress is one of the stresses that disrupts the absorption of water and nutrients by plants. Therefore, in order to use saline and sodic soils and provide the nutrients needed by plants, the use of slow-release fertilizers based on hydrogel compounds can be useful in better absorption of water and nutrients. The use of new and environmentally friendly hydrogels can be a solution to soil salinity stress. First, a composite hydrogel of N-P-K fertilizers based on carboxymethyl cellulose was synthesized in the laboratory. Necessary morphological and stability tests of the synthesized hydrogel were performed, including TEM, SEM, FTIR, EDS and TGA. The release of N-P-K nutrients was investigated at different EC and pH levels over a period of 28 days. The results showed that the nutrient release curve at different pH had almost the same slope, indicating controlled release and matrix-based release. The release curve of nitrogen, phosphorus, and potassium elements and the percentage of element release from the synthesized hydrogel were consistent with the international standard definition for slow-release fertilizers. To investigate the effectiveness of fertilizers in saline soil on the growth characteristics of tomato plants and some soil properties, an experiment was conducted in a randomized complete factorial design with three replications in a greenhouse. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in a greenhouse. The experiment was factorial. The factors studied included: 1) soil type at two levels (saline and non-saline) and 2) slow-release fertilizer at three levels (0, 1, and 2 percent). The results showed that the interaction effect of applied fertilizer level and soil salinity on some vegetative characteristics of tomato, percentage of nitrogen, phosphorus, and potassium in tomato plant shoots, and soil characteristics was significant at the 5 percent level. The effect of applied hydrogel caused a significant increase in the amount of organic carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil compared to the control soil. The highest amount of nutrient absorption in tomato plants was obtained at 2% hydrogel fertilizer levels compared to the control treatment. Therefore, the plant has sufficient nutrients for growth and development at all stages of growth, which makes the use of nutrients more efficient compared to conventional fertilizers.

Keywords: Hydrogel, saline soil, slow-release fertilizer, tomato, nutrient uptake

* - Corresponding author email: m.chorom@scu.ac.i

Cite this article: Yazdany nejad, F., Chorom, M., Javaherian, M., 2025. Study on the use of biodegradable fertilizer hydrogels in tomato cultivation affected by soil salinity in greenhouse conditions . Journal of Soil Research, 39(1), 127-151



بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی

متاثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای

فاطمه یزدانی نژاد^۱، مصطفی چرم^{۲*} و محمد جواهریان^۳

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران fyazdani89@yahoo.com

استاد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران m.chorom@scu.ac.ir

دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران m.javaherin@scu.ac.ir

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ و پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۳۱

چکیده

تنش شوری یکی از تنش‌هایی است که باعث اختلال در جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شود. بنابراین برای بهره‌برداری از خاک‌های شور و سدیمی و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، استفاده از کودهای آهسته رهش بر پایه ترکیبات هیدروژل می‌تواند در جذب بهتر آب و عناصر غذایی مفید باشد. استفاده از هیدروژل‌های جدید و سازگار با محیط زیست می‌تواند راه حلی برای تنش شوری خاک باشد. ابتدا یک هیدروژل مرکب از کودهای N-P-K بر پایه کربوکسی متیل سلولز در آزمایشگاه سنتز شد. آزمایش‌های مورفولوژیکی و پایداری هیدروژل سنتز شده شامل SEM، TEM، FTIR، EDS و TGA انجام شد. رهاسازی مواد مغذی N-P-K در سطوح مختلف EC و pH طی یک دوره ۲۸ روزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که منحنی رهاسازی مواد مغذی در pH های مختلف دارای شیب تقریباً یکسانی است که نشان‌دهنده آزادسازی کنترل شده و رهاسازی مبتنی بر ماتریس است. منحنی آزادسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درصد آزادسازی عنصر از هیدروژل سنتز شده با تعریف استاندارد بین‌المللی برای کودهای آهسته رهش مطابقت داشت. به منظور بررسی تأثیر کود سنتز شده در خاک شور بر صفات رشدی گیاه گوجه‌فرنگی و برخی ویژگی‌های خاک، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل ۱) نوع خاک در دو سطح شور (EC=6.2) و غیر شور (EC=2) و ۲) کود آهسته رهش در سه سطح ۰، ۱ و ۲ درصد بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل سطح کود مصرفی و شوری خاک بر برخی صفات رویشی گوجه فرنگی، درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی و خصوصیات خاک در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر هیدروژل مصرفی باعث افزایش معنی داری در میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شور نسبت به خاک شاهد شد. بیشترین میزان جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی در سطوح کود هیدروژل ۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بنابراین گیاه دارای مواد مغذی کافی برای رشد و نمو در تمام مراحل رشد است که استفاده از عناصر غذایی را در مقایسه با کودهای معمولی کارآمدتر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: هیدروژل، خاک شور، کود آهسته رهش، گوجه فرنگی، جذب عناصر غذایی

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.chorom@scu.ac.ir

استناد: یزدانی نژاد، ف.، چرم، م.، جواهریان، م.، ۱۴۰۴. بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی متاثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش‌های خاک، (۱)، ۳۹، ۱۵۱-۱۲۷.

مقدمه

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای اساسی جوامع باعث شده است در برخی از حوزه‌ها از جمله کیفیت محصولات غذایی مختلف، توسعه پایدار با تهدید روبه رو شود به طوری که کمیت تولید مواد غذایی، نسبت به کیفیت آن در اولویت قرار گرفته است. مرتبط با این رویه نامطلوب، رواج استفاده از کودهای شیمیایی و سموم در میان کشاورزان یکی از موضوعاتی است که نیازمند توجه جدی‌تر است (بحرینی زاده و همکاران، ۱۴۰۲). هدف کشاورزی پایدار تامین نیازهای غذایی و در عین حال بهبود سلامت خاک و محافظت از آن در برابر تخریب و آلودگی ناشی از استفاده زیاد از کودهای شیمیایی است (Yeligbayeva et al., 2024). شوری خاک یکی از تهدیدات رایج برای مدیریت پایدار خاک و بهره برداری بهینه از اراضی کشاورزی در سراسر جهان است. با توجه به کمبود روز افزون منابع آبی و تغییرات شدید آب و هوایی، سیستم‌های کشاورزی با چالش‌هایی همچون حفظ بهره‌وری خاک پایدار با ورود آب و کود کمتر روبرو هستند (Zhao et al., 2024). با افزایش جمعیت در سراسر جهان، چاره ای جز استفاده از خاک شور برای افزایش مناطق کشاورزی وجود ندارد. بنابراین جهت بهبود بهره‌وری محصولات زراعی در شرایط شور، باید مدیریت مناسبی مانند استفاده از هیدروژل‌ها برای بهبود خواص خاک ارائه شود (Abdeen et al., 2023). کشاورزی امروزی تمرکز را از مصرف زیاد سنتی به مصرف دقیق کود و آب تغییر داده است. از این نظر، شیوه‌ها و فن‌آوری‌های بهینه مدیریت آب، کود و خاک که به حذف عوامل ضد تولید کمک می‌کنند و به طور موثر استفاده از آب و کود را با ورودی کمتر آب و کود ترویج می‌کند، بسیار مورد نیاز است که به سمت کشاورزی امروزی هدایت شوند (Xiao et al., 2022). کشاورزی امروزی بر روی معرفی نسل جدید از کودهایی است که می‌توانند سرعت رهایش مواد مغذی را کنترل کرده و باعث افزایش رهایش مواد مغذی به صورت هماهنگ و متناسب با نیاز گیاه در طول فصل رشد شوند.

این کودها طوری طراحی شده‌اند که مواد مغذی را به تدریج و در طول زمان آزاد کنند، که این امر باعث کاهش هدر رفت مواد مغذی، افزایش کارایی مصرف کود، کاهش آلودگی محیط زیست و تأمین مداوم مواد مغذی برای گیاه در طول فصل رشد می‌شود (Motamedi et al., 2020). استفاده از کودهای آهسته رهش باعث بهبود عملکرد محصول، کاهش آلودگی زیست محیطی و کاهش خطر آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شوند (صدیقی و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین استفاده از سامانه‌های هیدروژلی آهسته رهش می‌تواند یک روش مناسب برای بهبود مدیریت آب، افزایش دسترسی گیاه به آب، افزایش راندمان مصرف کودها و کاهش آلودگی‌های محیط زیستی باشد (Dehkordi and Seyyedboveir, 2013). هیدروژل‌های سوپرجاذب به عنوان یک جایگزین مناسب، کم هزینه، زیست سازگار با کارایی جذب آب بالا برای سیستم‌های آبیاری کشاورزی پدید آمده اند (Tyagi et al., 2023).

زمانی که هیدروژل در خاک استفاده شود یک توده ژلاتینی هیدراته بی شکل تشکیل می‌شود که باعث جذب و دفع آب در مدت زمان طولانی می‌شود. در نتیجه به عنوان یک منبع آهسته رهش آب در خاک عمل می‌کند که اندازه گرانول هیدروژل، رطوبت زمینه ای خاک، درجه اتصالات عرضی و حلالیت از جمله عوامل فعالی هستند که روی رهاسازی مواد مغذی موجود در هیدروژل تأثیر گذار می‌باشند (Mahgoub., 2020). در کودهای هیدروژلی آهسته رهش حائلی فیزیکی مانع رهش سریع مواد مغذی می‌شود. با استفاده از این کودهای هیدروژلی آهسته رهش می‌توان از تلفات مواد مغذی قابل شستشو مانند نیتروژن جلوگیری نموده و سبب استفاده تدریجی متناسب با نیاز گیاه شد. این فرآیند سبب افزایش بهره‌وری و تاثیرگذاری موثرتر کود نیز خواهد شد (صدیقی و همکاران، ۱۴۰۲). اما یکی از مهمترین چالش‌ها در ساخت و سنتز هیدروژل‌های کودی کندانس انتخاب نوع پوشش کودی زیست تخریب پذیری و مقرون به صرفه بودن نوع

پوشش می‌باشد (اولاد و همکاران، ۱۳۹۵ Bai et al., 2015).

کامپوزیت‌های پلیمری از ترکیب پلیمرهای زیست تخریب پذیر سازگار با محیط زیست می‌باشند که توانایی جاذب‌های آب را بهبود بخشیده و تخریب زیستی محصول را فراهم می‌کنند. از این رو این نوع کامپوزیت‌ها با پتانسیل بالا در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و محیط زیست به کار گرفته می‌شوند (ماهانی، ۱۴۰۳). کربوکسی متیل سلولز از مشتقات سلولز و یک پلیمر زیستی با کاربردهای امیدوارکننده است که در مناطق مختلف می‌توان از آن استفاده نمود. کامپوزیت‌های مبتنی بر کربوکسی متیل سلولز با توجه به خواص بسیار خوبی که دارند، مانند دسترسی آسان، سنتز آسان، ویسکوزیته بالا، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، حلالیت در آب، تغییرات ساختاری آسان، شباهت بافتی، هزینه کم و غیر سمی بودن توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. با توجه به کاربردهای متفاوتی که کربوکسی متیل سلولز دارد از آن به عنوان جایگزین سبز به جای پلیمرهای معمولی برای توسعه پایدار در آینده پیشنهاد می‌شود (Tyagi et al., 2023). عابدین و همکاران (۲۰۲۳) با مطالعه اثر هم افزایی بیوچار و هیدروژل پلی (۲-اتیل-۲-اکسازولین)/پلی (۲-هیدروکسی اتیل متاکریلات)/کیتوسان روی خواص خاک شور و بهره‌وری محصول هویج به این نتیجه رسیدند که کاهش قابل توجهی در شوری خاک، درصد سدیم قابل تبادل، افزایش مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، نقطه پژمردگی دائمی و آب قابل دسترس وجود دارد. بیشترین درصد افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۳۶، ۷۰ و ۷۲ درصد بود. علاوه بر این، افزایش نسبی بهره‌وری هویج در بالاترین میزان بیوچار و هیدروژل ۴۹/۶۳ درصد بود. سلیمی و همکاران (۱۴۰۰) اقدام به سنتز کودهای کند رها نانو کامپوزیت پلیمری نشاسته و بررسی اثر مقایسه‌ای این کودها بر رشد و پاسخ‌های تغذیه‌ای گیاه گوجه فرنگی نمودند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن با استفاده از این کودها

