

## بررسی ویژگی‌ها و عوامل مؤثر بر تشکیل خاک‌های سدیمی در دشت آبیک

محمد امیر دلاور<sup>۱</sup> و آرمان نادری<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان

۲- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۰۹	هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های مختلف خاک‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها و تعیین عوامل مؤثر بر تشکیل این خاک‌ها در منطقه نیمه‌خشک دشت آبیک است. برای نیل به اهداف این تحقیق در سه موقعیت ارتفاعی واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی دامنه‌ای شامل مناطق نسبتاً مرتفع، مناطق حدواسط و مناطق پست مطالعه خاک‌رخ‌ها انجام شد. در قسمت‌های نسبتاً مرتفع با وجود اختلاف ارتفاع پنج تا ۱۰ متر، مقادیر سدیم تبادلی و هدایت الکتریکی اراضی کم بود و نشانه‌ای از وجود خاک‌های شور و سدیمی مشاهده نگردید. خاک‌های این قسمت از اراضی در تحت گروه زیریک هاپلوکمبیدز طبقه‌بندی شدند. خاک‌های مناطق حدواسط با اختلاف ارتفاع حدود دو تا پنج متر در تحت گروه‌های سدیک زیریک هاپلوکمبیدز و گروه بزرگ سدیک زیریک هاپلوکلسیدز طبقه‌بندی شدند. خاک‌های سدیمی که به صورت لکه‌های سفیدرنگ در مناطق پست مشاهده گردیدند، در تحت گروه‌های زیریک و ورتیک ناترآرجیدز طبقه‌بندی شدند. بخش رس خاک شامل کانی‌های ایلیت، مونت‌موریلونیت، کلریت و پالی‌گورسکیت بود. پوشش‌های رسی در افق‌های ناتریک توسط مطالعات میکرومورفولوژیکی و میکروسکپ الکترونی روبشی تأیید شد. عوامل اصلی تشکیل خاک‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها در منطقه به وضعیت قرارگیری خاک‌ها، وجود پستی و بلندی محلی، حرکت‌های جانبی و عمقی آب و املاح محلول از مناطق مجاور به سمت اراضی پایین دست و افزایش رسوبات بادرفتی حاوی املاح شور و سدیمی در منطقه مرتبط است.
کلمات کلیدی: خاک‌های سدیمی، اسلیک‌اسپات، پالی‌گورسکیت، ناترآرجید،  * عهده دار مکاتبات Email: armannadery@znu.ac.ir	

## مقدمه

تشکیل و توسعه خاک‌های سدیمی که اغلب به صورت لکه‌های کم و بیش وسیع تظاهر می‌کنند، یکی از پدیده‌های غالب دشت‌های مسطح دارای قابلیت کشت و کار به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به دلیل ویژگی‌های نامناسب این خاک‌ها، اثرات بدی بر روی سلامت و رشد گیاهان دارند (۳۵). درک چگونگی تشکیل این‌گونه عوارض از نظر جنبه‌های مدیریتی و به ویژه اصلاح و پیش‌گیری فرآیندهای شور و سدیمی شدن و جلوگیری از توسعه مشکلات آن‌ها به اراضی مرغوب مجاور همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۳۳) و (۳۴). لکه‌های سدیمی در منابع مختلف تحت عنوان اسلیک اسپات، پن‌اسپات، آلکالی اسپات و اسکاپ اسپات معرفی شده که به‌طور عمده در سطوح کم و بیش فرو رفته و لم‌بزرع دشت‌ها واقع شده‌اند (۱۱). این عوارض معمولاً دایره شکل و یا به اشکال نامنظم دیده می‌شوند (۱۵). نفوذ پذیری سطحی خاک در اسلیک اسپات‌ها خیلی آهسته است و بعد از بارندگی در آن‌ها آب ماندگی شدید ظاهر می‌شود (۱۸). بالا بودن یون سدیم محلول و تبدیلی به همراه مواد کلونیدی از مهم‌ترین ویژگی‌های این لکه‌ها و خاک‌های همراه آن‌ها محسوب می‌شود (۱۲). فرآیندهای متفاوتی برای تشکیل خاک‌های سدیمی و عوارض اسلیک اسپات گزارش شده است. شرایط سدیمی، تجمع ترکیبات غنی از کلسیم را افزایش داده و منجر به افزایش کانی‌های نوتشکیل غنی از منیزیم می‌شود (۸). پژوهشگران مختلف تشکیل خاک‌های سدیمی را به حرکت‌های جانبی آب و املاح حاوی سدیم و جابجایی و انتقال املاح از خاک‌های مناطق مرتفع‌تر به سمت مناطق پست در این لکه‌ها گزارش کرده‌اند (۲۱، ۲۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۰). هک و مرموت (۱۵) تشکیل خاک‌های ناتری‌بورال در ساساکاچوان را به تغییرات عمده آب و هوای گذشته، انتقال املاح حاوی سدیم توسط رسوبات بادرفتی از دریاچه‌های موجود در

این منطقه و رسوب‌گذاری آن‌ها در این اراضی مرتبط دانستند.

لکه‌های اسلیک اسپات در اغلب دشت‌های مسطح و قابل کشت و کار در ایران به مقدار کم و زیاد وجود دارد و در بسیاری از موارد، وجود آن‌ها بدون ذکر ویژگی‌ها، علل و عوامل مؤثر بر تشکیل آن‌ها گزارش شده است. در این تحقیق ویژگی‌های مختلف و عوامل مؤثر بر تشکیل لکه‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها در قسمتی از اراضی دشت آبیگ مورد بررسی قرار گرفته است. دشت آبیگ نه تنها از نظر وسعت (بیش از ۴۰۰ هزار هکتار) بسیار حائز اهمیت است، بلکه با توجه به وجود عملیات کشت و کار متراکم از مناطق بسیار مهم کشاورزی در ایران محسوب می‌شود، بنابراین مطالعه ویژگی‌های مختلف خاک‌های سدیمی و بررسی چگونگی تشکیل این عوارض و خاک‌های همراه آن در پیش‌گیری و جلوگیری از روند توسعه سدیمی شدن به اراضی مرغوب مجاور حائز اهمیت است.

## مواد و روش‌ها

### تشریح عمومی منطقه مورد مطالعه

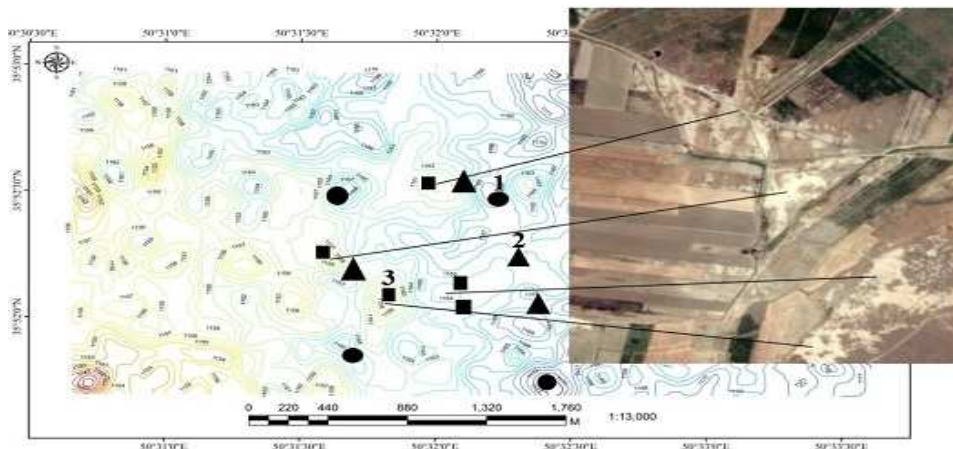
منطقه مورد مطالعه با مختصات ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی دشت آبیگ واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کرج در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۹-۱۹۸۹) میانگین بارش و دمای سالانه به ترتیب ۲۶۰ میلی‌متر و ۷/۱۳ درجه سلسیوس است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب اربدیک ضعیف و ترمیک است (۳). منطقه مورد مطالعه بر روی رسوبات جوان دوران چهارم زمین‌شناسی قرار گرفته و در قسمت جنوب شرقی و انتهای دشت پهنه‌های کویری، کفه‌های نمکی، پوسته‌های نمکی و تپه‌های شنی فسیل شامل ماسه‌های بادی حاوی املاح وجود دارد (شکل ۲). علاوه بر این رسوبات، تشکیلات حاوی فلدسپارها و

