

## بررسی تأثیر عوامل محیطی و گوگرد بازیافتی از پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد بر کیفیت خاک‌های کشاورزی

مریم تاج بخشیان<sup>۱</sup> - محمد حسین محمودی قرائی<sup>۲\*</sup> - اسدالله محبوبی<sup>۳</sup> - رضا موسوی حرمی<sup>۴</sup> - ایرج اجلالی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

### چکیده

به منظور بررسی کیفیت خاک موجود در منطقه پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد، واقع در ۱۶۵ کیلومتری شمال شرق مشهد و ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان سرخس، تعداد ۲۲ نمونه خاک از داخل محوطه و هم‌چنین زمین‌های کشاورزی اطراف پالایشگاه برداشت شد. pH عصاره‌های خاک در تعادل با آب مقطر و هم‌چنین در تعادل با محلول کلرید پتاسیم، هر دو با نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب اندازه‌گیری شد. پارامترهای دیگری نیز مانند محتوای سولفات کل به روش هضم کامل، غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون کمپلکسومتری و هم‌چنین سدیم و پتاسیم به روش طیف سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. بررسی میزان شوری خاک با استفاده از هدایت الکتریکی نشان داد اکثر نمونه‌های خاک خارج از محوطه پالایشگاه در رده خاک‌های غیر شور، دو نمونه داخل محوطه و دو نمونه خارج از محوطه در رده خاک‌هایی با شوری کم و یک نمونه داخل محوطه در گروه خاک‌هایی با شوری زیاد قرار داشتند. تغییرات شاخص  $\Delta pH$  با تغییرات EC روندی معکوس را نشان داد و نتایج بررسی شوری خاک با استفاده از EC را تأیید کرد. با استفاده از دو شاخص SAR و EC غیر شور و غیر سدیمی بودن اکثر نمونه‌های خاک و هم‌چنین مناسب بودن آن‌ها برای کشاورزی از نظر حفظ وضعیت در برابر تنش‌های مختلف مشخص شد و فقط یکی از نمونه‌های برداشت شده از داخل محوطه پالایشگاه با داشتن EC بالاتر و قرار گرفتن در رده خاک‌های شور و غیر سدیمی، جهت تولید محصول محدودیت نشان داد. شاخص ESP با داشتن مقادیر کم‌تر از ۱۵ درصد در تمام نمونه‌های خاک نشان داد تمرکز سدیم در این نمونه‌ها خطری برای محصولات کشاورزی ندارد. رابطه تمرکز سولفات کل با pH و EC به ترتیب روابطی با ضرایب همبستگی معکوس و مستقیم نسبتاً بالا بود که نشان‌دهنده تأثیر کم گوگرد بازیافتی از پالایشگاه بر ایجاد شرایط اسیدی در خاک و افزایش محتوای نمک‌های محلول خاک بود که اینگونه تأثیرات درمورد نمونه‌های خاک داخل محوطه بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: پالایشگاه گاز، SAR، سولفات کل، کیفیت خاک، EC،  $\Delta pH$

### مقدمه

به ویژه خاک‌های مورد استفاده برای کشاورزی جهت تقویت و ثبات اکوسیستم‌های طبیعی ضروری است (۲۲). از عوامل تأثیر گذار بر کیفیت خاک می‌توان به فعالیت‌های صنعتی یا معدنی در یک منطقه اشاره کرد. یکی از عناصری که محصول چنین فعالیت‌هایی است گوگرد می‌باشد. محتوای گوگرد در خاک بسیار متفاوت بوده و از گستره ۵۰ تا ۵۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (۱۵). سطوح بسیار بالای غلظت گوگرد مربوط به سیستم‌های بی‌هوازی مانند باتلاق‌ها می‌باشد، هم‌چنین در مناطقی با آب و هوای بسیار خشک، تجمع کانی‌های ژپس<sup>۴</sup> و یا اپسومیت<sup>۵</sup> موجب افزایش غلظت گوگرد در خاک می‌شود (۵). علاوه بر عوامل طبیعی، فعالیت‌های صنعتی از

خاک یکی از مهم‌ترین اجزای محیط زیست به شمار می‌رود، به طوری که زندگی انسان و سایر موجودات زنده تا حد زیادی به آن وابسته است. در حال حاضر، جمعیت قابل توجهی از مردم کشورهای در حال توسعه به فعالیت‌های کشاورزی مشغول‌اند (۲۱). با وجود منابع و سرمایه‌های محدود در چنین جوامعی، مدیریت بهینه کیفیت خاک و

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادان گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد  
(\*)- نویسنده مسئول: (Email: mhmgharaie@um.ac.ir)

۵- کارشناس ارشد، واحد حفاظت، ایمنی و بهداشت محیط زیست (HSE) شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران)، سرخس

DOI: 10.22067/jsw.v31i3.54415

4- Gypsum (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O)

5- Epsomite (MgSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O)

محل قالب‌گیری گوگرد و به ویژه در بخش‌های جنوبی و غربی پالایشگاه بوده است (۱۷).

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۱۲۶ کیلومتر مربع در زیر حوضه گنبدلی، واقع در حوضه کپه‌داغ و در استان خراسان رضوی واقع شده و بخشی از محدوده شهرستان سرخس محسوب می‌شود (شکل ۱). این منطقه دارای اقلیم خشک سرد تا خشک معتدل است و پراکنش بارندگی در ماه‌های مختلف سال نشان‌دهنده یک رژیم اقلیمی مدیترانه‌ای است؛ به طوری که بیشترین مقدار باران در ماه‌های سرد و کم‌ترین مقدار در ماه‌های گرم سال اتفاق می‌افتد. ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور گرم‌ترین اوقات سال محسوب شده که در این ماه‌ها میانگین دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. ماه‌های آذر، دی و بهمن سردترین ماه‌های سال هستند. بیشترین بادها در ۳ ماه فصل تابستان و از جهت ۶۰ درجه نسبت به شمال یعنی از سمت شمال غربی به جنوب شرقی می‌وزند (۱۷). با توجه به اینکه ۶۵ درصد ساکنین منطقه به کشاورزی و دامداری اشتغال دارند، بررسی کیفیت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا فعالیت پالایشگاه در این منطقه و تخلیه حجم عظیمی از آلاینده‌ها به اتمسفر و در نتیجه ته‌نشینی آنها در نواحی مجاور می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک‌های کشاورزی شود.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی مقدار سولفات و اثرات ناشی از آن در خاک منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۲ نمونه خاک سطحی موجود در داخل پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد و مناطق مجاور آن برداشت شد. سه نمونه از داخل پالایشگاه و در مجاورت محل قالب‌گیری گوگرد (TS5، TS7، TS6)، یک نمونه از شمال آن (TS12)، یک نمونه از غرب (TS8)، یک نمونه از شرق (TS11) و سایر نمونه‌ها از جنوب پالایشگاه برداشت شده‌اند (شکل ۱). در جدول ۱ مشخصات نقاط نمونه‌برداری از خاک منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. نمونه‌های خاک برداشت شده داخل نایلون پلاستیکی قرار داده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم در دانشگاه فردوسی مشهد پارامترهای مختلف مربوط به خاک از قبیل pH، هدایت الکتریکی (EC)، سولفات کل و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در آنها اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌های خاک در تعادل با آب مقطر و هم‌چنین در تعادل با محلول کلرید پتاسیم ۱ مولار با نسبت ۱:۲/۵ خاک به محلول، اندازه‌گیری شد. جهت بررسی میزان شوری خاک از دو شاخص هدایت الکتریکی و تفاضل  $pH_{H_2O} - pH_{KCl}$  استفاده شد (۳۱). هدایت الکتریکی عصاره نمونه‌های خاک در نسبت‌های ۱:۲/۵، ۱:۴، ۱:۵، ۱:۶، ۱:۸ و ۱:۱۰ خاک به آب اندازه‌گیری شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تصحیح شد و سپس

جمله پالایش گاز ترش نیز سهم به سزایی در افزایش محتوای این عنصر در اکوسیستم‌های طبیعی و به ویژه در خاک دارند. گوگرد عنصری ( $S^0$ ) محصول جانبی فرآیند پالایش گاز طبیعی است که در طول این فرآیند، گاز سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) موجود در گاز ترش زوده شده و پس از تبدیل به گوگرد جامد قالب‌گیری شده، در ابعاد وسیعی تجمع می‌یابد. با گذشت زمان، فرسایش بادی موجب شکستگی این بلوک‌ها شده و در نتیجه گوگرد در مناطق مجاور نزدیک تا دور ته‌نشین می‌شود. اکسایش متعاقب ذرات ته‌نشین شده گوگرد، به صورت شیمیایی و یا با دخالت میکروارگانیسم‌ها، تولید اسید سولفوریک کرده که در نتیجه آن خاک اسیدی می‌شود (۲). ته‌نشینی فزاینده گوگرد و اکسایش آن به گسترش شرایط اسیدی خاک منجر شده و در نتیجه به خروج کاتیون‌های مغذی مانند کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از خاک می‌انجامد. هم‌چنین، افزایش سولفات در خاک و اسیدی شدن آن باعث تسریع هوازدگی سیلیکات‌ها در لایه فوقانی خاک می‌شود. بسته به میزان ماندگاری گوگرد، افزایش در محتوای سولفات محلول خاک و خروج کاتیون‌های مغذی به طور مشخصی افزایش می‌یابد (۳۲). بنابراین، کاهش pH، افزایش سولفات محلول در خاک و افزایش فرسایش خاک از تأثیرات مستقیم وجود گوگرد فراوان در خاک به شمار می‌رود. هم‌چنین افزوده شدن دراز مدت گوگرد به خاک موجب تشکیل سولفات کلسیم (ژپس) ( $CaSO_4$ ) شده که مشکلاتی نظیر افزایش شوری در خاک را در پی دارد (۱۲). از طرفی، ترکیبات گوگردی در زمره آلاینده‌گان اتمسفری هستند که در نواحی پر باران می‌توانند تأثیرات منفی بر خاک داشته باشند (۷). ترکیبات گازی متنوعی در ارتباط با فعالیت پالایشگاه‌های گاز وارد اتمسفر می‌شوند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به متان ( $CH_4$ )، دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ )، دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) و به خصوص دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) اشاره کرد که از طریق ایجاد باران‌های اسیدی تأثیرات نامطلوبی بر روی خاک و اکوسیستم آن می‌گذارد (۳۷).

پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد در ۳۵ کیلومتری سرخس و ۱۶۵ کیلومتری شمال شرق مشهد، در طول جغرافیایی  $51^{\circ}50'60''$  شرقی و عرض  $36^{\circ}28'6''$  شمالی قرار گرفته است. این پالایشگاه که فعالیت خود را از سال ۱۳۵۲ آغاز نموده است، از مجموع ۴۱۶ میلیارد متر مکعب ذخائر گازی قابل استحصال میادین خانگیران و گنبدلی، تا کنون ۱۳۶ میلیارد متر مکعب آن را برداشت نموده و این مخازن تا ۲۳ سال آینده نیز قابل بهره‌برداری می‌باشند (۳۹). علاوه بر پالایش و تولید گاز به میزان ۵۰ میلیون متر مکعب در روز، بازیافت گوگرد با خلوص ۹۹/۹ درصد و ظرفیت اسمی ۲۰۰۰ تن در روز نیز از محصولات جانبی این مجتمع گازی به حساب می‌آید (۳۹). مطالعات هواشناسی و بررسی آلاینده‌های هوا در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد نشان داده است که بیشترین میزان آلودگی در نزدیکی

پالایشگاه (TS12) به میزان ۱۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد که البته در خلاف جهت وزش باد قرار داشته است. نمونه‌های مربوط به داخل پالایشگاه به طور مشخصی در تمامی نسبت‌های خاک به آب دارای هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌های برداشت شده بودند، به طوری که در این نمونه‌ها میانگین هدایت الکتریکی با کاهش نسبت خاک به آب به ترتیب برابر با ۵۶۷۲/۶، ۴۴۴۰/۳، ۵۴۰۶، ۳۷۶۹/۷، ۳۷۴۱/۷، ۳۵۵۵/۶ و ۳۳۱۴/۵ میکرو زیمنس بر سانتی متر بود.

در مقابل، نمونه‌های خاک مربوط به خارج از پالایشگاه با کاهش نسبت خاک به آب به ترتیب دارای میانگین هدایت الکتریکی ۸۳۰/۸، ۶۳۰/۷۸۵۶/۵، ۵۱۹/۹، ۵۰۷/۵، ۴۳۳/۸ و ۳۸۲/۴ میکروزیمنس بر سانتی متر بودند. روند کاهش غلظت میانگین کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک مورد مطالعه به صورت کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به ترتیب به میزان ۵۶/۹۲، ۴۳/۵۸، ۳۳/۰۳ و ۱۶/۳۱ میلی گرم بر کیلوگرم است. نمونه TS3 بیشترین مقدار کلسیم به میزان ۲/۴ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار منیزیم به میزان ۲/۴ میلی گرم بر کیلوگرم را نشان داد، در حالی که کمترین تمرکز کلسیم ۲۰/۰۴ میلی گرم بر کیلوگرم در نمونه TS11 و بیشترین غلظت منیزیم ۱۱۴/۲ میلی گرم بر کیلوگرم در نمونه TS9 مشاهده شد. کاتیون سدیم بیشترین غلظت را در نمونه TS5 و کمترین غلظت را در نمونه TS2 به ترتیب به میزان ۳۳۷ و ۸/۶ میلی گرم بر کیلوگرم نشان می‌دهد، در حالی که کاتیون پتاسیم بیشترین غلظت را در نمونه TS18 به میزان ۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت را در نمونه TS7 به مقدار ۱۱/۲ میلی گرم بر کیلوگرم داراست. به طور کلی در مورد غلظت کاتیون‌ها می‌توان گفت مقدار کلسیم و پتاسیم در نمونه‌های داخل سایت تفاوت مشخصی با سایر نمونه‌ها نشان نمی‌دهند، اما مقدار منیزیم در این نمونه‌ها کم‌تر از نمونه‌های خارج از سایت می‌باشد. سدیم در دو نمونه داخل پالایشگاه (TS5, TS6) به ترتیب با غلظت ۳۳۷ و ۵۵/۹ میلی گرم بر کیلوگرم به طور قابل توجهی تمرکز بیشتری را نسبت به نمونه‌های خارج از محوطه پالایشگاه نشان می‌دهد.

#### ارزیابی کیفیت نمونه‌های خاک جهت کشاورزی شوری

شوری خاک یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است که موجب کاهش بازدهی محصولات کشاورزی شده و به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه پوشش گیاهی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۵). شوری خاک در رابطه مستقیم با مجموع نمک‌های موجود در خاک بوده و هنگامی که میزان این نمک‌ها در خاک افزایش یابد، استفاده گیاهان از رطوبت خاک مشکل می‌شود. تحمل گیاهان مختلف نسبت به شوری متفاوت بوده و هنگامی که سطح نمک موجود در خاک از حد توانایی آنها برای

با ترسیم مقادیر به دست آمده در برابر نسبت‌های مختلف، میزان هدایت الکتریکی ۱:۱ خاک به آب به دست آمد (۳۱) (شکل ۲). مقدار سولفات کل در نمونه‌های خاک مورد مطالعه به روش گراویمتری (۲۴) در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شد. جهت تهیه عصاره حاصل از هضم، به ۰/۵ گرم خاک درون ظرف هضم تفلونی، مخلوطی از ۲ میلی لیتر اسید فلئوریدریک غلیظ، ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک و ۸ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد و برای مدت یک ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، نمونه‌ها تا دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد به مدت چند ساعت گرما داده شدند تا خشک شوند. سپس باقیمانده حاصل از تبخیر در مخلوطی از ۲ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی لیتر اسید کلریدریک حل شد و محلول حاصل توسط آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در مرحله اول از روش تیتراسیون عصاره خاک در محلول بافر آمونیاک توسط محلول ۰/۰۱ نرمال EDTA<sup>۱</sup> در حضور معرف اریو کروم بلک تی<sup>۲</sup> و در مرحله دوم تیتراسیون عصاره خاک در محلول قلیایی هیدروکسید سدیم توسط محلول ۰/۰۱ نرمال EDTA در حضور معرف موروکساید<sup>۳</sup> انجام شد (۱۶). تعیین غلظت کاتیون‌های سدیم و پتاسیم نیز از طریق عصاره‌گیری توسط محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (۱۸) و اندازه‌گیری به وسیله دستگاه طیف سنجی جذب اتمی در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. جهت بررسی کیفیت نمونه‌های خاک علاوه بر مقدار شوری که از دو پارامتر EC و ΔpH استفاده شد، مقادیر نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدیلی نیز در خاک‌های مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی محاسبه شدند.

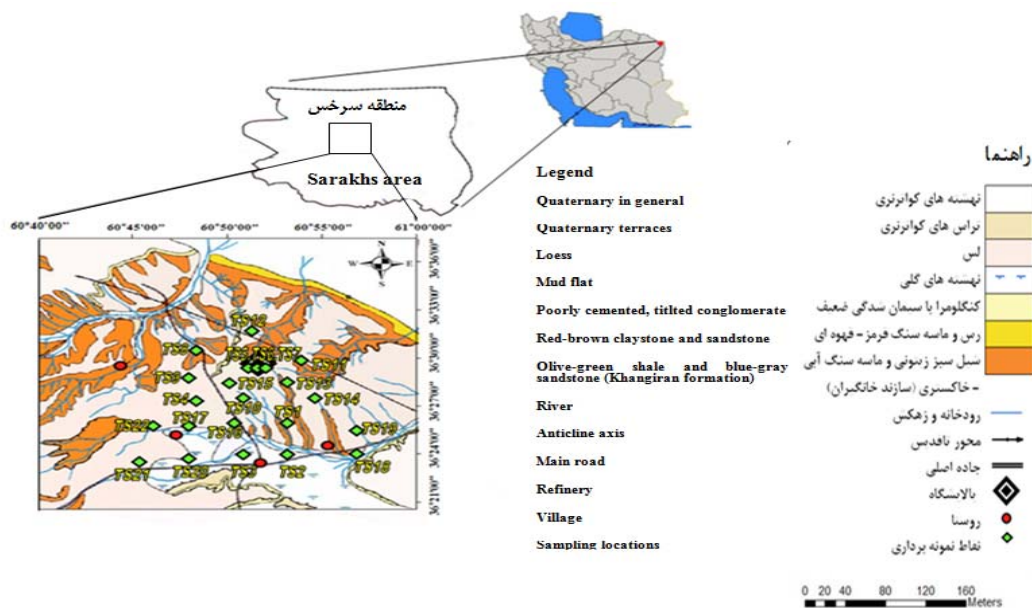
#### نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، سولفات کل و هم‌چنین غلظت کاتیون‌های اصلی موجود در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود بیشترین غلظت سولفات کل و کمترین میزان pH اندازه‌گیری شده هم در آب مقطر و هم در محلول کلرید پتاسیم، مربوط به سه نمونه داخل سایت پالایشگاه (TS5, TS6, TS7) است، که به ترتیب با مقادیر سولفات کل ۲۹۳۱/۵، ۳۹۷۳/۹ و ۳۷۹۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم، pH اندازه‌گیری شده در آب مقطر ۶/۶، ۶/۷ و ۶/۷ و pH اندازه‌گیری شده در محلول KCl به میزان ۶/۹، ۶/۷ و ۶/۷ است. کمترین مقدار سولفات کل در نمونه شمال

- 1- Ethylene DiAmin Tetra Acid Acetic
- 2- Eriochrome Black T
- 3- Moroxide

درصد) در رده خاک‌های غیر شور قرار گرفته و ۱۸ درصد از آنها جزء خاک‌هایی با شوری کم محسوب می‌شوند (جدول ۳). تنها یک نمونه (TS5) دارای شوری زیاد است. رده‌هایی با شوری متوسط و شوری بسیار زیاد در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده نشدند. با توجه به اینکه مقادیر EC و  $\Delta pH$  رابطه عکس با یکدیگر دارند، خاک‌های با شوری بیشتر، شاخص  $\Delta pH$  کم‌تری دارند. این موضوع به ویژه در مورد نمونه‌های خاک برداشت شده از داخل محوطه پالایشگاه مشخص‌تر بوده و شاخص  $\Delta pH$  در این نمونه‌ها دارای مقادیر صفر و منفی است. از این رو هر دو پارامتر EC و  $\Delta pH$  شوری و میزان نمک‌های محلول بیشتری را برای سه نمونه داخل پالایشگاه (TS5, TS6, TS7) نشان می‌دهند. بر این اساس نمونه‌های خاک برداشت شده از خارج پالایشگاه از نظر میزان املاح و شوری کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی نشان می‌دهند. از بین این نمونه‌ها، تنها نمونه TS2 هدایت الکتریکی بیشتری نشان می‌دهد که دلیل احتمالی آن استفاده از کودهای مختلفی است که منجر به افزایش نمک‌های محلول در خاک می‌شوند (۲). سه نمونه خاک داخل محوطه پالایشگاه با داشتن شوری کم تا زیاد برای مصارف کشاورزی از نظر میزان نمک‌های محلول کیفیت مناسبی را نشان نمی‌دهند.