افزایش یافت. درصد نیتروژن کل و میزان نترات موجود در اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با کودهای آهسته رهش در مقایسه با اوره به ترتیب افزایش و کاهش یافت. تحقیقات نشان داده است که کود سوپرفسفات تریپل با پوشش آتاپولگیت رفتار کند رهایی داشته است و رهایش فسفر به وسیله آن با نیاز گیاه ذرت در طول دوره رشد در یک منطقه نیمه خشک چین همزمان گردید (Guan et al., 2014). استفاده از این کود کند رها، کارایی مصرف کود فسفر را ۱۱٪ تا ۲۶/۷ درصد نسبت به کود شیمیایی فاقد آتاپولگیت افزایش داد. فیاضی (۱۴۰۲) جهت کنترل رهاسازی عناصر غذایی پر مصرف N-P-k با استفاده از هیدروژل‌های مبتنی بر نانوساختار رسی سیپولایت و نشاسته به این نتیجه رسیدند که انتشار مواد مغذی از ساختار کود آهسته رهش دارای تاخیر بوده که برای جلوگیری از انتشار بیش از حد عناصر غذایی، به حداقل رسیدن اثرات منفی زیست محیطی و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی حیاتی است. میزان مصرف هیدروژل در هکتار با توجه به نوع بافت خاک بین ۵-۲/۵ کیلوگرم متغیر می‌باشد. در خاک‌های رسی و سنگین مقدار کمتر و در خاک‌های شنی و سبک مقدار بیشتری توصیه می‌گردد (Saini and Malve., 2022). استفاده از هیدروژل‌های کودی در کشت گندم نشان داد که جذب عناصر غذایی و راندمان مصرف آب در گندم زمستانه زمانی که ۵ کیلوگرم در هکتار هیدروژل در خاک لومی شنی استفاده شد، نسبت به خاک لوم رسی با همان میزان مصرف هیدروژل ۸/۴۸ درصد افزایش در عملکرد مشاهده شد (Saini et al., 2018). گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) یک سبزی با اهمیت اقتصادی بسیار زیاد است که به طور وسیعی در سرتاسر جهان در شرایط مزرعه و گلخانه کشت و تولید می‌گردد. تولید گوجه فرنگی تحت تاثیر تنش‌های زیستی و غیر زیستی بسیاری است (Wang et al, 2011, Saito et al, 2011). در ایران سطح زیر کشت گوجه فرنگی بیش از ۱۵۰ هزار هکتار و تولید آن بیش از ۶ میلیون تن است به

طوریکه سالانه رتبه ششم تا هفتم تولید را به خود اختصاص می‌دهد (عابدی و همکاران، ۱۳۹۸).

تقاضا برای گوجه‌فرنگی با افزایش سریع جمعیت در حال افزایش است و در آینده نزدیک، تقاضا برای گوجه‌فرنگی افزایش خواهد یافت، در حالی که به دلیل کمبود زمین و رکود در عملکرد به دلیل عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی که محدودیت‌های اصلی برای تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی در سراسر جهان هستند، تولید کم خواهد بود (Hernandez-Perez et al, 2020). تخمین زده می‌شود

که تا سال ۲۰۵۰، تنش شوری به تنهایی باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد سبزیجات از جمله گوجه‌فرنگی خواهد شد (Wang et al, 2003) و این یک نگرانی بزرگ برای کشورهای جنوب شرقی آسیا خواهد بود. اثر منفی تنش شوری بر گوجه‌فرنگی ناشی از کاهش رشد گیاه به دلیل کاهش سرعت فتوسنتز است (Giannakoula and Ilias 2013) که منجر به کاهش اندازه میوه و عملکرد کل در هر بوته می‌شود که مهم‌ترین عوامل برای تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی هستند. علاوه بر این، در مورد رشد، گیاه گوجه‌فرنگی گزارش شده است که تحت تنش شوری، ارتفاع گیاه کوتاه‌تر و سطح برگ کمتری دارند. همچنین، محتوای کلروفیل نسبی برگ (مقدار SPAD) که میزان نیتروژن را به عنوان یک عنصر کلیدی برای افزایش فتوسنتز، نشان می‌دهد، می‌تواند تحت تأثیر شرایط شوری قرار گیرد (Zhang et al. 2017). اگرچه درصد دقیقی برای گلخانه‌ها به طور خاص در دسترس نیست، اما طبق مطالعه‌ای که در Springer Nature منتشر شده است، تخمین زده می‌شود که ۲۰٪ از کل زمین‌های آبیاری شده در سراسر جهان تحت تأثیر نمک قرار دارند. از آنجایی که گلخانه‌ها اغلب از آبیاری استفاده می‌کنند و شوری یک مسئله شناخته شده در کشاورزی است، می‌توان نتیجه گرفت که بخش قابل توجهی از گلخانه‌ها احتمالاً مشکلات شوری را تجربه می‌کنند. طبق مطالعه‌ای در Springer، برخی تخمین‌ها نشان می‌دهد که تا ۵۰٪ از زمین‌های

آبیاری شده ممکن است تحت تأثیر نمک قرار گرفته باشند (Shrivastava and Kumar., 2014). این پژوهش با هدف بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی متأثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. شایان ذکر است که هیدروژل کودی مورد مطالعه بر پایه ترکیبات زیست تخریب‌پذیر کربوکسی متیل سلولز، بتاسیکلودکسترین و شبکه ساز آدپیک اسید سنتز گردیده است که تمامی این ترکیبات منشاء گیاهی داشته و زیست تخریب پذیر می‌باشند.

مواد و روش ها

مواد مورد استفاده

کربوکسی متیل سلولز (CMC) از شرکت sigma (آمریکا)، آدپیک اسید (Merck 818650) آلمان، سدیم بنزوات، بتا سیکلودکسترین (C4767) از شرکت sigma (آمریکا)، نمک سدیم کلراید (NaCl) مرک (Art no. 109945) و نمک کلسیم کلراید (CaCl₂) مرک (Art no. 102382)، کود سولفات پتاسیم ۵۰٪ (K₂SO₄)، کود سوپرفسفات تریپل ۴۶٪ Ca (PO₄H₂)₂ و کود ازته از منبع اوره ۴۶٪ درصد ازت از شرکت پتروشیمی رازی تهیه شد.

دستگاه های مورد استفاده

برای ارزیابی ریخت شناسی هیدروژل سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ کیلو ولت ساخت کشور دانمارک (شرکت سازنده LEO)، مدل ۱۴۵۵ VP، برای مطالعه گروه های عاملی از طیف سنج مادون قرمز FTIR تبدیل فوریه مدل Perkin Eelmer ساخت کشور انگلستان، به صورت قرص های پتاسیم برماید^۱ در محدوده موج ۴۰۰-۴۰۰۰ و میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM با ولتاژ شتاب دهنده ۱۰۰ کیلو ولت ساخت کشور دانمارک (شرکت سازنده LEO) و مدل E ۹۰۶، برای مطالعه پایداری گرمایی

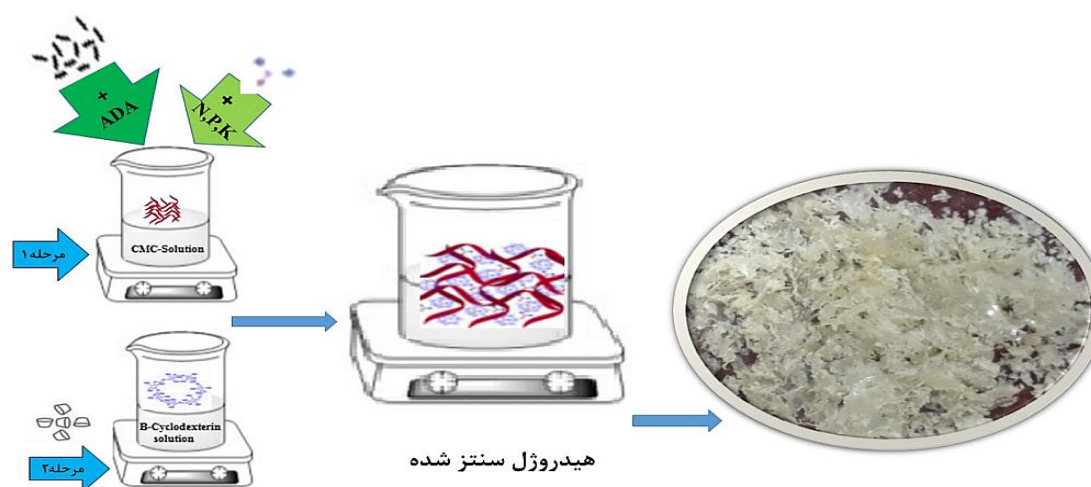
^۱ Potassium Bromide

کود سوپرفسفات تریپل $\text{Ca}(\text{PO}_4\text{H}_2)_2$ و ۲ گرم کود ازته از منبع اوره ۴۶ درصد ازت به محلول کربوکسی متیل سلولز اضافه شد. در مرحله چهارم محلول (w/v) ۲٪ سدیم بنزوات در دمای اتاق تهیه گردید و ۱۰ میلی لیتر از این محلول به محلول کربوکسی متیل سلولز جهت قوام هیدروژل اضافه شد. پس از این مرحله شبکه ساز آدیپیک اسید به محلول کربوکسی متیل سلولز اضافه گردید و در مرحله آخر محلول بتاسیکلودکسترین (محلول مرتبه ۲) به صورت قطره قطره به محلول کربوکسی متیل سلولز اضافه شد و با همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲h همزده شد. در انتها زمانی که مخلوطی کاملاً همگن با ظاهری ژله‌ای ایجاد شد یکبار با آب مقطر شسته و سپس جهت خالص سازی به مدت یک ساعت درون الکل اتانول قرار داده شد. جهت خشک کردن هیدروژل کودی سنتز شده مدت ۱۲h در دمای 60°C در آون قرار داده شد و پس از خشک شدن به وسیله هاون چینی ساییده شده و جهت مصارف بعدی در جای خشک و خنک نگهداری شد. (Mesias et al., 2019 and Natkański et al., 2012). شکل (۱) شماتیک سنتز هیدروژل کامپوزیت کندرهای N-P-K نشان داده شده است.

هیدروژل کامپوزیت سنتز شده از گرما وزن سنج Mettler مدل TGA/DSCI. ساخت سوئیس، برای شناسایی و تأیید حضور عناصر غذایی بارگذاری شده نیتروژن، پتاسیم، فسفر در ساختار هیدروژل مورد مطالعه از طیف سنجی تفکیک انرژی EDS-Map مدل VEGA 3 دیتکتور SAMX ساخت کشور فرانسه (کمپانی سازنده TESCAN) و برای اندازه گیری عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر در خاک و گیاه به ترتیب از کج‌دال (Kjeldahl)، فلیم فتومتر JENWAY مدل PFP7، ساخت کشور انگلستان و اسپکتروفتومتر مدل 303 uv ساخت شرکت APPEL استفاده گردید.

سنتز فرمولاسیون هیدروژل کامپوزیت کندرهای N-P-K

ابتدا محلول (w/v) ۳٪ از کربوکسی متیل سلولز در آب مقطر تهیه شد. سپس جهت انحلال کربوکسی متیل سلولز به مدت ۲h در دمای 70°C با قراردادن مگنت با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه همزده شد. در مرحله دوم محلول (w/v) ۳٪ از بتا سیکلودکسترین در آب مقطر تهیه گردید و تا دمای 50°C به مدت ۱h حرارت داده شد. در مرحله سوم ۲ گرم کود سولفات پتاسیم (K_2SO_4) و ۲ گرم



شکل ۱- شماتیک سنتز هیدروژل کامپوزیت کندرهای N-P-K

اسپکتروفتومتر و برای پتاسیم از فتومتر شعله (Chapman, 1982)، استفاده شد.

- مطالعه رهائش عناصر غذایی N-P-K از هیدروژل کامپوزیت کودی تحت تاثیر pH های مختلف نسبت به زمان بررسی رهائش عناصر غذایی NPK از هیدروژل کامپوزیت سنتز شده تحت تاثیر pH های مختلف آب در زمان‌های ۲۸، ۲۱، ۱۴، ۱۰، ۴ روز مورد بررسی قرار گرفت (Bortolin, 2013). در این روش مقدار ۱ گرم از هیدروژل خشک شده در کیسه چای قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در محلول هایی با $pH = 6.78$ که با محلول سود و اسید کلریدریک یک دهم مولار تنظیم شد قرار داده و در فواصل زمانی ۲۸ روز عناصر NPK رها شده در محلول اندازه گیری شد.

