

## Influence of Flooding and Waterlogging Conditions on Soil Chemical Characteristics and Nutrient Status (Case Study: Hakim Farabi Agro-industry)

NEMATALLAH ZAKAVI<sup>1</sup>, AKBAR KARIMI<sup>1\*</sup>, ALI SHEINI-DASHTGOL<sup>1</sup>

1- Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Development and By-products Research and Training Institute, Ahvaz, Iran.

(Received: Apr. 28, 2021- Revised: May. 18, 2021- Accepted: May. 25, 2021)

### ABSTRACT

Global warming and climate changes cause unpredictable events such as flooding or soil waterlogging. Understanding of the changes in soil characteristics under waterlogging conditions could help to develop strategies against its negative effects. The objective of this study was to evaluate the effect of flooding and soil waterlogging conditions on chemical characteristics and nutrient status of the soil in sugarcane field located in the Hakim Farabi agro-industry company. In this study, the changes in soil chemical characteristics (pH, EC and organic carbon) and soil nutrient status including total nitrogen (N), available phosphorous (P), potassium (K), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper, as well as soluble ions such as sodium (Na<sup>+</sup>), calcium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>) and bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in the soil were investigated before and after flooding. Statistical analysis and means comparison of data were done by the t test. The results indicated that flooding and waterlogging conditions led to increase in soil EC (1.15 and 0.56 dS m<sup>-1</sup>, respectively), SOC (13.5 and 9.3%), soluble concentration of Na<sup>+</sup> (16.6 and 8.7%), Ca<sup>2+</sup> (22.1 and 14.8%), Mg<sup>2+</sup> (49.9 and 42.8%), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (38.3 and 68.9%) and available concentration of P (39.5 and 34.6%), K (15.9 and 17.4%), Fe (34.8 and 26.2%), Mn (32.0 and 21.6%), Zn (21.3 and 11.9%), and Cu (11.7 and 14.6%), in the soil. While they caused to decrease in soil pH (0.60 and 0.53 unit). Generally, the results of this study revealed that although flooding caused to improve some soil characteristics, it increased soil salinity as one of the negative impacts of flooding which need to be considered.

**Keywords:** Climate Changes, Waterlogging Conditions, Nutrient Availability, Electrical Conductivity, Soluble Ions.

## پیامد سیلاب و شرایط غرقابی بر ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر غذایی خاک (مطالعه موردی: کشت و صنعت حکیم فارابی)

نعمت‌الله زکوی<sup>۱</sup>، اکبر کریمی<sup>۱\*</sup>، علی شینی دشتگل<sup>۱</sup>

۱. گروه تحقیقات به‌زراعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۴)

### چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی سبب به‌وجود آمدن حوادث غیرقابل پیش‌بینی مانند سیلاب و غرقاب شدن خاک می‌شود. آگاهی از تغییرات ویژگی‌های خاک در شرایط غرقابی می‌تواند به انتخاب روش‌های مناسب مدیریتی جهت کاهش پیامدهای منفی آن، کمک کند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سیلاب و ایجاد شرایط غرقابی در خاک بر ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر غذایی خاک در مزرعه نیشکر واقع در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی بود. در این مطالعه تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک (pH، قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی) و وضعیت عناصر غذایی شامل نیتروژن کل، غلظت قابل دسترس فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس و نیز غلظت یون‌های محلول سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات خاک، قبل و بعد از سیلاب بررسی شد. آنالیز آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون t انجام شد. نتایج نشان داد که سیلاب و شرایط غرقابی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری، سبب افزایش EC (به ترتیب ۱/۱۵ و ۰/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) و کربن آلی خاک (۱۳/۵ و ۹/۳ درصد)، غلظت سدیم (۱۶/۶ و ۸/۷ درصد)، کلسیم (۲۲/۱ و ۱۴/۸ درصد)، منیزیم (۴۹/۹ و ۴۲/۸ درصد) و بی‌کربنات محلول خاک (۳۸/۳ و ۶۸/۹ درصد) و غلظت قابل دسترس فسفر (۳۹/۵ و ۳۴/۶ درصد)، پتاسیم (۱۵/۹ و ۱۷/۴ درصد)، آهن (۳۴/۸ و ۲۶/۲ درصد)، منگنز (۳۲/۰ و ۲۱/۶ درصد)، روی (۲۱/۳ و ۱۱/۹ درصد) و مس (۱۱/۷ و ۱۴/۶ درصد) در خاک شد، در حالی که سبب کاهش معنی‌دار pH خاک (به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۵۳ واحد) شد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که سیلاب اگرچه سبب بهبود برخی ویژگی‌های خاک می‌شود، با این حال افزایش شوری خاک از جمله پیامدهای منفی سیلاب می‌باشد که لازم است مورد توجه قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات اقلیمی، شرایط غرقابی، فراهمی عناصر غذایی، قابلیت هدایت الکتریکی، یون‌های محلول.

### مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و پیامدهای ناشی از آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های دنیای امروز می‌باشد. تغییر اقلیم سبب برهم خوردن دوره‌های خشکی و تغییر بارندگی‌های فصلی شده و سبب شده طی ۵۰ سال اخیر خشکی و وقوع سیلاب‌ها در مناطق مختلف کشاورزی جهان افزایش یابد (Bailey-Serres *et al.*, 2012; Aderonmu, 2015; Rostami *et al.*, 2020). سیلاب سالانه حدود ۱۷ میلیون کیلومتر مربع از اراضی جهان را تحت تأثیر قرار داده، آسیب جدی به گیاهان وارد کرده و سبب کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود (Voeselek and Sasidharan, 2013). سیلاب برای توصیف وضعیتی که خاک اشباع از آب بوده و بخشی از گیاه یا تمام آن در زیر آب قرار گیرد، به کار می‌رود (Bailey-Serres *et al.*, 2012; Kaur *et al.*, 2020) و به دو نوع غرقاب<sup>۱</sup> و مستغرق<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود (Sullivan *et al.*, Kaur *et al.*, 2020).

در شرایط غرقاب فقط ریشه گیاه در شرایط غیرهوازی است، در حالی که شرایط مستغرق، همه ریشه در آب غوطه‌ور بوده و بسته به ارتفاع آب، بخشی از اندام هوایی گیاه یا تمام آن نیز در زیر آب قرار دارد (Kaur *et al.*, 2020).