پس از کنترل و تصحیح صحرائی حد و مرز واحدهای تفکیک شده، نسبت به حفر ۲۵ نقطه مشاهده‌ای به صورت مته‌زنی اقدام گردید. نمونه‌های به دست آمده از مته مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار گرفته و ویژگی‌های از قبیل هدایت الکتریکی عصاره اشباع، اسیدیته خاک و نسبت جذب سدیم در آن‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شد. بر این اساس خاک‌ها به صورت مقدماتی در گروه‌های مختلف خاک‌های سدیمی، خاک‌های شور و سدیمی و خاک‌های غیر شور جهت مطالعه دقیق‌تر و نمونه‌برداری کامل‌تر تشخیص داده شد و جهت انجام مطالعات تکمیلی تر ۱۰ خاک‌رخ در قسمت‌های مناطق نسبتاً مرتفع (سه خاک‌رخ)، مناطق حد واسط (دو خاک‌رخ) و مناطق پست (پنج خاک‌رخ) حفر و مطابق با دستورالعمل ارائه شده برای شناسایی و تشریح خاک‌ها در

پلاژیوکلازهای سدیم‌دار و پتاسیم‌دار متأثر از کوه‌های آتشفشانی جارو در منطقه وجود دارد (۱۴). لکه‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها بر روی واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی دامنه‌ای واقع شده که بسته به میزان اختلاف ارتفاع و مقادیر شوری و قلیا بودن خاک‌ها به مناطق نسبتاً مرتفع، مناطق حد واسط و مناطق پست تفکیک شدند. آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه خیلی عمیق بوده و جهت جریان حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی از ارتفاعات مجاور به سمت مرکز دشت است.

### نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی

با توجه به نتایج مطالعه خاک‌شناسی در منطقه، تفسیر عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌ی زمین-شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و بازدید کلی از منطقه به وسعت ۲۵۰۰ هکتار، نقشه تفسیری واحدهای اولیه خاک مشخص شد.



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه: خاک‌رخ‌های مناطق پست (مربع)، خاک‌رخ‌های مناطق حد واسط (مثلث)، خاک‌رخ‌های مناطق نسبتاً مرتفع (دایره)

Figure (1) Profiles in plain (square), midland (triangle), and upland (circle) of study area



شکل ۲- تپه‌های شنی فسیلی حاوی املاح در جنوب منطقه مورد مطالعه

Figure 2- Saltish fossil sand dunes in southern part of the study area

آمونیم (۷)، درصد سدیم تبادل‌ی به‌روش جایگزینی توسط استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند. درصد کربن آلی به‌روش هضم تر (۲۷) اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمایش‌های کانی‌شناسی بخش رس نمونه‌ها طبق روش کیتریک و هوپ<sup>۱</sup> (۲۲) آماده‌سازی شدند. نمونه‌های تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با اتیلن‌گلیکول و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد از ۲ تا ۲۵ درجه در مجاورت پرتو ایکس قرار گرفته و پراش‌نگاشت‌های مربوطه ترسیم شد. دستگاه اشعه ایکس مورد استفاده برای شناسایی کانی‌ها مدل بروکر D8 Advance دارای لامپ مسی با طول موج ۱/۵۴ آنگستروم در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر مورد استفاده قرار گرفت. از نمونه‌های دست‌نخورده مقاطع میکروسکوپی تهیه شد و با میکروسکپ پلاریزان مدل الیمپوس PM-480 مورد بررسی قرار گرفته و تشریح مقاطع نازک بر اساس تعاریف استویس (۴۲) انجام شد. به‌منظور مشاهده دقیق‌تر عوارض انتقال رس مطالعات

صحرا (۳۸) تشریح و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۴۱) رده‌بندی شدند. از تمام افق‌های شناسایی شده خاک‌رخ‌ها نمونه‌های خاک به‌صورت دست‌خورده و دست‌نخورده تهیه و برای انجام آزمایش‌های مختلف به آزمایشگاه ارسال گردید. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به‌روش هیدرومتری (۱۳)، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی (۲۸)، اسیدیته گل اشباع خاک و عصاره یک به پنج خاک به آب به‌روش پتانسیومتری (اندازه‌گیری فعالیت یون هیدروژن)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع و عصاره یک به پنج خاک به آب اندازه‌گیری شد. سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر قرائت شد. کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع (۲۳)، کلر به‌روش موهر (۳۷) کربنات و بی‌کربنات با روش تیتراسیون با اسید سولفوریک (۳۷) و به‌دلیل عدم وجود گچ در خاک‌ها مقادیر سولفات از طریق اختلاف مجموع کاتیون‌ها از آنیون‌ها محاسبه شد. ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش جایگزینی با استات سدیم و استات

1- Kittrick and Hope

احشام صورت می‌گیرد. با توجه به نتایج مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های مطالعه شده در مناطق حدواسط، به نظر می‌رسد که ساختمان ستونی از مناطق مسطح به طرف نواحی مجاور در حال گسترش و پیشروی است (شکل ۳ ب). اشکال مرتبط با سطح خاکدانه‌ها و حفرات در خاک‌رخ سه واقع در مناطق پست دشت دامنه‌ای مشاهده شد. در این قسمت از اراضی در افق‌های زیر سطحی (عمق سوم و چهارم) مقادیر کمی پوشش‌های رسی با وضوح ضعیف تا متمایز در دیواره حفرات و سطوح خاکدانه‌ها به چشم می‌خورد. در خاک‌رخ‌های مناطق حدواسط و مناطق مرتفع این عارضه مشاهده نشد. جوشش با اسید کلریدریک در تمام افق‌های مطالعه شده بسیار شدید و در افق‌های کلسیک و کمبیک شناسایی شده در مناطق حدواسط و مناطق مرتفع عوارض تجمع آهک به صورت گره‌ها و توده‌های سفید رنگ به مقدار متوسط مشاهده شد. در افق‌های کلسیک و کمبیک مناطق حدواسط و مناطق مرتفع تجمع آهک ثانویه به رنگ سفید به مقدار زیاد و اندازه متوسط و با مرز مشخص در زمینه خاک وجود دارد. پایداری خاک در حالت خشک در مناطق نسبتاً مرتفع و حدواسط در افق‌های سطحی نرم و کمی سخت است و در افق‌های زیر سطحی کمی سخت و سخت است. در مناطق پست یا اسلیک‌اسپات درجه پایداری خاک در حالت خشک خیلی سخت است. پایداری خاک در حالت خیس در مناطق نسبتاً مرتفع، مناطق حدواسط و اراضی پست به ترتیب کمی چسبنده و کمی شکل‌پذیر و خیلی چسبنده و خیلی شکل‌پذیر است.

### نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک‌رخ‌های شاهد

نتایج مربوط به اندازه‌گیری‌های برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های مطالعه شده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بر این اساس بجز خاک‌رخ‌های واقع در نقاط مرتفع بقیه خاک‌رخ‌ها دارای بافت سنگین تا خیلی سنگین (رسی و شن رسی) هستند. بیش‌ترین میزان رس در خاک‌رخ شاهد مناطق مسطح اندازه‌گیری شده و کم‌ترین مقدار رس در خاک‌های مناطق مرتفع وجود دارد. میزان کربن آلی در مناطق

میکروسکپ الکترونی روشی توسط دستگاه SEM مدل KYKY-EM3200 مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان ملی زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بر روی نمونه‌های دست نخورده افق ناتریک انجام شد.

### نتایج و بحث

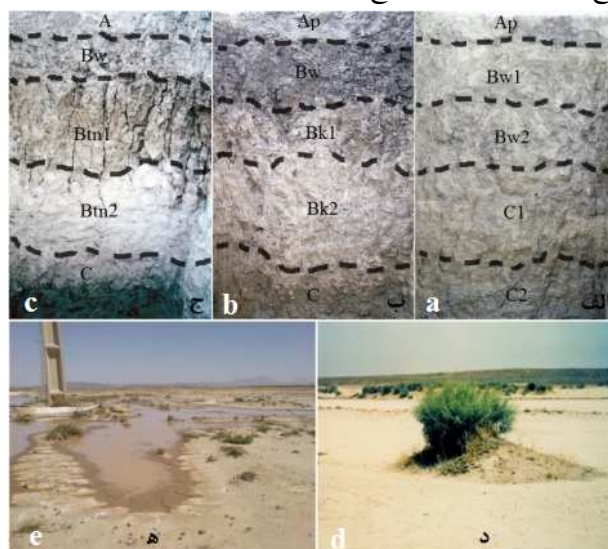
#### نتایج مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های شاهد

نتایج مشاهده‌های مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های شاهد در سه موقعیت ارتفاعی مختلف در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌رخ ۱ در نقاط نسبتاً مرتفع، خاک‌رخ ۲ در مناطق حدواسط و خاک‌رخ ۳ در نقاط بدون پستی و بلندی و مسطح دشت آبرفتی دامنه‌ای قرار دارد (شکل ۳ الف، ب و ج). خاک‌های مناطق نسبتاً مرتفع دارای پوشش گیاهی خارشتر و گیاهان خانواده گرامینه به صورت تراکم هستند و در مناطق حدواسط پوشش پراکنده‌ای از گیاهان گرامینه و شورپسند سالسولا و سوئدا مشاهده شد. مناطق مسطح لکه‌های سدیمی در بیشتر قسمت‌ها فاقد پوشش گیاهی است، ضمن آن‌که در این مناطق علائم تجمع رسوبات بادی در کنار بوته‌های منفرد و همچنین آب‌ماندگی سطحی به وضوح مشاهده می‌شود (شکل ۳ د و ه). در قسمت‌های نسبتاً مرتفع، ساختمان خاک در قسمت سطحی دانه‌ی ریز ضعیف و در افق‌های زیر سطحی ساختمان خاک مکعبی گوشه‌دار ریز ضعیف و توده‌ای است. در مناطق حد واسط و مناطق مسطح ساختمان سطحی خاک به ترتیب دانه‌ای ریز ضعیف و در افق‌های زیر سطحی ساختمان مکعبی گوشه‌دار متوسط با اندازه متوسط و ریز و ساختمان توده‌ای است. خاک‌رخ واقع در مناطق مسطح دارای ساختمان خاک دانه‌ای ضعیف و کوچک و در افق‌های زیر سطحی ساختمان مکعبی گوشه‌دار متوسط با اندازه متوسط و ساختمان ستونی متوسط مشاهده می‌شوند. در این خاک‌رخ در فصل خشک درز و شکاف‌هایی به عرض بیش از ۵ میلی‌متر تا عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک وجود دارد (شکل ۳ ج). لکه‌های سدیمی دارای شکل نامنظم با طول ۵/۰ تا ۱۵ متر و در طول سال فاقد پوشش گیاهی و فقط در اوایل بهار چرای محدود

دلاور و نادری: بررسی ویژگی‌ها و عوامل موثر...

حدواسط باعث تشکیل افق‌های کمبیک و کلسیک شده است. در مناطق مسطح تجمعات آهک با افق ناتریک همراه است. اسیدیته گل اشباع در خاک‌های مناطق نسبتاً مرتفع از ۶/۸ تا ۱/۹، در خاک‌های مناطق حدواسط بین ۹/۸ تا ۷/۹ و در خاک‌های مناطق مسطح بین ۱/۹ تا ۱/۱۰ متغیر است. اسیدیته خاک در عصاره نسبت یک به پنج خاک به آب به مقدار ۵/۰ تا یک واحد نسبت به اسیدیته گل اشباع در تمام نمونه‌های مطالعه شده افزایش یافته است. بالا رفتن واکنش خاک در نسبت‌های مختلف خاک به آب احتمالاً مؤید هیدرولیز سدیم تبدلی در اثر کاهش غلظت سدیم محلول است که نتیجه آن افزایش اسیدیته خاک است (۳۴). قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌رخ‌های مناطق مرتفع پایین و غالباً کمتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر است.

نسبتاً مرتفع به دلیل عملیات کشت و کار، وجود بقایای پوشش گیاهی و اضافه کردن کودهای آلی در افق‌های روئین بیش‌ترین مقدار (۱/۳ درصد) است. در مناطق مسطح به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و کشت و کار، درصد کربن آلی در افق‌ها کم‌تر از ۵/۰ درصد و در مناطق حدواسط مقدار کربن آلی بین این دو مقدار متغیر است. در خاک‌رخ واقع بر مناطق نسبتاً مرتفع میزان کربنات کلسیم معادل خاک بین ۱۵ تا ۲۶ درصد متغیر است و با عمق روند افزایشی دارد. در مناطق حدواسط میزان کربنات کلسیم معادل بین ۲۰ تا ۴۵ درصد متغیر است و بیش‌ترین مقدار در عمق ۹۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در مناطق مسطح کربنات کلسیم معادل خاک بین ۲۱ تا ۴۳ درصد متغیر است. آهک‌های ثانویه در خاک‌رخ‌های مطالعه شده دارای اشکال پودری و مدور است، این تجمع‌ها به ترتیب در مناطق مرتفع و



شکل (۳) خاک‌رخ شاهد مطالعه شده در موقعیت‌های ارتفاعی (الف) مناطق نسبتاً مرتفع، (ب) حدواسط، (ج) مناطق بدون پستی و بلندی مسطح، (د) تجمع رسوبات بادی اطراف پوشش طبیعی مناطق مسطح، (ه) آب‌ماندگی در سطح مناطق مسطح

