

بررسی اثر کاربرد آب اسیدی شده حاصل از دستگاه گوگردسوز بر بهبود کیفیت آب آبیاری و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک

محمدرسول شاه‌گلدی¹، علی عباسپور²، محمدمهدی طهرانی³، ارژنگ فتحی‌گردیدانی⁴

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آب و خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
rasool.shahgaldi@shahroodut.ac.ir

2- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه آب و خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
abbaspour2008@gmail.com

3- استادیار و عضو هیئت علمی بخش شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان
تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
mtehrani2000@yahoo.com

4- استاد مدعو گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
arzhangfathi@ut.ac.ir

چکیده

در ایران، غالب خاک‌ها آهکی و از لحاظ ماده آلی فقیر بوده و pH آن‌ها به دلیل حضور کربنات کلسیم معمولاً در دامنه 7/5 تا 8/5 قرار دارد. همچنین پایین بودن کیفیت آب آبیاری (غلظت بالای یون بی‌کربنات، شوری و ...)، به اثبات رسیده است که روند فوق را تشدید می‌کند. یکی از راه‌کارهای کاهش میزان آهک و pH خاک و همین‌طور افزایش کیفیت آب آبیاری، استفاده از اسیدها و اسیدسازها در خاک یا آب آبیاری می‌باشد. به همین جهت به منظور بررسی اثر کاربرد آب آبیاری اسیدی شده توسط دستگاه گوگردسوز بر بهبود کیفیت آب آبیاری و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، پژوهش مزرعه‌ای انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در منطقه مشکین‌دشت استان البرز طی سال 1400 (1 فصل زراعی تابستان) انجام شد. عامل اول: نوع آب آبیاری در دو سطح شامل (1) آب آبیاری معمولی (با pH حدوداً 7/5-8/5) و (2) آب آبیاری اسیدی شده توسط دستگاه گوگردسوز (با pH حدوداً 2-2/5) و عامل دوم: زمان نمونه‌برداری خاک در دو سطح شامل (1) قبل تاسل دهی و (2) بعد از تاسل دهی ذرت بود. نتایج نشان داد pH خاک و آب به موازات آب آبیاری اسیدی کاهش و EC خاک و آب افزایش یافت. میزان کلر و بیکربنات محلول در خاک نیز توسط آب آبیاری اسیدی کاهش نشان داد. همچنین درصد کربن آلی خاک نیز به کمک آب اسیدی افزایش یافت. نتایج کلی موید آن است، این دستگاه می‌تواند نقش جایگزین اسید سولفوریک غلیظ را به طور ایمن‌تر، کاراتر و همین‌طور اقتصادی‌تر در جهت کاهش pH و اصلاح کیفی آب آبیاری و خاک‌های آهکی ایفا کند.

کلمات کلیدی: گوگردسوز، آب اسیدی، خاک آهکی، بی‌کربنات آب، پ_هاش آب

1. مقدمه

کمبودهای تغذیه‌ای در گیاهان، موجب افزایش حساسیت آن‌ها به تنش‌های محیطی می‌شود (قادری و همکاران، 1396؛ سهرابی و همکاران، 1398). در حالی که خاک‌های زراعی کشور ما با کمبود مواد آلی (درجه حاصلخیزی پایین) مواجه می‌باشند و پایین بودن کیفیت خاک‌های زراعی و تغذیه نامتعادل گیاهی اثبات شده است و مصرف کودها حتی در شرایطی هم که بهینه باشند، چون غالباً قبل از زمان کشت مصرف می‌شوند، لذا خاک‌های زراعی ما در حالت عادی توانمندی تامین این مقدار نیاز بالای گیاهان را نداشته و در نتیجه عملکرد هکتاری محصولات کشاورزی در کشور پایین می‌باشد (ملکوتی، 1397). علاوه بر آن ماهیت مواد مادری خاک‌ها و کمی نزولات آسمانی و ... در ایران سبب گردیده تا کربنات کلسیم به صورت ترکیب غالب خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک درآید. خاک‌های آهکی ظرفیت بالایی برای تثبیت عناصر غذایی و غیر قابل جذب کردن آن‌ها برای گیاهان دارند، به همین دلیل مصرف کود بازدهی چندانی ندارد (ملکوتی و همکاران، 1387). لذا در خاک‌های آهکی تولید محصول با مشکلاتی مواجه است که عمدتاً ناشی از بالا بودن pH و پایین بودن ماده آلی خاک می‌باشد (قادری و همکاران، 1396). علاوه بر این، رقابت برای افزایش عملکرد موجب استفاده بیش از حد و بی‌رویه از کودهای شیمیایی (نیترا، فسفات و ...) شده که علاوه بر هزینه‌های زیادی که بر کشاورز تحمیل می‌کند، اثرات محیط زیستی زیان‌باری را نیز در پی دارد (عامریان و همکاران، 1396). همچنین با توجه به هزینه بالای کودهای شیمیایی، سلامت محیط زیست و سلامت جامعه انسانی، اهمیت مبحث تغذیه اصولی و راهکارهای جایگزین، بیشتر از قبل مورد توجه دانشمندان علم تغذیه قرار گرفته است (خادمی و همکاران، 1386).

در ایران، کربنات کلسیم تقریباً 40 درصد از وزن خاک‌ها را تشکیل می‌دهد. pH خاک‌های آهکی عمدتاً توسط مقادیر کربنات کلسیم موجود در خاک کنترل شده و اغلب بین 7/5 تا 8/5 متغیر است. واکنش کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی منجر به افزایش pH خاک می‌شود، خصوصاً در مناطقی که میزان بارندگی کم می‌باشد (خادمی و همکاران، 1386؛ شومن^{*}، 1999). به علت قلیایی بودن و وجود آهک در خاک غلظت شکل قابل جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مثل فسفر، آهن، مس، روی، منگنز و ... کاهش یافته و با کربنات‌ها رسوب می‌نماید و لذا راندمان جذب عناصر کاهش می‌یابد. بخش زیادی از کود مصرف شده در خاک هدر می‌رود و با این که عناصر در خاک وجود دارند، گیاه از کمبود آن‌ها رنج می‌برد. این مشکل به دلیل بالا بودن pH محیط خاک می‌باشد (سالاری و محمدی قهساره، 1389). این اتفاق باعث اختلال در رشد گیاه و ریشه می‌شود و در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌گردد (خادمی و همکاران، 1386). کمبود مواد

* Schumann

غذایی در خاک و عدم دسترسی کافی به مواد غذایی از عواملی هستند که اثرات تنش بر گیاه را تشدید می‌کنند. وجود مقادیر کافی عناصر غذایی در خاک و دسترسی مناسب گیاه به این عناصر می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه بسیار موثر باشد (Schnug, 1997). بنابراین باتوجه به مطالب ذکر شده ضروری است تا با استفاده از روش‌هایی بتوان فراهمی عناصر بومی خاک (مثل فسفر، آهن، روی، مس و منگنز) را افزایش داد و نیاز گیاهان را تامین کرد (سیدی و همکاران، 1394؛ سهرابی و همکاران، 1398).