در شرایط غرقاب شدن خاک، منافذ ریز و درشت خاک از آب پر شده و اولین پیامد ناشی از شرایط غرقاب، تخلیه اکسیژن می‌باشد. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده که کمبود اکسیژن دلیل اصلی آسیب به گیاه در اثر سیلاب و ایجاد شرایط غرقابی می‌باشد (Herzog *et al.*, 2016; Pedersen *et al.*, 2021). شرایط غرقابی به‌وجود آمده در اثر سیلاب افزون بر تحت تأثیر قرار دادن رشد گیاه، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین سیلاب می‌تواند سبب تغییر وضعیت عناصر غذایی خاک و تعادل آنها در خاک شود. اگرچه سیلاب‌های معتدل با جریان آرام گاهی به‌دلیل رسوبات حمل

عناصر غذایی کم‌مصرف می‌تواند بهبود یابد (Rengel, 2015). همچنین فرایند اشباع خاک با آب و پس از آن خشک شدن خاک در شرایط نرمال سبب تغییر وضعیت اکسیداسیون آهن و کریستالی شدن اکسیدهای آهن می‌شود. در اثر غرقاب شدن، منگنز و آهن به فرم‌های با حلالیت بیش‌تر تبدیل شده که این در خاک‌های اسیدی می‌تواند سبب ایجاد سمیت این عناصر شود. اثر ایجاد شرایط غرقابی در خاک حتی به مدت کوتاه مانند یک هفته، فراهمی آهن و منگنز در خاک می‌تواند افزایش یابد (Hamati Matin and Jalali, 2017). بنابراین ممکن است وضعیت عناصر غذایی خاک در دوره کوتاهی پس از سیلاب تغییر کند. اگرچه این امکان وجود دارد که وضعیت عناصر غذایی پس از گذشت ماه‌ها از خشک شدن خاک، به آرامی به حالت قبل بازگردد (Hamati Matin and Jalali, 2017).

کاهش pH خاک‌های آهکی در اثر شرایط غرقابی، به مقدار مواد آلی خاک، بستگی دارد. غرقاب شدن کردن خاک‌های آهکی با مواد آلی کم حتی به مدت ۶ ماه نمی‌تواند پتانسیل اکسایش و کاهش را به مقدار منفی برساند. بنابراین در این خاک‌ها احیای سولفات صورت نگرفته و سولفید آهن و گاز  $H_2S$  که می‌تواند سبب سمیت گیاه شود، تشکیل نمی‌شود (Bhaduri et al., 2017).

سیلاب می‌تواند انواع مواد آبرفتی و از جمله نمک‌های محلول را با خود همراه حمل نموده که با خشک شدن و رسوب آن‌ها در اراضی پایین‌دست، مقدار نمک‌های محلول در خاک و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک را افزایش دهد. اگر چه ممکن است حجم بالای آب وارد شده بر سطح مزرعه، سبب آبشویی نمک‌های خاک شود. به‌طور کلی ویژگی‌های خاک، مدت زمان غرقاب بودن خاک و کیفیت سیلاب ورودی می‌تواند در تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک مؤثر باشد (Hamati Matin and Jalali, 2017). همچنین فرآیند دیگر تغییر وضعیت عناصر غذایی در شرایط وقوع سیلاب، اضافه شدن حجم بالای رسوبات به خاک است که در نگهداشت و تثبیت این عناصر نقش دارند. این امکان وجود دارد که با خشک شدن خاک، این رسوبات سبب افزایش عناصر غذایی شوند، اما این امر متغیر و غیرقابل پیش‌بینی است و به شدت به اندازه ذرات خاک، رسوبات شیمیایی و ویژگی کانی‌ها بستگی دارد (Bhaduri et al., 2017).

آگاهی از تغییرات ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر غذایی خاک در اثر سیلاب و غرقاب شدن خاک، در مدیریت مزارع نیشکر حائز اهمیت می‌باشد. تاکنون مطالعات چندانی در زمینه تأثیر وقوع سیلاب و غرقاب شدن خاک در اثر آن، بر ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایران انجام

شده، می‌تواند بر حاصلخیزی خاک تأثیر مثبت نیز داشته باشد، با این حال مشکل اصلی ناشی از آن، ایجاد شرایط غرقابی و بی-هوایی در خاک بوده که شیمی خاک را تحت تأثیر قرار داده و بر فعالیت میکروبی خاک اثر منفی دارد (Manik et al., 2019).

بررسی تغییرات ویژگی‌های خاک در شرایط غرقابی حائز اهمیت می‌باشند. رفتار بسیاری از سیستم‌های اکسید و احیا، تابعی از شرایط غیرهوایی و غرقابی خاک است، زیرا غرقاب شدن خاک بر رفتار عناصر مختلف در خاک مؤثر است. در صورتی که رطوبت خاک آنقدر زیاد باشد که خلل و فرج درشت را پر کند و یا اگر ذرات چنان پراکنده باشند که خلل و فرج خاک کاهش یابد یا خلل و فرج درشت کم باشد و یا اگر مصرف اکسیژن زیاد باشد، کمبود اکسیژن و تراکم گاز کربنیک در خاک به‌وجود می‌آید و ترکیبات معدنی یا عناصر دیگر به عنوان گیرنده الکترون عمل می‌کنند (Manik et al., 2019).

پتانسیل اکسیداسیون و احیا (Eh) و pH از جمله ویژگی‌های شیمیایی مهم و مؤثر در حلالیت و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشند. در شرایط غرقاب، تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند pH، Eh، کربنات کلسیم و کربن آلی، می‌تواند فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن، منگنز، روی و مس را تحت تأثیر قرار دهد (Balint et al., 2014; Indraratne and Kumaragamage, 2017). در خاک‌های آهکی و خنثی، پس از غرقاب غلظت فسفر محلول و قابل دسترس در خاک، ممکن است افزایش یابد که این به‌دلیل کاهش pH ناشی از افزایش غلظت گاز کربنیک بوده که سبب افزایش حلالیت شکل-های فسفر پیوند شده با کلسیم می‌شود. این در حالی است که در خاک‌های اسیدی، غرقاب شدن خاک سبب افزایش pH خاک شده و این افزایش pH، سبب افزایش هیدرولیز فسفات‌های پیوند شده با آهن و آلومینیم می‌شود. افزون بر این، جایگزین شدن آنیون‌های آلی با فسفات‌های پیوند یافته به آهن و آلومینیم از طریق تبادل آنیونی، افزایش سرعت پخشیدگی فسفر در شرایط غرقاب، آزاد شدن فسفر محبوس در اکسیدهای فریک هیدراته بر اثر احیای آهن و احیای فسفات فریک نامحلول به فسفات فرو محلول نیز از جمله عوامل مؤثر بر افزایش قابلیت دسترسی فسفر در این شرایط است (Hamati Matin and Jalali, 2017).