بررسی هیدروژل کامپوزیت کودی کامل کندرها در خاک و تاثیر آن بر رشد گیاه گوجه فرنگی در گلخانه

آزمایش گلدانی به عنوان مدل گیاهی جهت تعیین رفتار رهاسازی هیدروژل کامپوزیت کند رها در ارتباط با خاک و گیاه انجام شد. گیاه مورد مطالعه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) رقم دافنیس^۲ بود که رقمی میان رس و مناسب کشت در گلخانه می‌باشد. اثر کود سنتز شده بر مراحل رشدی گیاه گوجه فرنگی در مقایسه با تیمار شاهد که از کودهایی شیمیایی مرسوم استفاده شده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. کودهای شیمیایی مرسوم شامل ازت، فسفر و پتاسیم (NPK) به منظور مقایسه با کودهای هیدروژلی مورد استفاده قرار گرفتند. منابع کودهای مورد استفاده به این شرح بودند: کود ازته از منبع اوره با ۴۶ درصد ازت، فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاس از منبع سولفات پتاسیم. برای اطمینان از مقایسه منصفانه و علمی، نوع و مقدار کودهای شیمیایی به گونه‌ای تعیین شد که میزان مصرف آن‌ها معادل

بررسی ریخت شناسی و ساختار هیدروژل کامپوزیت کودی کند رها

جهت شناسایی و تایید حضور عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بارگزاری شده در هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده از طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS Map) استفاده گردید (Mengdi Ma et al., 2020, Tamara et al., 2020, Yao et al., 2010). شرح بررسی طیف سنجی تفکیک انرژی EDS و تحلیل آنالیز تصویربرداری هیدروژل کامپوزیت سنتز شده جهت تأیید عناصر غذایی بارگزاری شده در ساختار هیدروژل در بخش نتایج و بحث گزارش شده است. لازم به ذکر است که شرح بررسی ریخت شناسی و ساختار هیدروژل کامپوزیت کودی ساخته شده بر اساس روش های TEM، FTIR، SEM و TGA با توضیحات کامل در مقاله (یزدانی و همکاران ۱۴۰۳) ارائه گردیده است.

بررسی رهائش عناصر غذایی بارگزاری شده در هیدروژل کامپوزیت کودی تحت تاثیر شوری‌های مختلف نسبت به زمان

پس از سنتز هیدروژل کامپوزیت کودی کند رها میزان رهاسازی عناصر غذایی تحت تاثیر شوری‌های محلول‌های نمکی ($EC = 2.46 \text{ mmohs/cm}$) در زمان های ۲۸، ۲۱، ۱۴، ۱۰، ۴ روز مورد بررسی قرار گرفت (Bortolin, 2013). در این روش مقدار ۱ گرم از هیدروژل خشک شده در کیسه چای قرار داده شد. سپس در محلول هایی از نمک‌های یک ظرفیتی NaCl و دو ظرفیتی $CaCl_2$ (با غلظت 2.46 mmohs/cm) قرار داده شد و در فواصل زمانی ۲۸ روز عناصر NPK رها شده مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه گیری عنصر نیتروژن در فاز محلول از دستگاه اسپکتروفتومتر (Bortolin, 2013)، عنصر فسفر به روش اولسن (Olsen, 1954) با استفاده از دستگاه

² Daphnis

با مقدار مصرف هیدروژل باشد. زمان مصرف این کودها پس از انتقال نشاها به گلدان اصلی و استقرار کامل ریشه‌ها در محیط ریشه گیاه صورت گرفت، تا گیاهان بتوانند به بهترین شکل از مواد مغذی بهره‌مند شوند. میزان مصرف کودهای شیمیایی بر اساس تجزیه و تحلیل خاک و نیازهای تغذیه‌ای گیاه تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های خاک مورد آزمایش قرار گرفتند تا کمبودهای احتمالی مواد مغذی مشخص شود، و سپس مقدار کودهای NPK بر اساس این کمبودها و با هدف رساندن سطح مواد مغذی خاک به حد مطلوب تعیین گردید. هدف از این رویکرد، حصول اطمینان از مقایسه‌ای دقیق و ارزیابی تاثیر مستقیم هر نوع کود (شیمیایی و هیدروژلی) بر عملکرد گیاه در شرایط تحت بررسی بود. این پژوهش در آبانماه سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. نشاهای ۸ هفته‌ای حاصل از کاشت بذره‌های گوجه فرنگی به گلدان‌هایی با قطر ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۴۰ سانتی متر حاوی هر کدام ۷ کیلوگرم خاک زراعی شور (SS^3) و غیر شور (NSS^4) انتقال یافتند. خاک شور dS/m ($EC=6/2$) و خاک غیر شور ($EC=2 dS/m$) از مزارع متفاوت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که خصوصیات بافتی هردو خاک Sandy clay loam بود. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است. در مجموع ۱۸ عدد گلدان بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (تیمارهای خاک شور با سطوح کودی ۰٪، ۱٪ و ۲٪ درصد به ترتیب شامل SS_{F0} , SS_{F1} , SS_{F2} و تیمارهای خاک غیر شور با سطوح کودی ۰٪، ۱٪ و ۲٪ درصد به ترتیب شامل $(Nss_{F0}, Nss_{F1}, Nss_{F2})$) و سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. جهت زهکشی بهتر گلدان‌ها قبل از ریختن خاک درون گلدان‌ها از سنگریزه و توری استفاده گردید. همچنین جهت جلوگیری از بیماری‌های قارچی و بوته میری با توجه به شرایط دمایی گلخانه کلیه گلدان‌ها و خاک مورد استفاده

قبل از انتقال نشاء با قارچ‌کش ضدعفونی گردید. در داخل هر گلدان ۷ کیلوگرم خاک ریخته شد و ۳ عدد نشاء گوجه فرنگی به هر گلدان انتقال داده شد. پس از گذشت یک هفته از استقرار نشاها حذف نشاهای ضعیف صورت گرفت. هیدروژل سنتز شده در سطح ۰٪ (F_0)، ۱٪ (F_1) و ۲٪ (F_2) در ناحیه ریشه گیاه اضافه و آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی صورت گرفت. آبیاری گلدان‌ها به صورت دستی و با استفاده از استوانه مدرج انجام شد تا دقت در حجم آب اعمال شده تضمین شود. سعی بر این بود که آبیاری به آرامی و به صورت یکنواخت انجام شود تا از ایجاد رواناب سطحی و توزیع غیریکنواخت آب در خاک جلوگیری شود. حجم آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک تعیین می‌شد. در هر بار آبیاری، به هر گلدان حجمی از آب مقطر اضافه می‌شد که معادل مقدار آبی بود که خاک برای رسیدن به ظرفیت زراعی خود نیاز داشت. به عبارت دیگر، هدف این بود که خاک همواره در شرایط ظرفیت زراعی نگهداری شود. این حجم بسته به نوع خاک (شور یا غیرشور) و وزن خشک خاک در هر گلدان متفاوت بود. همچنین زمان آبیاری مجدد بر اساس مشاهده و ارزیابی میزان رطوبت خاک از طریق وزنی انجام شد. بدلیل عدم آبشویی و نداشتن زه آب لذا در این مطالعه کسر آبشویی انجام نشد. به عبارت دیگر، اجازه داده نشد آب از انتهای گلدان‌ها خارج شود به این ترتیب کارایی هیدروژل سنتز شده در شرایطی مشابه با شوری موجود در بسیاری از اراضی کشاورزی ارزیابی شد.

⁴ non-saline soil³ salty soil

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده قبل از کاشت

نوع خاک	مشخصات خاک	مقدار	واحد	مشخصات خاک	مقدار	واحد
خاک شور (SS)	بافت خاک	Sandy Clay loam	-----	N	۰/۰۸	(%)
	شن	۴۱	(%)	P	۹/۸	(meq/l)
	سیلت	۳۱	(%)	K	۱۲	(meq/l)
	رس	۲۸	(%)	Ca	۲۴	(meq/l)
	EC	۶/۲	(dS/m)	Mg	۹	(meq/l)
	pH	۷/۷	---	Na	۲۳	(meq/l)
	OM	۰/۷	(%)	-	-	-
خاک غیر شور (NSS)	بافت خاک	Sandy Clay loam	-----	N	۰/۰۵	(%)
	شن	۳۳	(%)	P	۱۱/۲	(meq/l)
	سیلت	۴۶	(%)	K	6	(meq/l)
	رس	۲۱	(%)	Ca	10	(meq/l)
	EC	۲	(dS/m)	Mg	4	(meq/l)
	pH	۷/۱	----	Na	6	(meq/l)
	OM	۰/۸	(%)	-	-	-

علاوه بر این مرحله، در زمان رشد رویشی با توجه به کمبودهای مشاهده شده، در دو مرحله از محلول های غذایی ۱۰۰۰ پی پی ام آهن، منیزیم و کلسیم همراه با آب آبیاری استفاده گردید. برداشت گیاهان پس از اتمام رشد رویشی و اواسط میوه دهی انجام شد. پس از برداشت نیز طول بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ، وزن میوه، تعداد گل، درصد نیتروژن کل گیاه به روش کج‌دال (Chapman, 1982)، فسفر به روش (Olsen, 1954) و پتاسیم به روش فتومتری شعله (Chapman, 1982) اندازه گیری شد. تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس

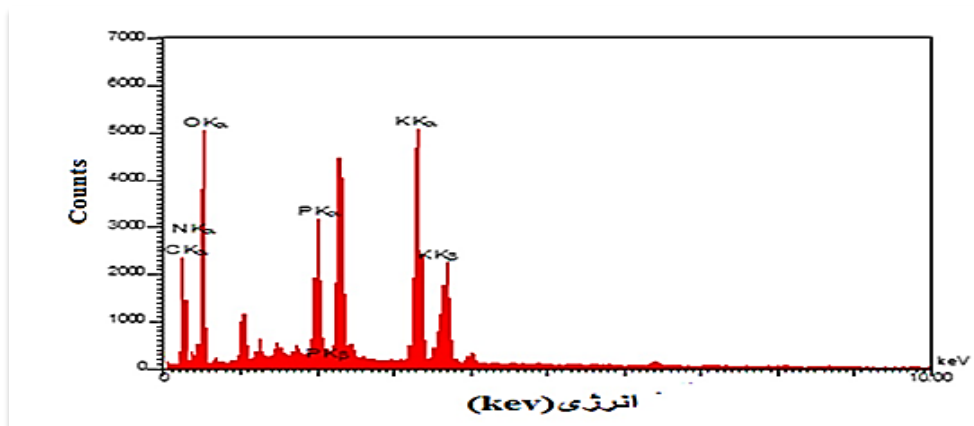
(EDS) هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده

جهت شناسایی درصد عناصر و تایید حضور عناصر غذایی نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، فسفر (P) بارگزاری

شده در هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده از طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS Map) استفاده گردید (Mengdi Ma et al., 2020, Tamara et al., 2020, Yao et al., 2010). طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) برای تجزیه و تحلیل ساختاری و آنالیز عناصر موجود در نمونه به کار می رود و با نصب آن بر روی میکروسکوپ های الکترونی می توان با مطالعه پرتوهای بازگشتی از نمونه و تعیین پرتو ایکس مشخصه هر عنصر، با استفاده از قدرت تفکیک و قابلیت بزرگنمایی مختلف، آنالیز کیفی و کمی را بر روی طیف وسیعی از نمونه ها انجام داد. هر چه پیک مشاهده شده برای عنصر در نمودار بالاتر باشد، غلظت بیشتری از آن عنصر در نمونه مشاهده می شود. همچنین هر چه انرژی پرتوی الکترونی افزایش و وزن اتمی عناصر کاهش یابد، می توان از عمق بیشتری از نمونه اطلاعات کسب نمود (پرستگاری و فولادگر، ۱۳۹۶). نکته قابل توجه اینکه تحلیل EDS Map بر روی یک ناحیه خاص و با ابعاد مشخص انجام شده است و نتایج درصد عناصر، مربوط به همین ناحیه منتخب است. EDS یک تکنیک تحلیلی سطحی است و اطلاعات ارائه شده، مربوط به چند میکرومتر ابتدایی سطح نمونه است. این بدان

بیشترین فراوانی عنصری مربوط به عناصر کربن، پتاسیم، اکسیژن، نیتروژن و فسفر می‌باشد، (شکل ۴) و (جدول ۲).