استفاده از رطوبت خاک بیشتر شود، دچار کمبود آب می‌شوند (۲۹). به طور کلی خاک‌های شور به خاک‌هایی با هدایت الکتریکی بیش از ۴ دسی زیمنس بر متر گفته می‌شود (۱۴) (جدول ۳). ارزیابی شوری خاک به دو روش انجام می‌شود که متداول‌ترین آن اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و روش دیگر استفاده از شاخص  $\Delta pH$  است (۳۱). در تعادل خاک و آب، تمامی یون‌های اسیدی جذب شده بر سطح کمپلکس‌های رس - هوموس در اندازه‌گیری pH نادیده گرفته می‌شوند. در حالی که چنین یون‌های جذب سطحی شده توسط یونی دیگر مانند  $K^+$  از محلولی غیرتامپون مانند کلرید پتاسیم قابل تبادل هستند، و از این رو معمولاً pH کلرید پتاسیم کم‌تر از pH آب است و یا به عبارتی  $\Delta pH = (pH_{H_2O}) - (pH_{KCl})$  همواره مثبت و از ۰/۵ تا ۱/۵ تغییر می‌کند. در خاک‌های شور معمولاً  $\Delta pH$  قابل صرفنظر کردن است، به عبارت دیگر ناچیز بودن  $\Delta pH$  یک معیار تشخیص خاک شور به حساب می‌آید (۳۱). همان طور که اشاره شد در نمونه‌های خاک مورد مطالعه از هر دو روش جهت ارزیابی میزان شوری استفاده شد. در شکل ۳ نتایج اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و هم‌چنین شاخص  $\Delta pH$  نشان داده شده است و براساس آن اکثر نمونه‌های خاک مورد مطالعه (۷۷



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (۱) به همراه نقاط نمونه برداری از خاک که با لوزی نشان داده شده است.  
Figure 1- Geological map of study area (1) with soil sampling locations showed by rhombic signs.

حاصلخیزی خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. تغذیه گیاهان و رابطه آنها با خاک مکانیسم پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل محیطی متعددی قرار دارد (۳). در مجموع ۱۶ عنصر در تغذیه گیاهان نقش دارند که از این میان سه عنصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند، ولی سایر عناصر گاه با استفاده از کودهای کشاورزی به خاک

#### محتوای کاتیون‌ها

اندازه‌گیری شوری خاک که در بخش قبل اشاره شد روشی بود برای تعیین مقدار مجموع یون‌های محلولی که در خاک حضور دارند. اما تعیین مقدار این یون‌ها، به ویژه کاتیون‌های مغذی در خاک که رابطه مستقیمی با کیفیت خاک‌های کشاورزی دارند، در مطالعه

جدول ۱ - مشخصات نقاط نمونه‌برداری از خاک

Table 1- Properties of soil sampling locations

نام نمونه Sample name	طول جغرافیایی Longitude (E)	عرض جغرافیایی Latitude (N)	ارتفاع Elevation (m)	فاصله از پالایشگاه Distance from refinery (km)	موقعیت نسبت به پالایشگاه Position to refinery
TS1	60° 52' 35.4"	36° 24' 10.8"	390	7.51	جنوب South
TS2	60° 52' 12.3"	36° 23' 11.4"	388	9.06	جنوب South
TS3	60° 51' 17.2"	36° 23' 13.2"	401	8.7	جنوب South
TS4	60° 49' 55.8"	36° 25' 29.2"	416	4.77	جنوب South
TS5	60° 50' 45.4"	36° 27' 34.4"	454	0.25	داخل Inside
TS6	60° 50' 48.3"	36° 27' 34.4"	457	0.245	داخل Inside
TS7	60° 50' 52.8"	36° 27' 34.2"	457	0.26	داخل Inside
TS8	60° 48' 30.6"	36° 27' 52.2"	461	3.4	غرب West
TS9	60° 49' 18.23"	36° 26' 35.83"	437	3.36	جنوب South
TS10	60° 51' 7"	36° 25' 46.5"	424	4.06	جنوب South
TS11	60° 51' 53.5"	36° 27' 37.5"	401	1.78	شرق East
TS12	60° 50' 24.3"	36° 29' 26.7"	498	2.77	شمال North
TS13	60° 51' 39.1"	36° 26' 44.3"	451	3.63	جنوب South
TS14	60° 52' 50.78"	36° 25' 39.82"	407	5.25	جنوب South
TS15	60° 50' 25.3"	36° 26' 20.4"	443	3.09	جنوب South
TS16	60° 51' 24.2"	36° 24' 27.9"	420	6.58	جنوب South
TS17	60° 49' 5.3"	36° 24' 9.7"	416	7.45	جنوب South
TS18	60° 53' 30.4"	36° 23' 25.9"	384	9.07	جنوب South
TS19	60° 53' 30.39"	36° 24' 2.91"	384	8.15	جنوب South
TS20	60° 48' 49.7"	36° 22' 58.5"	435	9.67	جنوب South
TS21	60° 47' 39.1"	36° 23' 1.9"	436	10.25	جنوب South
TS22	60° 48' 18.14"	36° 24' 16.69"	435	7.86	جنوب South

شده و خاک سدیمی می‌شود و در نتیجه ساختار و خصوصیات هیدرولیکی آن تغییر می‌یابد. این تأثیرات سدیمی شدن خاک که اغلب توسط نسبت جذب سدیم خاک<sup>۲</sup> (SAR) یا درصد سدیم قابل تبادل خاک<sup>۳</sup> (ESP) مشخص می‌شود تنها زمانی آشکار می‌گردد که نمک‌ها تا زیرسطح ایستایی آب شسته شده و قدرت یونی محلول خاک نیز کم باشد (۳۵).

- شاخص نسبت جذب سدیم (SAR): نسبت جذب سدیم با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن غلظت کاتیون‌ها بر حسب میلی‌مول بر لیتر است (۳۶، ۶):

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}} \quad \text{معادله ۱}$$

کاتیون‌های خاک عموماً شامل  $H^+$ ،  $NH_4^+$ ،  $K^+$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Ca^{2+}$  هستند (۳). کلسیم یکی از پنج عنصر فراوان در پوسته زمین بوده و یکی از سازندگان اصلی بسیاری از کانی‌ها مانند فلدسپات و کلسیت است. منیزیم درگستره وسیعی از کانی‌های سیلیکاته به ویژه بیوتیت و کلریت حضور دارد و نقش ویژه‌ای در فرآیندهای زیستی ایفا می‌کند. فراوانی سدیم در پوسته زمین حدود ۲/۳ درصد است و اغلب در کانی‌های تبخیری از قبیل هالیت یافت می‌شود. هم‌چنین این عنصر یکی از چهار کاتیون اصلی مرتبط با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک<sup>۱</sup> (CEC) می‌باشد. پتاسیم در خاک مقداری کم‌تر از منیزیم و سدیم دارد و علاوه بر تبخیری‌ها در کانی‌های سیلیکاته‌ای مانند فلدسپات و میکا حضور دارد (۳۰). در بررسی کیفیت خاک جهت کشاورزی با توجه به غلظت کاتیون‌ها، شاخص‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً کاتیون سدیم به میزان زیاد توسط ذرات خاک جذب

2- Sodium Adsorption Ratio

3- Exchangeable Sodium Percentage

1- Cation Exchange Capacity

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در نمونه‌های خاک مورد مطالعه  
Table 2- Results of different parameters measurement in the soil samples

نام نمونه Sample name	اسیدیته Acidity		هدایت الکتریکی Electrical conductivity							کاتیون‌ها Cations				سولفات کل SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Total
	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	EC 1:1	EC 1:2.5	EC 1:4	EC 1:5	EC 1:6	EC 1:8	EC 1:10	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
TS1	6.7	6.5	1172	1093	874.3	744.8	628.2	518	431	80.16	12.15	23.7	18.6	131.8
TS2	6.8	6.7	2512	2478.1	2234.3	2154.5	2133.4	2098.9	2064.3	104.2	10.93	8.6	14.2	1209.3
TS3	7.4	6.8	795	751.4	561	472.5	405.7	337.3	332.6	108.21	2.43	13.3	16	68
TS4	8.5	7.4	214.2	196.4	177.7	162.4	143.1	115.3	115.1	92.18	65.63	12.9	13.5	82.4
TS5	6.6	6.9	10130	9610.5	7306.3	6074.2	5926.4	5396	4861.3	60.12	3.64	337	14.5	2931.5
TS6	6.7	6.9	3940	3791.4	3421.4	2978.4	2951.9	2896.8	2826	60.12	13.37	55.9	13.4	3973.9
TS7	6.7	6.7	2948	2817.2	2592.3	2265.6	2346.8	2374.2	2256.2	64.12	6.07	15.4	11.2	3790.6
TS8	7.9	7.2	385	350.5	240.8	166.7	186.8	153.8	164.2	26.05	96.02	9.1	17.4	76.2
TS9	8	7.1	248	219	193.5	136.6	170.9	164.1	129.8	32.06	114.25	12.9	12.3	16.5
TS10	8.2	7.5	715	670.8	528.9	391.6	393.9	232.1	254.1	58.11	85.08	10.2	14.5	43.3
TS11	8	7.2	288	263.5	233.7	165.9	171.3	163.8	133.5	20.04	91.16	11.8	15.6	28.8
TS12	8.1	7.2	253	234.6	208.2	155.8	159.4	151.4	129.2	40.08	52.26	15.2	21.5	10.1
TS13	7.6	7.6	2660	2468.6	2208	1896.7	1881.5	1534.8	1236.3	66.13	23.09	14.4	13.9	100.9
TS14	7.8	7.1	755	700.5	519.5	341.7	389.9	315.2	256.6	36.07	55.91	13.6	13.9	30.9
TS15	8	7.1	266	236.9	217.4	142.3	164.7	146.3	122.3	40.08	47.4	11.8	11.8	18.5
TS16	8	7.4	805	770.4	506.6	414.3	383.7	310.2	265.6	40.08	44.97	27.1	17.4	35
TS17	8.1	7.2	278	260.1	223.3	167.3	171.3	157.4	131.5	50.1	18.23	10	18.6	28.8
TS18	7.9	7.4	927	874.5	648	484.1	473.7	364.7	301.6	76.15	19.44	24.4	37	84.5
TS19	8.1	7.4	350	331.3	262.6	204.4	194.1	164.1	143.2	52.1	54.69	20.3	17.4	100.9
TS20	8.1	7.3	350	328	259.2	186.7	200.1	170.4	143.7	60.12	26.74	18.9	19.8	47.4
TS21	7.9	7.4	958	905.8	645.1	400.2	508.1	389.6	315.2	40.08	68.06	24.7	13.4	90.6
TS22	7.7	7.5	1855	1792.6	1239.8	1090.1	884.5	755.4	597.2	46.09	47.4	35.5	13	92.7
کمینه Minimum	6.6	6.5	214.2	196.4	177.7	136.6	143.1	115.3	115.1	20.04	2.43	8.6	11.2	10.1
بیشینه Maximum	8.5	7.6	10130	9610.5	7306.3	6074.2	5926.4	5396	4861.3	108.21	114.25	337	37	3973.9
میانگین Mean	7.7	7.1	1491.1	1415.6	1150	963.4	948.6	859.5	782.2	56.9	43.5	33	16.3	590.5