از طرفی یکی دیگر از دلایل بروز مشکلات تغذیه‌ای در گیاهان، وجود غلظت بالای یون بی‌کربنات و هیدروکسیل در محلول خاک در اطراف محیط ریشه گیاهان می‌باشد که بنیان آن به وجود آهک فراوان در خاک بر می‌گردد. آب آبیاری مورد استفاده در کشاورزی ایران نیز که به عنوان عامل افزایش غلظت بی‌کربنات در محلول خاک محسوب می‌شود، عمدتاً مقادیر بالایی بی‌کربنات در خود دارد که همین موضوع سبب می‌شود کیفیت آب آبیاری پایین بیاید (نورقلی پور و ملکوتی، 1384؛ نوری و ملکوتی، 1385). بر اساس گزارش سازمان کشاورزی و خواربار جهانی، اگر میزان بی‌کربنات در آب آبیاری کمتر از $1/5$ میلی‌اکی‌والان در لیتر باشد، محدودیتی ایجاد نمی‌نماید، ولی اگر مقدار آن بین $1/5$ تا $8/5$ میلی‌اکی‌والان در لیتر باشد، محدودیت کم تا متوسط و در صورتی که بیشتر از $8/5$ میلی‌اکی‌والان در لیتر باشد، محدودیت شدید برای تولید محصولات کشاورزی ایجاد می‌نماید، همین طور طبق تقسیم بندی ایتون (Eaton) که معیار سخت تری نسبت به مقدار بی‌کربنات در آب آبیاری دارد، اگر مقدار بی‌کربنات در آب آبیاری نسبت به آنیون‌های دیگر بیشتر گردد، موضوع افزایش سدیم در خاک‌های زراعی در بلند مدت بیشتر از شوری خاک خطر آفرین خواهد بود زیرا بی‌کربنات موجود در آب آبیاری با کلسیم خاک ایجاد رسوب کرده و با کاهش میزان کلسیم، نسبت جذب سدیم (SAR) افزایش می‌یابد. با اضافه شدن نسبت یون سدیم در محلول خاک، امکان اضافه شدن سدیم تبادلی افزایش می‌یابد که باعث پراکنده شدن ذرات خاک شده و خلل و فرج خاک را مسدود می‌نماید، در نتیجه عبور آب و هوا در خاک مختل شده و محدودیت زیادی برای رشد گیاه بوجود می‌آورد (ملکوتی و همکاران، 1387). از دیگر مضرات بی‌کربنات بالای آب آبیاری می‌توان به کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی گیاه به ویژه کم‌مصرف‌ها، افزایش pH آب و خاک (به بالای $7/5$)، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، غیرقابل جذب کردن عناصری مانند فسفر، روی، آهن، اختلال در رشد، بروز مشکلات تغذیه‌ای، زردبرگی گیاهان، کاهش شدت سبزی‌نگی برگ‌ها، به هم خوردن توازن عناصر غذایی، تثبیت کلسیم در خاک، کاهش جذب و انتقال آهن، کلروز، کاهش سنتز کلروفیل، کاهش تنفس و رشد ریشه، کاهش سوخت و ساز، افزایش سدیم، متوقف کردن

فعالیت آنزیم سیتوکروم اکسیداز، از بین بردن و ایجاد گرفتگی در لوله‌های آبیاری قطره‌ای (رسوب آهک) و ... اشاره کرد (ملکوتی و همکاران، 1387؛ نورقلی پور و ملکوتی، 1384؛ نوری و ملکوتی، 1385).

کاهش pH آب آبیاری و به دنبال آن pH موضعی خاک توسط مواد اسیدزا و اصلاح کننده‌های اسیدی از روش‌های موثر و رایج در جهت افزایش فراهمی و پایداری عناصر غذایی، بهبود عملکرد گیاهان و بهبود کیفی خاک در خاک‌های آهکی (pH بالا) است، به این صورت که آب اسیدی سبب خنثی سازی آهک و از بین بردن قشر سخت موجود در خاک می‌گردد و با خنثی شدن آهک، یون کلسیم آزاد شده و وارد فاز محلول خاک می‌شود و در ادامه این یون جانشین یون سدیم موجود در ذرات خاک می‌گردد و از اتصال مجدد آن ممانعت می‌کند. در این شرایط یون سولفات طی فرآیندی با سدیم واکنش نشون داده و با تولید سولفات سدیم، سبب محلول شدن و آبشویی آن می‌گردد و در نتیجه، در نهایت علاوه بر بهبود کیفی خاک، فرم قابل جذب عناصر وابسته به pH برای گیاهان افزایش پیدا می‌کند (میرسید حسینی و همکاران، 1396). به طور کلی به ازاء هر واحد کاهش یا افزایش pH، حلالیت عناصر وابسته به pH و فراوانی آن‌ها ده تا هزار برابر کاهش یا افزایش پیدا می‌کند (مطلبی فرد و همکاران، 1387).

2. پیشینه تحقیق

مهاجر میلانی و همکاران (1393) با قرار دادن دستگاه گوگردسوز در مسیر آب آبیاری، میزان کاهش بی‌کربنات و pH آب را بررسی کردند. این آزمایش با نصب دستگاه در محل خروج آب هفت چاه واقع در استان‌های تهران، البرز و قزوین با بی‌کربنات و pH های متفاوت صورت گرفت. از آب خروجی از دستگاه در فواصل زمانی مختلف نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه منتقل و پس از 24، 48، 72 و 96 ساعت پارامترهای کیفی آب شامل قابلیت هدایت الکتریکی، pH، بی‌کربنات، کربنات، کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر آن اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش نشان داد در تمام ایستگاه‌ها pH و بی‌کربنات آب، روندی کاهشی و شوری روندی افزایشی داشته است. کاهش pH آب آبیاری بین 0/54 تا 1/63 واحد، کاهش بی‌کربنات از 0/1 تا 3/37 میلی‌اکی‌والان در لیتر و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی بین 0/06 تا 0/14 میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بوده است. نتایج آزمایش نشان داد که آب اسیدی یاد شده قادر است pH خاک را تعدیل نموده و بی‌کربنات آن را خنثی نماید.