Figure (3) Representative soil profiles of different altitude in studied area including: a) upland, b) midland, c) plain, d) wind sediment around the natural cover in the plain area, e) water ponding in the plain area

جدول (۱) خصوصیات مورفولوژیکی و برخی از خصوصیات فیزیکی خاک‌رخ‌های شاهد در موقعیت‌های مختلف اراضی

Table (1) Morphological and some of physical properties of Representative profiles at different situation

حد و مرز افق‌ها	پایداری خاک		تجمعات ثانویه و واکنش با اسید کلریدریک	پوسته‌های رسی	ریشه‌ها	ساختمان	بافت خاک	توزیع اندازه ذرات (درصد)			رنگ خاک		عمق (سانتیمتر)	(افق)
	خشک	خیس						شن	سیلت	رس	مرطوب	خشک		
طبقه بندی پروفیل ۱ (مناطق مرتفع مجاور): Fine loamy, mixed, thermic Xeric Haplocambids														
Ap	0-18	10YR5/3	10YR5/3	44.0	29.6	26.4	L	1FGR	3VF,3F	-	VE	S	-	Cs
Bw1	18-35	7.5YR5/4	7.5YR5/4	41.6	35.0	23.4	L	1FABK	2VF,2F	-	2FCAN/VE	SH	SS/SP	Cs
Bw2	35-65	7.5YR5/4	7.5YR4/4	48.0	20.8	31.2	SCL	1FABK, Ma	2M,2VF,2F	-	2FCAN/VE	SH	SS/SP	Cs
C1	65-85	5YR5/4	5YR4/4	50.2	25.4	24.4	L	Ma	2VF	-	VE	SH	SS/SP	Cs
C2	85-150	5YR5/4	5YR4/4	60.0	17.6	22.4	SCL	Ma	-	-	VE	S H	SS/SP	-
طبقه بندی پروفیل ۲ (مناطق حدواسط): Fine, mixed, thermic, Sodic Xeric Haplocalcids														
Ap	0-20	10YR5/3	10YR4/4	44.6	21.0	34.4	C	1FGR	2F,2VF	-	VE	SH	Vs/VP	CS
Bw	20-35	10YR5/3	10YR4/4	32.2	25.6	42.4	C	2MABK	1M,2F	-	2MCAN/VE	H	Vs/VP	CW
Bk1	35-60	10YR6/3	10YR5/4	40.0	14.2	45.8	C	2MABK, Ma	1M,2F,2VF	-	3MCAN/VE	H	Vs/VP	CW
Bk2	60-90	10YR6/3	10YR5/3	39.0	18.2	42.8	C	Ma	2VF	-	2MCAN/VE	H	Vs/VP	CW
C	90-150	10YR6/3	10YR5/4	37.6	17.6	44.8	C	Ma	-	-	VE	H	Vs/VP	-
طبقه بندی پروفیل ۳ (مناطق پست): Very fine, mixed, thermic, Vertic Natrargids														
A	0-10	10YR6/3	10YR4/3	28.2	33.0	38.8	C	1FGR	2VF	-	CLF/VE	SH	Vs/VP	CS
Bw	10-25	10YR6/3	10YR5/4	16.4	27.2	56.4	C	1MABK, 1FABK	1VF	-	2MCAN/VE	H	Vs/VP	CW
Btn1	25-55	10YR5/3	10YR4/3	11.6	21.2	67.2	C	2MABK, 2MPR, 2CPR	-	F, F, D, CLF	2MCAN/VE	EH	Vs/VP	CW
Btn2	55-93	10YR7/2	10YR6/3	20.4	22.2	57.4	C	2CPR, 1FPR, 1FPR	-	D, F, D, CLF	3MCAN/VE	EH	Vs/VP	CW
C	93-150	10YR7/3	10YR6/3	48.0	16.2	35.0	SC	Ma	-	-	2MCAN/VE	EH	Vs/VP	-

بافت: L = لوم، S = شن-d، C = رس، ساختمان: ۱ = ضعیف، ۲ = متوسط، GR = دانه‌ای، ABK = مکمی گوشه‌دار، Pt = منشوری، F = ریز، M = متوسط، C = درشت، مرز: C = مشخص، W = موجی، S = صاف، ریشه: ۱ = تعداد کم، ۲ = متوسط، ۳ = زیاد، VF = بسیار ریز، F = ریز، M = متوسط، پوسته رسی: ۱ = کم، F = ضعیف، D = مشخص، CLF = پوسته رسی، واکنش با اسید هیدرو کلراید: VE = جوشش شدید، پایداری: S = نرم، SH = کمی سخت، H = سخت، EH = بسیار سخت، SS = کمی چسبنده، SP = کمی پلاستیک، VS = بسیار چسبنده، VP = بسیار پلاستیک، تجمعات: CAN = گره کرنبات، CLF = پوسته رسی، F = ضعیف، D = مجزا، VF = عمودی روی خاکدانه

دلاور و نادری: بررسی ویژگی‌ها و عوامل موثر...

جدول (۲) نتایج تجزیه ویژگی‌های شیمیایی خاک‌رخ‌های مطالعه شده

Table (2) Soil chemical properties of representative soil profile

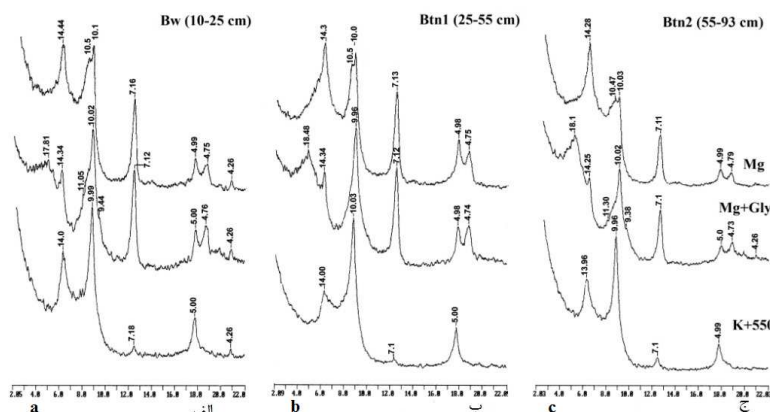
Horizon	Depth (cm)	EC (dS/m)		pH		Organic carbon %	CaCO <sub>3</sub> %	CEC (Cmol/kg)	ESP	SAR	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	
		ECe	1:5	pHe	1:5														
1	Ap	0-18	4.5	1.6	9.1	9.5	1.3	15	14.6	21.0	18.8	38.3	1.0	3.1	5.2	37.4	Tr	3.8	2.0
	Bw1	18-35	2.1	0.9	9.0	9.4	0.4	20	10.2	12.0	9.8	19.4	0.7	2.6	5.2	16.9	Tr	3.0	3.4
	Bw2	35-65	1.2	0.6	8.8	9.3	0.2	19	13.0	6.0	5.8	9.6	0.5	1.7	3.8	8.5	Tr	1.3	3.8
	C1	65-85	1.3	0.5	8.7	9.2	0.1	22	12.3	7.0	6.3	9.0	0.5	1.8	2.4	7.2	Tr	1.2	2.6
	C2	85-150	1.5	0.6	8.6	8.9	0.3	26	11.9	12.0	9.6	14.5	0.2	1.9	2.8	13.2	Tr	1.5	2.3
2	Ap	20-0	15.2	10.5	9.2	9.7	0.6	20	11.5	32.0	63.4	149.2	2.0	6.2	4.8	119.7	Tr	5.4	8.1
	Bw	35-20	13.8	6.7	9.4	9.9	0.4	24	13.3	37.0	46	110.5	1.3	4.8	6.7	83.1	Tr	1.4	9.5
	Bk1	60-35	14.3	7.4	9.7	10.1	0.4	33	12.8	35.0	67.1	153.7	2.0	4.0	6.5	120.8	Tr	9.3	8.0
	Bk2	90-60	11.2	5.5	9.3	9.6	0.4	41	11.4	28.0	48.5	114.3	1.2	4.0	7.1	98.9	Tr	4.2	3.3
	C	150-90	8.7	4.1	8.9	9.2	0.2	45	14.5	19.0	33.6	77	1.5	3.5	7.0	67.6	Tr	4.5	5.7
3	A	10-0	27.7	12.3	9.8	10.1	0.3	21	18.8	74.0	102.5	271.2	2.3	7.3	6.7	227.4	Tr	1.4	1.1
	Bw	25-10	19.2	8.5	10	10.4	0.3	23	21.3	85.0	76.0	198.3	1.7	7.0	6.6	121.7	Tr	4.2	2.4
	Btn1	55-25	8.6	5.3	10	10.0	0.2	34	23.7	80.0	46.1	92.8	1.5	3.5	4.6	45.1	Tr	26.9	13.6
	Btn2	93-55	5.8	2.2	9.2	9.5	0.2	36	20.5	64.0	26.4	52.7	1.0	3.6	4.4	38.6	Tr	6.4	5.3
	C	150-93	3.1	1.1	9.1	9.5	0.1	43	15.3	51.0	11.2	24.1	1.0	3.5	5.8	20.0	Tr	5.3	2.2