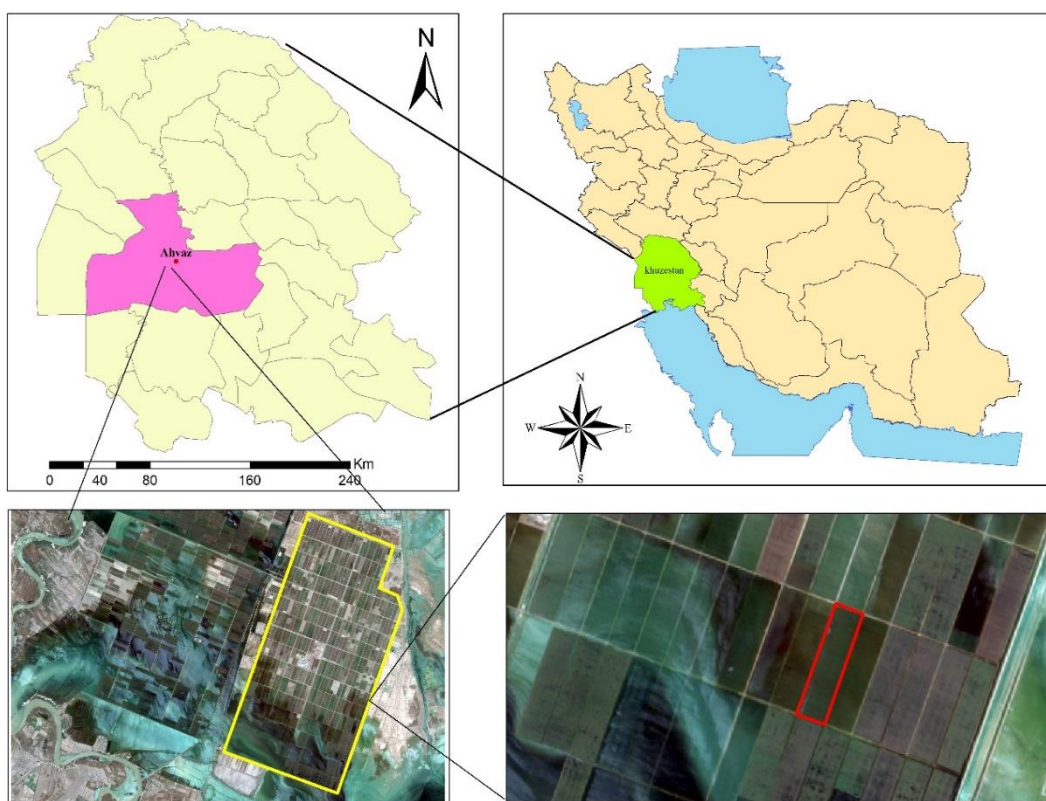
با کاهش pH و Eh خاک در اثر سیلاب و غرقاب شدن خاک، فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف از جمله آهن و منگنز که به‌شدت تحت تأثیر pH و Eh خاک هستند، تغییر می‌کند. در محیط‌های غرقاب که الکترون زیاد و شرایط احیا فراهم است، شکل آهن دوظرفیتی بصورت یون غالب درآمده و فراهمی آهن افزایش می‌یابد. بسته به مدت‌زمان غرقاب بودن خاک، فراهمی

که حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۲ متر است. موقعیت مکانی مزرعه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه برداری خاک مزرعه، قبل از سیلاب انجام شده بود و پس از سیلاب نیز نمونه برداری خاک از عمق‌های صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری به صورت مرکب انجام شد. مساحت مزرعه مورد مطالعه ۲۵ هکتار (۲۵۰ × ۱۰۰۰ متر) بوده که بر اساس موقعیت مزرعه، به صورت شبکه‌ای به پنج قسمت پنج هکتاری، تقسیم بندی شد و به ازای هر پنج هکتار آن یک نمونه مرکب از هر کدام از عمق‌های صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری، نمونه برداری شد. برای کاهش خطا در آزمایش، هر نمونه مرکب از ترکیب ۲۰ نمونه ساده، تهیه شد. آماده سازی نمونه‌های مرکب تهیه شده از هر عمق انجام شد و در پایان پنج نمونه مرکب خاک از هر عمق به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های تهیه شده در آزمایشگاه هواخشک شده و پس از عبور از الک ۲ میلی متری، برای اندازه گیری ویژگی‌های شیمیایی و غلظت عناصر در خاک آماده شدند.

نشده است. بنابراین با توجه به سیل فروردین سال ۱۳۹۸ و غرقاب شدن خاک در بخش‌هایی از مزارع کشت و صنعت‌های نیشکر جنوب استان خوزستان، هدف از این پژوهش بررسی پیامدهای سیلاب و غرقاب شدن خاک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و وضعیت عناصر غذایی خاک در یک مزرعه نیشکر واقع در شرکت کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی خوزستان بود.

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش مزرعه نیشکر S9-21، واقع در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی (48° 36'E, 30° 59'N) در جنوب غربی شهرستان اهواز که در فروردین ماه سال ۱۳۹۸ بر اثر سیلاب، به مدت ۳۰ روز شرایط غرقابی در آن ایجاد شده بود، انتخاب شد (شکل ۱). این کشت و صنعت از نظر فیزیوگرافی، مسطح و نسبتاً کم ارتفاع بوده



شکل ۱- موقعیت مکانی مزرعه مورد مطالعه در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی

همچنین کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر و سپس تیتراسیون با فروآمونوم سولفات (Nelson and Sommers, 1996) اندازه گیری شد.

### اندازه گیری وضعیت عناصر غذایی خاک

برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی خاک و تغییرات آن‌ها در اثر

### اندازه گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک

پس از آماده سازی نمونه‌های خاک تهیه شده از هر عمق (قبل و بعد از سیلاب)، ویژگی‌های شیمیایی خاک نمونه‌ها اندازه گیری شد. بدین ترتیب که pH و قابلیت قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC) در عصاره گل اشباع (Thomas, 1996) اندازه گیری شد.

### آنالیز آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌های این پژوهش داده‌های قبل از سیلاب و بعد از سیلاب در هر عمق خاک (۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری) با استفاده از آزمون t و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج آزمون t نشان داد که اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود. همچنین اثر سیلاب بر کربن آلی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری معنی‌دار بود (جدول ۱).

سیلاب و شرایط غرقابی، غلظت نیتروژن کل خاک به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد. فسفر قابل دسترس با استفاده از بی-کربنات سدیم، ۰/۵ مولار (Olsen and Sommers, 1982) عصاره-گیری شد. سپس غلظت فسفر در عصاره‌ها به‌روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Apel PD-303 UV) ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل دسترس خاک با استفاده از استات آمونیوم یک مولار عصاره‌گیری شد و غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل Corning 410) اندازه‌گیری شد. همچنین برای عصاره‌گیری عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) قابل دسترس در خاک از روش عصاره‌گیری با DTPA استفاده شد (Lindsay and Norvell, 1978). سپس غلظت این عناصر در عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (مدل GBC Savanta AA) اندازه‌گیری شد. تمامی اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی این پژوهش، در سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- مقایسه آماری ویژگی‌های شیمیایی خاک قبل و بعد از سیلاب با استفاده از آزمون t