معناست که نتایج، نمایانگر کل حجم نمونه نیست (Spaleta et al., 2020). بر اساس آنالیز EDS حضور عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر، اکسیژن و کربن در هیدروژل سنتز شده تأیید شد. در این نمودار



شکل ۴- طیف حاصل از آنالیز نمونه با روش طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS)

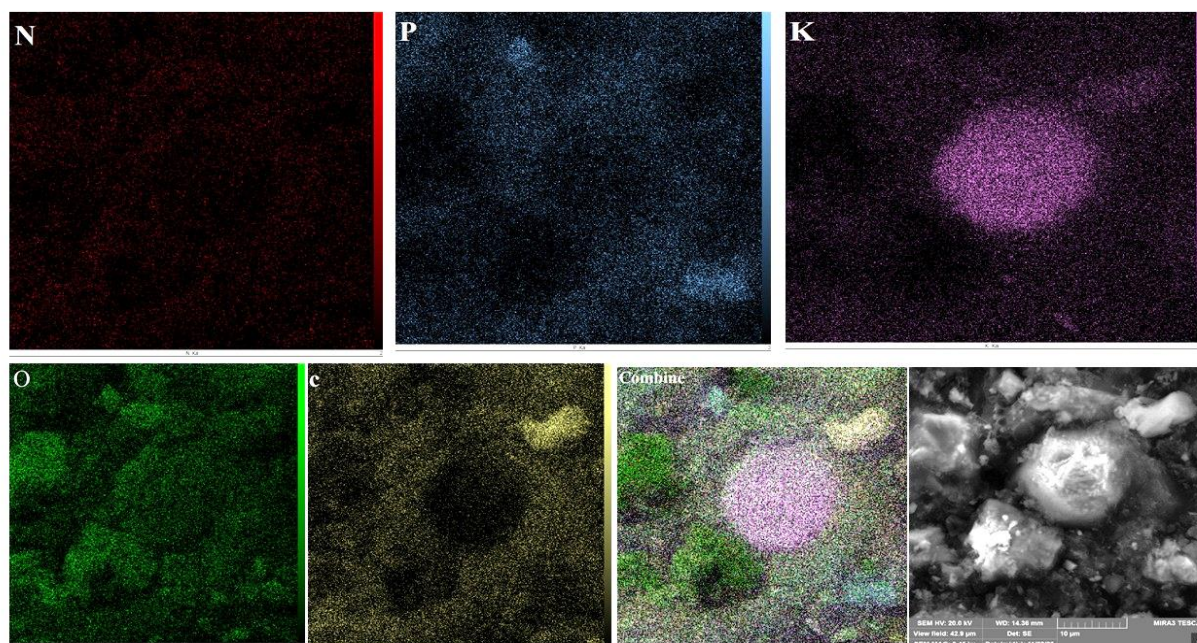
جدول ۲- میزان عناصر موجود در نمونه آنالیز شده بر اساس درصدهای وزنی و اتمی

Element	Series	Wt. %	at. %
C	K-Series	35.68	51.29
N	K-Series	0.22	0.14
O	K-Series	32.01	34.43
P	K-Series	0.12	0.07
K	K-Series	31.97	14.07
Sum:		100.00	100.00

کامپوزیت کودی سنتز شده تأیید شد. تمامی عناصر مورد بررسی C، K، P، N، دارای توزیع و پراکندگی تقریباً همگنی می‌باشند (شکل ۵).

تحلیل آنالیز تصویربرداری هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده

با توجه به آنالیز تصویربرداری حضور عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، اکسیژن و کربن در هیدروژل



شکل ۵- آنالیز تصویربرداری هیدروژل کامپوزیت کند ره‌ای N-P-K

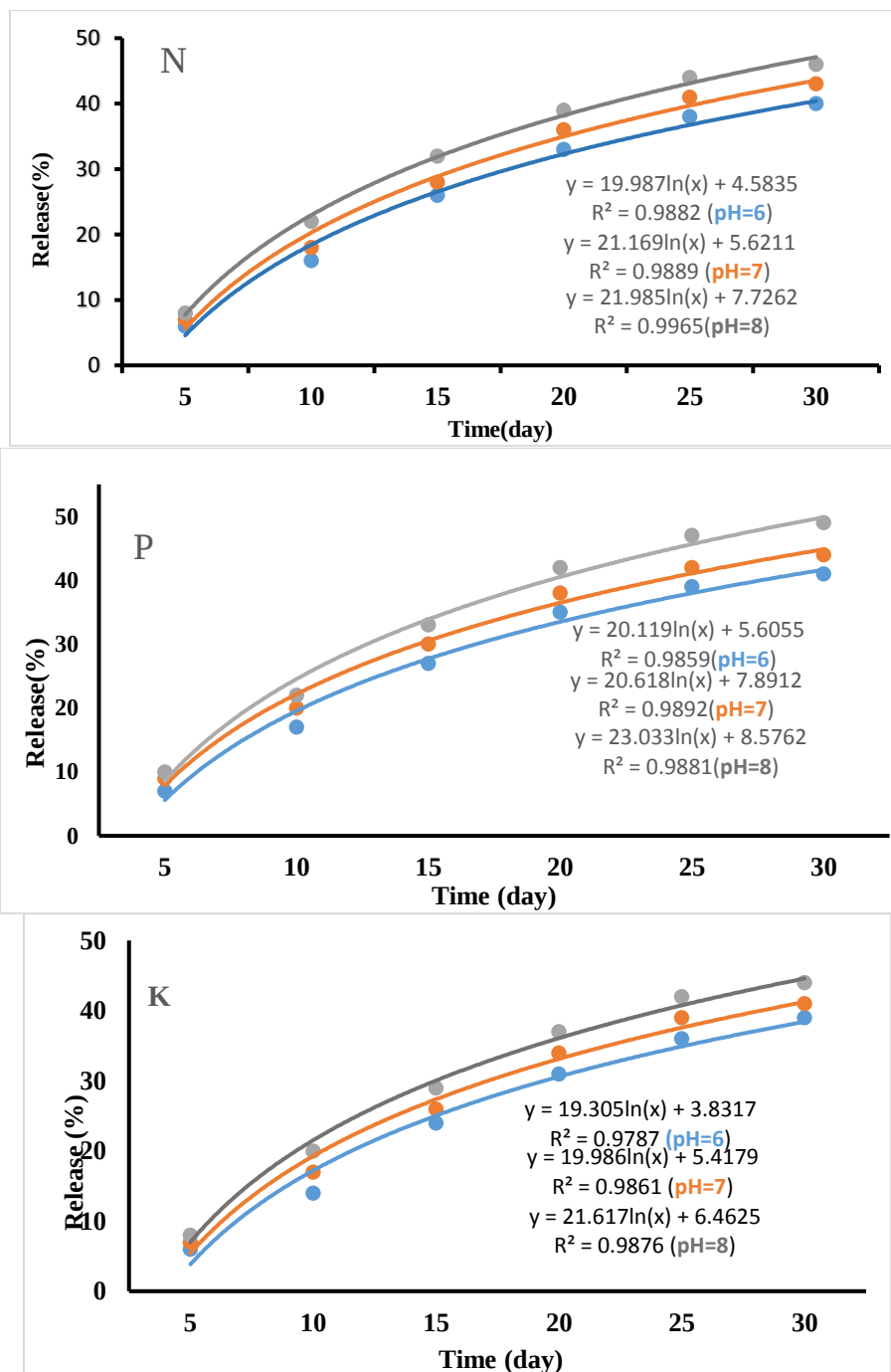
مطالعه ره‌ایش عناصر غذایی N-P-K از هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده تحت تاثیر pH های مختلف نسبت به زمان

نتایج نشان داد که میزان ره‌ایش عناصر غذایی تحت تاثیر pH محلول قرار گرفته است (شکل ۶). با توجه به منحنی‌های ره‌ایش، درصد ره‌ایش N-P-K در pH های بالا افزایش و در pH های پایین کمتر می‌شود. در واقع این افزایش ره‌ایش عناصر غذایی در pH بالا بدین معنی است که مقاومت پلیمر سنتز شده و ساختار هیدروژل تحت شرایط اسیدی و قلیایی دستخوش تغییرات می‌گردد و این افزایش حلالیت بیانگر حلالیت اجزای پلیمری در شرایط کمی قلیایی می‌باشد (Mesias et al, 2019). مقاومت هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده در pH اسیدی بیشتر می‌باشد. بر اساس نتایج به طور متوسط ۴۰ درصد عناصر بارگذاری شده در هیدروژل طی مدت زمان ۲۸ روز ره‌اسازی شده است. با توجه به تعریف کمیته استاندارد سازی اروپا برای توصیف کودهای آهسته ره‌ش سه شاخص، ره‌اسازی کمتر از ۱۵٪ در ۲۴ ساعت، ره‌اسازی کمتر از ۷۵٪ در ۲۸ روز و حداقل حدود ۷۵٪ ره‌اسازی در

زمان تعیین شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد پیشنهاد شده است (Trenke, 2010 and Shaviv, 2001, Chen, & Lai, 2013) که بر اساس آن می‌توان گفت کود سنتز شده کند ره‌ا می‌باشد. نزدیک بودن منحنی‌های ره‌ایش در سطوح کمی اسیدی نشانه حلالیت پلیمر و انتشار عناصر غذایی به دام افتاده در ساختار پلیمر می‌باشد (Mesias et al, 2019). با توجه به شکل (۶) منحنی ره‌ایش عناصر غذایی در pH های مختلف دارای شیب تقریباً یکسانی است. هرگاه منحنی ره‌ایش عناصر غذایی در pH های مختلف دارای شیب یکسانی باشد نشان دهنده انتشار کنترل شده و انتشار مبتنی بر ماتریس می‌باشد (Mesias and Chen 2019). ره‌اسازی مبتنی بر ماتریس (Matrix-based release) به این معنی است که مواد فعال (مثل مواد مغذی در کودها) در یک ساختار یا بستر جامد (که به آن ماتریس می‌گویند) قرار گرفته‌اند و آزاد شدن این مواد از داخل آن ماتریس، به صورت تدریجی و کنترل شده انجام می‌شود. در این مطالعه هیدروژل همان ماتریس است که مواد مغذی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) را در خود نگه داشته و به صورت کنترل شده و آهسته ره‌ا می‌کند. این روش در تولید کودهای آهسته ره‌ش بسیار کاربرد دارد. از جمله

ویژگی‌های اصلی رهاسازی مبتنی بر ماتریس: ۱- آزادسازی تدریجی، ۲- آزاد سازی کنترل شده و ۳- بهره‌وری بالاتر توسط گیاه می باشد. جهت بررسی ارتباط میان رهایش عناصر غذایی با زمان نمودارهای لگاریتمی این رهایش ترسیم شد (شکل ۶). بالا بودن R^2 در همه منحنی ها بیانگر ارتباط رهایش عناصر غذایی با زمان می باشد. میزان رهایش عناصر N و P با افزایش پ هاش تقریباً در طول مدت ۲۸ روز بیشتر از رهایش K می باشد (شکل ۶). نتایج به دست آمده با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۹) که با

استفاده از پوشش زیست تخریب پذیر کیتوسان/ آلژینات و کراس لینکر سیتریک اسید نوعی کود آهسته رهش NPK سنتز نمودند مطابقت دارد. نتایج به دست آمده در فاز محلول و در یک محیط کاملاً محلول مورد بررسی قرار گرفته است، مسلماً این رهایش در محیط خاک تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون pH، ترشحات ریشه گیاهان، میکروارگانیسم های موجود در خاک و غیره تغییر خواهد کرد.



شکل ۶- روند انتشار عناصر غذایی N-P-K تحت تاثیر pH های ۶، ۷، ۸ طی مدت زمان ۲۸ روز

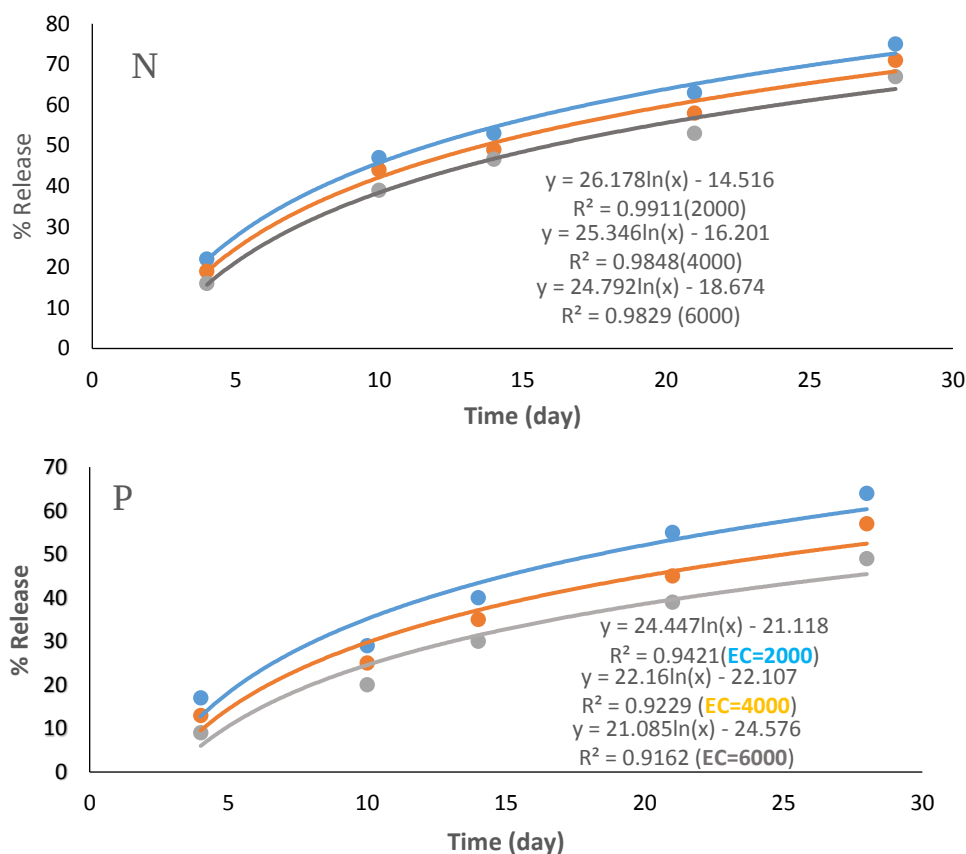
مکانیسم رهاسازی عناصر غذایی در ترکیبات کودی سنتز شده و پوشش داده شده شامل تورم هیدروژل از طریق جذب آب و وارد شدن آب به ماتریس درونی پلیمر، حل شدن عناصر غذایی در هیدروژل متورم شده و رهایش آهسته عناصر غذایی به خارج از شبکه پلیمر از طریق تبادل آب بین محیط بیرونی و هیدروژل سنتز شده می باشد (Xiao)