این منطقه بین ۶ تا ۲۱ درصد متغیر است. کاتیون غالب در تمام خاک‌رخ‌های مطالعه شده سدیم و آمونیم غالب در تمام نقاط کلر است. بالا بودن میزان سدیم و کلر احتمالاً به دلیل وجود نمک‌های کلرو سدیم است.

نتایج کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه در مناطق پست حاکی از آن است که کانی‌های رسی در نمونه‌های بخش رس خاک شامل ایلیت، کلریت، اسمکتیت، پالی‌گورسکیت و کانی‌های مختلط است. کانی‌های مخلوط از ویژگی معمول خاک‌های شور و سدیمی است (۱۰). شکل ۴ پراش نگاشت‌های بخش رس خاک را در افق‌های خاک‌رخ شاهد واقع در مناطق پست نشان می‌دهد. ایلیت در تمام افق‌های خاک مناطق مسطح وجود دارد و با عمق روند کاهشی دارد و این کاهش با افزایش کانی اسمکتیت (در افق ناتریک) که دارای شرایط زهکشی نامناسب‌تری است، همراه می‌باشد. کانی اسمکتیت در حضور کاتیون‌های دو ظرفیتی منیزیم، کلسیم و شرایط زهکشی نامناسب امکان نوتشکیلی نیز دارد (۶). در افق‌های ناتریک واقع در مناطق پست در مقایسه با سایر افق‌ها و خاک‌رخ‌های مطالعه شده افزایش بیشتر کانی اسمکتیت می‌تواند به واسطه انتقال ذرات ریز رس از

در مناطق حدواسط و اراضی پست قابلیت هدایت الکتریکی از چهار دسی‌زیمنس بر متر بیشتر است. در همه خاک‌رخ‌های مطالعه شده با افزایش عمق قابلیت هدایت الکتریکی روند کاهشی دارد. نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدلی در مناطق مسطح نسبت به مناطق حدواسط و مناطق نسبتاً مرتفع بسیار بیشتر است. نسبت جذب سدیم در خاک‌رخ مناطق مسطح بین حداقل ۱۱/۲ در اعماق زیرین تا حداکثر ۱۰۲ در افق‌های سطحی متغیر است و بیشترین مقدار آن در افق‌های ناتریک و افق‌های سطحی محاسبه شده که روند این تغییرات با عمق کاهشی است. روند تغییرات درصد سدیم تبدلی تقریباً مشابه با روند تغییرات نسبت جذب سدیم است و در افق زیر سطحی روند کاهشی دارد. در مناطق حد واسط نسبت جذب سدیم بین ۳۳ تا ۶۷ متغیر بوده و بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم در عمق ۳۵ تا ۶۰ سانتی‌متری محاسبه شد. روند تغییرات درصد سدیم تبدلی با عمق در این خاک‌رخ بین ۱۹ تا ۳۷ درصد است. در مناطق نسبتاً مرتفع بیش‌ترین مقدار نسبت جذب سدیم در افق سطحی (صفر تا ۱۸ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شد و در سایر افق‌ها این مقدار کم‌تر از ۱۳ است، درصد سدیم تبدلی در خاک‌رخ شاهد





شکل (۴) پراش نگاشت‌های بخش رس خاک را در افق‌های خاک‌رخ شاهد واقع در مناطق پست  
Figure (4) Clay minerals XRD diffractograms of soil representative profiles horizons in plain area

رده دوم کانی کلریت (۱/۷ آنگستروم) نسبت به شدت پیک رده اول این کانی (۱۴/۳ آنگستروم) در همه افق‌ها مربوط به کلریت‌های غنی از آهن در این خاک‌رخ است (۴). در عمق ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک‌رخ واقع در مناطق پست مقادیر کمی از پالی‌گورسکیت به همراه مقادیر کمی از اسمکتیت وجود دارد. کانی پالی‌گورسکیت در افق‌های خاک‌رخ مناطق پست با حضور پیک ۱۰/۵ آنگستروم مشهود است. بنا بر نظر سینگر و نوریش<sup>۱</sup> (۴۰) منشاء پالی‌گورسکیت در خاک منشاء موروثی است و در صورت وجود شرایط مناسب به‌صورت نوتشکیلی نیز در خاک به وجود می‌آید. پالی‌گورسکیت و اسمکتیت در دشت‌های رسوبی دوره سنوزویک مرکز و مناطق شرقی و جنوبی کشور (۲، ۹، ۱۹ و ۲۹) و تغییر و تبدیل اسمکتیت به پالی‌گورسکیت نیز در شرایط شور و قلیایی گزارش شده است (۱). نتایج مشاهده‌های میکرومورفولوژیکی (شکل ۵ الف و ۵ ب) و مطالعه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رویشی (شکل ۵ ج و ۵ د) از نمونه‌های افق ناتریک حضور رس تجمع‌ی را بر سطح خاکدانه و دیواره حفره‌های خاک واقع در مناطق مسطح نشان‌دهنده تجمع رس انتقالی از افق‌های

افق‌های سطحی به این افق‌ها باشد (۶ و ۲۶). کاهش شدت پیک ۱۰ آنگسترومی مربوط به میکا با عمق و هماهنگ با آن افزایش پیک ۱۸ آنگسترومی اسمکتیت می‌تواند دلیلی بر افزایش نوتشکیلی اسمکتیت در عمق‌های این خاک‌رخ باشد. علاوه بر آن با افزایش عمق حالت پله‌ای پیک اسمکتیت کاسته شده و واضح‌تر شده است، این شرایط بیانگر کاهش میزان کانی‌های حدواسط ایلیت-اسمکتیت و افزایش تشکیل اسمکتیت از میکا است. تغییرات شدت پیک رده‌های دوم ایلیت و سوم اسمکتیت نیز موید این تغییر شکل کانی است. منیزیم به سبب شعاع هیدراته بالاتر نسبت به کلسیم اثر هم‌اوری کمتری بر روی رس‌های خاک دارد. نسبت پایین  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  در خاک‌رخ واقع در مناطق پست نسبت به دیگر خاک‌رخ‌ها منجر به کاهش پایداری رس‌ها در این خاک شده که متعاقب آن شرایط انتقال نیز فراهم می‌گردد (۳۲).