نوری و ملکوتی (1385) گزارش کردند دستگاه گوگردسوز (مدل SCG) شرکت بین‌المللی Sweet Water در ایالت یوتای آمریکا pH آب تزریق شده را از 8 به 2/28 کاهش داد. کاربرد این آب اسیدی شده در خاک باعث کاهش

قابلیت هدایت الکتریکی از سه به یک دسی‌زیمنس بر متر شد که دلیل آن به افزایش نفوذ آب در خاک و آبشویی بهتر نمک‌ها مرتبط گردید. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که در آب‌های دارای شوری و بی‌کربنات بالا تأثیر آب اسیدی شده از طریق سوزاندن گوگرد قابل ملاحظه می‌باشد.

شهبایی‌فر و همکاران (1398) گزارش کردند، نتایج آزمایش پارامترهای اندازه‌گیری شده در 3 ایستگاه آبیاری دارای دستگاه گوگردسوز، نشان داد که پهاش و بیکربنات روند کاهشی و شوری کمی روند افزایشی داشته‌اند. اختلاط گاز SO_2 با آب به هنگام خروج آب از دستگاه بسیار مهم می‌باشد. علت تغییر ناچیز کیفیت آب خروجی از دستگاه در برخی چاه‌ها، عدم اختلاط کامل گاز SO_2 با آب می‌باشد که در نتیجه بالاتر قرار داشتن دستگاه گوگردسوز از محل اختلاط گاز SO_2 با آب بود. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که در صورت اختلاط گاز با آب، آب خروجی اسیدی شده و بیکربنات آن تا حدود زیادی خنثی می‌شود.

3. روش تحقیق

به منظور بررسی اثر کاربرد آب آبیاری اسیدی شده توسط دستگاه گوگردسوز بر بهبود کیفیت آب آبیاری و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، پژوهش مزرعه‌ای انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در منطقه مشکین‌دشت استان البرز طی سال 1400 (1 فصل زراعی تابستان) انجام شد. عامل اول: نوع آب آبیاری در دو سطح شامل (1) آب آبیاری معمولی (با pH حدودا 8/5-5/5) و (2) آب آبیاری اسیدی شده توسط دستگاه گوگردسوز (با pH حدودا 2/5-2) و عامل دوم: زمان نمونه‌برداری خاک در دو سطح شامل (1) قبل تاسل دهی و (2) بعد از تاسل دهی ذرت بود.

جهت بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک از عمق 0-30 سانتیمتری خاک کرت‌ها نمونه برداشت شد. نمونه‌ها بعد از هوا خشک، کوبیده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. سپس ویژگی‌های شیمیایی شامل pH، EC، کربن آلی، آهک، گچ، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، گوگرد قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، آهن، روی، منگنز، مس و بر قابل جذب، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، ظرفیت تبادل کاتیونی و تعیین بافت در آن‌ها مطابق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. همین‌طور در هر مرتبه آبیاری، علاوه بر اندازه‌گیری دمای دستگاه گوگردسوز، سه نمونه آب از تیمار آب آبیاری اسیدی شده (شامل آب خروجی از دستگاه گوگردسوز، آب کانال اصلی تغذیه‌کننده جوی‌ها و زهاب خروجی به زهکش) و

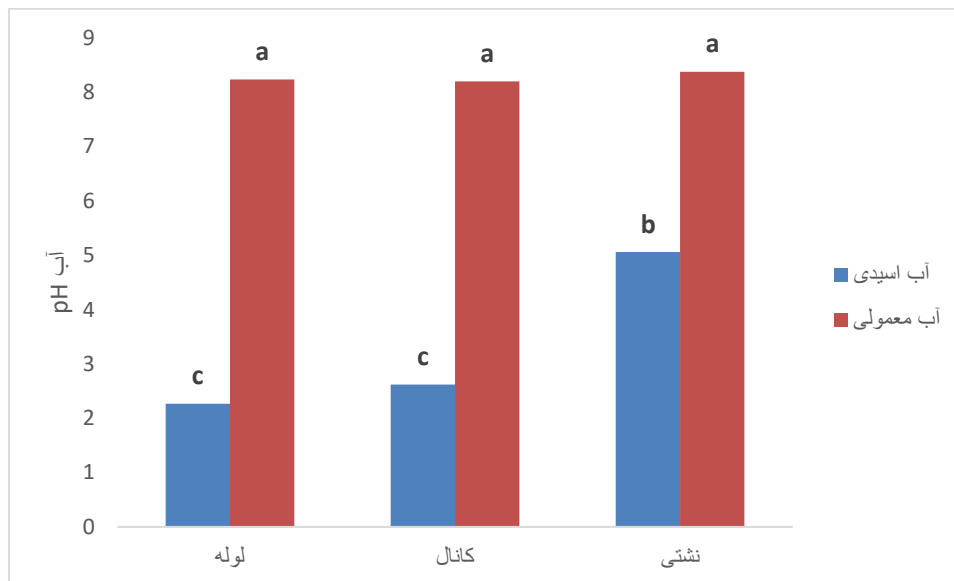
سه نمونه آب از تیمار آب آبیاری معمولی (شامل آب خروجی از لوله آبیاری، آب کانال اصلی تغذیه کننده جوی‌ها و زهاب خروجی به زهکش) تهیه و برای اندازه‌گیری pH، EC، SAR، گوگرد و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه 25) و SAS (نسخه 9.4) انجام گرفت. رسم نمودارها، جداول، شکل‌ها و محاسبات متغیرهای مورد بررسی نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DUNCAN) و در سطح احتمال 5، 1 و 0/1 درصد انجام گرفت.