عمق (cm)	درجه آزادی (df)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی
۰-۳۰	۸	۷/۳۳۱*	-۳/۱۸۵*	-۲/۵۸۷*
۳۰-۶۰	۸	۴/۱۹۴*	-۲/۵۸۶*	-۱/۱۹ <sup>ns</sup>

\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

آهکی مورد مطالعه تغییرات بسیار چشم‌گیری مشاهده نشد. همچنین دی اکسید کربن حاصل از فرایند تجزیه و اکسید شدن مواد آلی، اسیدکربنیک تولید می‌نماید. آمونیاک نیز یکی دیگر از محصولات این فرایند است که با اکسید شدن آن پروتون آزاد شده و pH خاک کاهش می‌یابد. Hamati Matin and Jalali (2017) نیز با بررسی تأثیر شرایط غرقابی بر pH خاک، دریافتند در اثر شرایط غرقابی pH خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در اثر سیلاب و شرایط غرقابی، pH خاک در هر دو عمق مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) کاهش یافت. بدین ترتیب که pH خاک پس از شرایط غرقابی در عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۵۴ واحد کاهش یافت (جدول ۲). کاهش pH خاک در اثر شرایط غرقاب عمده‌تاً به دلیل تجمع دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس ریزجانداران خاک است (Hamati Matin and Jalali, 2017). با این حال، به دلیل ظرفیت بافری بالای خاک

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک قبل و بعد از سیلاب

عمق (cm)	pH خاک	EC خاک (dS m <sup>-1</sup> )	کربن آلی خاک (%)
قبل از سیلاب	۷/۷۶ <sup>a</sup>	۲/۸۳ <sup>a</sup>	۰/۳۷ <sup>b</sup>
بعد از سیلاب	۷/۷۵ <sup>a</sup>	۲/۲۶ <sup>a</sup>	۰/۳۳ <sup>a</sup>
	۷/۱۶ <sup>b</sup>	۳/۹۸ <sup>b</sup>	۰/۴۳ <sup>a</sup>
	۷/۲۲ <sup>b</sup>	۲/۸۲ <sup>b</sup>	۰/۳۵ <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر عمق، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری (۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) خاک بیش‌تر از عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری (۰/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) بود (جدول ۲). این نتیجه می‌تواند به دلیل انباشت املاح در لایه سطحی خاک به دلیل تبخیر و صعود کاپیلاری، باشد. قابلیت

مقایسه میانگین داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی خاک نشان داد که در اثر سیلاب و شرایط غرقابی، EC خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) افزایش یافت (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که افزایش EC

می‌شود. نرخ تجزیه کربن آلی در شرایط غرقابی نسبت به شرایط هوازی بسیار کم‌تر است (Bhaduri et al., 2017). بنابراین احتمالاً کاهش روند تجزیه مواد آلی خاک در شرایط غرقابی سبب شده افزایش کربن آلی خاک شده است. همچنین وجود کربن آلی محلول در آب، نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل احتمالی افزایش کربن آلی خاک پس از سیلاب باشد.

### وضعیت عناصر در خاک

#### نیترژن، فسفر و پتاسیم

بر اساس نتایج آزمون t اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر تغییرات غلظت نیترژن کل خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی-متری، معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نبود (جدول ۴). نتایج آزمون t نشان داد اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی-متری خاک معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت شرایط غرقابی بر قابلیت دسترسی فسفر خاک بود. به طوری که غلظت فسفر قابل دسترس خاک پس از سیلاب و به وجود آمدن شرایط غرقابی، در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی-متری به طور معنی‌داری بیش‌تر (به ترتیب ۳۹/۵ و ۳۴/۶ درصد بیش‌تر از غلظت قبل از سیلاب) از مقدار آن قبل از سیلاب بود (شکل ۲ الف).

جدول ۴- مقایسه آماری غلظت نیترژن، فسفر و پتاسیم خاک، قبل و بعد از

سیلاب با استفاده از آزمون t			
عمق		درجه آزادی	
(cm)	(df)	نیترژن کل	فسفر قابل دسترس
۰-۳۰	۸	۱/۴۱۴ <sup>ns</sup>	۳/۰۸۴*
۳۰-۶۰	۸	۱/۶۳۳ <sup>ns</sup>	۲/۳۴*

<sup>ns</sup> و \* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

یکی از دلایل افزایش غلظت فسفر قابل دسترس خاک می‌تواند به دلیل احیا و انحلال فسفات‌های آهن و آزادسازی فسفر از اکسیدهای آهن آبدار نامحلول باشد. افزون بر این، در شرایط غرقابی آزادسازی فسفر در اثر افزایش حلالیت فسفات آلومینیوم، منجر به افزایش قابلیت دسترسی فسفر خاک می‌شود. با وجود غلظت بالای فسفر کل در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مانند بخش عمده خاک‌های ایران و خاک‌های تحت کشت نیشکر در استان خوزستان، بخش عمده فسفر، به صورت ترکیبات نامحلول بوده و به دلیل تشکیل کمپلکس‌های غیرمحلول با یون‌های فلزی و ترکیبات آلی، برای گیاه غیر قابل دسترس می‌ماند (Motaghian et al., 2020; Safian et al., 2020; Safirzadeh et al., 2019). به طوری که بخش زیادی از فسفر کل خاک در سطح

هدایت الکتریکی از ویژگی‌های بسیار مهم خاک بوده و نشان‌دهنده مجموع املاح محلول در خاک است. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در اثر سیلاب می‌تواند به دلیل افزایش غلظت کاتیون‌های محلول خاک از جمله سدیم، کلسیم و منیزیم و پتاسیم باشد (جدول ۶). همبستگی مثبت و معنی‌دار داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی خاک با غلظت پتاسیم ( $r = 0.1 < P < 0.05$ ), سدیم ( $r = 0.076 < P < 0.05$ ), کلسیم ( $r = 0.041 < P < 0.05$ ) و منیزیم ( $r = 0.045 < P < 0.05$ ) محلول خاک، تأیید کننده این نتایج است (جدول ۳). همچنین یکی دیگر از دلایل افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در اثر شرایط غرقابی در خاک‌های آهکی می‌تواند به دلیل تجمع دی‌اکسید کربن و انحلال کربنات کلسیم خاک باشد. افزون بر این، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در شرایط غرقابی می‌تواند به دلیل احیای اکسیدهای آهن و منگنز و آزادسازی عناصر جذب شده در سطح این اکسیدها باشد (Boivin et al., 2002). به طور مشابه با این پژوهش، نتایج مطالعه Hamati Matin and Jalali (2017) نیز نشان داد که در اثر شرایط غرقابی در خاک قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. آن‌ها نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار میان غلظت کاتیون‌های محلول خاک و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را در شرایط غرقابی گزارش کردند.