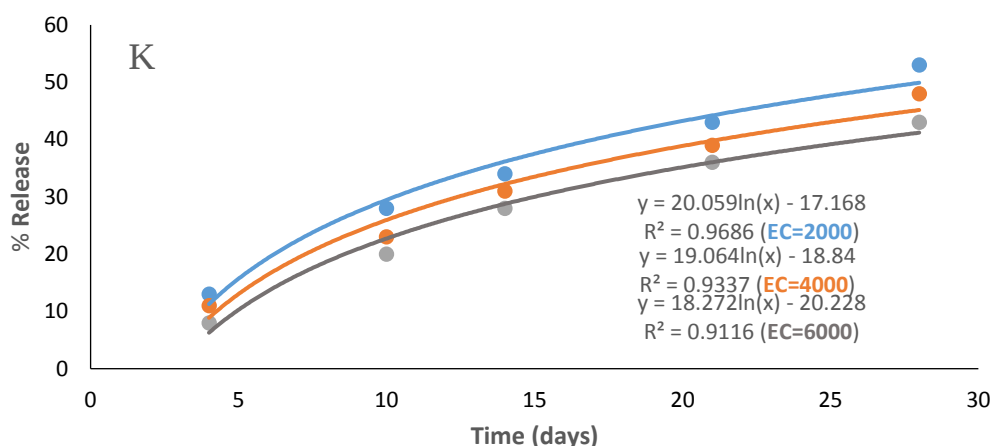
بررسی رهایش عناصر غذایی از هیدروژل کامپوزیت کند ره‌ای سنتز شده تحت تاثیر زمان و شوری

نتایج حاصل از بررسی رهایش عناصر غذایی در کود سنتز شده در محلول آبی با شوری متفاوت طی مدت زمان ۲۸ روز در شکل (۷) نشان داده شده است. در واقع

دلایل مهم در کم شدن رها سازی عناصر از هیدروژل سنتز شده در محلولی با شوری بالا رقابت یونی و افزایش قدرت یونی محلول نمکی است که باعث کم شدن فعالیت یونی عناصر می‌گردد. در نمودار رها سازی برای عنصر پتاسیم نیز یک روند صعودی را نشان می‌دهد. هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۲۱۵ میلی گرم پتاسیم بوده است که طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رها سازی پتاسیم در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=2000$ معادل ۵۳٪، در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=4000$ معادل ۴۹٪، و در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=6000$ معادل ۴۵٪، بود (شکل ۷c). هر سه نمودار رها سازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درصد رها سازی عناصر با توجه به تعریف استاندارد جهانی در خصوص کودهای کند رها مطابقت داشته و بیانگر کندرها بودن کود سنتز شده و قابلیت استفاده این کود در خاک های شور می‌باشد.

(et al., 2017). میزان رها سازی نیتروژن در سطوح مختلف شوری تحت تاثیر شوری محیط قرار گرفته است به طوریکه با افزایش املاح نمکی محیط محلول میزان رها سازی این عناصر کم شده است. با توجه به اینکه هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۷۰ میلی گرم نیتروژن می‌باشد طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رها یی نیتروژن در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=2000$ معادل ۷۴/۳۸٪، در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=4000$ برابر ۷۲/۹۶٪، و در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=6000$ برابر با ۶۷/۵۸٪ بود (شکل ۷a). هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۷۱ میلی گرم فسفر بوده است که طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رها سازی فسفر در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=2000$ برابر ۶۳/۵۶٪، در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=4000$ برابر با ۵۶/۸۱٪، و در $\mu\text{mohs/cm}$ $EC=6000$ معادل ۵۱/۳۳٪ بود (شکل ۷b). یکی از





شکل ۷- نمودار رهائش عناصر غذایی (N-P-K) از هیدروژل کامپوزیت کندهای سنتز شده تحت تاثیر زمان و شوری طی ۲۸ روز

تاثیر کودهای هیدروژل زیست تخریب پذیر بر

خصوصیات مورفولوژیکی گیاه گوجه فرنگی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل سطح کود کاربردی و سطح شوری خاک بر ارتفاع

گیاه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک گیاه و وزن تک میوه در سطح ۵ درصد معنی دار شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کود و شوری خاک بر برخی خصوصیات رویشی گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد میوه	وزن تک میوه	تعداد گل
سطح کود	۲	۸۵۶/۵*	۲۷۳۴۳*	۲۲۲/۳*	۸۶/۶ ^{NS}	۱/۹۸*	۲۳/۵۹*	۱۱۸/۱۶*	۵۶/۳۸*
شوری خاک	۱	۲۶۵۰/۸*	۲۳۰۲۵/۷*	۲۲۳۳/۶*	۳۵۹*	۸/۵۹*	۴/۰۳ ^{NS}	۷۶/۸*	۹۳/۶۳ ^{NS}
سطح کود * شوری خاک	۲	۸۴۳/۸*	۶۵۵۱۴*	۴۹۸/۹*	۱۶/۶۲ ^{NS}	۰/۷۵۶ ^{NS}	۲/۵۴ ^{NS}	۴۹/۰۲*	۴/۱۹ ^{NS}
خطا	۸	۴۵/۴	۵۹۴۰/۷۸	۸/۴۷	۴۵/۴۱	۲۲/۴۷	۰/۴۲	۳/۹۱	۲/۷۵
CV(%)	-	۶/۶۵	۲۸/۷۹	۶/۶۶	۱/۸۱	۳/۹	۲۵/۵	۱۱/۷	۱۵/۷

NS و ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل سطح کود کاربردی و شوری خاک بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). کیفیت و کمیت رشد گیاهان بستگی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن و تمایز سلولی گیاه دارد. از آنجایی که عنصر غذایی نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی محسوب می‌شود، بنابراین دسترسی بیشتر به این عنصر توسط گیاه باعث افزایش جذب و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه می‌شود که این یکی از دلایل افزایش ارتفاع و بیانگر اثر مثبت نیتروژن در رشد گیاهان می‌باشد (جامی و

همکاران، ۹۸). در کودهای با رهائش کنترل شده میزان رهائش عناصر غذایی در مدت زمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد، بنابراین گیاه در تمام مراحل رشد عنصر غذایی کافی جهت رشد و نمو در اختیار داشته و همین امر باعث کارایی مصرف بیشتر عناصر در مقایسه با کودهای شیمیایی معمولی و بدون پوشش می‌شود (Ramli., 2019).

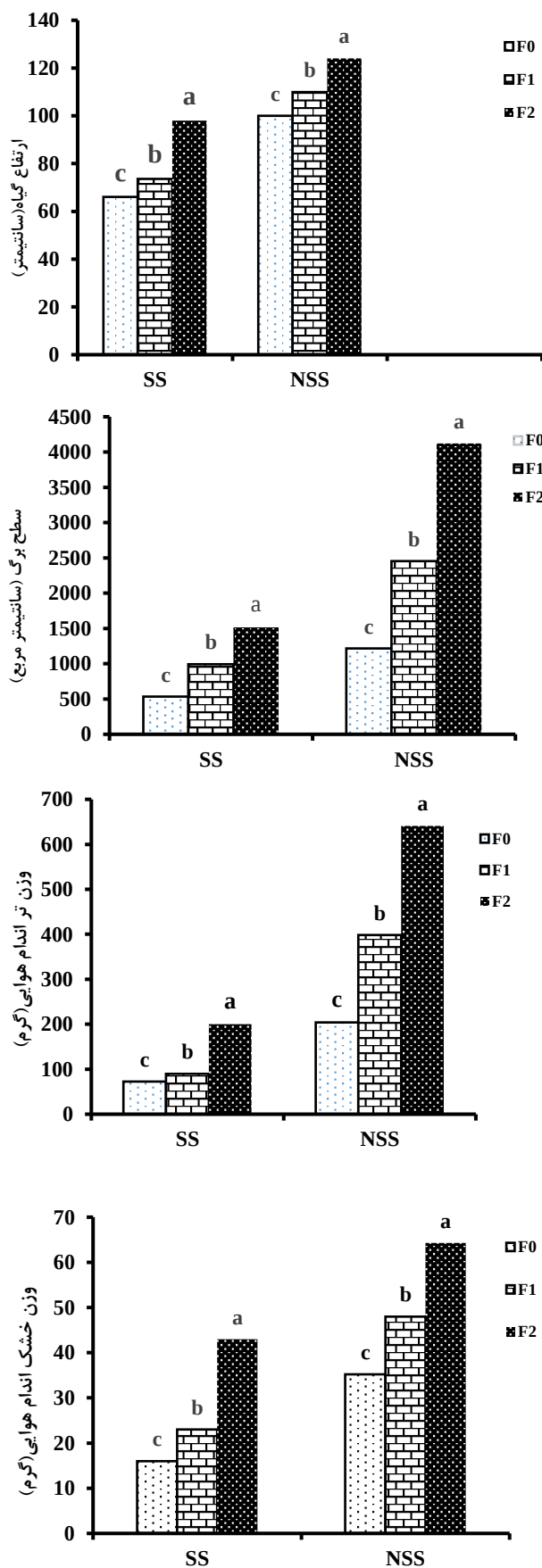
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطح کود و شوری خاک بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)
سطح کود	۲	۰/۱۴۹*	۰/۰۱۷*	۱/۶۳*
شوری خاک	۱	۰/۰۴۵*	۰/۰۴۳*	۱/۹۹*
سطح کود * شوری خاک	۲	۰/۰۰۷*	۰/۰۱۶*	۳/۳۵*
خطا	۸	۰/۰۷۲	۰/۰۰۵	۱/۴۵
CV(%)	—	۱۳/۸	۱۴/۶	۱۷/۸

ns و ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

شور در سطح NSS_{F2} ۶۵ گرم بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۲۰٪ و ۳۵٪ افزایش وزن داشته است (شکل ۸). با توجه به نتایج به دست آمده وضعیت رشدی گیاه گوجه فرنگی در کلیه صفات اندازه گیری شده در سطوح کودی SS_{F2} و NSS_{F2} نسبت به سطح کودی SS_{F1} و NSS_{F1} و NSS_{F0} و SS_{F0} وضعیت مطلوبتری را نشان داد. استفاده از ترکیبات هیدروژلی کامپوزیت خاصیت نگهداری آب و عناصر غذایی به صورت طولانی مدت در خاک حفظ گردیده، نوسانات رطوبتی خاک کاهش یافته و موجب افزایش رشد گیاه خواهد شد (Bokharaei, 2023). در مطالعه ای که سلیمی و همکاران (۱۴۰۰) بر روی گیاه گوجه فرنگی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از کودهای کند رها بر بسیاری از صفات رشدی گیاه گوجه فرنگی اثر مثبت و معنی داری داشته است. علت افزایش رشد طولی ساقه و وزن اندام هوایی را مربوط به خاصیت جذب بالای آب در هیدروژل بیان کردند. (Mahgoub, 2020) اثر بخشی هیدروژل را بر رشد گیاه گوجه فرنگی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از دو سطح کودی هیدروژل به علاوه نصف کود شیمیایی N-P-K استفاده گردید ($HG1=2+0/5$ g و $HG2=4+0/5$ g)، نتایج نشان داد تیمارهای کودی ۴ و ۲ گرم هیدروژل بر تعداد شاخه‌های گیاه، طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه و تعداد میوه نسبت به تیمار شاهد تاثیر مثبت، معنی دار و روند افزایشی را به دنبال داشته است.