4. نتایج و بحث

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب

1-4- pH آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر اصلی نوع آب، نوع آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. اثر متقابل نوع آب × نوع آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 4-1). نتایج جدول مقایسه میانگین این صفت نشان داد که تیمار آب معمولی در قیاس با تیمار آب اسیدی منجر به بیشترین میزان pH آب (8/273 میلی-اکی‌والان بر لیتر) شد. در میان تیمارهای مربوط به نوع آبیاری نیز، آبیاری زه آب (نشتی) سبب بالاترین میزان pH آب (6/723 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد. همچنین تیمار زه آب (نشتی) معمولی نیز بالاترین میزان pH آب (8/38 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را داشت، هر چند که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای آب لوله معمولی و آب کانال معمولی نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول 4-3، شکل 4-1). گزارش شده است که pH مطلوب بر دسترسی به مواد مغذی محصول تأثیر می‌گذارد و بسیار محتمل است که pH آب توسط گوگرد کاهش یابد (وی و همکاران، 2006).



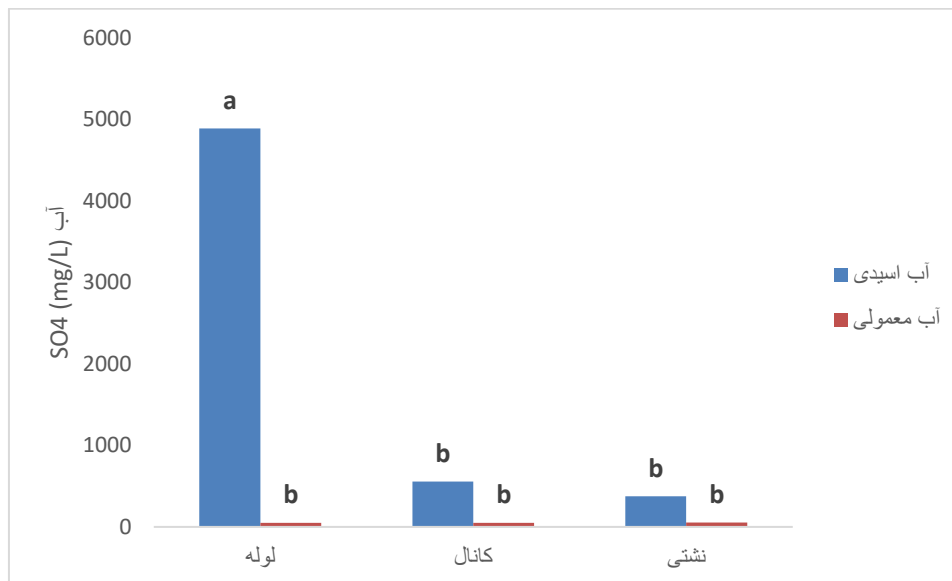
شکل 4-1- مقایسه میانگین اثر آب و نوع آبیاری بر pH آب

4-2- EC آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر اصلی تکرار غیرمعنی‌دار بود. اثرات اصلی نوع آبیاری و اثر متقابل نوع آب × نوع آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. اثر اصلی نوع آب نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول 4-1). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که تیمار آب اسیدی بالاترین میزان EC آب (1/147) دسیزیمنس بر متر) را ایجاد کرد. در میان تیمارهای نوع آبیاری نیز تیمار لوله بیشترین میزان (1/026 دسیزیمنس بر متر) این صفت را داشت، هر چند که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار نوع کانال نداشت و در یک گروه آماری قرار داشتند. همچنین تیمار نوع آب لوله اسیدی نیز بیشترین میزان این صفت (1/69 دسیزیمنس بر متر) را داشت (جدول 4-3).

4-3- SO₄ آب:

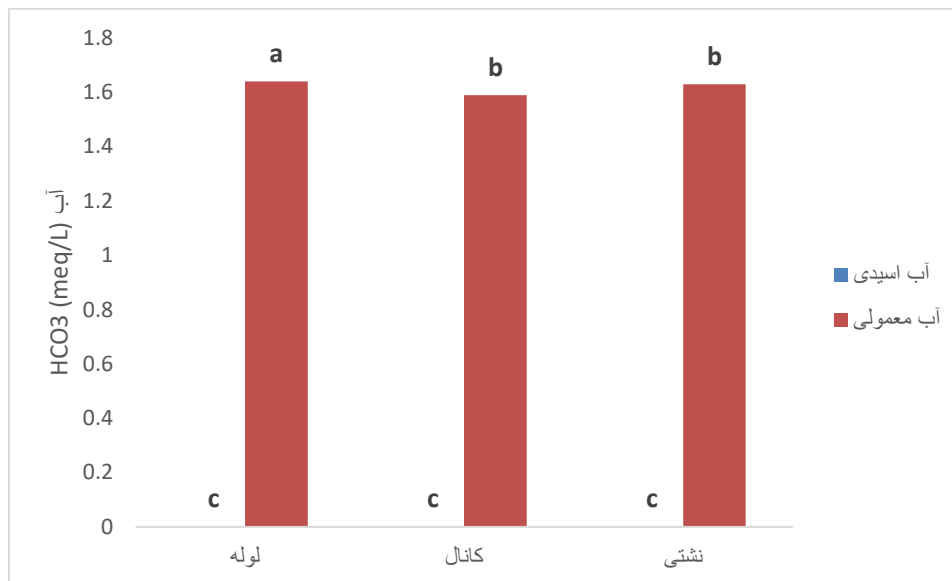
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر هیچ یک از تیمارها معنی‌دار نشد (جدول 4-1، شکل 4-2).



شکل 4-2- مقایسه میانگین اثر آب و نوع آبیاری بر SO_4 آب

4-4- HCO_3 آب :

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نوع آب نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 4-1). نتایج جدول مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین میزان این صفت ($1/617$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) مربوط به تیمار آب معمولی بود. آب لوله معمولی نیز سبب بیشترین میزان این صفت ($1/64$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد، هر چند که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار زه آب (نشثی) معمولی نداشت (جدول و شکل 4-3). گوگرد هم به عنوان یک عنصر، تأمین کننده نیاز غذایی گیاه است و هم به عنوان یک اصلاح کننده برای خاک‌های شور و سدیمی، کاهش بی‌کربنات آب آبیاری (HCO_3) و تنظیم کننده اسیدیته خاک به ویژه در خاک‌های آهکی به کار می‌رود (رضاپور، 2014).