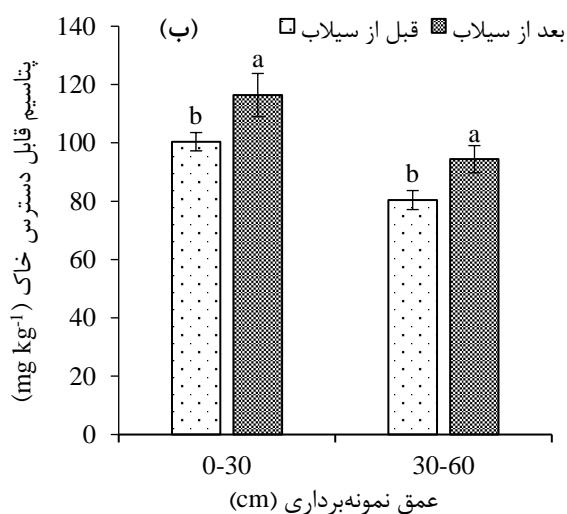
جدول ۳- ضرایب همبستگی پیرسون (r) میان قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC) و غلظت کاتیون‌های محلول خاک

EC	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم
۱	۰/۷۶**	۰/۷۲**	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۱ <sup>ns</sup>
۱	۰/۷۸**	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۶۴*

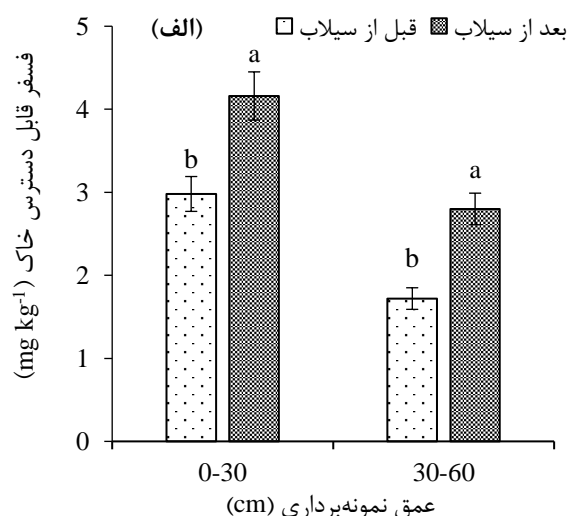
<sup>ns</sup> و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

نتایج آزمون t نشان داد که اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر تغییرات کربن آلی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی-متری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود، در حالی که در عمق ۳۰-۶۰ سانتی-متری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سیلاب و به وجود آمدن شرایط غرقابی، سبب افزایش کربن آلی خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ (۱۳/۵ درصد) و ۳۰-۶۰ (۹/۳ درصد) سانتی-متری شد. اگرچه این افزایش در عمق ۳۰-۶۰ سانتی-متری از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). در حالی که تجزیه مواد آلی در خاک‌های غیر ماندآب و دارای تهویه مناسب توسط ریزجانداران هوازی خاک انجام می‌شود، در خاک‌های غرقاب تجزیه مواد آلی تنها توسط ریزجانداران غیرهوازی انجام

به‌ویژه فسفات‌های کلسیم باشد. نتایج این پژوهش نشان داد رگرسیون خطی منفی بالایی بین فسفر قابل دسترس خاک با pH عصاره اشباع خاک ( $r^2 = -0.63$ ;  $P < 0.05$ )، وجود داشت (شکل ۳). بنابراین افزایش غلظت فسفر قابل دسترس خاک را می‌توان به کاهش pH خاک نسبت داد. افزون بر این، فسفر رسوبات حمل شده به مزرعه و فسفر محلول در سیلاب نیز احتمالاً در افزایش فسفر قابل دسترس خاک نقش داشته است.

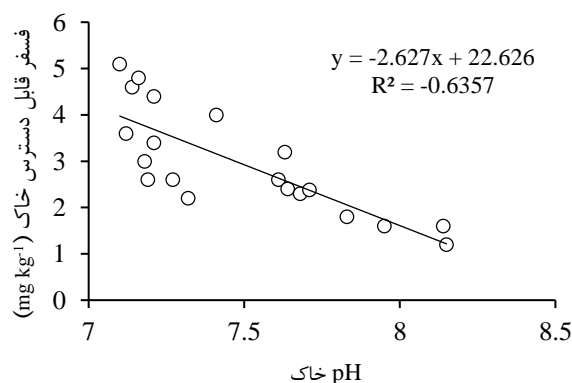


کانی‌های رسی و کربنات کلسیم جذب شده و به شکل‌های نامحلول فسفات‌های کلسیم تبدیل می‌شود. در خاک‌های آهکی غلظت فسفر قابل دسترس خاک برای گیاهان به‌شدت تحت تأثیر pH و کربنات کلسیم خاک می‌باشد و با کاهش کربنات کلسیم و pH خاک غلظت فسفر قابل دسترس خاک افزایش می‌یابد (Motaghian et al., 2020; Safian et al., 2020). بنابراین افزایش غلظت فسفر قابل دسترس خاک در این مطالعه می‌تواند به دلیل کاهش pH خاک و در نتیجه انحلال ترکیبات نامحلول



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت فسفر (الف) و پتاسیم (ب) قابل دسترس خاک قبل و بعد از سیلاب میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر عمق، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

به هوازگی کانی‌های پتاسیمی (میکا و فلدسپار)، مقدار پتاسیم در سایر شکل‌های شیمیایی مانند محلول، تبادلی و غیرتبادلی، ویژگی‌ها و اندازه ذرات کانی‌های خاک، ویژگی‌های خاک مانند pH، Eh، نوع و فعالیت یون‌ها در محلول خاک بستگی دارد. افزایش پتاسیم تبادلی خاک پس از سیلاب و شرایط غرقابی می‌تواند به دلیل جابه‌جایی پتاسیم قابل تبادل از محل‌های تبادلی با سایر کاتیون‌های محلول خاک باشد. تحت شرایط غرقاب، غلظت آهن و منگنز خاک افزایش می‌یابد، در چنین شرایطی پتاسیم می‌تواند جانشین این عناصر شود. همچنین این امکان وجود دارد که کانی‌های حاوی پتاسیم در شرایط ماندآب شروع به رهاسازی پتاسیم کنند (Bahmaniar, 2008). نتایج مطالعات پیشین نشان داده محتوای کانی میکای آبدار در خاک‌های آهکی در شرایط غرقابی، کاهش یافته و محتوای ورمی کولیت در مقایسه با خاک‌های با تهویه مناسب افزایش می‌یابد (Hamati Matin and Jalali, 2017). در چنین حالتی، نوسان شرایط احیایی و اکسیداتیو خاک موجب گسترش کانی‌های نوع ۲:۱ می‌شود. بنابراین، پتاسیم بین لایه‌های این کانی‌ها معمولاً به فرم آب‌پوشیده و تبادلی، تبدیل



شکل ۳- رگرسیون خطی بین pH خاک و غلظت فسفر قابل دسترس خاک به‌وجود آمدن شرایط غرقابی ناشی از سیلاب سبب افزایش معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) پتاسیم تبادلی خاک در مقایسه با وضعیت قبل از سیلاب، در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری، شد. (شکل ۲ب). بدین ترتیب که غلظت پتاسیم قابل دسترس در خاک پس از سیلاب به ترتیب در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری ۱۵/۹ و ۱۷/۴ درصد بیش‌تر از غلظت آن‌ها قبل از سیلاب بود (شکل ۲ب). به‌طور کلی فراهمی پتاسیم در خاک

می‌شود.