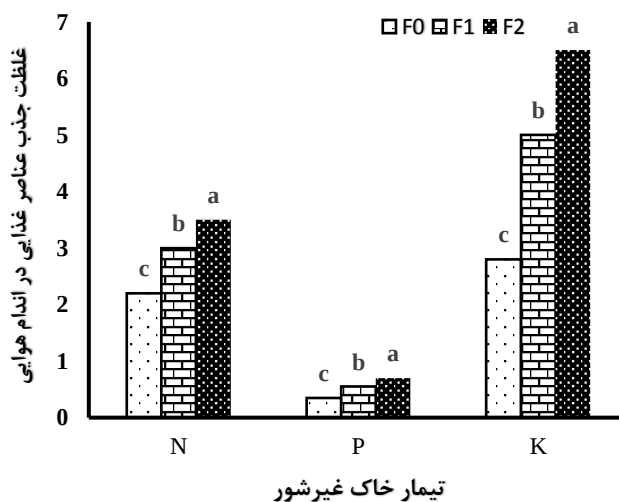
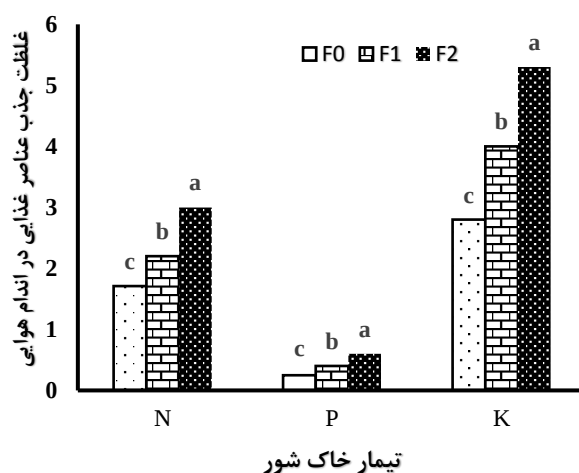
مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۸) برای دو خاک شور (SS) و غیرشور (NSS) نشان داد، که ارتفاع گیاه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد میوه و تعداد گل در هر گلدان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار ارتفاع گیاه در تیمار خاک شور ۹۸ سانتیمتر بود که مربوط به سطح کودی SS_{F2} می‌باشد. ارتفاع گیاه در سطح SS_{F2} نسبت به تیمار کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۲۴/۸۹٪ و ۳۲/۶۵٪ افزایش نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار NSS_{F2} ، ۱۲۴ سانتیمتر بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۱۱/۰٪ و ۱۹/۰ درصد اختلاف داشت. سطح برگ تیمار SS_{F2} نیز ۱۵۱۴ سانتیمترمربع بود که نسبت به سطح کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۳۴٪ و ۶۴٪ افزایش را نشان داد. سطح برگ تیمار NSS_{F2} ، ۴۱۸۲ سانتیمترمربع بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۴۴٪ و ۶۸٪ درصد اختلاف داشته است. وزن تر اندام هوایی در سطح کودی SS_{F2} ، ۲۰۰ گرم بود که در مقایسه با سطح کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۵۵٪ و ۶۳٪ افزایش را نشان داد. بیشترین وزن تر اندام هوایی در خاک غیر شور در سطح NSS_{F2} ۶۴۰ گرم بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۳۵٪ و ۶۵٪ افزایش وزن داشته است. وزن خشک اندام هوایی در سطح کودی SS_{F2} ، ۴۳ گرم بود که در مقایسه با سطح کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۲۵٪ و ۴۵٪ افزایش را نشان داد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در خاک غیر



شکل ۸- نمودار مقایسه میانگین اثر سطح کودی و شوری خاک بر برخی صفات رویشی گیاه گوجه فرنگی در سطح ۵ درصد معنی داری

شور برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح کودی F_2 نسبت به سطح کودی F_1 و F_0 به ترتیب ۰/۵، ۱/۵ درصد برای نیتروژن، ۰/۲، ۰/۳ درصد برای فسفر، ۱/۶ و ۲/۶ درصد برای پتاسیم افزایش داشته است. نتایج نشان می‌دهد که در خاک غیرشور درصد جذب عناصر N-P-K در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی به طور معنی دار افزایش یافته است. هیدروژل‌هایی که حاوی کود هستند و آب را بصورت تنظیم شده رها می‌کنند باعث توزیع سطح کودی در طول زمان می‌شوند. بنابراین مواد مغذی برای طولانی‌ترین دوره زمانی در دسترس گیاه خواهد بود (Abobatta, 2018).

نتایج مقایسه میانگین اثر سطح کود و خاک بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی نشان داد شکل (۹) که بیشترین مقدار جذب عناصر غذایی در سطوح کودی F_2 و F_1 هیدروژل نسبت به تیمار F_0 به دست آمد. در تیمار خاک شور، غلظت نیتروژن در سطوح کودی F_1 ، F_0 و F_2 به ترتیب برابر با ۱/۷٪، ۲/۲٪ و ۳٪، غلظت فسفر ۰/۲٪، ۰/۳۵٪ و ۰/۶٪ و غلظت پتاسیم ۲/۸٪، ۴٪ و ۵/۳٪ اندازه‌گیری شد. به طور کلی، غلظت نیتروژن در سطح کودی F_2 نسبت به F_0 ، حدود ۱،۳٪، غلظت فسفر حدود ۰/۴٪ و غلظت پتاسیم در سطح کودی F_2 نسبت به F_0 حدود ۲،۵٪ افزایش را نشان می‌دهد. در حالیکه غلظت جذب عناصر در تیمار خاک غیر



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطح کود و شوری خاک بر غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح ۵ درصد معنی داری

تأثیر هیدروژل کودی سنتز شده بر خصوصیات

شیمیایی خاک پس از برداشت محصول

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی خاک‌های پس از برداشت گیاه به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. pH خاک بر تغییرات شیمیایی خاک و درصد جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاهان تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه تیمارهای SS و NSS در هر دو سطح کودی F₁ و F₂ به صورت جزئی کاهش pH را نشان دادند. جدا شدن H⁺ از هیدروژل باعث افزایش بار منفی در سطح و خنثی شدن محل‌های تبادل کاتیونی و افزایش اسیدیته خاک می‌شود. هرچه هیدروژل مدت زمان طولانی‌تری در خاک بماند pH خاک بیشتر کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار هیدروژل pH خاک بین ۰/۱۸ - ۰/۸ واحد در ناحیه ریشه گیاهان متغیر می‌باشد (El-Saied 2016 and Rajakumar et al., 2016). pH اولیه خاک شور ۷/۷ و pH اولیه خاک غیرشور ۷ بود. در تیمار SS و NSS، pH در سطح کودی F₂ نسبت به سطح کودی F₁ و F₀ کاهش بیشتری داشته است. کاهش pH در سطح کودی، SS_{F1} و SS_{F0}، خاک شور با توجه به pH اولیه خاک به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۱۲ و ۰/۰۴ درصد بود. این کاهش pH می‌تواند ناشی از حفظ رطوبت متفاوت در خاک باشد. در مطالعات مشابهی که توسط Wael et al. (2015) و Ali et al. (2021) انجام شده است تأیید کننده کاهش جزئی pH با استفاده از هیدروژل می‌باشد. هیدروژل‌ها از طریق کاهش pH دسترسی به مواد مغذی،

افزایش مواد آلی، خواص شیمیایی و وضعیت تغذیه ای گیاه را بهبود می‌بخشند. Roy et al., (2019) گزارش دادند که کاربرد هیدروژل باعث افزایش رطوبت لایه سطحی خاک، جذب بهتر مواد غذایی و افزایش ۲۲٪ جوانه زنی گندم در مقایسه با کشت بدون هیدروژل گردید. استفاده از ۵ kg/h هیدروژل به طور قابل توجهی رطوبت خاک را در اعماق مختلف (۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۴۵-۳۰ cm) در تمامی مراحل رشد افزایش داده و باعث جذب بهتر عناصر غذایی گردید (Dass et al., 2013; Saini et al., 2018). در مطالعه مشابهی که فو و همکاران (۲۰۲۳) بر روی گیاه ذرت در خاک‌های متأثر از نمک با استفاده از ترکیبات کودی کربوکسی متیل سلولز انجام داده بودند، گزارش دادند که رطوبت خاک، مواد آلی خاک، نیتروژن معدنی، میزان فسفر و پتاسیم خاک افزایش و شوری خاک کاهش یافته و منجر به افزایش عملکرد ذرت به میزان ۲۱/۲۹٪ شد. تأثیر تیمارهای کودی بر میزان ماده آلی خاک در هر دو خاک شور و غیرشور نشان داد که مقدار ماده آلی خاک نسبت به مقدار اولیه در خاک شور در سطح کودی ۰٪، ۱٪ و ۲٪ هیدروژل کاربردی به ترتیب ۱۲٪، ۱۸٪، ۴۲٪ و در خاک غیرشور نیز به ترتیب ۱۶٪، ۲۶٪ و ۶۶٪ درصد افزایش مواد آلی را نشان داد (شکل ۹). این افزایش محتوای مواد آلی خاک ممکن است به دلیل در دسترس بودن رطوبت بهینه در خاک برای رشد خوب، افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش تخریب مواد آلی باشد. نتایج به دست آمده از این مطالعه با نتایج Ali et al., 2021 و El-Hady Abo-Sedera (2006) مطابقت دارد.

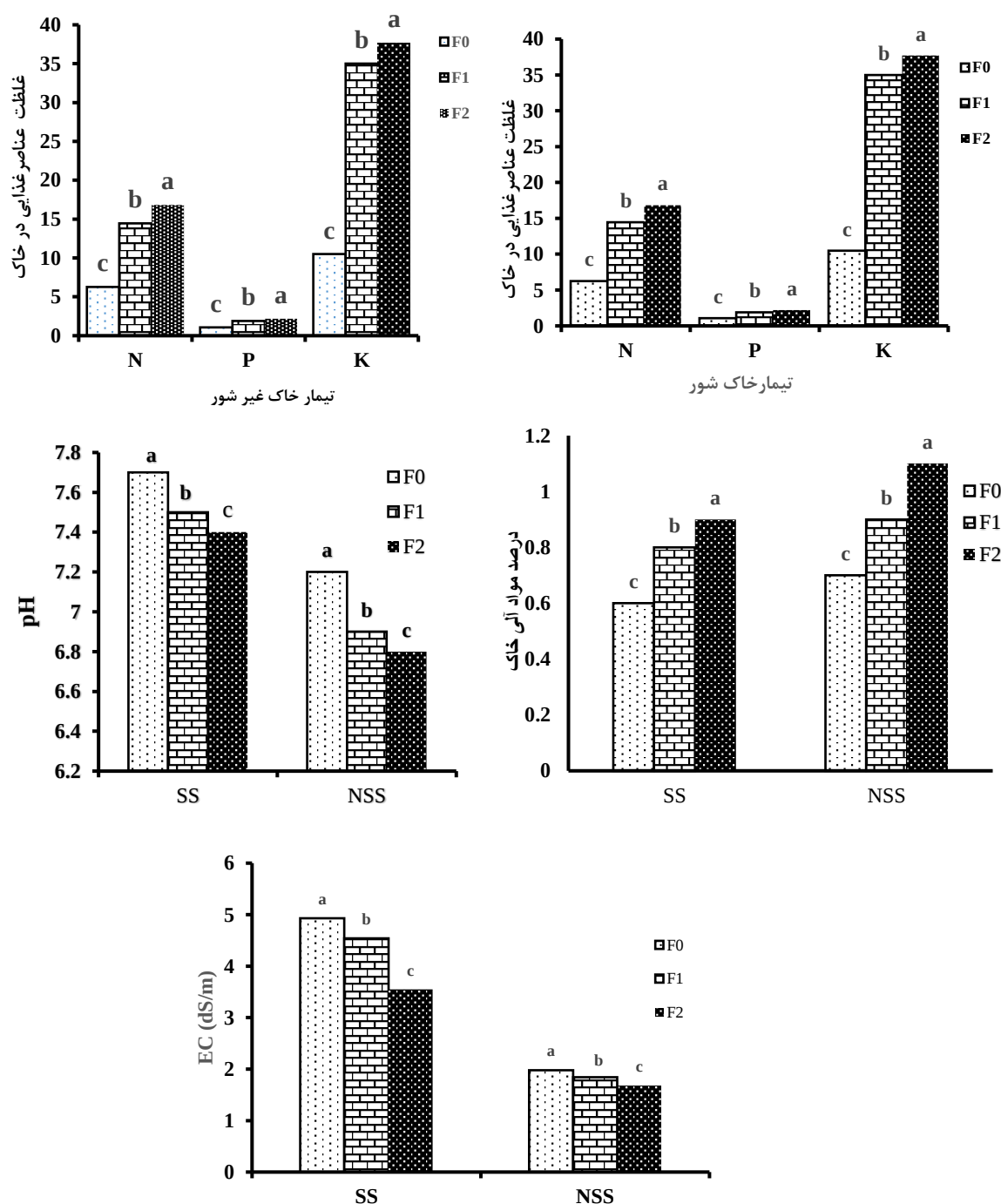
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سطح کود و شوری خاک بر خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن (%)	فسفر (mg/l)	پتاسیم (mg/l)	کلسیم (mg/l)	منیزیم (mg/l)	سدیم (mg/l)	مواد آلی (%)	pH -	EC dS/m
سطح کود	۲	۰/۷۲۸	۱/۸۰۵	۰/۹۳۴	۱/۱۴۵	۰/۲۴	۱۹۴/۷۸	۰/۹۸	۰/۷	۳/۶۹
شوری خاک	۱	۰/۲۴۳ ^{ns}	۱۴۴/۱۴*	۱۸۴/۳۹*	۱۵۴/۴*	۳۶/۹۴*	۲۳۴/۵*	۱/۰۱*	۲۹/۹۴*	۹/۲۳*
سطح کود* شوری خاک	۲	۰/۸۲۶ ^{ns}	۰/۸۲۳ ^{ns}	۳/۳۵۷ ^{ns}	۱۶/۹۷ ^{ns}	۳/۵۶ ^{ns}	۱۰/۲۱ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۰/۸ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}
خاک	۱۲	۰/۲۶	۷۴/۴۸	۱۷/۶۳	۱۵/۹	۳/۲۹	۱۲۹/۹۴	۰/۳۱۹	۳/۸۸	۱/۲۹
خطا	-	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۵
CV(%)										

