# پیدایش و میکرومورفولوژی تحول گچ در خاک‌های لسی شمال ایران

شادی قرقره‌چی[۱]، فرهاد خرمالی[۱*] و شمس‌الله ایوبی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۸/۳۰)

## چکیده

**گچ غالب‌ترین کانی سولفات‌دار در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید. حدود ۲۰۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا و ۲۸ میلیون هکتار از اراضی ایران به وسیله خاک‌های گچی پوشیده شده است. خاک‌های مورد مطالعه، دشت‌های رسوبی آبرفتی شمال و دامنه‌ای غرب استان گلستان را که متأثر از گچ بوده‌اند در قالب گروه‌های بزرگ Aquisalids، Haplocambids و Endoaquepts شامل شده است. در این تحقیق منشاء و فرآیند تشکیل و تحول گچ مطالعه شده است. منطقه، سطوح ژئومورفیک مختلفی را از ارتفاعات حوزه آبریز اترک تا دشت‌های آبرفتی، در بر گرفته است. کریستال‌های گچ جدای از اندازه، شکل و آرایش یافتگی همگی از نوع پدوژنیک بوده‌اند. در خاک‌های کمتر توسعه یافته با رژیم رطوبتی اریدیک، کریستال‌های گچ پدوژنیک عدسی شکل گوشه دار و پرشدگی ناقص حفرات به وسیله گچ، از فرم‌های غالب است. در خاک‌های توسعه یافته‌تر که متعلق به رژیم رطوبتی زریک بوده‌اند، کریستال‌های گچ عدسی شکل گوشه‌دار، آرایش یافته‌اند و فرم عمود بر دیواره حفرات غالب بوده است. اشکال عدسی، ستونی و آرایش‌های رز شکل و بادبزنی نیز در خاک‌های توسعه یافته دیده شده است. منشاء گچ در خاک‌هایی با توسعه یافتگی کمتر، هوازدگی تشکیلات مارن و شیل و در خاک‌های توسعه یافته‌تر، آب زیرزمینی سولفات‌دار است. شکل ستونی و گوشه‌دار کریستال‌های گچ در خاک‌های تحت تأثیر نوسانات آب زیرزمینی سولفاته فراوان یافت شده است. از دیدگاه مورفولوژی اسنوبال در خاک‌هایی با توسعه یافتگی بیشتر، گچ نیز در مرحله توسعه یافته "ندول" قرار داشته است و نیز بین تشکیل مورفولوژی اسنوبال با بی فابریک خاک و افق‌های مشخصه (A، B و C) که گچ در آن شکل گرفته است، ارتباطی وجود ندارد.**

**واژه‌های کلیدی: میکرومورفولوژی، گچ پدوژنیک، لس، ایران**

## مقدمه

تقریباً ۲۰۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا تحت تأثیر گچ می‌باشند (۲۸). گچ از غالب‌ترین کانی‌های سولفاته در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (۱۲) که می‌تواند منشأ خاکساز و یا ارثی داشته باشد. هوادیدگی در جای مواد مادری (۷)، منبع دریایی غنی از سولفات (۳۱)، رسوبات بادرفتی و آبرفتی(۵ و ۳۱) و اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی (۳۳)، چهار منشأ عمده برای حضور و تجمع گچ در خاک‌ها به شمار می‌آیند. منبع اصلی برای تشکیل گچ در خاک‌ها $Ca^{2+}$ و $SO_4^{2-}$ است (۴). تشکیل گچ در خاک به فاکتورهای زیادی مانند

۱. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khormali@yahoo.com



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

اختلاف بارش و تبخیر سالانه، وجود منابع گچ، تخلخل خاک و نوسانات تراز آب زیرزمینی وابسته است (۴). مقدار گچ بیشتر به رژیم رطوبتی وابسته است چراکه در محدوده وسیعی از درجه حرارت گزارش شده است (۱۲). گچ غالباً در رژیم‌های رطوبتی اریدیک و زریک دیده شده ولی تجمع گچ پدوژنیک در اقلیم‌های نیمه مرطوب گزارش شده که البته فرآیندی فصلی به شمار می‌آید (۷).