چهار رده غیر شور و غیر سدیمی، شور و غیر سدیمی، شور و غیر سدیمی، غیر شور و سدیمی، و شور و سدیمی طبقه‌بندی نمود (۱۱). خاک‌های غیر شور و سدیمی با داشتن مقادیر بالای سدیم نسبت به کلسیم و منیزیم به همراه pH بالا موجب سستی و نرم شدن خاک شده و در نتیجه ساختار خاک به هم می‌ریزد. فضاهای خالی خاک با ذرات کوچک پر شده و حرکت آب را در خاک دچار مشکل می‌کند. نسبت جذب سدیم در چنین خاکی بیشتر از ۱۳ بوده و میزان EC نیز کم تر از ۴ و اغلب کم تر از ۲ میلی زیمنس بر سانتی‌متر است. خاک‌هایی که شوری و نسبت جذب سدیم بالایی داشته باشند به عنوان خاک‌های شور و سدیمی شناخته می‌شوند. میزان EC و SAR در اینگونه خاک‌ها به ترتیب بیشتر از ۴ میلی زیمنس بر سانتی‌متر و ۱۳ است. این خاک‌ها ممکن است دارای نفوذپذیری خوبی در برابر آب باشند، اما جهت

در نمونه‌های خاک مورد مطالعه میانگین شاخص SAR برابر با ۰/۹۷ است که بیشترین مقدار را نمونه TS5 (۱۱/۴۱۵) و کم‌ترین مقدار را نمونه TS8 نشان می‌دهد (۰/۱۸۴) (جدول ۵). حضور کاتیون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم را که در محاسبه شاخص SAR به کار رفته‌اند می‌توان به وجود رسوبات تبخیری حاوی نمک‌های کربناتی و سولفاتی در منطقه (وجود سازندهای شور یچه و چهل کمان) نسبت داد که این کاتیون‌ها در اثر فرسایش و انحلال رها شده و وارد خاک می‌شوند و بسته به میزان انحلال پذیری در خاک تجمع یافته و یا شسته می‌شوند. هم‌چنین با توجه به گسترش سازندهای تبخیری حاوی هالیت در منطقه، هوازدگی و انحلال این کانی را نیز می‌توان به عنوان منبعی برای ورود سدیم در خاک در نظر گرفت. با استفاده از دو پارامتر SAR و EC(1:1) می‌توان خاک‌ها را به

کل املاح محلول می‌تواند تأثیر زیادی بر فرآیند انتشار در خاک داشته باشد.

علاوه بر این، از پارامترهای دیگری مانند سدیمی بودن، نوع رس و سرعت مرطوب شدن خاک نیز می‌توان جهت پیش‌بینی میزان انتشار در خاک استفاده کرد که در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. در این نمودار انواع خاک براساس میزان SAR و EC به شش رده مختلف تقسیم می‌شوند (۳۴):

– رده ۱: خاک‌های پراکنده شونده که به خاطر سرعت پراکنده شدن در آب ناپایدار بوده و می‌توانند مشکلات زیادی در رابطه با فرسایش داشته باشند.

– رده ۲: خاک‌های دارای پتانسیل پراکنده‌گی که بر اثر ضربه قطرات باران و یا آب آبیاری پراکنده می‌شوند و به زیر رده‌های الف و ب تقسیم می‌شود. زیر رده الف خاک‌هایی را شامل می‌شود که در صورت مدیریت با تکنیک‌های خاک‌ورزی دارای مشکلات ساختمانی بسیار کمی هستند. زیر رده ب برخلاف خاک‌های گروه قبل، در صورت عدم تولید الکترولیت در طی هوازدگی کانی‌ها، بدون اضافه کردن ترکیبات کلسیم‌دار حین آب‌شویی به سرعت پراکنده می‌شوند.

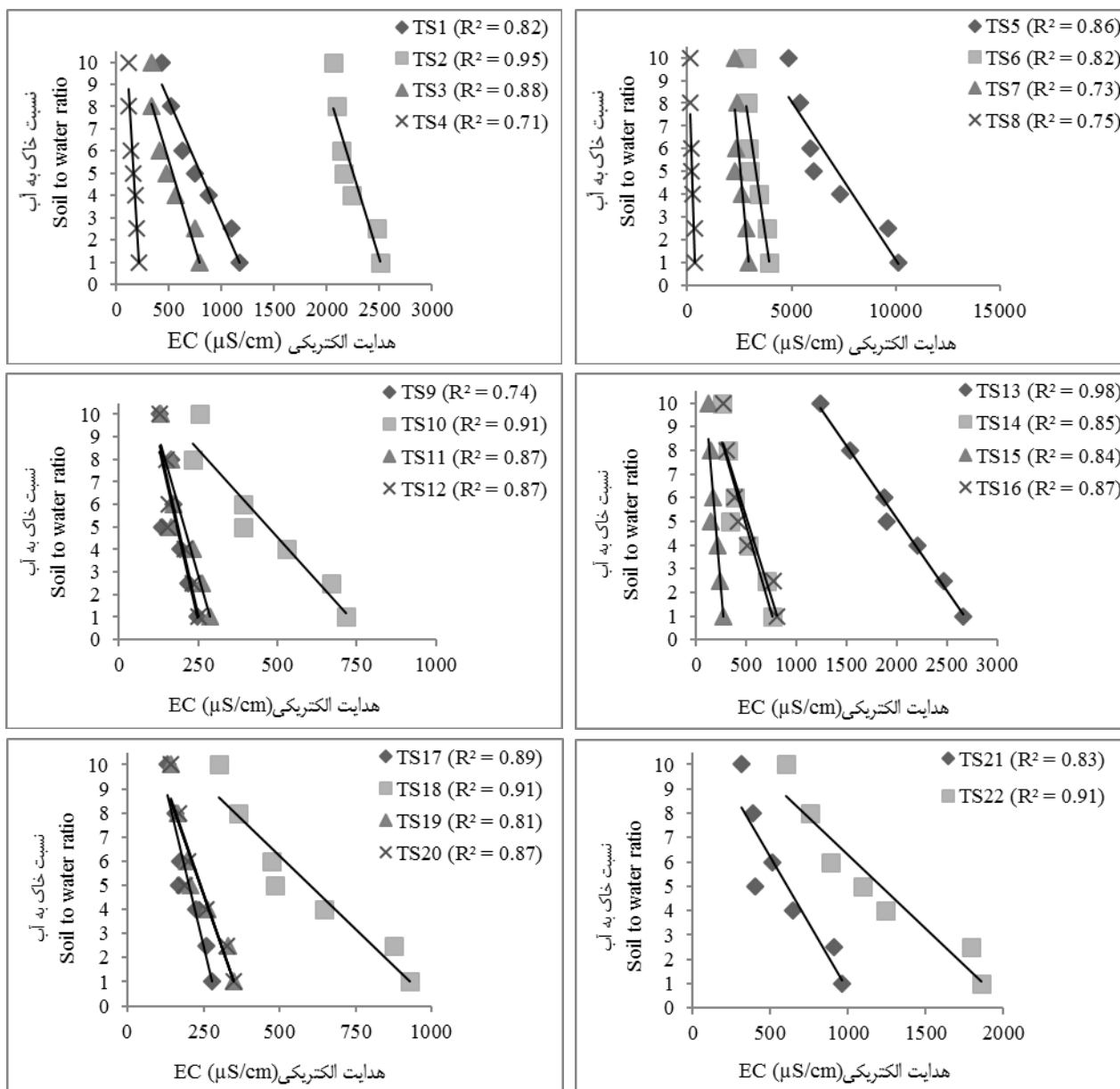
– رده ۳: خاک‌های توده‌ای و انبوه که به صورت توده‌ای باقی می‌مانند حتی هنگامی که در معرض تنش‌های مکانیکی قرار گیرند و به سه زیر رده الف، ب و ج تقسیم می‌شوند. در زیر رده ۳ الف آب شویی با الکترولیت‌های ضعیف ممکن است موجب تغییر خاک شور و سدیمی به زیر رده ۲ ب و یا در شرایط آب شویی شدید موجب تغییر آن به رده ۱ شود. در این حالت خاک‌ها ممکن است پراکنده شده و موجب سله‌بندی شدید شود. در زیر رده ۳ ب خاک‌ها شور بوده اما املاح غالب موجود در آنها غیر سدیمی است.

بازدهی هر چه بیشتر محصولات کشاورزی نیاز به مدیریت دقیق و صحیح دارند. خاک‌های شور و غیر سدیمی نیز با میزان EC بیشتر از ۴ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر ولی SAR کم‌تر از ۱۳ مشخص می‌شوند. اگر سطح ایستایی پائین باشد، در زون موئینه املاح محلول در آب به سطح زمین می‌رسند و پس از تبخیر آب این نمک‌ها بر روی سطح خاک باقی می‌مانند و تشکیل خاک شور و غیر سدیمی رامی‌دهند که برای کشاورزی مناسب نیست. خاک‌های غیر شور و غیر سدیمی نسبت به سه رده دیگر کیفیت مناسب‌تری برای کشاورزی دارند، به طوری که مقدار EC و SAR در اینگونه خاک‌ها به ترتیب کم‌تر از ۴ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و ۱۳ است. در واقع مشکلات ناشی از حضور سدیم و یا املاح محلول فراوان در اینگونه خاک‌ها وجود ندارد (۱۱). در شکل ۴ طبقه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس دو پارامتر EC و SAR نشان داده شده است. براساس این شکل تمام نمونه‌های خاک برداشت شده در گروه خاک‌های غیر شور و غیر سدیمی قرار می‌گیرند و تنها نمونه TS5 که از داخل پالایشگاه برداشت شده است به دلیل مقدار هدایت الکتریکی بیشتر از ۴ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و نسبت جذب سدیم کم‌تر از ۱۳ در رده خاک‌های شور و غیر سدیمی قرار می‌گیرد. محتوای سدیم موجود در این نمونه به طور مشخصی نسبت به سایر نمونه‌های برداشت شده بیشتر است اما در حدی نیست که بتواند میزان نسبت جذب سدیم را در آن به بیش از ۱۳ رسانده و موجب قرارگیری این نمونه در گروه خاک‌های شور و سدیمی شود (جدول ۵). به جز نمونه ذکر شده که به عنوان خاک شور و غیر سدیمی معرفی می‌گردد، سایر نمونه‌ها به دلیل محتوای کم‌تر سدیم و املاح محلول برای مصارف کشاورزی در حد مناسبی قرار دارند. از مقادیر SAR و هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ۱:۵ خاک به آب) نیز می‌توان جهت طبقه‌بندی خاک برای مصارف کشاورزی استفاده کرد (۳۴). همان‌طور که اشاره شد غلظت