ns و ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

از نتایج قابل توجه در خصوص کاربرد کود هیدروژلی در هر دو خاک شور و غیرشور کاهش شوری خاک بود (شکل ۹). نتایج نشان داد که در تیمارهای خاک شور در سطوح کودی F0, F1 و F2 میزان شوری خاک به ترتیب میزان ۱، ۱/۵ و ۲/۵ dS/m کاهش یافته است (شکل ۹). در تیمارهای خاک غیرشور این میزان تغییر در شوری خاک اتفاق نیفتاد. بطوریکه در سطوح کودی F0, F1 و F2 میزان شوری خاک به ترتیب میزان ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ کاهش نشان داد. زمانی که هیدروژل در خاک استفاده شود یک توده ژلاتینی هیدراته بی‌شکل تشکیل می‌شود که باعث جذب و دفع آب در مدت زمان طولانی می‌شود. در نتیجه به عنوان یک منبع آهسته رهش آب در خاک عمل می‌کند که اندازه گرانول هیدروژل، رطوبت زمینه ای خاک، درجه اتصالات عرضی و حلالیت از جمله عوامل فعالی هستند که روی رهاسازی مواد مغذی موجود در هیدروژل تاثیرگذار می‌باشند (Mahgoub., 2020). هیدروژل‌ها می‌توانند با افزایش احتباس آب و بهبود بالقوه در دسترس بودن مواد مغذی، در کاهش اثرات منفی شوری خاک بر رشد گیاه مفید باشند. آن‌ها همچنین می‌توانند به کاهش غلظت نمک‌های مضر در محلول خاک و اطراف ریشه‌های گیاه کمک کنند. با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک‌ها و تنظیم منابع آب موجود برای گیاهان، به ویژه در محیط‌های خشک، رشد و استقرار گیاهچه را بهبود بخشند. با این حال، اثربخشی هیدروژل‌ها می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند ترکیب هیدروژل، سطح شوری و نوع خاک قرار گیرد (Khizra Ali., 2024). در مطالعه ای که

al., 2004 بر روی گیاه *Populus euphratica* در خاک شور انجام دادند تجزیه و تحلیل یون‌های موجود در بافت و سلول‌ها نشان داد که بهبود رشد گیاه ناشی از افزایش توانایی دفع نمک و جذب بیشتر کلسیم (Ca^{2+}) است. اسکن میکروسکوپی با پرتو ایکس از بخش‌های ریشه نشان داد که حضور هیدروژل، مانع از عبور یون‌های (Na^{+}) از طریق فضای بین سلولی (آپوپلاست) در ریشه‌های جوان و پیر شد، و همچنین مانع عبور (Cl^{-}) کلرید در بخش‌های بیرونی سلول‌ها (آپوپلاست و سیتوپلاسم) شد. در حالی که اجازه می‌داد (Cl^{-}) در واکوئل‌های بخش قشری ریشه‌های جوان و پیر جمع شود. در مجموع افزودن هیدروژل به خاک شور، کیفیت محلول خاک را با کاهش سطح نمک و غنی‌سازی جذب Ca^{2+} بهبود می‌بخشد، که این خاصیت هیدروژل به دلیل ظرفیت مبادله کاتیونی آن است. در نتیجه، تجمع ریشه‌ها در نزدیکی هیدروژل، تماس بهتر ریشه‌ها با منبع Ca^{2+} و کاهش تماس آنها با Na^{+} و Cl^{-} ، نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه نسبت به شوری دارد. Shaoliang Chen et al., 2003 مطالعه ای مقایسه ای میان گیاهان کشت شده در محیط‌های شور انجام دادند. نتایج نشان داد که زیست توده گیاهان رشد یافته در خاک شور کمتر از گیاهان تیمار شده با هیدروژل (نمک + هیدروژل) بود. زیست توده گیاهان رشد یافته در خاک شور اصلاح شده با هیدروژل ۲/۷ برابر بیشتر از گیاهان رشد یافته در خاک بدون هیدروژل بود. همچنین وزن خشک برگ، ساقه و ریشه همگی با افزودن هیدروژل به خاک شور به طور قابل توجهی بهبود یافتند.



شکل ۱۰- نمودار مقایسه میانگین اثر سطح کود و شوری خاک بر برخی خصوصیات شیمیایی و غلظت عناصر غذایی در سطح ۵ درصد معنی داری

ارزیابی اقتصادی و بر آورد هزینه ها

سنتز کودها، عملکرد میوه (کل و قابل فروش)، محاسبه هزینه‌های تولید و تعیین درآمد بر اساس قیمت‌های بازار می‌باشد. البته بایستی به این نکته توجه نمود که بدون محاسبه هزینه‌های تولید، فرآوری و نیروی کار برای تولید هیدروژل و کودهای شیمیایی و همچنین مزایای کیفی و

ارزیابی و توجیه اقتصادی در خصوص سنتز کودهای هیدروژلی در مقایسه با کودهای شیمیایی معمول مستلزم محاسبه و اندازه‌گیری مواد اولیه مورد استفاده در

کمی استفاده از هیدروژل (مانند کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد و کاهش مصرف کود) نمی‌توان تحلیل دقیقی از سودآوری کلی به دست آورد. بنابراین جهت سنتز کودهای هیدروژلی کند رها نیاز به مطالعات بیشتر و استفاده از مواد اولیه ارزاتر می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید موثر باشد. تحقیقات در زمینه استفاده از مواد اولیه ارزان‌تر و بهینه‌سازی فرآیند تولید کود هیدروژلی با هدف کاهش هزینه‌های تولید در حال انجام است. انتظار می‌رود که با دستیابی به این اهداف، استفاده از کودهای هیدروژلی به یک گزینه اقتصادی و جذاب برای کشاورزان تبدیل شود. شایان ذکر است که نتایج اولیه این مطالعه نشان داد که استفاده از کودهای هیدروژلی کندرها، با توجه به مزایایی مانند کاهش شوری خاک و بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه، پتانسیل بالایی برای افزایش سودآوری در مقایسه با کودهای شیمیایی معمول دارد.

نتیجه‌گیری

بحران شوری و قلیایی شدن خاک یک چالش مهم برای توسعه کشاورزی جهانی است. هیدروژل‌های جدید سازگار با محیط زیست قابلیت‌های بسیار خوبی در حفظ آب و آزادسازی آهسته عناصر غذایی در بهبود کشاورزی نشان داده‌اند. با افزودن هیدروژل به خاک خواص شیمیایی خاک بهبود یافته و باعث افزایش پارامترهای رشد گوجه‌فرنگی، افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه، کاهش pH خاک، افزایش دسترسی به مواد مغذی و کاهش دفعات کوددهی گردید. بیشترین مقدار جذب عناصر غذایی در سطوح کودی F_2 و F_1 هیدروژل نسبت به تیمار F_0 به دست آمد. در تیمار خاک شور، غلظت نیتروژن در سطوح کودی F_1, F_0 و F_2 به ترتیب برابر با ۱٪/۷، ۲٪/۲ و ۳٪، غلظت فسفر ۰٪/۲، ۰٪/۳۵ و ۰٪/۶ و غلظت پتاسیم ۰٪/۲/۸، ۴٪ و ۵٪/۳ اندازه‌گیری شد. در حالیکه غلظت جذب عناصر در تیمار خاک غیرشور برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی در سطح کودی F_2 نسبت به سطح کودی F_1 و F_0 به ترتیب ۰٪/۵، ۱٪/۵ درصد برای نیتروژن، ۰٪/۳

درصد برای فسفر، ۱٪/۶ و ۲٪/۶ درصد برای پتاسیم افزایش داشته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر توانایی هیدروژل سنتز شده در حفظ و نگهداری آب، عناصر غذایی و رهایش آرام عناصر غذایی طی دوره رشد می‌باشد. اثر هیدروژل مصرفی باعث افزایش معنی‌داری در میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک نسبت به خاک شاهد شد. بیشترین میزان جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی در سطوح کود هیدروژل ۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بنابراین گیاه دارای مواد مغذی کافی برای رشد و نمو در تمام مراحل رشد است که استفاده از عناصر غذایی را در مقایسه با کودهای رایج کارآمدتر می‌کند. نتیجه کلی اینکه وضعیت رشدی گیاه گوجه‌فرنگی در کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطوح کودی SS_{F_2} و NSS_{F_2} نسبت به سطح کودی SS_{F_1} و NSS_{F_1} و SS_{F_0} و وضعیت مطلوبتری را نشان داد. مواد پلیمری هیدروژل هیدروفیل به عنوان حامل عمل می‌کنند و رهاسازی مواد مغذی را تنظیم می‌کنند و در کاهش تلفات ناخواسته کود و افزایش راندمان مصرف کود مفید هستند. افزودن هیدروژل به خاک شور، کیفیت محلول خاک را با کاهش سطح نمک و غنی‌سازی جذب Ca^{2+} بهبود می‌بخشد. این خاصیت هیدروژل مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی، تجمع ریشه‌ها در نزدیکی هیدروژل، تماس بهتر ریشه‌ها با منبع Ca^{2+} و کاهش تماس آنها با Na^+ و Cl^- و افزایش مقاومت گیاه نسبت به شوری می‌شود. با این حال، هزینه سنتز هیدروژل‌های کودی بالا بوده و از نظر اقتصادی، همیشه بار مالی کشاورز را افزایش می‌دهند، بنابراین با توجه به اینکه هزینه مواد اولیه ساخت کودهای هیدروژلی کندرها بالا می‌باشد فقط می‌توان در محصولات با ارزش بالا که در زیر سازه‌های محافظت شده مانند سایه بان‌ها یا خانه‌های سبز کشت می‌شوند استفاده شوند.

تشکر و قدر دانی

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز (پژوهانه شماره SCU.AS1402.692) به خاطر پشتیبانی مالی تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

فهرست منابع

۱. اولاد، ع و ذبحی، ح. ۱۳۹۵. سنتز هیدروژل نانوکامپوزیتی ثعلب- گرافت- آکرلیک اسید/ مونت موری لونیت و بررسی رفتار جذب آب آن. نخستین سمینار شیمی کاربردی ایران (IACS). ۱-۲ شهریور ۱۳۹۵.
۲. بحرینی زاده، ا.، بهروزی، م.، و نزاکی، ل. ۱۴۰۲. عوارض استفاده از کودهای شیمیایی و حشره کش ها بر سلامت انسان- ضررهای یک ماده مفید. مجله بهروز. ۳۴(۱۱۹): ۴۶-۴۰.
۳. پرستگاری، م. فولادگر، م. ۱۳۹۶. طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS). فصلنامه علمی، سال اول، شماره ۲، ص: ۱۹-۱۳.
۴. جامی، م. ق.، قلاوند، ا.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، مختصی بیدگلی، ع.، باغبانی آرانی، ا.، نامداری، ا.، ۱۳۹۸. واکنش صفات رویشی و کیفی دانه آفتابگردان به منابع مختلف نیتروژن (کودآلی و شیمیایی) و ژنولیت تحت رژیم های مختلف آبیاری. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی: ۱۲(۱): ص ۱۵۲-۱۴۱.
<http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1297.1265>
۵. سلیمی، م.، معتمدی، ا.، متشرع زاده، ب.، داودی، د.، علیخانی، ح.، میرسیدحسینی، ح. ۱۴۰۰. تولید کود اوره کندرها با استفاده از پوشش نانو کامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته و بررسی اثرات آن بر رشد گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۲): ص ۳۱۲-۳۰۱.
۶. صدیقی، ح.، شایسته، ک.، ارجمند، م. ۱۴۰۲. مروری بر کودهای کندرهش از منظر زیست محیطی و اقتصاد و آینده آن در ایران و جهان. مجله پژوهش های علوم کشاورزی پایدار. ۳(۲): ۶۸-۵۱.
۷. عابدی، م.، احمدوند، ر. ۱۳۹۸. نشریه فنی آشنایی با آفات و بیماری های گوجه فرنگی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
۸. فیاضی، م. ۱۴۰۲. کنترل رهاسازی کودهای پرمصرف ازت، فسفر و پتاسیم با استفاده از هیدروژل های مبتنی بر نانوساختار رسی سیپولایت و نشاسته. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی، انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۶۵۳-۶۶۸.
۹. محمدی، ی. خ. و موحدی راد، س. ۱۳۹۷. تولید آزمایشگاهی کود پوشش دار آهسته رهش با استفاده از مواد زیست تخریب پذیر در یک بستر سیال. نشریه علمی پژوهشی شیمی و مهندسی شیمی ایران. ۳(۳): ۱۲۴-۱۱۹.
۱۰. ماهانی، ا. ا. ۱۴۰۳. کامپوزیت پلیمرهای زیست تخریب پذیر و نانوذرات در هیدروژل ها: بررسی و عملکرد آنها. مجله علوم و صنایع غذایی ایران: شماره ۱۴۹، دوره ۲۱، ص ۱۵۸-۱۴۰.
۱۱. 11-یزدانی، ف.، چرم، م.، جواهریان، م. ۱۴۰۳. ساخت و شناسایی هیدروژل کامپوزیت بر پایه کربوکسی متیل سلولز و بتاسیکلودکسترین، اصلاح شده با آدپیک اسید و بررسی رفتار جذبی آن در محیط های شور و اسیدیته متفاوت. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. کد مقاله (R2) JIPST-2408-2343.
12. 12-Abobatta, W. (2018). Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. Adv. Agric. Environ. Sci. Open Access, 1: 163–172
13. 13-Abdeen, Sa., hefni,H., Awadallah-F,A., and Abd El-Rahman,N.(2023). The Synergistic Effect of Biochar and Poly(2-ethyl-2- oxazoline)/poly(2-hydroxyethylmethacrylate)/Chitosan) Hydrogels on Saline Soil Properties and Carrot Productivity. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2409982/v1>.
14. 14-Ali, A., A. Malik, R. Kausar, M.I. Akram and M. Akmal. 2021. Effects of hydrogels on citrus yield and soil physico-chemical properties in rainfed area of district Attock. Soil Environ. 40(2): 157-164. Bortolin, A., Aouada, F.A., Mattoso,