احتمالی افزایش غلظت کاتیون‌های محلول خاک در اثر سیلاب و شرایط غرقابی، انحلال کربنات و بی‌کربنات نامحلول در شرایط احيایی، از دست دادن مکان‌های تبادل به دلیل انحلال کربن آلی و اکسیدهای آبدار آهن و منگنز و جایگزینی مکان‌های جذبی خاک با توجه به بالاتر بودن غلظت سدیم و افزایش غلظت آهن و منگنز محلول می‌باشد (Hamati Matin and Jalali, 2017). بررسی شرایط غرقابی در دو خاک انتی‌سول آهکی نشان داد، شرایط غرقابی خاک سبب افزایش کاتیون‌های آمونیوم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، آهن و منیزیم در فاز محلول خاک شد (Larson *et al.*, 1991). همچنین افزایش بی‌کربنات محلول خاک در اثر سیلاب احتمالاً به دلیل ورود ترکیبات کربناتی از طریق سیلاب به مزرعه بوده و به دنبال آن حضور آب در مزرعه نیز شرایط را برای تبدیل یون‌های کربناتی به بی‌کربنات فراهم نموده است. به همین دلیل غلظت بی‌کربنات‌های محلول در خاک افزایش پیدا کرده است.

#### آهن، منگنز، روی و مس قابل دسترس خاک

نتایج این پژوهش نشان داد اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر غلظت آهن و منگنز قابل دسترس خاک در هر دو عمق بررسی شده (۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری) و غلظت روی و مس قابل دسترس خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود (جدول ۵). غلظت قابل دسترس آهن و منگنز در خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری پس از سیلاب، به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بیش‌تر از مقدار آن‌ها قبل از سیلاب بود (شکل ۴ الف و ب). نتایج همچنین نشان داد تغییرات غلظت قابل دسترس آهن و منگنز در خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، در اثر سیلاب و شرایط غرقابی، در مقایسه با عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری بیش‌تر بود. به‌طوری‌که در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری غلظت قابل دسترس آهن و منگنز در خاک پس از سیلاب و شرایط غرقابی به ترتیب ۳۴/۸ و ۳۱/۹ درصد و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به ترتیب ۲۶/۲ و ۲۱/۶ درصد بیش‌تر از غلظت آن‌ها قبل از سیلاب بود (شکل ۴ الف و ب).

جدول ۵- مقایسه آماری غلظت قابل دسترس عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک قبل و بعد از سیلاب با استفاده از آزمون t

عمق (cm)	درجه آزادی (df)	t		
		آهن	منگنز	روی
۰-۳۰	۸	-۱۱/۷۴*	-۵/۷۷*	-۴/۶۱*
۳۰-۶۰	۸	-۵/۵۴*	-۴/۴۲*	-۱/۹۵ <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> و \* : به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

#### سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات محلول خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر سیلاب و شرایط غرقابی بر کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات محلول خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد سیلاب و غرقابی بودن خاک، سبب افزایش غلظت سدیم محلول خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ (۱۶/۶ درصد) و ۳۰-۶۰ (۸/۷ درصد) سانتی‌متری شد (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه آماری غلظت یون‌های محلول خاک قبل و بعد از سیلاب با استفاده از آزمون t

عمق (cm)	درجه آزادی (df)	t		
		سدیم	کلسیم	منیزیم
۰-۳۰	۸	-۳/۵۰*	-۲/۸۲۳*	-۲/۲۷۴*
۳۰-۶۰	۸	-۲/۱۹*	-۱/۹۹۲*	-۲/۴۴۸*

<sup>ns</sup> و \* : به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین غلظت یون‌های محلول خاک قبل و بعد از سیلاب

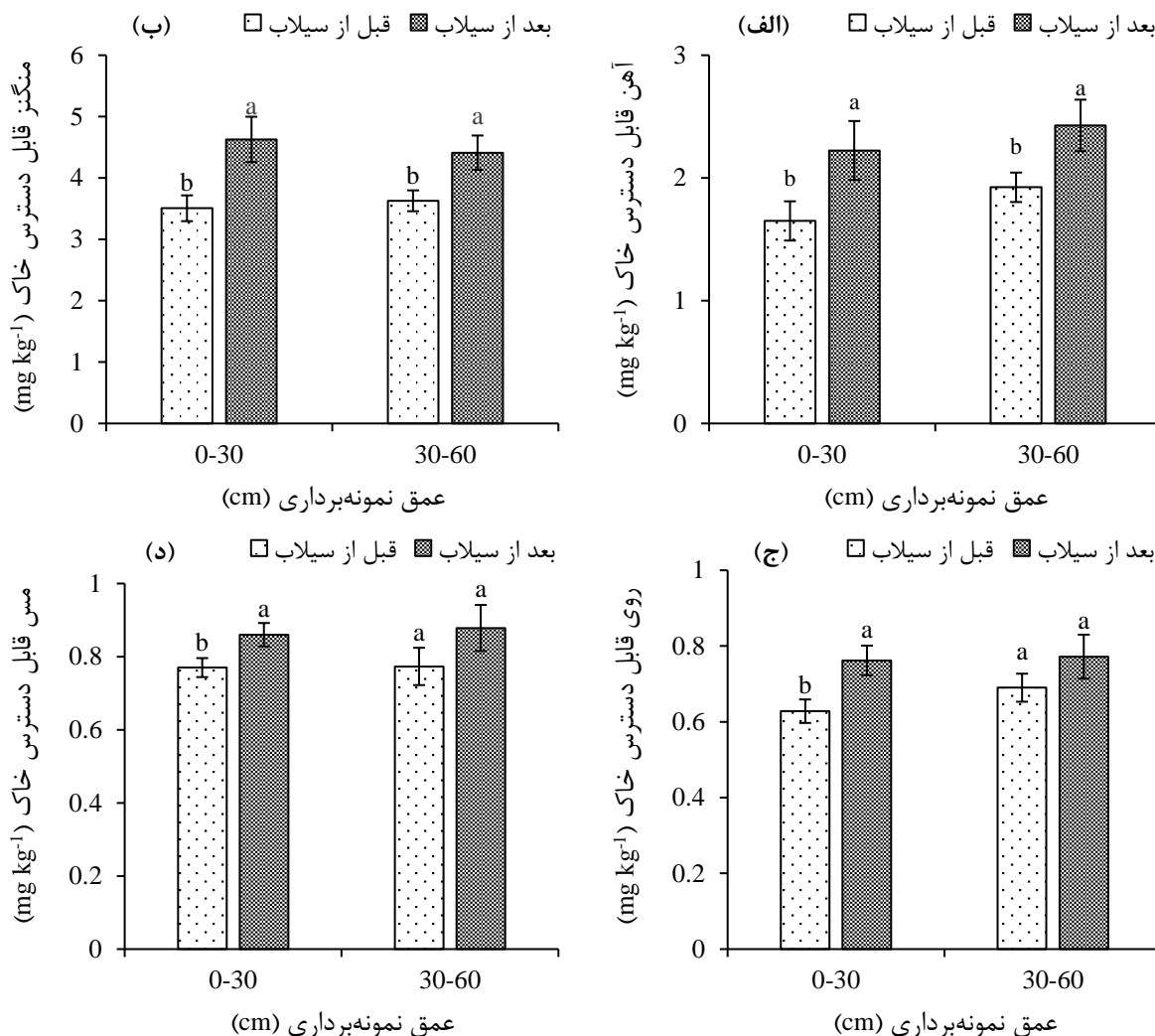
عمق (cm)	غلظت محلول ( $mg L^{-1}$ )		
	سدیم	کلسیم	منیزیم
۰-۳۰	۴۰۶/۶ <sup>b</sup>	۲۰۷/۳ <sup>b</sup>	۷۹/۸ <sup>b</sup>
۳۰-۶۰	۴۱۱/۳ <sup>b</sup>	۱۵۷/۱ <sup>b</sup>	۶۵/۴ <sup>b</sup>
۰-۳۰	۴۷۴/۳ <sup>a</sup>	۲۵۲/۹ <sup>a</sup>	۱۱۹/۶ <sup>a</sup>
۳۰-۶۰	۴۴۷/۱ <sup>a</sup>	۱۷۹/۳ <sup>a</sup>	۹۳/۴ <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر عمق، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) ندارند.