جدول ۳- طبقه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۱۴)

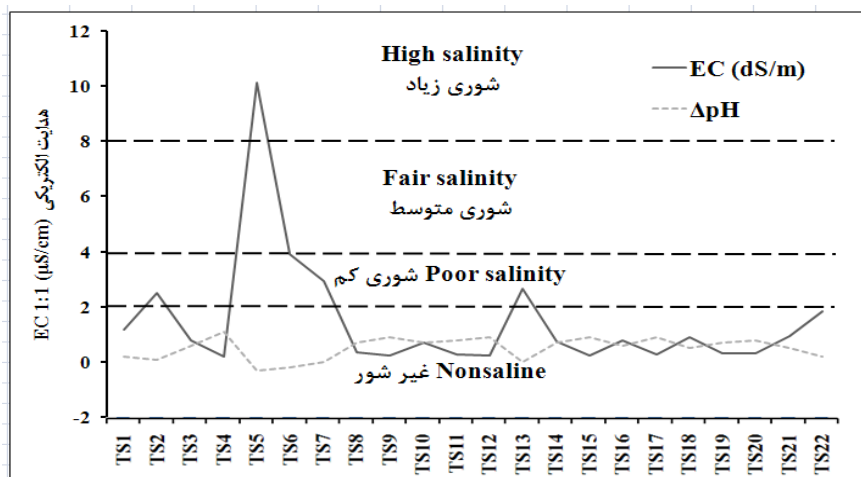
Table 3- Classification of the soil samples based on saturated extract EC (14)

هدایت الکتریکی Electrical conductivity EC (dS m <sup>-1</sup> )	کیفیت Quality	تأثیر بر روی گیاه Effects on plant	درصد نمونه‌های خاک Soil samples percentage
< 2	غیر شور Nonsaline	تأثیر شوری قابل چشم‌پوشی است Salinity effect is ignorable	77
2-4	شوری کم Poor salinity	عملکرد محصولات حساس تحت تأثیر قرار می‌گیرد Sensitive products activity will be affected	18
4-8	شوری متوسط Fair salinity	عملکرد بسیاری از محصولات تحت تأثیر قرار می‌گیرد More products activity will be affected	-
8-16	شوری زیاد High salinity	تنها عملکرد گیاهان مقاوم رضایت بخش است Only resistant plants activity is acceptable	5
> 16	شوری بسیار زیاد Very high salinity	تنها عملکرد گیاهان بسیار مقاوم رضایت بخش است Only very resistant plants activity is acceptable	-

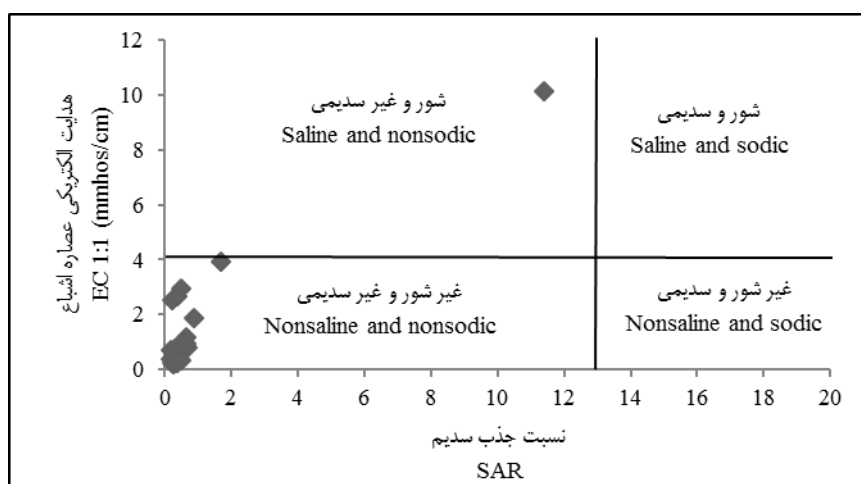


شکل ۲- نمودارهای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های خاک مورد مطالعه  
Figure 2- Diagrams of saturated extract EC in the soil samples





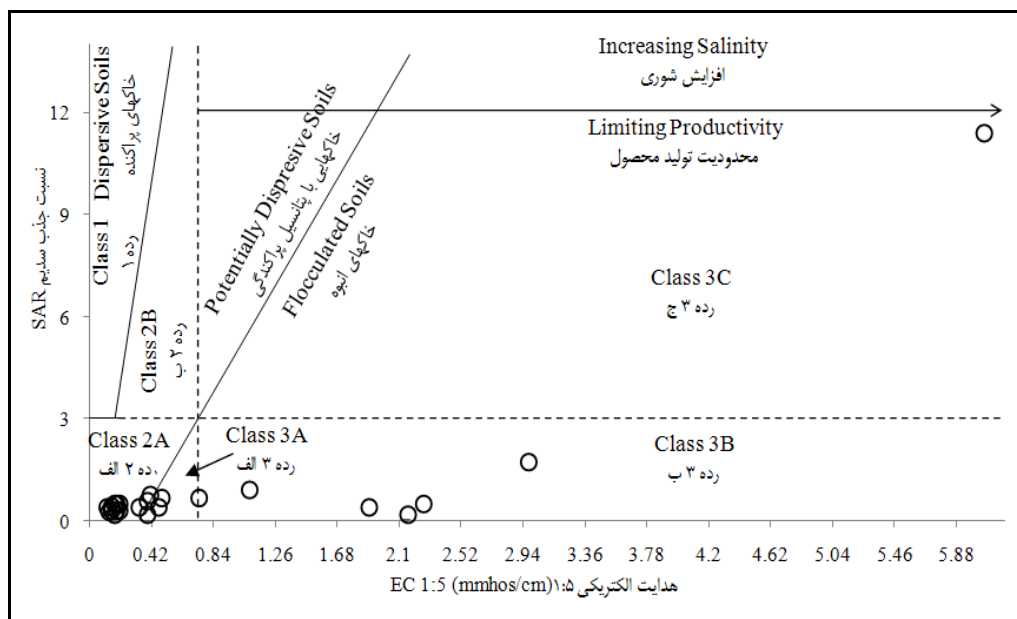
شکل ۳- مقادیر EC عصاره اشباع و ΔpH و رابطه آنها در نمونه‌های خاک مورد مطالعه  
Figure 3- Saturated extract EC and ΔpH and their relation in the soil samples



شکل ۴- طبقه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس دو پارامتر EC (۱:۱) و SAR (۱۱)  
Figure 4- Classification of studied soil samples based on SAR and EC (1:1) (11)

۲۳ درصد (TS2, TS6, TS7, TS13, TS22) در رده ۳ ب قرار گرفته‌اند و تنها نمونه TS5 در رده ۳ ج قرار گرفت. سایر نمونه‌های خاک مورد مطالعه نیز در کلاس ۲ الف قرار گرفتند. بنابراین اکثر نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای وضعیت توده‌ای و انبوه هستند که در شرایط تنش‌های مکانیکی مانند ضربه قطرات باران و یا آب آبیاری وضعیت خود را حفظ می‌کنند. البته قابل ذکر است که منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای خشک و از میزان بارندگی کمی برخوردار بوده و از این رو تنش‌های ناشی از قطرات باران را نمی‌توان به عنوان عامل مهمی در پراکندگی و انتشار خاک در نظر گرفت. بنابراین معمولاً وضعیت توده‌ای خود را حفظ کرده و از این نظر جهت مصارف کشاورزی مناسب هستند.

اینگونه خاک‌ها مشکلات فیزیکی ندارند و میزان آب شویی مورد نیاز بستگی به تحمل گیاهان به نمک برای رشد دارد. زیر رده ۳ ج شامل خاک‌هایی است که هدایت الکتریکی در آن‌ها بیش از ۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر بوده و مشکلی از نظر شوری و انتشار در خاک روی نمی‌دهد. مرز مشخص کننده بین خاک‌های متراکم و پراکنده در این طبقه‌بندی (شکل ۵) به عوامل متعددی وابسته است که عبارتند از: حضور کربنات کلسیم، نسبت کلسیم به منیزیم، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، شدت خشکی محیط، حضور ماده آلی، آلومینیوم تبدیلی، واکنش خاک و نوع رس موجود در خاک (۱۴). براساس شکل ۵ اکثر نمونه‌های خاک مورد مطالعه (۵۳ درصد) در رده ۳ ج قرار گرفتند که از این مقدار ۲۷ درصد (TS1, TS3, TS10, TS16, TS18, TS21) در رده ۳ الف و



شکل ۵- پیش‌بینی انتشار نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس SAR و EC 1:5 (۳۴)  
Figure 5- Prediction of studied soil samples dispersion based on SAR and EC 1:5 (34)

دست می‌آید که در نهایت به سانتی مول بر کیلوگرم تبدیل شد (۴):

$$\frac{Na^+}{CEC - Na^+} = K_s SAR$$

معادله ۳

با توجه به داده‌های حاصل از معادله ۳ در جدول ۵ مقادیر CEC دارای میانگینی برابر با ۱۱/۷۷۵۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم است که کم‌ترین و بیشترین مقدار را به ترتیب در نمونه‌های TS1 با مقدار ۶/۷۶۹۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم و TS9 با مقدار ۱۵/۷۰۴۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم دارد. همچنین در جدول ۵، میزان ESP محاسبه شده برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای میانگین ۱/۳۶ درصد است که کم‌ترین مقدار را در نمونه TS8 به میزان ۰/۲۷۵ درصد و بیشترین مقدار را در نمونه TS5 به میزان ۱۴/۶۱۹ درصد نشان می‌دهد. جدول ۴ طبقه‌بندی شوری و سدیمی بودن خاک‌ها را براساس ESP نشان می‌دهد. اگرچه خاک‌های غیر شور معمولاً در نقشه‌ها بدون علامت هستند، ولی مشخص کردن اراضی با شوری بسیار کم از نظر مدیریت کشاورزی در کشت گیاهان حساس به شوری بسیار مفید است. در گروه خاک‌های با شوری کم نیز رشد بسیاری از گیاهان تحت تأثیر شوری خاک قرار می‌گیرد، به عنوان مثال گیاهانی مانند آفتابگردان، ذرت و نخود شدیداً کاهش می‌یابند. در خاک‌های با شوری متوسط فقط گیاهان متحمل به شوری از قبیل چغندر قند و جو قادر به رشد و نمو هستند و میزان محصول گیاهان دیگر کاهش می‌یابد. در خاک‌های بسیار شور تنها گیاهان شور پسند<sup>۳</sup> قادر به رشد و نمو هستند (۴). اثر سدیم تبادلی بر رشد و میزان محصول گیاهان در گروه‌های مختلف تابعی از مقاومت آنها است و فقط رشد گیاهان

- شاخص درصد سدیم تبادلی (ESP):

علاوه بر پارامتر نسبت جذب سدیم، از درصد سدیم تبادلی نیز به عنوان عاملی برای تعیین میزان شوری و کیفیت خاک جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود که از طریق رابطه زیر به دست آمده و در آن غلظت سدیم بر حسب میلی‌مول بر لیتر است (۳۳):

$$ESP = \frac{Na^+}{CEC} \times 100$$

معادله ۲

جهت محاسبه ESP از طریق معادله ۲ نیاز به داده‌های مربوط به CEC<sup>۱</sup> (ظرفیت تبادل کاتیونی) می‌باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری مکان‌های تبادل بر روی سطح ذرات خاک است که این سطوح می‌توانند یون‌هایی با بار مثبت را توسط نیروهای الکترواستاتیک جذب کنند. هنگامی که خاک در تماس با محلول قرار می‌گیرد، کاتیون‌هایی که توسط نیروهای الکترواستاتیک جذب شده‌اند می‌توانند با سایر کاتیون‌ها جانشین شده و در نتیجه برای گیاهان قابل استفاده شوند (۱۳).