شکل 3-4- مقایسه میانگین اثر آب و نوع آبیاری بر HCO_3^- آب

5-4- Cl آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نوع آب و نوع آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل نوع آب $\times$ نوع آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 2-4). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که آب معمولی بیشترین میزان کلر آب ($0/595$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را ایجاد کرد. تیمار زه آب (نشتی) نیز بالاترین میزان کلر آب ($0/62$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را ایجاد کرد. زه آب معمولی نیز بالاترین میزان کلر آب ($0/64$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را به همراه داشت (جدول 4-4). گزارش شده است که کاربرد گوگرد باعث کاهش جذب عناصر سمی مانند سدیم و کلر می‌شود که ناشی از اثرات آنتاگونیستی گوگرد با این عناصر است (احمد و همکاران، 2016).

6-4- Ca + Mg آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نوع آب، نوع آبیاری و اثر متقابل نوع آب $\times$ نوع آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 2-4). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که آب اسیدی میزان بالای ($4/827$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) این صفت را ایجاد کرد. زه آب (نشتی) نیز منجر به بالاترین میزان این صفت ($5/431$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد. همچنین تیمار زه آب (نشتی) اسیدی نیز بیشترین میزان این صفت ($7/516$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را به همراه داشت (جدول 4-4). گزارش شده است که اکسیداسیون گوگرد در خاک منجر به تولید یون هیدروژن و افزایش حلالیت کانی‌های کلسیم دار می‌شود. این موضوع سبب جایگزینی کلسیم با سدیم و کاهش اثر منفی آن بر رشد گیاه می‌گردد (آریا و همکاران، 2010).

7-4-Na آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نوع آب، نوع آبیاری و اثر متقابل نوع آب × نوع آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 4-16). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار آب معمولی منجر به بیشترین میزان سدیم آب (0/626 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد. زه آب (نشتی) نیز منجر به بالاترین میزان این صفت (0/648 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد. زه آب معمولی نیز منجر به بیشترین میزان این صفت (0/696 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد (جدول 4-4). گزارش شده است که کاربرد گوگرد در خاک‌های شور-سدیمی از طریق کاهش درصد سدیم تبادلی خاک منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی برنج و ذرت شد (احمد و همکاران، 2017).

8-4-SAR آب:

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نوع آب و اثر متقابل نوع آب × نوع آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی نوع آبیاری نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 4-2). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که آب معمولی سبب بیشترین میزان این صفت (0/493 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد. نوع کانال نیز بیشترین میزان این صفت (0/447 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) را به همراه داشت. همچنین زه آب معمولی نیز بیشترین میزان این صفت (0/538 میلی‌اکی‌والان بر لیتر) شد (جدول 4-4). در تحقیقی که بر روی تاثیر نسبت‌های مختلف جذب سدیم آب آبیاری بر روی نسبت جذب سدیم خاک و پایداری خاکدانه‌ها در 4 نوع خاک انجام شد مشخص شد که افزایش نسبت جذب سدیم (SAR) آب، کاهش معنی‌داری در پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی نسبت به شاهد ایجاد کرد (جوشن، 1392). بنابراین در مطالعه حاضر، میزان این صفت در آب اسیدی کم بوده که می‌توان از این دیدگاه بررسی کرد که گوگرد منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها شده است. همچنین در مطالعه‌ای که بر روی گوگرد و گچ صورت گرفته بود مشخص شد که به طور قابل توجهی باعث بهبود SAR شد و منجر به کاهش این صفت شدند (احمد و همکاران، 2017).

جدول 4-1- تجزیه واریانس صفات pH، EC، SO₄ و HCO₃ آب تحت تاثیر نوع آب، نوع آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH آب	EC آب	SO ₄ آب	HCO ₃ آب
تکرار	2	0/49 ^{ns}	0/07 ^{ns}	3980318/9 ^{ns}	0/001 ^{ns}
نوع آب	1	110/41 ^{**}	2/77 ^{**}	16094915/8 ^{ns}	11/777 [*]
نوع آبیاری	2	3/90 ^{**}	0/37 [*]	9795836/1 ^{ns}	0/001 ^{ns}
نوع آب*آبیاری	2	3/06 [*]	0/37 [*]	9825143/4 ^{ns}	0/001 ^{ns}
خطا	10	0/452	0/068	4267581/8	0/00006
CV	-	11/60	34/58	207/48	3/08

ns عدم معنی داری، * معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، *** معنی دار در سطح احتمال 0/1 درصد

جدول 4-2- جدول تجزیه واریانس صفات Na، Ca+Mg، Cl و SAR آب تحت تاثیر نوع آب، نوع آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	Cl آب	Ca+Mg آب	Na آب	SAR آب
تکرار	2	0/001 ^{ns}	0/15 ^{ns}	0/0001 ^{ns}	0/0004 ^{ns}
نوع آب	1	0/002 ^{**}	11/70 ^{**}	0/024 ^{**}	0/068 ^{**}
نوع آبیاری	2	0/006 ^{**}	9/23 ^{**}	0/021 ^{**}	0/001 [*]
آب*آبیاری	2	0/001 [*]	7/42 ^{**}	0/004 ^{**}	0/017 ^{**}
خطا	10	0/00009	0/078	0/00018	0/00016
CV	-	1/61	6/94	2/30	2/97

ns عدم معنی داری، * معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، *** معنی دار در سطح احتمال 0/1 درصد

جدول 3-4- مقایسه میانگین صفات pH، EC، SO₄ و HCO₃ آب تحت تاثیر نوع آب، نوع آبیاری

اثرات	pH آب	EC آب (ds/m)	SO ₄ آب (mg/L)	HCO ₃ آب (meq/L)
آب اسیدی	3/32± 1/549b	1/147± 1/549a	1941/28±970/64	0±0b
آب معمولی	8/273± 0/165a	8/273± 0/165b	50/077±2/406	1/617± 0/04a
SEM	0/224	0/087	688/60	0/008
لوله	5/256± 3/27b	1/026± 0/79a	2470/187±414/811	0/82±0/898
کانال	5/41± 3/056b	0/698± 0/427ab	303/23±298/033	0/793±0/869
زه آب (نشتی)	6/723± 2/089a	0/541± 0/242b	213/617±202/94	0/813±0/891
SEM	0/274	0/107	843/36	0/010
آب لوله اسیدی	2/273± 0/144c	1/69± 0/493a	4892/424±2513/1705a	0±0c
آب کانال اسیدی	2/623± 0/23c	1/036± 0/335b	557/243±168/795b	0±0c
زه آب اسیدی	5/063± 1/612b	0/716± 0/231bc	374/172±160/086b	0±0c
آب لوله معمولی	8/24± 0/158a	0/363± 0/011c	47/95±0/242b	1/64±0a
آب کانال معمولی	8/196± 0/07a	0/36± 0/043c	49/218±0/934b	1/586± 0/023b
زه آب معمولی	8/383± 0/225a	0/366± 0/037c	53/063±0/981b	1/626± 0/061ab
SEM	0/388	0/151	1192/70	0/014

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده معنی داری بین میانگین‌ها است.