افزایش غلظت سدیم محلول خاک در اثر غرقاب شدن خاک را می‌توان به انحلال کانی‌های حاوی سدیم در خاک و همچنین انحلال نمک‌های نامحلول سدیم نسبت داد (Hamati Matin and Jalali, 2017). همچنین وجود سدیم محلول در سیلاب ورودی به مزرعه نیز می‌تواند از دیگر دلایل افزایش سدیم محلول خاک پس از سیلاب نسبت به مقدار آن قبل از سیلاب باشد. نتایج این پژوهش با نتایج Hamati Matin and Jalali (2017) مشابه بود. آن‌ها نیز افزایش غلظت سدیم محلول در خاک‌های آهکی در اثر غرقاب شدن را گزارش کردند.

در اثر سیلاب و غرقاب شدن خاک غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) افزایش یافت (جدول ۶). به‌طور کلی نتایج نشان داد که تغییرات غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در اثر سیلاب و شرایط غرقابی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری بیش‌تر از عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری بود (جدول ۶). به‌طور کلی دلایل





شکل ۴- مقایسه میانگین غلظت قابل دسترس عناصر غذایی کم‌مصرف (شامل الف آهن، ب منگنز، ج مس و د روی در خاک، قبل و بعد از سیلاب میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر عمق، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری (P<0/05) ندارند.

شرایط اشباع و کاهش اکسیژن در اثر غرقاب شدن خاک سبب می‌شود ریزجانداران خاک مانند باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری از یون‌های  $Fe^{3+}$ ،  $Mn^{3+}$  و  $Mn^{4+}$  به‌عنوان گیرنده ثانویه الکترون استفاده نموده و سبب احیای آن‌ها می‌شوند. بنابراین پتانسیل اکسایش و کاهش خاک (Eh) در شرایط غرقاب شدن خاک کاهش می‌یابد (Rengel, 2015). ایجاد شرایط احیایی و کاهش Eh سبب تبدیل  $Fe^{3+}$  به  $Fe^{2+}$  شده و افزایش انحلال ترکیبات آهن در خاک می‌شود. اکسید منگنز ( $MnO_2$ ) یکی از ترکیباتی است که در اثر غرقاب شدن و شرایط بی‌هوازی کاهش می‌یابد (Saleh *et al.*, 2013). بنابراین یکی از دلایل افزایش غلظت قابل دسترس منگنز خاک در این پژوهش می‌تواند به دلیل تبدیل اکسیدهای منگنز به ترکیبات محلول منگنز در اثر شرایط احیایی ناشی از غرقاب شدن خاک باشد. افزایش غلظت منگنز قابل دسترس خاک در شرایط غرقاب شدن توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Ibrahim *et al.*, 2011; Hamati

در شرایط غرقاب بودن خاک pH و Eh خاک حلالیت و فراهمی آهن و منگنز در خاک را کنترل می‌کنند. همانند کاهش Eh، با کاهش pH خاک نیز غلظت شکل-های محلول و تبدیلی آهن و منگنز در خاک افزایش می‌یابد (Balint *et al.*, 2014; Rengel, 2015; Indraratne, and Kumaragamage, 2017). بنابراین یکی دیگر از دلایل افزایش غلظت قابل دسترس آهن و منگنز در خاک مورد مطالعه، می‌تواند به دلیل کاهش pH خاک (جدول ۲) و در نتیجه انحلال ترکیبات نامحلول آهن و منگنز باشد. همبستگی منفی و معنی‌دار بین غلظت آهن و منگنز قابل دسترس خاک با pH خاک، تأیید کننده این نتایج است (جدول ۷).

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین pH خاک و غلظت قابل

دسترس عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک			
	رومی	منگنز	آهن
مس	۰/۶۶*	۰/۷۴**	۰/۷۱**
pH	۰/۶۱*		