کم‌ترین و بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های مناطق مرتفع و مناطق مسطح اندازه‌گیری شد. افزایش میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در مناطق مسطح همراه با افق ناتریک احتمالاً مؤید حضور کانی‌های گروه اسمکتیت و تأییدی بر وجود رس‌های ریز با ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر در این افق‌ها است. کانی کلریت در همه افق‌های این خاک‌رخ وجود دارد. بالا بودن شدت پیک

1- Singer and Norrish,

حاوی سدیم در سطح خاک، فعالیت‌های میکروبی و تشکیل پستی‌وبلندی‌های کوچک را به چرخه‌های خیس و خشک شدن سطحی در اراضی آب‌گرفته و آب‌های زیرزمینی کم‌عمق مرتبط دانستند.

### رده‌بندی و عوامل مؤثر بر تشکیل خاک‌ها

نتایج مشاهده‌های صحرایی به‌همراه بررسی نقشه‌های عمق و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در منطقه نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در حال حاضر در منطقه پایین‌تر از ۲۰ متر است. با توجه به عمق سطح آب زیرزمینی، می‌توان نتیجه گرفت که آب‌های زیرزمینی حاوی املاح در منطقه نقش اصلی در تشکیل لکه‌های خاک‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها ندارند و سایر عوامل محیطی از قبیل پستی و بلندی‌های کوچک، مواد مادری حاوی ترکیبات سدیم و وضعیت قرارگیری بر لندفرم به‌همراه حرکت‌های جانبی آب و املاح نقش‌های اساسی در تشکیل این لکه‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها را در منطقه ایفا می‌کنند (۲۵).

بر اساس نتایج آزمایش‌های تراوش‌پذیری، میزان نفوذ آب در مناطق مرتفع ۳۵/۶ سانتی‌متر در ساعت اندازه‌گیری شد، این مقدار تقریباً ۱۵ برابر بیشتر از میزان نفوذ آب در مناطق مسطح لکه‌های سدیمی بود. میزان نفوذ در مناطق حدواسط ۱/۵ سانتی‌متر در ساعت اندازه‌گیری شد. در اراضی نسبتاً مرتفع بافت خاک کلاس متوسط داشته و پایداری خاک در حالت خشک، نرم و کمی سخت است. وضعیت پایداری و بافت به‌گونه‌ای است که در این خاک‌ها مشکلی از نظر نفوذپذیری و در نتیجه آب‌شویی و انتقال املاح محلول در خاک وجود ندارد. نتایج نشان داد که در اعماق خاک‌رخ شاهد در این مناطق در عمق ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در مقایسه با افق‌های بالایی افزایش یافته و این روند تا اعماق پایین‌تر بیشتر شده است. افزایش این ویژگی‌ها با عمق ممکن است مربوط به شستشو و انتقال املاح از قسمت‌های سطحی به‌واسطه وجود

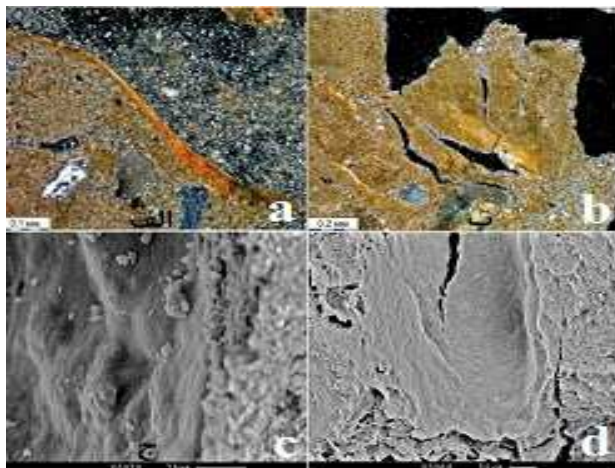
روئین است. بر اساس این نتایج ریز ساختمان خاک در افق‌های ناتریک، ساختمان مکعبی بدون زاویه و حفره‌های کانالی شکل است. زمینه خاک از نوع پورفیریک بوده و ذرات درشت عمدتاً شامل ذرات کوارتز، کلسیت و فلدسپارها است. مشاهده‌های میکرومورفولوژیکی مقاطع نازک از افق ناتریک حضور رس‌های انتقالی بر روی دیواره حفرات را تأیید کرد (شکل ۵ ب). به دلیل بالا بودن کاتیون سدیم در فاز تبادل و محلول این خاک‌ها، شرایط لازم برای انتقال رس در این خاک‌ها حتی در حضور آهک فراهم شده است (۲۴، ۳۱ و ۳۲).

پال و همکاران (۳۱)، رید و همکاران (۳۶) و باهاراگاو<sup>۱</sup> و همکاران (۵) در مطالعه خود بر روی تشکیل اسلیک اسپات‌ها عامل اختلاف ارتفاع محلی و حرکت جانبی آب و املاح را عوامل اصلی تشکیل این لکه‌ها معرفی کردند. هاپکینز<sup>۲</sup> و همکاران (۱۶) به نقش آب زیرزمینی و وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ و همچنین مواد مادری حاوی سدیم را در تشکیل این لکه‌های سدیمی مؤثر دانستند.

سیلینگ و ریچاردسون<sup>۳</sup> (۳۹) در مطالعه تشکیل خاک‌های سدیمی در شمال داکوتا به جریان جانبی حرکت آب و املاح از تپه‌های قسمت‌های مرتفع به سمت مناطق پایین‌تر اشاره دارند. آن‌ها عامل اصلی تشکیل این خاک‌ها را به استراتیوگرافی و موقعیت چشم‌انداز مرتبط دانستند.

جوکیل و کلمنت<sup>۴</sup> (۱۷) در خصوص تشکیل خاک‌های سدیمی در اراضی خیس منطقه نبراسکا گزارش کردند که آب زیرزمینی حاوی سدیم و پستی‌وبلندی محلی عوامل اصلی تشکیل خاک‌های سدیمی در منطقه است. ایشان همچنین توسعه نمک‌های

- 1- Bhargava *et al.*
- 2- Hopkins *et al.*
- 3- Seelig and Richardson
- 4- Joeckel and Clement



شکل (۵) رس‌های انتقالی بر روی دیواره ذرات، حفره‌های کانالی شکل پر شده از رس‌ها در افق ناتریک (الف و ب) و تصاویر میکروسکپ الکترونی روبشی از انتقال رس بر روی دیواره حفرات (ج و د)  
**Figure (5) Translocated clays on soil particles surface, pore channels field with clays in Natric horizon (a and b) and SEM image of translocated clay on channels surfaces (c and d)**