با توجه به اینکه کاتیون‌های غالب خاک‌های مناطق خشک کلسیم، منیزیم و سدیم است جهت محاسبه CEC و به کارگیری آن در معادله ۲، معادله ۱ را می‌توان به صورت معادله ۳ نیز نوشت. در این معادله  $K_g$  ثابت تعادل گاپون<sup>۲</sup> است که به طور گسترده‌ای در مطالعه میزان شوری و یا سدیمی بودن خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقداری برابر با ۰/۰۱۵ میلی‌مول بر لیتر دارد. میزان ظرفیت تبادل کاتیونی نیز در معادلات فوق بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم به

1- Cation Exchange Capacity (CEC)

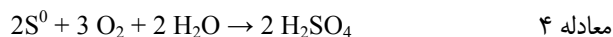
2- Gapon

3- Halophytic plants

بسیار حساس در ESP کم تر از ۱۵ تحت تأثیر قرار می گیرد و در ESP بین ۷۰ تا ۸۰ فقط علف های بسیار مقاوم به درصد سدیم تبدیلی قادر به رشد هستند (۴۰). براساس این طبقه بندی (جدول ۴) تمامی خاک های مورد مطالعه دارای میزان ESP کم تر از ۱۵ بوده و نشان می دهد که غلظت سدیم موجود در آنها خطری برای مصارف کشاورزی و تأثیر بر گیاهان زراعی ندارد.

#### تأثیر گوگرد بازیافتی بر ویژگی های خاک

گوگرد به اشکال مختلف در خاک وجود دارد و تغییر شکل آن در خاک تحت تأثیر فرآیندهای مختلف از قبیل تبلور و انحلال، تغییرات pH، شرایط اکسایش و احیا و همچنین فعالیت میکروارگانیسم های خاک کنترل می شود. ترکیبات آلی گوگرد به شدت غیر متحرکند، در حالی که گوگرد غیر آلی متحرک بوده و یون سولفات متحرک ترین شکل غیر آلی گوگرد است (۳۸). pH خاک یکی از مهم ترین پارامترهایی است که میزان اسیدی یا قلیایی بودن خاک را نشان می دهد. همچنین اطلاعات مفیدی در مورد واکنش های شیمیایی، در دسترس پذیری مواد مغذی، امکان بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی و میزان حلالیت فلزات را در خاک فراهم می نماید (۲۳). هنگامی که خاک اسیدی باشد در دسترس پذیری اکثر مواد مغذی مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر برای گیاهان کاهش می یابد (۲۰). حضور گوگرد عنصری در خاک تحت تأثیر فعالیت باکتری های تیوباسیلوس و اکسایش میکروبی به تولید اسید سولفوریک منجر می شود که معادله آن را می توان به صورت زیر نشان داد (۹):



اسید سولفوریک تولید شده موجب افزایش اسیدیته، افزایش حلالیت سولفات ها، تحرک فلزات کمیاب، کاهش غلظت یون های اساسی، کاهش در دسترس پذیری مواد مغذی و در نهایت کاهش فعالیت های میکروبی در خاک می شود (۱۰). در خاک هایی که در معرض آلودگی های شدید اتمسفری قرار دارند فرآیند اکسایش گوگرد

عنصری بسیار سریع تر از خاک های موجود در مناطق غیر آلوده انجام می شود و این خاک ها حاوی غلظت های بالاتری از اکسی-آنیون ها و تعداد بیشتری از میکروارگانیسم های اکساینده گوگرد هستند (۲۷). در شکل ۶- الف رابطه میان غلظت سولفات کل با مقدار pH اندازه گیری شده در تعادل آب- خاک نمونه های مورد مطالعه نشان داده شده است. براساس این شکل، رابطه بین این دو پارامتر رابطه ای معکوس با ضریب همبستگی نسبتاً بالا است ( $R^2 = 0.58$ ) از این رو می توان گفت حضور سولفات در خاک توانسته است تا حدودی بر روی کاهش pH خاک تأثیر گذار باشد که به نوبه خود منجر به خروج کاتیون های اساسی از خاک می گردد. علاوه بر تأثیر مستقیم گوگرد در خاک، آلودگی اتمسفر منطقه نیز می تواند به صورت غیر مستقیم موجب آلودگی خاک شود، به طوری که در بهترین شرایط کارکرد پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد، روزانه ۱۸۷/۲ تن بخار و گاز های حاوی  $SO_2$  به محیط وارد می شود که غلظت  $SO_2$  در گاز های خروجی از دودکش طبق محاسبات انجام شده برابر ۴۹۰۰ ppm برآورد گردیده است (۱۹). از این رو، منطقه شدیداً تحت تأثیر ترکیبات گوگردی قرار گرفته و اثرات آلودگی این گاز های خروجی تا مسافت های زیادی از پالایشگاه را در بر می گیرد. بنابراین علاوه بر تأثیر گوگرد بازیافتی بر کاهش pH خاک، آلودگی اتمسفری منطقه در اثر حضور گاز  $SO_2$  نیز می تواند به عنوان عامل دیگری بر آلودگی خاک در نظر گرفته شود، زیرا در اتمسفر  $SO_2$  گازی و ریزگردهای حاوی گوگرد با نرخ تبدیل در حدود ۰/۱ درصد در هر ساعت در اتمسفر مرطوب و تحت تأثیر نور خورشید به سولفیت ( $SO_3$ ) و سپس به اسید سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) تبدیل می شود که متعاقباً بر روی خاک ته نشین شده و منجر به اسیدی شدن آن می شود (۸). البته در منطقه گرم و خشک مورد مطالعه رطوبت اتمسفری بسیار کم بوده و در نتیجه تبدیلات فوق به حداقل می رسد.

جدول ۴- طبقه بندی نمونه های خاک مورد مطالعه براساس ESP (۴۰، ۲۸)

درصد سدیم تبدیلی ESP	خطر سدیم Sodium hazard	درصد نمونه های خاک Soil samples percentage
< 15	بدون خطر تا کم خطر Nohazard to poor hazard	100
15-30	کم تا متوسط Poor to fair	-
30-50	متوسط تا زیاد Fair to high	-
50-70	زیاد تا خیلی زیاد High to very high	-
> 70	خیلی زیاد Very high	-

جدول ۵- پارامترهای کیفی خاک‌های کشاورزی در نمونه‌های مورد مطالعه  
Table 5- Qualitative parameters of agricultural soils in the soil samples

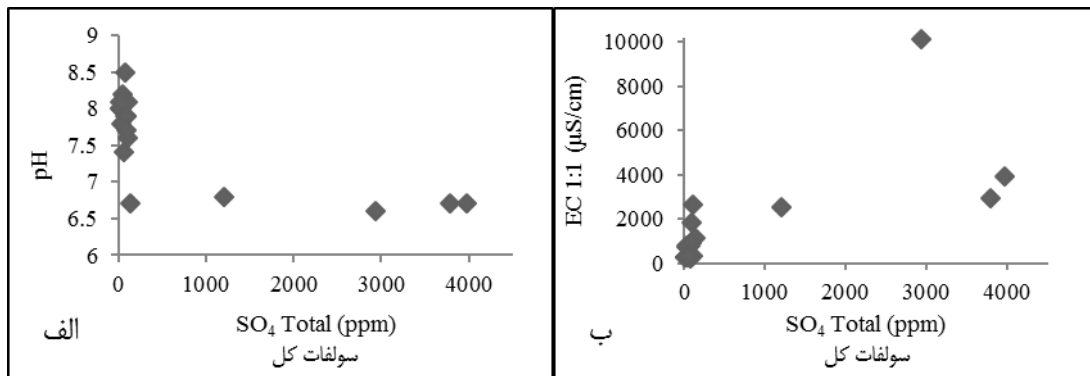
نام نمونه Sample name	ΔpH	نسبت جذب سدیم Sodium Adsorption Ratio	درصد سدیم تبادلی Exchangeable Sodium Percentage (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (cmol/kg)
TS1	0.2	0.651	1.521	6.7696
TS2	0.1	0.214	0.319	11.6884
TS3	0.6	0.345	0.514	11.2268
TS4	1.1	0.25	0.373	15.0161
TS5	-0.3	11.415	14.619	10.0264
TS6	-0.2	1.698	2.509	9.6875
TS7	.	0.491	0.731	9.1504
TS8	0.7	0.184	0.275	14.351
TS9	0.9	0.239	0.357	15.7046
TS10	0.7	0.199	0.297	14.8851
TS11	0.8	0.248	0.37	13.8416
TS12	0.9	0.372	0.554	11.9119
TS13	.	0.388	0.578	10.8186
TS14	0.7	0.33	0.492	11.9984
TS15	0.9	0.298	0.445	11.5278
TS16	0.6	0.697	1.034	11.3851
TS17	0.9	0.306	0.456	9.4987
TS18	0.5	0.645	0.958	11.0725
TS19	0.7	0.468	0.697	12.6523
TS20	0.8	0.509	0.757	10.8484
TS21	0.5	0.551	0.819	13.1019
TS22	0.2	0.877	1.298	11.8913
کمینه Minimum	-0.3	0.184	0.275	6.7696
بیشینه Maximum	1.1	11.415	14.619	15.7046
میانگین Mean	0.51	0.97	1.36	11.7752

قلیائیت شدید می‌تواند مورد استفاده گیاهان قرار گیرد و از این رو می‌توان گفت در دسترس پذیری این عنصر نیز در تمامی نمونه‌های خاک در حد مطلوبی قرار دارد. بنابراین، اگرچه وجود گوگرد بازیافتی از پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد و گونه‌های مختلف آن در منطقه مورد مطالعه می‌تواند بر EC و pH خاک اثرگذار باشد، اما با توجه به داده‌ها و بحث فوق تأثیر آن تا کنون زیاد نبوده است. لذا علاوه بر تأثیر عامل صنعتی-انسانی در بالا بردن میزان EC خاک، باید عوامل طبیعی از قبیل شرایط آب و هوایی و همچنین وجود سازندهای دربردارنده کانی‌های تبخیری منطقه را در افزایش نمک‌های محلول در خاک در نظر گرفت، به عبارت دیگر غلبه آب و هوای خشک و مقدار کم بارش‌های اتمسفری در منطقه مورد مطالعه منجر به افزایش تبخیر از سطح خاک شده و متعاقب این فرآیند نمک‌های موجود در پروفیل خاک در بخش سطحی آن تجمع یافته و به علت کمبود بارندگی قابلیت شسته شدن از سطح خاک را نداشته و در نتیجه میزان هدایت الکتریکی محلول خاک افزایش یافته است.