جدول 4-4- مقایسه میانگین صفات Na، Ca+Mg، Cl و SAR آب تحت تاثیر نوع آب، نوع آبیاری

اثرات	Cl آب (meq/L)	Ca+Mg آب (meq/L)	Na آب (meq/L)	SAR آب (meq/L)
آب اسیدی	0/573± 0/02b	4/827± 2/062a	0/553± 0/036b	0/37± 0/049b
آب معمولی	0/595± 0/037a	3/215± 0/208b	0/626± 0/072a	0/493± 0/048a
SEM	0/003	0/093	0/004	0/004
لوله	0/56±0c	3/1± 0/109c	0/53± 0/012c	0/426± 0/016b
کانال	0/573± 0/02b	3/533± 0/342b	0/591± 0/06b	0/447± 0/066a
زه آب (نشتی)	0/62± 0/021a	5/431± 2/322a	0/648± 0/055a	0/423± 0/126b
SEM	0/004	0/114	0/006	0/005
آب لوله اسیدی	0/56±0c	3/166± 0/057c	0/523± 0/011d	0/416± 0/005c
آب کانال اسیدی	0/56±0c	3/8±0b	0/536± 0/011d	0/387± 0/009d
زه آب اسیدی	0/6±0b	7/516± 0/663a	0/599± 0/01c	0/308± 0/01e
آب لوله معمولی	0/56±0c	3/033± 0/115c	0/536± 0/011d	0/436± 0/017c
آب کانال معمولی	0/586± 0/023b	3/266± 0/283c	0/646± 0/005b	0/506± 0/018b

0/538± 0/018a	0/696± 0/023a	3/346± 0/023c	0/64±0a	زه آب معمولی
0/007	0/008	0/161	0/005	SEM

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده‌ی معنی داری بین میانگین‌ها است.

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی خاک

9-4- pH خاک:

نتایج جدول تجزیه واریانس pH خاک نشان داد که اثر اصلی زمان و اثر متقابل نوع آب آبیاری × زمان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول 4-5). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین pH خاک به میزان 7/97 قبل از تاسل دهی بود (جدول 4-6). مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر pH خاک نشان داد که بیشترین pH خاک (8/02) از تیمار آب اسیدی قبل از تاسل دهی و کمترین pH خاک (7/8) از تیمار آب اسیدی بعد از تاسل دهی بود (شکل 4-35).

4-10- pH خاک:

نتایج جدول تجزیه واریانس pH خاک نشان داد که اثر اصلی نوع آب آبیاری و اثر متقابل نوع آب آبیاری × زمان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. اثر اصلی زمان نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 4-5). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین pH خاک به میزان 8/23 از تیمار آب معمولی به دست آمد بطوریکه تیمار آبیاری با آب اسیدی، pH خاک را به میزان 0/9 درصد نسبت به تیمار آبیاری با آب معمولی کاهش داد. بیشترین pH خاک در زمان قبل از تاسل دهی به میزان (8/22) بود (جدول 4-6). مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر pH خاک نشان داد که کمترین pH خاک (8/08) از تیمار آب اسیدی قبل از تاسل دهی بود. بین سایر تیمارها تفاوت آماری معنی داری مشاهده نشد. (شکل 4-36).

4-11- EC خاک:

نتایج جدول تجزیه واریانس EC خاک نشان داد که اثر اصلی زمان و نوع آب آبیاری و اثر متقابل نوع آب آبیاری × زمان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول 4-5). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین EC خاک به میزان 1/78 دسی زیمنس بر متر از تیمار آب اسیدی به دست آمد بطوریکه تیمار آبیاری با آب اسیدی، EC خاک را به میزان 41/5 درصد نسبت به تیمار آبیاری با آب معمولی افزایش داد. بیشترین EC خاک در زمان قبل از تاسل دهی به میزان 1/8 دسی زیمنس بر متر بود (جدول 4-6). مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر EC خاک نشان داد که کمترین

EC خاک (0/79 دسی زیمنس بر متر) از تیمار آب معمولی بعد از تاسل دهی بود. (شکل 4-4). گزارش شده است که میزان کاهش واکنش خاک با زمان و شدت اکسیداسیون گوگرد در خاک رابطه مستقیم دارد (بشارتی و همکاران، 1379) و با افزایش سطوح گوگردی میزان واکنش خاک بیشتر کاهش می‌یابد و همچنین گزارش شده است که با افزایش میزان گوگرد، شوری خاک به شدت افزایش یافت (خادم و همکاران، 1394). دلیل این امر اکسیداسیون گوگرد و تولید یون سولفات می‌باشد که از یک طرف ورود این یون در محلول خاک بطور مستقیم موجب شور شدن خاک شده و بطور غیر مستقیم با کاهش واکنش خاک و انحلال ترکیبات آهکی بر شوری خاک می‌افزاید (جعفرلو، 1385). لیندمن و همکاران (1991) گزارش کردند با فرایند اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک، pH خاک کاهش یافته و با انحلال کربنات کلسیم و تولید گچ (سولفات کلسیم) قابلیت هدایت الکتریکی خاک نیز افزایش می‌یابد (جعفرلو، 1382). با بررسی تأثیر دور آبیاری و سطوح مختلف نیتروژن و گوگرد بر عملکرد سیر، بیان کرد که علت افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک با مصرف گوگرد عنصری، اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک و یون سولفات می‌باشد که از یک طرف ورود این یون در محلول خاک به‌طور مستقیم موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده و به‌طور غیر مستقیم با کاهش واکنش خاک و انحلال ترکیبات کلسیم، آهن و آلومینیوم‌دار توسط اسید سولفوریک بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌افزاید (زمانی، 1397). از دلایل افزایش EC خاک بر اثر افزودن گوگرد می‌توان به اکسایش گوگرد در خاک و انحلال کربنات‌ها اشاره کرد (ملک‌زاده، 1387).