- L.H.C., and Ribeiro, C. (2013) Nanocomposite PAAm/Methyl Cellulose/Montmorillonite Hydrogel: Evidence of Synergistic Effects for the Slow Release of Fertilizers Agricultural and Food Chemistry, 61, 7431–7439.
15. 15-Ali,K.;Asad,Z.;Agbna,G.H.D.;Saud,A.;Khan,A.;Zaidi,S.J.Progress and Innovations in Hydrogels for Sustainable Agriculture. Agronomy 2024, 14,2815. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122815>.
16. 15-Bai H., Zhang Q., He T., Zheng G., Zhang G., Zheng L., and Ma S., Adsorption Dynamics, Diffusion and Isotherm Models of Poly(NIPAm/LMSH) Nanocomposite Hydrogels for the Removal of Anionic Dye Amaranth from an Aqueous Solution, Appl. Clay Sci., 124-125, 157-166, 2016.
17. 16-Bokharaei,S.N.,Moteshtrezedeh., Etesami.,H.Motamedi.,E.2021. Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant. Ecotoxicology and Environmental Safety 223(2021)112576. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoenv.
18. 17-Bortolin, A., Aouada, F.A., Mattoso, L.H.C., and Ribeiro, C. (2013) Nanocomposite PAAm/Methyl Cellulose/Montmorillonite Hydrogel: Evidence of Synergistic Effects for the Slow Release of Fertilizers Agricultural and Food Chemistry, 61, 7431–7439.
19. 18-Chapman H.D., and Pratt P.E. 1982. Methods of analysis for soil plants and waters, University of California publ. No. 4034. Berkely.
20. 19-Chen C., Gao Z., Qiu X., & Hu S. 2013. Enhance-ment of the controlled-release properties of chitosan membranes by crosslinking with suberoyl chloride.Molecules, 18(6), 7239–7252.
21. 20-Chen, SH., Zommorodi,M., Fritz,E., Wang,SH and Huttermann,A.2004. Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in Populus euphratica under saline conditions. College of Biological Sciences and Technology,Beijing Forestry University. DOI: 10.1007/s00468-003-0267-x
22. 20-Dass, A., Singh, A. and Rana, K. S. 2013. In-situ moisture conservation and nutrient management practices in fodder-sorghum (Sorghum bicolor). Annals of Agricultural Research. 34(3): 254–259.
23. 21-Dehkordi, D. K. and S. Seyyedboveir (2013). Evaluation of super AB A 200 Superabsorbent on water use efficiency and yield response factor of SCKaroun 701 corn under deficit irrigation. Adv. Environ. Biol., 4615–4623.
24. 22-El-Hady, O.A. and S.A. Abo-Sedera. 2006. Conditioning effect of composts and acrylamide hydrogels on a sandy calcareous soil. II-Physico-bio-chemical properties of the soil. International Journal of Agriculture and Biology 8(6): 876-884.
25. 23-El-Saied Houssni, Omar A., El-Hady b., Altaf H., Basta a., Camilia Y., El-Dewiny b, Salah A. Abo-Sedera 2016. Bio-chemical properties of sandy calcareous soil treated with rice straw-based hydrogels. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 15: 188–194.
26. 24-FU, X., WU,X., Wang,H., Chen, Y., Wang,R., Wang, Y.2023. Effects of fertigation with carboxymethyl cellulose potassium on water conservation, salt suppression, and maize growth in salt-affected soil. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108436>.
27. 25-Guan, Y., C. Song, Y. Gan, and F.M. Li. 2014. Increased maize yield using slow-release attapulgite-coated fertilizers. Agronomy for Sustainable Development, 34: 657–665.
28. 26-Hakim, F., Trinurani Sofyan, E., Sudirja, R., Joy,B., Yuniarti,A and Herdiyantoro, D. The Application of Slow Release NPK Fertilizer on Inceptisols to Changes of Soil Chemical Properties and Growth of Sweet Corn (Zea mays L. saccharata). International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology Vol-7, Issue-3; May-Jun, 2022. DOI: 10.22161/ijeab.
29. 27- Hernández-Pérez, O. I., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejagal, I., Cartmill, A.D., and Cartmill, D.L. 2020. Tomato fruit yield, quality, and nutrient status in response

- to potassium: calcium balance and electrical conductivity in the nutrient solution. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 27 484–492. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00133-9>.
30. 28- Giannakoula, A. E., and Ilias, I. F. 2013. The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Archives of Biological Sciences*, 65(2), 611–620. <https://doi.org/10.2298/ABS1302611G>.
 31. 27-MengdiMa, M., Mukerabigwi, J.F., Huang, R., Lei, Sh., Huang, X., and Cao, y.2020. Eco-Friendly Superabsorbent Synthesis Based on Polysaccharides. *Journal of Polymers and the Environment* (2020) 28:2801–2809. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01802-y>.
 32. 28-Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Shirinfekr, A. & Samar, S. M. Synthesis and swelling behavior of environmentally friendly starch-based superabsorbent hydrogels reinforced with natural char nano/micro particles. *J. Environ. Chem. Eng.* 8, 103583. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103583> (2020).
 33. 29-Mesias. V., Bernadette Agu.A., Japheth Benablo.P., Chun-Hu. C. and Penaloza Jr.D.2019. Coated NPK Fertilizer Based on Citric Acid-Crosslinked Chitosan/Alginate Encapsulant *Journal of Ecological Engineering*. Vol .20, No (11), pp 1-12. <https://doi.org/10.12911/22998993/113418>.
 34. 30-Mahgoub,N. 2020. Effectiveness of Hydrogel Application on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth and some Sandy Soil Chemical Properties under Drip Irrigation System. *Journal of Soil & Water Sciences*; Suez Canal University, 2020. Volume 5 (1): 49-54 .
 35. 31-Natkański P., Białas A. and Kuśtrowski P., 2012. The synthesis of poly(acrylic acid)-bentonite and polyacryl-amide-bentonite composites for adsorption applications,” *Chemik*, Vol. 66, No. 7, pp. 742-749.
 36. 32-Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean C.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agricultur Circular. No. 939,19(1945).
 37. 33-Ramli ,R.A. Slow release fertilizer hydrogels: a review. *Polymer Chemistry*. 2019;10(45):6073-90.
 38. 34-Roy, T., Suresh Kumar, Lekh Chand, Kadam, D. M., Bankey Bihari, Shrimali, S. S., Rajesh Bishnoi, Maurya, U. K., Madan Singh, Muruganandam, M., Lakhan Singh, Sharma, S. K., Rakesh Kumar and Anil Mallik, 2019. Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. *Current Science*. 116(7) : 1246-1251.
 39. 35-Rajakumar.,R. and Sankar.,s.2016. Hydrogel: Novel Soil Conditioner and Safer Delivery Vehicle for Fertilizers and Agrochemicals – A Review. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)* Volume 02, Issue 09, [September- 2016] e-ISSN: 2394-5532, p-ISSN: 2394-823X
 40. 36-Shaviv.A.2001.Advances in controlled-release fertilizers, *Advances in Agronomy*, vol. 71, pp. 1–49.
 41. 37- Shrivastava,P., Kumar,R.2014. Soil salinity:Aserious environmental issue And plant growth promoting bacteria as oneOf the tools foritsall eviation. DepartmentofEnvironmentalMicrobiology,BabasahebBhimraoAmbedkarUniversity (ACentralUniversity),Lucknow,Uttar Pradesh226025,India.. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>.
 42. 37-Saini .A.K., and Mulve.,s. 2023.Impact of Hydrogel on Agriculture - A review. DOI No:<http://doi.org/10.53550/EEC.2023.v29i01s>. <https://www.researchgate.net/publication/368488821>.
 43. 38-Saini, A.K., Patel, A.M., Chaudhary P. P. and Saini, L.H. 2018. Impact assessment of irrigation, fertility and hydrogel levels on growth attributes, yield and economics of summer pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) under North Gujarat. *Journal of Pharm. Phytochem.* 7(2): 2914-2918.

44. 39- Saito, T., Ariizumi, T., Okabe, Y., Asamizu, E., Hiwasa-Tanase, K., Fukuda, N., Mizoguchi, T., Yamazaki, Y., Aoki, K., and Ezura, H. 2011. TOMATOMA: A novel tomato mutant database distributing micro-tom mutant collections. *Plant and Cell Physiology*, 52(2), 283–296. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr004>.
45. 39- Spaleta, k., Hayes, S., Newberry, R., Piatak, N. 2020. Evaluating the Utility of Principal Component Analysis on EDS X-Ray Maps to Determine Bulk Mineralogy. DOI: 10.1111/ggr.12349
46. 39- Tyagi, V., Thakur, A. 2023. Applications of biodegradable carboxymethyl cellulose-based composites. *journal*. homepage: www.sciencedirect.com/journal/results-in-materials <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100481>.
47. 40- Tamara Perchyonok, V., Reher, V., Zhang, S., Oberholzer, T., Massey, W., and Grobler, S. R. 2014. Chitosan: Vitamin C Containing Hydrogels as a Prototype Functional Prolonged Pain Management Restorative Material In-Vitro Studies. <http://dx.doi.org/10.4236/ojst.2014.48053>.
48. 41- Trenke, M. E. 2010. Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA).
49. 42- Wang L., Zhang J., and Wang A., Fast Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Adsorption onto Chitosan-g Poly(acrylic acid)/Attapulgite Composite, *Desalination*, 266, 33-39, 2011.
50. 43- Wael, M., Nada and O. Blumenstein, 2015. Characterization and impact of newly synthesized superabsorbent hydrogel nanocomposite on water retention characteristics of sandy soil and grass seedling growth. *International Journal of Soil Science* 10: 153-165.
51. 44- Xiao, M., Liu, G., Jiang, Sh., Guan, X., Chen, J., Yao, R and Wang, X. 2022. BioOrganic Fertilizer Combined with Different Amendments Improves Nutrient Enhancement and Salt Leaching in Saline Soil: A soil Column Experiment. *Water* 2022, 14, 4084. <https://doi.org/10.3390/w14244084>. <https://www.mdpi.com/journal/water>.
52. 45- Xiao, X., Yu, L., Xie, F., Bao, X., Lio, H., Ji, Z., and Chen, L. (2017). One-step method to prepare starch-based superabsorbent polymer for slow release of fertilizer. *Chemical Engineering Journal*, 309, 607- 616
53. 46- Yao, J. Houang, Y and Wang, H. 2010. Controlling zeolite structures and morphologies Using polymer networks. *Journal of Materials Chemistry*. Doi: 10.1039/c0jm01003k.
54. 47- Yeligbayeva, B., Moldabayeva, G. Zh., Al Azzam, Kh. M., Bekbayeva, L., Negim, EL S., Shalash, M., and Usman, A. 2024. Synthesis, Characterization, and Applications of Anticorrosion Polyurethane Coating: The Effect of Bisphenol F. *International Journal of Technology* 15(5) 1258-1270 (2024). <http://ijtech.eng.ui.ac.id>.
55. 48- Zhao, J.; Qi, Y.; Yin, C.; Liu, X. Effects of Nitrogen Reduction at Different Growth Stages on Maize Water and Nitrogen Utilization under Shallow Buried Drip Fertigated Irrigation. *Agronomy* 2024, 14, 63. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010063>.
56. 49- Zhang, P., Senge, M., and Dai, Y. 2017. Effects of salinity stress at different growth stages on tomato growth, yield, and water-use efficiency. *Communications in soil science and plant analysis*, 48(6), 624–634. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269803>.