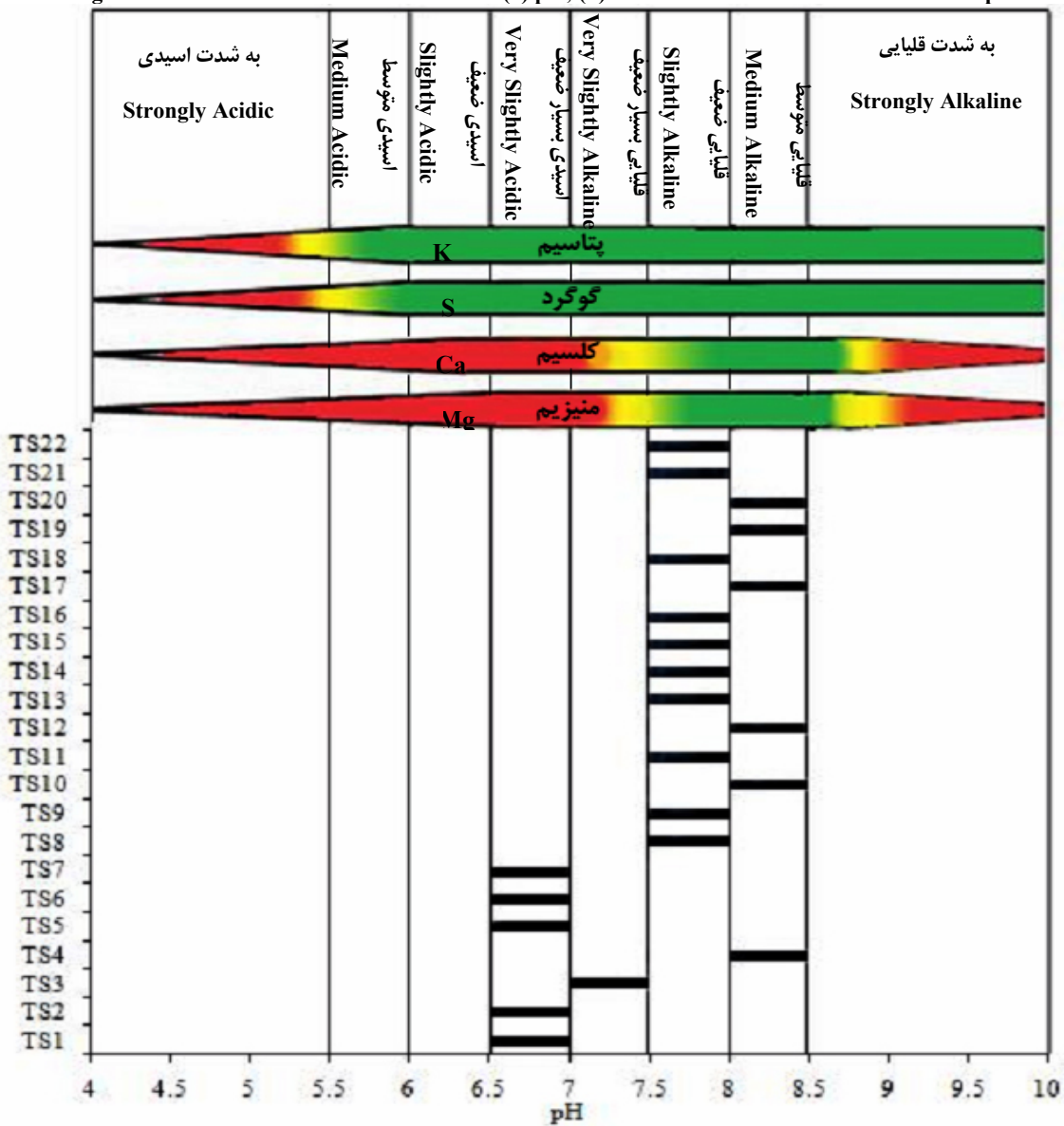
### نتیجه‌گیری کلی

شوری مهم‌ترین عاملی است که موجب پایین آمدن کیفیت خاک‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه شده است. عامل اصلی افزایش میزان املاح محلول در خاک، ترکیب سازندهای منطقه است که عمدتاً از قابلیت انحلال بالایی برخوردارند.

یون سولفات که از فراوان‌ترین گونه‌های گوگرد در محلول خاک است تأثیر زیادی بر هدایت الکتریکی خاک می‌گذارد. در محیط‌های طبیعی خاک‌هایی با هدایت الکتریکی بالا غالباً در مناطقی با میزان کم بارندگی دیده می‌شوند (۱۸). با ترسیم مقادیر سولفات کل در برابر EC عصاره اشباع نمونه‌های خاک مورد مطالعه (شکل ۶-ب) مشخص می‌شود سهم آنیون سولفات در بالا بردن هدایت الکتریکی قابل ملاحظه است ( $R^2=0/51$ )، که مانند پارامتر pH، این تأثیر در مورد نمونه‌های خاک برداشت شده از داخل پالایشگاه مشخص‌تر است. pH خاک خود می‌تواند بر دسترس پذیری یک سری عناصر در خاک تأثیرگذار باشد. در شکل ۷ تأثیر مقدار pH خاک بر روی در دسترس پذیری عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم و گوگرد در نمونه‌های خاک مورد مطالعه نشان داده شده است (۲۶). با توجه به این شکل تنها سه نمونه مربوط به داخل سایت پالایشگاه (TS5, TS6, TS7) و همچنین دو نمونه TS1 و TS2 در گروه خاک‌های با خاصیت اسیدی (البته بسیار ضعیف) قرار می‌گیرند و سایر نمونه‌ها را می‌توان در رده خاک‌های قلیایی بسیار ضعیف، ضعیف و متوسط قرار داد. بر این اساس در دسترس بودن عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم برای گیاهان و در نتیجه کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه جهت کشاورزی در حد مطلوبی قرار دارد و تأثیر ناچیز حضور گوگرد بر کاهش pH خاک در دسترس پذیری عناصر مغذی را مختل نکرده است. از طرف دیگر خود عنصر گوگرد در خاک‌های اسیدی ضعیف تا خاک‌هایی با



شکل ۶- رابطه بین مقدار کل سولفات و (الف) pH; (ب) EC عصاره اشباع در نمونه‌های خاک مورد مطالعه  
 Figure 6- Relation between total sulfate and (a) pH; (b) EC of saturated extract in the soil samples



شکل ۷- تأثیر مقدار pH بر در دسترس پذیری مواد مغذی برای گیاهان در نمونه‌های خاک مورد مطالعه (۲۶)  
 Figure 7- Effect of pH on nutrient availability for plants in the soil samples (26)

برای مصارف کشاورزی و تأثیر منفی بر گیاهان زراعی ندارد. pH تمامی نمونه‌های خاک مورد مطالعه نیز قلیایی است و تنها نمونه‌های داخل پالایشگاه تا اندازه‌ای اسیدی هستند که نشان دهنده تأثیر گوگرد تولیدی در این واحد صنعتی بر روی خاک است. همچنین رابطه مشخصی بین سولفات کل و کاتیون‌های اساسی موجود در خاک مشاهده نشد و در نتیجه نمی‌توان گفت این مقدار از سولفات موجب شسته شدن این کاتیون‌ها از محیط خاک شده است.

### تشکر و قدردانی

مطالعات مربوط به این مقاله در راستای طرح پژوهشی شماره ۳/۲۷۶۱۶ انجام شده است که بدین وسیله از حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد قدردانی می‌گردد. همچنین از شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد برای همکاری‌های موثر در بازدید از منطقه و انجام نمونه برداری سپاسگزاری می‌شود.

عامل دوم که می‌تواند در بالا رفتن محتوای نمک‌های موجود در خاک تأثیر داشته باشد، دمای بالای هوا در منطقه است که به افزایش تبخیر از سطح خاک منجر شده و در نتیجه شوری خاک افزایش می‌یابد.

در مورد تأثیر فعالیت‌های انسانزاد در منطقه و اثر آن بر کیفیت خاک می‌توان گفت گوگرد بازیافتی حاصل از فرآوری گاز طبیعی در منطقه توانسته تا حدی در کاهش کیفیت خاک به ویژه در مورد نمونه‌های داخل پالایشگاه نقش داشته و باعث افزایش املاح در خاک شده باشد. تمامی نمونه‌های خاک مورد مطالعه (به جز یک مورد) در رده خاک‌های غیر شور و غیر سدیمی قرار می‌گیرند، اما با توجه به پارامترهای EC و SAR می‌توان آنها را در دو رده خاک‌های انبوه و توده‌ای و خاک‌هایی با پتانسیل پراکندگی طبقه‌بندی نمود که این موضوع به علت محتوای بالای املاح محلول در آنها است. تمامی نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای میزان ESP در حد مطلوب هستند که نشان می‌دهد غلظت سدیم موجود در آنها خطری