را فراهم آورد، مضاف آن‌که انجام عملیات کشاورزی مانع از تشکیل افق ناتریک در این مناطق شده است. خاک‌های این مناطق مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۴۱) در رده اریدی‌سول و تحت گروه‌های بزرگ سدیک زیریک هاپلوکمپیدز و سدیک زیریک هاپلوکلسیدز طبقه‌بندی شدند. در مناطق مسطح خاک‌های تشکیل شده دارای خصوصیات و ویژگی‌های شاخص خاک‌های شور و سدیمی و سدیمی است. بافت خاک در تمامی افق‌های خاک‌رخ شاهد این مناطق خیلی سنگین و بیش از ۵۵ درصد رس دارد و پایداری ذرات خاک در حالت خشک بسیار سخت است. افق‌های مشخصه در این قسمت شامل افق‌های زیر سطحی ناتریک همراه با ساختمان ستونی قوی و پوشش‌های رسی متوسط تا قوی بر روی دیواره حفره‌ها و سطوح خاکدانه است. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در این قسمت از اراضی از سطح به عمق کاهش شدیدی نشان می‌دهد که دلیل آن مربوط به حرکت‌های املاح از قسمت‌های پایین به طرف سطح خاک به واسطه وجود گرادیان ناشی از تبخیر در سطح این مناطق و نیز حرکت‌های سطحی آب و املاح محلول در نتیجه رواناب

عملیات متراکم کشت و کار در این مناطق و یا وجود رسوبات قدیمی با شوری بالاتر در اعماق خاک‌های این مناطق باشد. خاک‌های این قسمت از اراضی مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۴۱) در رده اتی‌سولز و اریدی‌سولز و تحت گروه‌های بزرگ زیریک توری‌فلونتر و زیریک هاپلوکمپیدز طبقه‌بندی شدند. در مناطق حدواسط با اختلاف ارتفاع یک تا دو متر نسبت به اراضی مرتفع خاک‌ها دارای افق‌های با ویژگی‌های سدیم بالا بوده و بر اساس نتایج مورفولوژیکی در بعضی قسمت‌ها ساختمان منشوری ریز مشاهده می‌شود. بافت خاک بجز افق سطحی در تمام افق‌ها سنگین و پایداری ذرات خاک در حالت خشک سخت است. وضعیت بافت خاک به گونه‌ای است که باعث کاهش نفوذپذیری و کندی حرکت جریان آب و املاح در خاک‌های این مناطق شده است. نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی در تمام افق‌های خاک‌رخ شاهد این مناطق به ترتیب بیش از ۱۳ و ۱۵ است، با این حال عدم وجود افق ناتریک در این خاک‌ها حاکی از آن است که درجه تحول و تکامل و مقادیر سدیم در این خاک‌ها به اندازه‌ای نیست که شرایط لازم برای پراکنده شدن و انتقال رس

دلاور و نادری: بررسی ویژگی‌ها و عوامل موثر...

افزایش یافته و ترکیبات کلسیم و منیزیم به شکل کربنات کلسیم و منیزیم رسوب و باعث افزایش سدیم در فاز تبادل خاک‌ها در این مناطق می‌گردد. کاهش غلظت املاح دو ظرفیتی باعث افزایش سدیم در فاز تبادل و محلول گشته و جانشینی این کاتیون به جای کاتیون‌های دو ظرفیتی بیشتر می‌گردد که منجر به تشکیل و توسعه افق‌های ناتریک در این مناطق می‌شود. این نتایج با نتایج سایر محققان در خصوص تشکیل خاک‌های سدیمی در مناطق مختلف بدون حضور آب زیرزمینی مطابقت دارد (۲۵ و ۳۱).

### نتیجه‌گیری

لکه‌های سدیمی و خاک‌های همراه آن‌ها یکی از عوارض مهم در دشت آبیگ محسوب می‌شود. خاک‌های سدیمی در این منطقه بدون حضور آب زیرزمینی شور و سدیمی تشکیل شده و سایر عوامل محیطی از قبیل پستی و بلندی‌های کوچک، موقعیت قرارگیری بر لندفرم، حرکت‌های جانبی آب و املاح محلول و رسوبات بادی شور و سدیمی نقش اساسی در تشکیل آن‌ها به عهده دارند. نتایج آزمایش‌های مختلف حاکی از آن است که روند سدیمی شدن در حال توسعه به سمت اراضی مرغوب مجاور بوده و عدم وجود گچ باعث تسریع این توسعه در این مناطق شده است. مطالعات کانی‌شناسی نشان‌دهنده حضور بیش‌تر کانی اسمکتیت در افق‌های ناتریک بوده و شواهد انتقال رس توسط مطالعات میکرومورفولوژیکی تأیید شد.

سطحی از مناطق مجاور به طرف افق‌های سطحی این مناطق است. نسبت جذب سدیم و درصد سدیم قابل تبادل از سطح به عمق کاهش زیادی نشان داده و در افق‌های سطحی و افق ناتریک نسبت به سایر افق‌ها بیش‌ترین مقادیر را دارا است. دلیل این افزایش وجود آب‌های سطحی است که در فصول مرطوب (مناسب فصل رویش) در سطح این مناطق تظاهر می‌کند (شکل ۳ د). خاک‌های این مناطق مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۴۱) در رده اریدی‌سول و تحت گروه‌های ورتیک ناترآرجیدز و زریک ناترآرجیدز طبقه‌بندی شدند. به دلیل وجود درز و شکاف‌هایی ناشی از انقباض و انبساط خاک در این قسمت از اراضی مواد ریز با شروع بارندگی و آب‌ماندگی به‌صورت پراکنده و معلق درآمده و از طریق این درز و شکاف‌ها و کانال‌های موجود به طرف افق‌های زیرین حرکت می‌کنند. از آن‌جا که بر اساس شواهد مورفولوژیکی لایه‌های زیرین خاک در نواحی مسطح خاک‌های سدیمی دارای رژیم خشک‌تری نسبت به افق‌های روئین خود در این مناطق هستند، آب سوسپانسیون منتقل شده سریعاً جذب خاک گردیده و رس‌های تعلیقی بر روی سطوح خاکدانه و حفره‌های خاک باقی می‌ماند؛ بنابراین در مناطق مسطح به‌دلیل سنگین بودن بافت خاک و عدم نفوذ آب، آب و املاح محلول بیشتری در سطح خاک تجمع یافته و فقط لایه‌های سطحی از آب اشباع می‌شوند، در نتیجه افق‌های زیرین خاک در این مناطق همواره دارای رژیم خشک‌تری نسبت به قسمت‌های مجاور نسبتاً مرتفع و حدواسط خود هستند؛ در این شرایط آب و املاح محلول که عمدتاً در فصول مرطوب به‌وجود آمده است به‌صورت جریان‌های جانبی از مناطق اطراف به طرف این مناطق وارد می‌شوند. در مناطق مسطح لکه‌های سدیمی املاح محلول به‌دلیل وجود اختلاف پتانسیل ناشی از تبخیر از اعماق پایین‌تر به طرف افق‌های سطحی حرکت کرده و با توجه به مقادیر درجه حلالیت رسوب کرده و به تدریج در افق‌های سطحی این مناطق غلظت املاح سدیم بالا رفته و اسیدیته خاک به سمت قلیایی شدید پیش می‌رود. به‌واسطه اسیدیته بالای خاک، فشار گاز دی‌اکسیدکربن کم شده و غلظت آنیون بی‌کربنات