شکل 4-4- مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر EC خاک

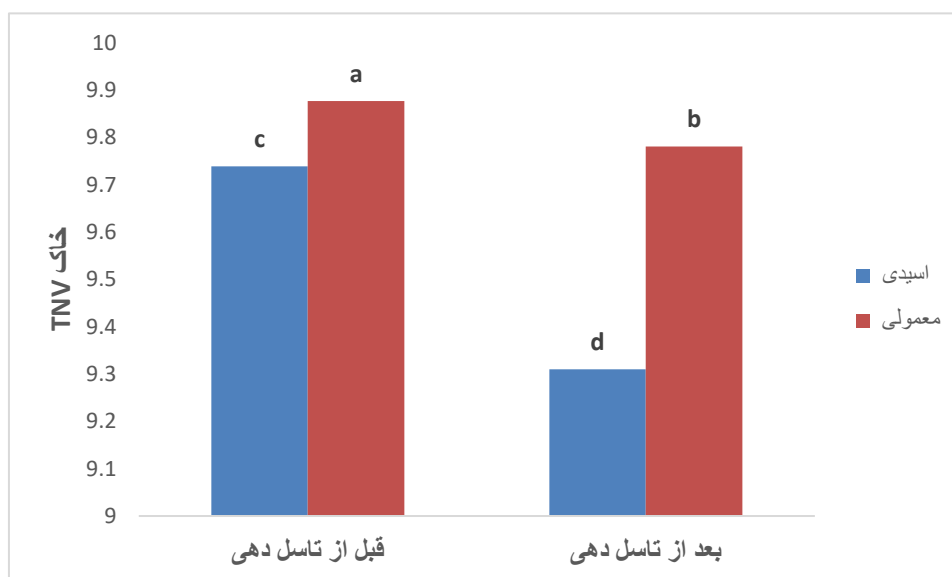
4-12- OC خاک:

نتایج جدول تجزیه واریانس OC خاک نشان داد که اثر اصلی نوع آب آبیاری و اثر متقابل نوع آب آبیاری $\times$ زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. اثر اصلی زمان نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 4-5). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین کربن آلی خاک به میزان 0/776 درصد از تیمار آب اسیدی به دست آمد بطوریکه تیمار آبیاری با آب اسیدی، کربن آلی خاک را به میزان 4/4 درصد نسبت به تیمار آبیاری با آب معمولی افزایش داد. بیشترین کربن آلی خاک در زمان قبل از تاسل دهی به میزان 0/806 درصد بود (جدول 4-6). مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر کربن آلی خاک نشان داد که بیشترین کربن آلی خاک (0/842 درصد) از تیمار آب اسیدی قبل از تاسل دهی دهی و کمترین کربن آلی خاک (0/709 درصد) از تیمار آب اسیدی بعد از تاسل دهی بود. (شکل 4-38). بیان شده است که میزان گوگرد قابل دسترس خاک، ارتباط مستقیمی با میزان کربن آلی خاک دارد (چندل و همکاران، 2012). احتمالاً تأثیر مثبت ماده آلی به دلیل افزایش اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه افزایش گوگرد قابل دسترس گیاه باشد (وین رایت و همکاران، 1986). این مسئله که میزان بهینه ماده آلی خاک برای اکسیداسیون مطلوب گوگرد چقدر است قبلاً گزارش نشده است (قاسمی و همکاران، 1399). مشخص شد که کاربرد سولفات کلسیم به طور معنی‌داری بر درصد کربن آلی خاک می‌افزاید. محققین دلیل این افزایش را ناشی از بهبود شرایط خاک و در نتیجه افزایش رشد ریشه‌ها و سایر موجودات زنده گزارش نمودند (پاتل، 2013).

4-13- TNV خاک:

نتایج جدول تجزیه واریانس آهک خاک نشان داد که اثر اصلی نوع آب آبیاری و اثر اصلی زمان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. اثر متقابل نوع آب آبیاری $\times$ زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 4-5). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین آهک خاک به میزان 9/82 درصد از تیمار آب معمولی به دست آمد بطوریکه تیمار آبیاری با آب اسیدی، آهک خاک را به میزان 3/2 درصد نسبت به تیمار آبیاری با آب معمولی کاهش داد. بیشترین آهک خاک در زمان قبل از تاسل دهی به میزان 9/806 درصد بود (جدول 4-6). مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر آهک خاک نشان داد که کمترین آهک خاک (9/3 درصد) از تیمار آب اسیدی بعد از تاسل دهی مشاهده شد. بین سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل 4-5). آهک‌ها به خاطر ماهیت قلیایی خود، توانایی تنظیم و خنثی‌سازی pH خاک را دارند. در واقع TNV میزان آهک خاک را نشان می‌دهد. جزء اصلی ساختار آهک از کربنات کلسیم تشکیل

شده است. خاک‌های آهکی دارای سایر مواد کربناته مانند کربنات منیزیم نیز هستند. TNV مخفف عبارت Total neutralizing value و به معنی ارزش خنثی سازی کل است و براساس کربنات کلسیم معادل بیان می‌شود. TNV درصد آهکی است که می‌تواند یک اسید را خنثی کند (معتضدی، 1395). در مطالعه حاضر نیز درصد آهک در خاک معمولی بیشتر از آب اسیدی بود.