### منابع

- 1-Afshar Harb A. 1983. 1:250000 geological map of Sarakhs. Ministry of petroleum, National Iranian oil company, Exploration and production.
- 2-Allan Gower D. (1989). Fate of Labelled Nitrogen Fertilizer in Limed, Elemental Sulfur- Laden Forest Soils. (Master's thesis). The University of Alberta, Canada.
- 3-A & L Canada Laboratories Incorporation. 2002. Understanding Cation Exchange Capacity and % Base Saturation (Fact Sheet No. 54). A & L Canada Laboratories Incorporation, London.
- 4-Barzegar A. 2009. Saline and sodic soils: Determination and use. Shahid Chamran university of Ahvaz publication, Ahvaz.
- 5-Blanchar R.W., Rehm G., and Caldwell A.C. 1965. Sulfur in plant materials by digestion with nitric and perchloric acids. Soil Science Society, 29: 71-72.
- 6-Bourrie G. 2014. Swelling clays and salt affected soils: demixing of Na/Ca clays as the rationale for discouraging the use of sodium adsorption ratio (SAR). Eurasian Journal of Soil Science, 3:245-253.
- 7-Carcamo H.A., and Parkinson, D. 2001. Localized Acidification Near Sour Gas Processing Plants: Are Forest Floor Macro-invertebrates Affected?. Applied Soil Ecology, 17:199-213.
- 8-Edwards P. 1998. Sulfur Cycling, Retention, and Mobility in Soils: A Review (NE-250). United States Department of Agriculture (USDA), United States of America.
- 9-Fang D., Zhao L., Yang Z.Q., Shan H.X., Gao Y., and Yang Q. 2009. Effect of sulphur concentration on bioleaching of heavy metals from contaminated dredged sediments. Environmental Technology, 30:1241-1248.
- 10-Fernandes T. 2011. Guidelines for Landfill Disposal of Sulphur Waste and Remediation of Sulphur Containing Soils. Alberta Environment, Alberta, Canada.
- 11- Flynn R., and Ulery A. 2011. An Introduction to Soil Salinity and Sodium Issues in New Mexico. (Circular 656). New Mexico State University, New Mexico.
- 12-Graveland D.N., and Kacsinko F. 1974. Subsurface Disposal of Elemental Sulphur. Alberta Environment, Edmonton.
- 13-Hadush Desta Y. 2013. Characterization of forest soils in the Morsa watershed in order to assess the background leaching of phosphorus to the eutrophic western Vansjo lake. (Master thesis). Faculty of mathematics and natural sciences, Oslo.
- 14-Hazelton P., and Murphy B. 2007. Interpreting Soil Test Results: What do All the Numbers Mean?. CSIRO Publishing, Australia.
- 15- Ivanov M.V., and Freney J.R. 1983. The Global Biogeochemical Sulfur Cycle.: John Wiley & Sons Incorporation, Chichester.
- 16-Jaefari Haghghi M. 2003. Main physical and chemical sampling and analyzes emphasizing theoretical and applied

- principles. Nedaye Zohaa publication, Sari.
- 17-Jangjoo M., Ejtehad, H., and Danesh, S. 2008. Introduction to suitable plant species to farm in around gas refinery of Sarakhs (Research plan). Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad.
- 18-Jones J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press LLC, New York.
- 19-Kavosh-pay engineering advisor incorporation. 2010. The successive studies of water resources in Sarakhs region: Environmental report. Regional water incorporation of Khorasan Razavi, Mashhad.
- 20-Ketterings Q.M., Albrecht, G., & Beckman, J. 2005. Soil pH for Field Crops (Fact Sheet No.5). Cornell University Cooperative Extension, United States of America.
- 21-Lal R. 2015. Restoring Quality to Mitigate Soil Degradation Soil, Sustainability. 7:5875-5895.
- 22-Leon, J. & Osorio, N. 2014. Role of Litter Turnover in Soil Quality in Tropical Degraded Lands of Colombia. Science of World Journal, 13:77-86.
- 23-Miller R.O., and Kissel, D.E. 2010. Comparison of Soil pH Methods on Soils of North America, Nutrient Management & Soil & Plant Analysis, 74:310-316.
- 24-Morche L. 2008. S-Flusse und raumliche Veranderungen anorganischer und organischer Schwefelfraktionen im Boden sowie deren An- und Abreicherung in der Rhizosphare landwirtschaftlicher Kulturpflanzen unter partiellem Einsatz des Radioisotops <sup>35</sup>S. (Doctoral dissertation). Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universitat, Bonn.
- 25-Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment, Vol.52:659-662.
- 26-Neeley F., Heguy D., and Karr J. 2010. Sulfur: At the Crossroads of Energy, the Environment, and Agriculture. Fertilizer International, 388:68-72.
- 27-Nevell W., and Wainwright M. 1987. Influence of soil moisture on sulphur oxidation in brown earth soil exposed to atmospheric pollution. Biology and Fertility of Soils, 5:209-214.
- 28-O'Geen A. 2015. Reclaiming saline, sodic and saline sodic soils (ANR Publication 8519). University of California, United States of America.
- 29-Parent V., and Koenig R. 2010. Solutions to Soil Problems: High Salinity (Soluble Salts) (AG/Soils/2003-01). Cooperative Extension, Utah State University, United States of America.
- 30-Paterson E. 2011. Geochemical Atlas for Scottish Topsoils (AB15 8QH). The Macaulay Land Use Research Institute, Scotland.
- 31-Pawels J.M., Van Ranst E., Verloo, M., and Mvondo, Z.A. 1992. Soil and Plant Analysis. Sheffield Academic Press, Bruxelles.
- 32-Pritzel, J., Mayer, B., and Legge, A. 2004. Cumulative impact of 40 years of industrial sulfur emissions on a forest soil in west-central Alberta (Canada). Environmental Pollution, 132:129-144.
- 33-Quirk J.P. 2001. The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. Australian Journal of Soil Research, 39:1185-1217.
- 34-Rengasamy P., Greene, R.S.B., Ford, G.W., and Mehanni, A.H. 1984. Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths. Australian Journal of Soil Research, 22:413-431.
- 35-Rengasamy P., and Olsson K.A. 1991. Sodicity and soil structure. Australian Journal of Soil Research, 29:935-952.
- 36-Rengasamy P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Functional Plant Biology, 37:613-620.
- 37-Severson-Baker C. 2010. Oil & Gas Processing: Environment & Energy in the North. Pembina Institute, Alberta, Canada.
- 38-Scherer H. W. 2001. Sulphur in crop production. European Journal of Agronomy, 14:81-111.
- 39-Shahid Hashemi Nezhad gas refining incorporation. 2011. The comprehensive information of Shahid Hashemi Nezhad gas refining incorporation (Khangiran). National gas incorporation of Iran, Mashhad.
- 40-Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture (USDA), Washington D.C.

## Effects of Environmental Factors and Recovered Sulfur in Shahid Hashemi Nezhad Gas Refinery on the Soils Quality for Irrigation

M. Tajbakhshian<sup>1</sup> - M. H. Mahmudy Gharaie<sup>2\*</sup> - A. Mahboubi<sup>3</sup> - R. Mussavi Harami<sup>3</sup> - I. Ejlali<sup>4</sup>

Received: 03-05-2016

Accepted: 15-03-2017

**Introduction:** Elemental sulfur is byproduct of natural gas refining which during this process, H<sub>2</sub>S is removed from sour gas and after changes to solid sulfur, it is stored in large block forms. Continuous precipitation of sulfur and its oxidation causes soil acidification and as a result, nutrient cations such as Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> will leach from the soil profile. Also, sulfate accumulation led to soil acidification and accelerates the silicates weathering in upper layer of the soil profile. Accumulation of water soluble sulfate in the soil and increase the nutrient cations leaching from the soil depend on sulfate resistance rate. Also, addition of sulfur to the soil for a long time can cause calcium sulfate formation that will cause problems such as increase in soil salinity. Shahid Hashemi Nezhad gas refinery is located about 35 km south of Sarakhs city and about 165 km east north of Mashhad. In addition to exploiting, refining and producing 50 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.day<sup>-1</sup> natural gas, recovered sulfur with %99/9 purity and 2000 tons per day production capacity is one of the byproducts of this gas complex.

**Materials and Methods:** 22 soil samples were collected from surface soil in Shahid Hashemi Nezhad gas refinery (3 samples) and nearby areas (19 samples) (Fig.1). Soil extracts pH was measured in equilibrium with pure water and with KCl 1M solution in 1:2.5 soil solution ratio. EC of the soil samples was measured in different soil water ratios to obtain the EC 1:1 (Fig.2). Total sulfate content was measured by gravimetry method at geochemistry laboratory of Faculty of Sciences at Ferdowsi University of Mashhad. To get the digestion extract, a mixture of 2 ml concentrated HF, 5 ml HCl and 8 ml HNO<sub>3</sub> was added to 0.5 gr soil in a teflon vessel, then heated for 60 min at 170° C. After cooling, the solution was evaporated at 130 °C to dry it. Then, the dried salt was dissolved in a mixture of 2 ml HNO<sub>3</sub> and 2 ml HCl and diluted with deionized water up to 25 ml. Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents were measured through titration of the soil extract with EDTA 0.01 N and in EBT reagent at the first stage, and titration of the soil extract by EDTA 0.01 N and in Moroxide reagent at the second stage. Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> contents were determined using AAS method at geochemistry laboratory at Ferdowsi university of Mashhad after extraction with CaCl<sub>2</sub> 0.01 M.

**Results and Discussion:** Based on EC values, 77% of the soil samples were non-saline (EC < 2 dS m<sup>-1</sup>), 18% were slightly saline (EC= 2-4 dS m<sup>-1</sup>) and 5% were highly saline (EC=8-16 dS m<sup>-1</sup>) (Fig.3). In addition, low ΔpH values in the soil samples showed high salinity and similar results to EC. SAR index had the highest value in TS5 sample, and the cations content in this index can be attributed to evaporative sediments with carbonate and sulfate salts in the area (Shurijeh and Chehel-Kaman formations). Moreover, the halite bearing formations in the study area can be regarded as a source for Na<sup>+</sup>. Based on SAR and EC, majority of the samples (except TS5 in saline and non-sodic) were non-saline and non-sodic that were suitable for agriculture. ESP index of less than 15% in all samples indicated that Na<sup>+</sup> concentration has no danger to crops. Relation between the total sulfate content to pH and EC was inverse and direct, respectively. This indicates that recovered sulfur affect in the soil acidification within the refinery site and increase the soluble salts content. These effects are very considerable in the soils inside the refinery site.

**Conclusions:** Salinity is the major factor affecting decrease of the samples quality for agriculture. Exposed formations in the area with highly soluble rocks causes to increase the soluble salts in the soil. The second factor is high temperature and low precipitation that led to increase the evaporation from the soil surface and accumulation of salts on the soil. Recovered sulfur from natural gas processing can reduce the soil pH and increases the soluble salts to some extent, especially in the inside refinery samples, and then decreases the soil quality for agricultural purposes. Except for one, all studied samples were classified as non-saline and non-sodic soils. Furthermore, the samples were classified in two classes of flocculated soils and potentially dispersive soils based on SAR and EC. ESP index indicates that there is no serious problem regarding sodium concentration in

1, 2, 3 and 4- Master of Science, Associate Professor and Professors Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

(\*-Corresponding Author Email: mhmgharaie@um.ac.ir)

5- Health, Security and Environment (HSE) Unit, Shahid Hashemi Nezhad Gas Refining Incorporation, Sarakhs, Iran



the soils. The pH values indicate that the samples were almost alkaline soils except for the samples inside the site, which are slightly acidic. Acidity of those few samples are attributed to the sulfur released from gas refinery process and its effect on the soil pH.

**Keywords:** Gas refinery, SAR, Soil quality, Total sulfate, EC, ΔpH