کریستال‌های گچ در فرم و اشکال متفاوتی دیده شده‌اند که وابسته به عواملی نظیر بافت خاک (۳۲)، فعالیت ریشه گیاهان (۱۸ و ۱۳)، مواد آلی (۱۰)، میکروارگانیزم‌ها (۵) و نوسانات آب زیرزمینی (۱۴) می‌باشند. تومانیان و همکاران نیز با مطالعه‌ای بر خاک‌های استان اصفهان بیان داشتند که شرایط فیزیکی محیط مهم‌ترین عامل تعیین کننده در توزیع و الگوی آرایش کریستال‌های گچ ثانویه است (۳۲). کریستال‌های گچ خاکساز اشکال متنوعی مانند عدسی، شش گوشه، ستونی، منشوری و آرایش‌های بادبزنی و رز شکل را شامل شده‌اند. فراوان‌ترین شکل کریستال‌های گچ در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، فرم عدسی شکل گوشه دار (Euhedral) است (۵). کودی (۱۹۷۹) عواملی مانند قلیائیت محلول خاک، درجه حرارت، شوری، مواد آلی را در رشد کریستال‌های گچ مؤثر دانسته و هم‌چنین اظهار می‌دارد با وجود مواد آلی و کلرید سدیم کریستال‌های عدسی شکل گچ سریع‌تر شکل می‌گیرند. با استفاده از فرم‌های پدوژنیک، شکل و اندازه گچ می‌توان به بررسی تحول خاک‌ها پرداخت. مراحل تکامل تجمع گچ را مشابه کربنات‌ها می‌توان به ایجاد رشته‌ها (Filament)، تشکیل ندول‌ها و مرحله توده‌ای (Massive) تقسیم نمود. در ایران مساحتی بالغ بر ۲۸ میلیون هکتار از اراضی تحت تأثیر گچ بوده‌اند و غالب مطالعات بر خاک‌های غنی از گچ، با تکیه بر مورفولوژی، کانی‌شناسی و پیدایش صورت گرفته است (۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۳۰). در مطالعه میکرومورفولوژیک حاضر منشاء، شکل و فرم‌های مختلف گچ مانند پرشدگی و کوتینگ و ارتباط آن با خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و شرایط محیطی حاکم در خاک‌های لسی استان گلستان بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه، مشخصات اقلیمی و کلی خاک‌های مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از دشت آبرفتی رودخانه اترک واقع در ناحیه خشک شمال استان گلستان (پروفیل ۱) تا منطقه نیمه خشک دشت گرگان (پروفیل ۳) را شامل شده است (شکل ۱). ناحیه مورد مطالعه اقلیم‌های خشک (پروفیل‌های ۱ و ۲) و نیمه خشک (پروفیل ۳) را در بر گرفته است. میانگین بارندگی سالانه بین ۲۷۲ mm (پروفیل ۲) الی ۴۸۳ mm (پروفیل ۳) متغیر است. نسبت بارش متوسط سالانه به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ($P/ET^O$) (۳۴) بین ۰/۲ الی ۰/۵ تغییر می‌کند (جدول ۱). مواد مادری در کلیه خاک‌ها مشتق از لس بوده و محدوده، رژیم‌های رطوبتی اریدیک و زریک و رژیم حرارتی ترمیک را شامل شده است. پروفیل‌های ۲ و ۳ شرایط زه‌کشی ضعیف و پروفیل ۱ زه‌کشی مطلوب داشته‌اند. کاربری در پروفیل‌های ۲ و ۳ زراعی و از نوع دیم (گندم و جو) می‌باشد (جدول ۱). پروفیل ۲ متأثر از تجمع نمک در سطح بوده و پوشش‌های سالیکورنیا، سالسولا و درخچه گز غالب است. به لحاظ فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه، واحدهای اراضی پست، دشت‌های آبرفتی و رسوبات بادرفتی دامنه‌ای را شامل شده است (جدول ۱).

فرآیندهای ژئومورفیک (Geomorphic processes) مشهود در پروفیل (۱) شامل هوادیدگی تشکیلات شیل و مارن ارتفاعات حوزه آبریز رودخانه اترک، شستشو و انتقال مواد غنی از سولفات به وسیله رواناب ناشی از بارندگی و نهایتاً حمل به دشت‌های آبرفتی به وسیله سیلاب رودخانه اترک، بوده است.