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ویژگی‌های شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داد. در اثر غرقاب شدن خاک پس از سیلاب، pH خاک کاهش یافت، در حالی که EC، کربن آلی خاک، غلظت پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات محلول خاک و غلظت قابل دسترس فسفر، پتاسیم و عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) در خاک افزایش یافت. همچنین، غلظت نیتروژن کل خاک، پس از سیلاب اندکی کم‌تر از قبل از سیلاب بود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان دهنده بهبود ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر غذایی خاک بود. با این حال افزایش غلظت سدیم محلول خاک و همچنین افزایش EC خاک به‌ویژه در لایه سطحی (۳۰-۰ سانتی-متری) در اثر سیلاب که احتمالاً به‌دلیل انحلال کانی‌های حاوی سدیم و نمک‌های نامحلول آن و همچنین انتقال املاح محلول همراه با سیلاب بوده است، می‌تواند از جمله پیامدهای منفی وقوع سیلاب باشد. بنابراین در مدیریت مزرعه پس از سیلاب این موضوع مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این‌که اغلب مزارع نیشکر در استان خوزستان دارای بافت سنگین و ماده آلی کم بوده که به‌دلیل تردد ماشین‌های کشاورزی سنگین تراکم بالایی پیدا کرده‌اند، افزایش غلظت سدیم محلول در خاک در اثر سیلاب، پراکندگی ذرات خاک و تبدیل منافذ درشت خاک به منافذ ریزتر را تشدید کرده و منجر به کاهش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش کیفیت فیزیکی خاک می‌شود. بنابراین در مدیریت مزرعه پس از سیلاب، باید این موضوع مورد توجه قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Aderonmu, A. T. (2015). Assessing the impact of changing climate on agriculture in Missouri and the use of crop insurance as an adaptation strategy (1980–2010). University of Missouri-Kansas City, Kansas City, KS.
- Bahmaniar, M. A. (2008). The influence of continuous rice cultivation and different waterlogging periods on the morphology, clay mineralogy, Eh, pH and K in paddy soils. *Eurasian Soil Science*, 41(1), 87-92.
- Bailey-Serres, J., Lee, S. C., and Brinton, E. (2012). Waterproofing crops: effective flooding survival strategies. *Plant Physiology*, 160(4), 1698-1709.
- Balint, R., Nechifor, G. and Ajmone-Marsan, F. (2014). Leaching potential of metallic elements from contaminated soils under anoxia. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 16(2), 211-219.
- Bhaduri, D., Mandal, A., Chakraborty, K., Chatterjee, D., and Dey, R. (2017). Interlinked chemical-biological processes in anoxic waterlogged soil-a review. *Indian Journal of Agriculture Science*, 87(12), 1587-1599.
- Boivin, P., Favre, F., Hammecker, C., Maeght, J. L., Delarivière, J., Poussin, J. C. and Wopereis, M. C. S. (2002). Processes driving soil solution chemistry in a flooded rice-cropped vertisol: analysis of long-time monitoring data. *Geoderma*, 110(1-2), 87-107.
- Hamati Matin, N. and Jalali, M. (2017). The effect of waterlogging on electrochemical properties and soluble nutrients in paddy soils. *Paddy and Water Environment*, 15(2), 443-455.
- Herzog, M., Striker, G. G., Colmer, T. D., and Pedersen, O. (2016). Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat—a review of root and shoot physiology. *Plant, Cell and Environment*, 39(5), 1068-1086.
- Ibrahim, S. A., Siam, H. S., Rashad, M. A., Holah, S. and Zeid, S. A. (2011). Influence of soil moisture regimes on some nutrients concentration in soil solution collected from different soils through the growth period of rice plants. *International Journal of Academic Research*, 3(1), 711-719.
- Indraratne, S. P., and Kumaragamage, D. (2017). Flooding-induced mobilization of potentially toxic trace elements from uncontaminated, calcareous agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 98(1), 103-113.

غلظت قابل دسترس روی و مس در خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری در اثر سیلاب و شرایط غرقابی افزایش یافت. اگرچه این افزایش در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری، معنی‌دار نبود (شکل ۴ ج و د). در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری غلظت قابل دسترس روی و مس در خاک پس از سیلاب و شرایط غرقابی به‌ترتیب ۲۱/۳ و ۱۱/۷ درصد و در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۱۱/۹ و ۱۴/۶ درصد بیش‌تر از مقدار آن‌ها قبل از سیلاب بود (شکل ۴ ج و د). شکل باقی‌مانده عناصر غذایی کم‌مصرف عمدتاً در ساختمان کانی‌ها و ترکیبات نامحلول خاک از جمله اکسیدهای آهن بلوری وجود دارد. غرقاب شدن خاک سبب تبدیل اکسیدهای آهن بلوری به اکسیدهای آهن بی‌شکل شده که در طول این فرایند، بخشی از روی و مس محبوس شده در ساختمان این اکسیدها آزاد می‌گردد (Lee, 2006). همانند آهن و روی، همبستگی منفی و معنی‌داری میان غلظت قابل دسترس روی و مس و pH خاک مشاهده شد (جدول ۷). بنابراین کاهش pH خاک و تبدیل شکل‌های با فراهمی کم‌تر روی و مس مانند شکل‌های باقی‌مانده و اکسیدی، به شکل‌های با فراهمی بیش‌تر مانند شکل‌های محلول و تبادل، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش غلظت قابل دسترس روی و مس در خاک پس از بروز سیلاب باشد.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سیلاب و غرقاب شدن خاک

- Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orłowski, J. M., and Golden, B. R. (2020). Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 112(3), 1475-1501.
- Larson, K. D., Graetz, D. A., and Schaffer, B. (1991). Flood-induced chemical transformations in calcareous agricultural soils of south Florida. *Soil Science*, 152(1), 33-40.
- Lee, S. (2006). Geochemistry and partitioning of trace metals in paddy soils affected by metal mine tailings in Korea. *Geoderma*, 135, 26-37.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.
- Manik, S. M., Pengilley, G., Dean, G., Field, B., Shabala, S. and Zhou, M. (2019). Soil and crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity. *Frontiers in Plant Science*, 10, 140.
- Motaghian, H., Hosseinpour, A., and Safian, M. (2020). The effects of sugarcane-derived biochar on phosphorus release characteristics in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 66-74.
- Nelson, D.W., Sommers L. E. (1996). Carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks DL (ed) *Methods of Soil Analysis*, SSSA, Madison, pp: 539-579.
- Olsen, S. R., Sommers, L. E. (1982). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties of Phosphorus*. ASA Monograph, 9: 403-430.
- Pedersen, O., Sauter, M., Colmer, T. D. and Nakazono, M. (2021). Regulation of root adaptive anatomical and morphological traits during low soil oxygen. *New Phytologist*, 229(1), 42-49.
- Rengel, Z. (2015). Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2), 397-409.
- Rostami, N., Sohrabi, T. and Kazemi, Y. (2020). Stability analysis of flood spreading systems in arid regions, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-11.
- Safian, M., Motaghian, H. and Hosseinpour, A. (2020). Effects of sugarcane residue biochar and P fertilizer on P availability and its fractions in a calcareous clay loam soil. *Biochar*, 2:357-367.
- Safirzadeh, S., Chorom, M. and Enayatizamir, N. (2019). Effect of phosphate solubilising bacteria (*Enterobacter cloacae*) on phosphorus uptake efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Soil Research*, 57(4), 333-341.
- Saleh, J., Najafi, N., Oustan, S., Aliasgharzad, N., and Ghassemi-Golezani, K. (2013). Changes in extractable Si, Fe, and Mn as affected by silicon, salinity, and waterlogging in a sandy loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(10), 1588-1598.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5, 475-490.
- Sullivan, M., VanToai, T., Fausey, N., Beuerlein, J., Parkinson, R. and Soboyejo, A. (2001). Evaluating on-farm flooding impacts on soybean. *Crop Science*, 41, 93-100.