شکل 4-5- مقایسه میانگین اثر نوع آب و زمان بر TNV خاک

جدول 4-5- تجزیه واریانس pHp، pH، EC، OC و TNV خاک تحت تاثیر نوع آب آبیاری و زمان در سال اول بر ویژگی‌های

خاک در گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	pHp خاک	pH خاک	EC خاک	OC خاک	TNV خاک
تکرار	2	0/0009 ^{ns}	0/0002	0/00 ^{ns}	0/000 ^{ns}	0/003 ^{ns}
نوع آب آبیاری	1	0/0012 ^{ns}	0/0184 ^{**}	0/89 ^{***}	0/003 [*]	0/276 ^{**}
زمان	1	0/0363 ^{***}	0/0102 [*]	1/01 ^{***}	0/027 ^{***}	0/208 ^{**}
نوع آب آبیاری × زمان	1	0/0363 ^{***}	0/0234 ^{**}	0/29 ^{***}	0/004 [*]	0/083 [*]
خطا	6	0/0012	0/0007	0/0007	0/0004	0/0117
CV	-	0/33	0/42	1/72	2/70	1/12

ns عدم معنی داری، * معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ** معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، *** معنی دار در سطح احتمال 0/1 درصد

جدول 4-6- جدول مقایسه میانگین pHp، pH، EC، OC و TNV خاک تحت تاثیر نوع آب آبیاری و زمان در سال اول بر ویژگی‌های خاک در گیاه ذرت

اثرات	pHp خاک	pH خاک	EC خاک	OC خاک	TNV خاک
-------	---------	--------	--------	--------	---------

(/.)	(/.)	(ds/m)			
9/524± 0/26b	0/776±0/0074a	1/785± 0/148	8/152± 0/083	7/91±0/124	آب اسیدی
		a	b		
9/829± 0/075	0/743± 0/033b	1/24± 0/488b	8/23± 0/033a	7/93±0/017	آب معمولی
a					
0/057	0/010	0/013	0/017	0/016	SEM
9/807± 0/145	0/806± 0/041a	1/802± 0/13a	8/22± 0/023a	7/975± 0/055	قبل از تاسل دهی
a			a		
9/545± 0/258	0/712± 0/015b	1/222± 0/468	8/162± 0/095	7/865± 0/074	بعد از تاسل دهی
b		b	b	b	
0/057	0/010	0/013	0/017	0/016	SEM
9/738± 0/176	0/842± 0/018a	1/92± 0/01a	8/225± 0/035	8/02± 0/036a	آب اسیدی قبل از تاسل دهی
a			a		
9/309± 0b	0/709± 0/018c	1/65± 0/01b	8/08± 0/019b	7/8± 0/03c	آب اسیدی بعد از تاسل دهی
9/876± 0/086	0/771± 0/014b	1/685± 0/035	8/215± 0/004	7/93± 0/02b	آب معمولی قبل از تاسل دهی
a		b	a		
9/781± 0a	0/714± 0/014c	0/795± 0/025	8/245± 0/044	7/93± 0/02b	آب معمولی بعد از تاسل دهی
		c	a		
0/057	0/010	0/013	0/017	0/016	SEM

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده معنی داری بین میانگین ها است.

5. نتیجه گیری نهایی

نتایج نشان داد pH خاک و آب به موازات آب آبیاری اسیدی کاهش و EC خاک و آب افزایش یافت. میزان کلر و بیکربنات محلول در خاک نیز توسط آب آبیاری اسیدی کاهش نشان داد. همچنین درصد کربن آلی خاک نیز به کمک آب اسیدی افزایش یافت. همین طور نتایج کلی مویید آن است، این دستگاه می تواند نقش جایگزین اسید سولفوریک غلیظ را به طور ایمن تر، کاراتر و همین طور اقتصادی تر در جهت کاهش pH و اصلاح کیفی آب آبیاری و خاک های آهکی ایفا کند.

6. مراجع

- قادری، ج.، ملکوتی، م.ج.، خاوازی، ک. و داوودی، م.ج. 1396. بررسی اثر کاربرد گوگرد عنصری بر عملکرد و برخی از ویژگی های کیفی گندم آبی (*Triticum astivum* L.). فیزیولوژی گیاهان زراعی، 9(33): 69-84.
- سهرابی، ی.، احمدی، ا.، حیدری، غ. و سی و سه مرده، ع. 1398. اثر کودهای گوگرد و روی بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی. تنش های محیطی در علوم زراعی، 12(3)، 779-763.
- ملکوتی، م.ج. 1397. نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی سالم. چاپ چهارم. انتشارات مبلغان.
- ملکوتی، م.ج.، کشاورز، پ. و کریمیان، ن.ع. 1387. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم. مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس.

عامریان، م.، علی محمدیان، ل. و ملک حسینی، ا. 1396. ارزیابی دلایل بی توجهی و غفلت کشاورزان از عوارض سوء مصرف کودهای شیمیایی (به ویژه کود ازته) به روش بحث متمرکز گروهی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، 19(4) (مسلسل 75): 36-47.

خادمی، ز.، ملکوتی، م.ب. و جونز، د. 1386. اثر اسیدهای آلی ریشه در قابلیت جذب عناصر غذایی در ریزوسفر. علوم خاک و آب، 21 (2): 171-189.

سالاری، م. و محمدی قهساره، ا. 1389. اثر محلولپاشی و اسیدی کردن آب آبیاری حاوی برخی عناصر بر میزان عناصر میکرو در برگ خیار گلخانه ای در کشت خاکی. پنجمین همایش ملی ایده های نو در کشاورزی، اصفهان.

سیدی، س.م.، خواجه حسینی، م. رضوانی مقدم، پ. و شاهنده، ح. 1394. ارتباط حلالیت فسفر خاک و جذب نیتروژن و تأثیر آن بر شاخص برداشت فسفر سیاهدانه. علوم گیاهان زراعی ایران. 46 (1): 25-36.

نورقلی پور، ف. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۴. روش‌های بهبود جذب عناصر غذایی در خاکهای آهکی. انتشارات سنا.

مطلبی فرد، ر.، ملکوتی، م.ب. و کافی، م. 1387. تاثیر pH آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی گل میخک رقم ایوون. علوم خاک و آب، 22 (1): 103-111.

مهاجر میلانی، پ.، شهابی فر، ج.، اعتمادفر، ر.، فیض‌اله زاده اردبیلی، م.، خسروی نژاد، ا. و دلاوری دوسر، ا. ۱۳۹۳. کنترل کیفیت اب های بیکربناتی با استفاده از تزریق گاز SO_2 در آب آبیاری. موسسه تحقیقات خاک و آب کرج.

شهابی فر، ج.، پسندیده، م. و خسروی نژاد، ا. 1398. تحلیل اثربخشی دستگاه گوگرد سوز به منظور اصلاح آب‌های شور (مطالعه موردی استان قزوین). دومین همایش بین‌المللی شورورزی. یزد. ایران.

Schumann, B. (1999). The causes of soil acidity. New south wales acid soil action program.

Schnug, E. (1997). Significance of sulphur for the quality of domesticated plants. Sulphur metabolism in higher plants: Molecular, ecophysiological and nutritional aspects.