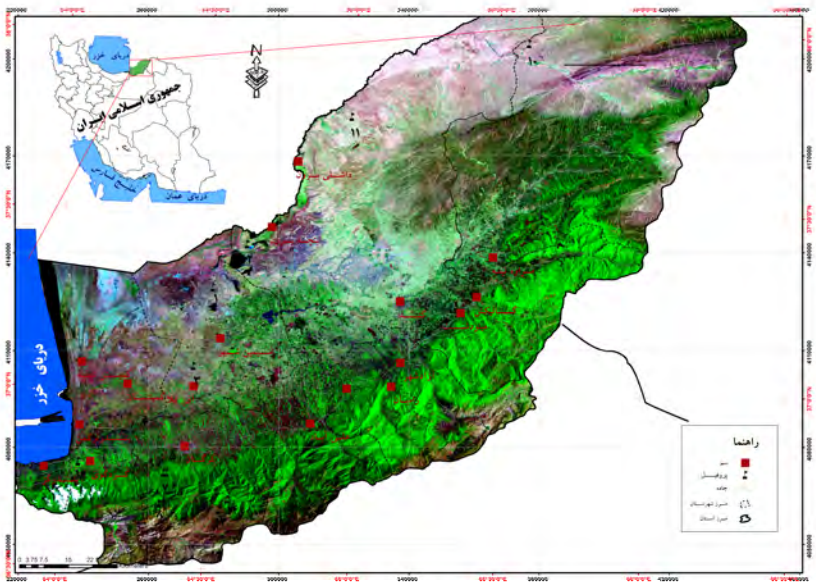
### مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

خاک‌ها بر اساس راهنمای استاندارد، تشریح و طبقه‌بندی شدند



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]




**شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه و موقعیت پروفیل‌های حفر شده**

**جدول ۱. مشخصات اقلیمی و کلی پروفیل‌های مورد مطالعه**

| موقعیت پروفیل | اقلیم* | درجه حرارت سالانه (°C) | رژیم رطوبتی- حرارتی | P/ET$^{O}$ | پوشش و کاربری | زه‌کشی | واحد فیزیوگرافی | بارش سالانه (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱- شمال کرند، جنب ایستگاه پمپاژ | خشک | ۱۹ | اریدیک- ترمیک | ۰/۲۵ | علف شوره و خارشتر، بایر | مطلوب | دشت آبرفتی | ۲۸۸ |
| ۲- شمال آق قلا | خشک | ۱۸/۶ | اریدیک- ترمیک | ۰/۲ | سالیکورنیا و سالسولا و درخچه، گز، زراعی(جو) | ضعیف | اراضی پست | ۲۷۲ |
| ۳- اطراف فرودگاه گرگان | نیمه‌خشک | ۱۸ | زریک- ترمیک | ۰/۵ | جو، زراعی | ضعیف | دشت رسوبی دامنه‌ای | ۴۸۳ |

*: اقلیم بر اساس روش دومارتن به دست آمده است.

(۳۵ ، ۳۶ و ۳۹). توزیع مقدار شن و سیلت پس از اکسیداسیون مواد آلی (۱۱)، حذف نمک‌ها با شستشو و پراکندن ذرات با استفاده از هگزامتا فسفات سدیم، تعیین شد. مقدار ذرات رس نیز به وسیله روش هیدرومتری (۳) تعیین گردید. هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره اشباع (۲۹)، اسیدیته خاک‌ها با استفاده از دستگاه pH متر، میزان آهک، به روش خنثی کردن مواد خنثی شونده با اسید کلریدریک و عمل تیتراسیون اسید اضافی با سود (۲۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از محلول استات سدیم (NaOAc) در pH برابر با ۸/۲ تعیین شده‌اند (۸). مقدار گچ نیز با استفاده از روش استون (۲۹) تعیین شده است. برای مطالعه کانی‌شناسی، با استفاده از روش‌های بیان شده توسط جکسون (۱۷) و کیتریک و هوپ (۲۳) کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن آزاد از نمونه‌ها حذف گردید. جزء رس نمونه‌ها با بهره‌گیری از دستگاه سانتریفوژ به مدت ۵/۳ دقیقه و ۷۵۰ دور در دقیقه جدا شده و سپس توسط کلرور منیزیم وکلرور پتاسیم اشباع گردید. نمونه‌های اشباع از منیزیم با گلیسرول و نمونه‌های اشباع از پتاسیم توسط ۵۵۰ $^{\circ}C$ حرارت، تیمار



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

گردیده‌اند (۱۸). به منظور شناسایی نوع کانی‌ها در نمونه‌های اشباع شده، از دستگاه تفرق اشعه ایکس (X-Ray diffraction) استفاده شده است.

### آنالیز میکرومورفولوژی

نمونه‌های دست نخورده از افق‌های مورد مطالعه به وسیله جعبه کوبینا (۲۴) برداشته شده و در مجاورت هوا خشک شدند. نمونه‌ها با مخلوط استون و رزین پلی استر به نسبت۶۰ به۴۰ و با افزودن کاتالیست متیل اتیل کتون پراکسید و سخت کننده کبالت در شرایط خلاء در دسیکاتور اشباع شده و در هوای آزاد طی۴ هفته سخت شدند. ضخامت مورد نظر در این مطالعه برابر۳۰ میکرون است. مقاطع نازک بر اساس روش بولاک و همکاران (۶) و تعاریف ارائه شده توسط استوپس (۳۷) مطالعه شدند.