### منابع

1. Abtahi, A. 1977. Effect of a saline and alkaline ground water on soil genesis in semiarid southern Iran. *Soil Science Society of America Journal*, 41: 583-588.
2. Azizi, P., Mahmoodi, S., Torabi, H., Masihabadi, M.H., and Homaei, M. 2011. Morphological, physicochemical and clay mineralogy investigation on gypsiferous soils in Southern of Tehran, Iran. *Middle East Journal*, 7: 153-161.
3. Banaei, M.H. 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water research institute. Ministry of agriculture, Tehran, Iran.
4. Barnhisel R.I., and Bertsch P.M. 1989. Chlorites and hydroxy-in-terlayered vermiculite and smectite. In Dixon, J.B., and Weed, S.B (eds.), *Minerals in Soil Environments: 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series, Vol.1, Madison, Wisconsin, USA. pp: 729-788.*
5. Bhargava, G.P., Pal, D.K., Kapoor, B.S., and Goswami, S.C. 1981. Characteristics and genesis of some sodic soils in the Indo-Gangetic alluvial plains of Haryana and Uttar Pradesh. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 29(1): 61-70
6. Borchardt, G. 1989. Smectites. In Dixon, J.B., and Weed, S.B (eds.), *Minerals in Soil Environments: 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series, Vol.1, Madison, Wisconsin, USA. pp: 675-727*
7. Bower, C.A., and Hatchea, J.T. 1966. Simultaneous determination of surface area and cation exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 30:525-527.
8. Bristow, T.F., and Milliken, R.E. 2011. A terrestrial perspective on authigenic clay mineral production in ancient Martian lakes. *Clay and Clay Mineral*, 59: 339-358.
9. Chorom, M., Baghernejad, M., and Jafari, S. 2009. Influence of rotation cropping and sugarcane production on the clay mineral assemblage. *Applied Clay Science*, 46: 385-395.
10. Deocampo, D.M. 2010. Geochemistry of continental carbonates. In Alonso-Zarza, A.M., and Tanner, L.H. (eds), *Carbonates in continental Settings: Geochemistry, Diagenesis, and Applications: Developments in Sedimentology*, vol. 62, Elsevier, Amsterdam. pp: 1-59
11. Fanning, D.S., and Fanning, M.C.B. 1989. *Soil: Morphology, genesis, and classification*. John. Wiley and Sons, New York. pp: 395.
12. Fullerton, S., and Pawluk, S. 1987. The role of seasonal salt and water fluxes in the genesis of. Solonchic B horizons. *Canadian Journal of Soil Science*, 67: 719-730.

13. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In Klute, A. (ed), *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and mineralogical methods*, 2nd ed., Agronomy Monograph, No: 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp: 383-411.
14. Geological map of Eshtehard, Scale 1:100000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
15. Heck, R.J., and Mermut, A.R. 1992. Genesis of Natriborolls. (Solonetzic) in a closed lake basin in Saskatchewan, Canada. *Soil Science Society of America Journal*, 56:842-848.
16. Hopkins, D.G., Sweeney, M.D., and Richardson, J.L. 1991. Dispersive erosion and Entisol-panspot genesis in sodium-affected landscapes. *Soil Science Society of America Journal*, 55(1): 171-177.
17. Joeckel, R.M., and Ang Clement, B.J. 2005. Soils, surficial geology, and geomicrobiology of saline-sodic wetlands, North Platte River Valley, Nebraska, USA. *Catena*, 61(1): 63-101.
18. Johnson, W.F., Mausbach, M.J., Gamble, E.E., and Nelson, R.E. 1985. Natric horizons on some erosional landscapes in Northwestern South Dakota. *Soil Science Society of America Journal*, 49:947-952.
19. Khormali, F., and Abtahi, A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars province, southern Iran. *Clay Mineral*, 38: 511-527.
20. Khresat, S.A., and Qudah, E.A. 2006. Formation and properties of aridic soils of Azraq Basin in Northeastern Jordan. *Jornal of Arid Environment*, 64: 116-136.
21. Khresat, S.A., Rawajfih, Z., Buck, B., and Monger, H.C. 2004. Geomorphic features and soil formation of arid lands in Northeast Jordan. *Archieve of Agronomy and Soil Science*, 50:607-615.
22. Kittrick, J.A. and Hope, E.W. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96: 312-325.
23. Lanyon, L.E., and Heald, W.R. 1982. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. In Page, A.L et al. (eds), *Methods of Soil Analysis, Part II, Chemical and microbiological properties*, 2nd ed, Agronomy Monograph. No: 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp: 247-260
24. McKeague, J.A., Wang, C., Ross, G.J., Acton, C.J., Smith, R.E., Anderson, D.W., Pettapiece, W.W., and Lord, T.M. 1981. Evaluation of criteria for argillic horizons (Bt) of soils in Canada. *Geoderma*, 25:63-74.
25. Munn, L.C., and Boehm, M.M. 1983. Soil genesis in a Natrargid-Haplargid complex in northern Montana. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 1186-1192.

26. Nabiollahy, K., Khormali, F., Bazargan, K., and Ayoubi, SH. 2006. Forms of potassium as a function of clay mineralogy and soil development. *Clay Minerals*, 41: 739-749.
27. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In Page, A.L, et al (eds), *Methods of Soil Analysis. Part II, Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Agronomy Monograph, No: 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-577
28. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. P: 181-196. In: Page, A.L, et al. (Eds), *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Agronomy Monograph. No: 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
29. Owliaie, H.R., Abtahi, A., and Heck, R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, Southwestern Iran. *Geoderma*, 134: 62- 81.
30. Pal, D.K., Srivastava, P., and Bhattacharyya, T. 2003. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma*, 115(3): 177-192
31. Pal, D.K., Srivastava, P., Durge, S.L., and Bhattacharyya, T. 2003. Role of microtopography in the formation of sodic soils in the semi-arid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Catena*, 51(1): 3-31.
32. Pal, D.K., Kalbande, A.K., Deshpande, S.B., and Sehgal, J.L. 1994. Evidence of clay illuviation in sodic soils of the Indo-Gangetic plain since the Holocene. *Soil. Science*, 158: 465-473.
33. Pal, D.K., Srivastava, P., Durge, S.L., and Bhattacharyya, T. 2003. Role of microtopography in the formation of sodic soils in the semi-arid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Catena*, 51: 3-31.
34. Pawluk, S. 1982. Salinization and Solonetz formation. In Proc. 19th Alberta Soil Science. Workshop. Edmonton, Alberta. pp: 1-23
35. Qadir, M., and Oster, J.D. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, 323: 1-19.
36. Reid, D.A., Graham, R.C., Amrhein, C., and Southard, R.J. 1993. Slickspot soil genesis in the Carrizo Plain, California. *Soil Science Society of America Journal*, 57(1): 162-168.
37. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. United States Salinity. Laboratory Staff. Agricultural Handbook, No 60.
38. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. 2012. *Fieldbook for. Describing and Sampling Soils*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

دلاور و نادری: بررسی ویژگی‌ها و عوامل موثر...

39. Seelig, B.D., and Richardson, J.L. 1994. Sodic soil toposequence related to focused water flow. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1): 156-163.
40. Singer, A., and Norrish, K. 1974. Pedogenic palygorskite occurrences in Australia. *American Mineralogist*, 59:508-517.
41. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
42. Stoops, G. 2003. *Guidelines for the analysis and description of soil and regolith. Thin Sections*. SSSA. Inc. Madison, Wisconsin.