## نتایج و بحث

### رده‌بندی خاک‌ها

رده بندی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ بر اساس سیستم‌های آمریکایی و WRB ارائه شده است. خاک‌ها در رژیم اریدیک، در طبقه‌بندی آمریکایی گروه‌های بزرگ Haplocambids و Aquisalids را در قالب راسته Aridisols شامل شده‌اند. در رژیم زریک خاک‌ها تکامل بیشتری داشته و گروه بزرگ Endoaquepts را در راسته Inceptisols شامل شده‌اند. در سیستم WRB خاک‌ها متعلق به گروه‌های Cambisols، Solonchaks و Gleysols بوده‌اند.

### مورفولوژی، فیزیکوشیمیایی و کانی شناسی

مطابق جدول ۳ رنگ در افق‌ها بین ۱۰YR تا ۲/۵Y تغییر نموده است. خاک‌ها بافت سبک‌تر رس سیلتی و بافت سنگین‌تر لوم را شامل شده‌اند. واکنش با اسید کلریدریک ناشی از حضور آهک، در خاک‌های تکامل یافته‌تر (پروفیل ۳) شدید تر است. واکنش در عمق پروفیل ناشی از به هم خوردگی خاک به جهت عملیات کشاورزی و نیز شستشوی آهک به افق‌های زیرین به علت آبشویی در دوره‌هایی با خشکی کمتر (پروفیل ۲ و ۳) بوده است. آهک در خاک‌ها بیشتر منشاء بادرفتی دارد. در افق‌هایی که در شرایط زه‌کشی ضعیف قرار دارند مقدار منافذ کاهش یافته است (جدول ۳). در کلیه پروفیل‌ها گچ، غالباً به صورت میسیلیوم دیده شده است. کریستال‌های بزرگ گچ نیز در ابعاد حدود ۵ سانتی‌متر در افق Byg۲ پروفیل ۲ مشاهده شده است. لکه‌های رنگی قابل مشاهده، با حاکم بودن شرایط گلی، وجود آهک و یا گچ همراه بوده و در ابعاد متوسط و مقدار زیاد دیده شده‌اند. افزایش مقدار رس (٪) برحسب عمق که در محدوده ۸۰-۶۰ cm دیده شده است، بیانگر فرآیند شستشو (Elluviation) و حرکت ذرات ریز رس در پروفیل خاک است (شکل ۲، الف). در پروفیل ۲ که متعلق به رژیم اریدیک با محدودیت آبشویی است، مقدار رس در عمق ۳۰ سانتی‌متری (افق Byg۱) تحت تأثیر دوره‌هایی با خشکی کمتر و نوسانات تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است (جدول ۴). تجمع سیلت در کلیه خاک‌ها در افق سطحی مشاهده شده است (جدول ۳) که عملیات زراعی (خاک ورزی) و باد عوامل مؤثر در بروز این توزیع بوده‌اند. تجمع سیلت هم‌چنین نشان دهنده حاکم بودن اقلیم‌های خشک‌تر در گذشته بوده است (۲۲). یک روند کاملاً همسان در تغییرات pH (۸/۱۹-۷/۱۹) خاک‌ها برحسب عمق دیده نشده است (جدول ۵). نتایج، وجود افق سالیک را در پروفیل ۲ در عمق ۷۰ cm تأیید نموده است. محدوده تغییرات EC و مقدار آن از رژیم اریدیک ($dSm^{-1}$ ۱۱۴-۹/۱) به زریک ($dSm^{-1}$ ۸/۳-۵) کاهش یافته که ناشی از اقلیم است. مطابق شکل (۲، ب)، در پروفیل ۲ گچ دارای توزیع گسترده تری (٪ ۲۲/۱-۴) در عمق بوده که متأثر از آب زیرزمینی سولفاته است. در پروفیل ۳ با افزایش مقدار شاخص اقلیمی(P/ET)، گچ به عمق پروفیل (۵۰cm) شسته شده و دارای توزیع نسبتاً یک‌نواخت‌تری است. مقدار CEC در پروفیل ۳ افق Bgy۱ ($cmolkg^{-1}$ ۲۹/۷۳) بالا است چراکه مقدار نسبی کانی انبساط‌پذیر اسمکتیت (جدول۴، شکل۳، ج) بیش از

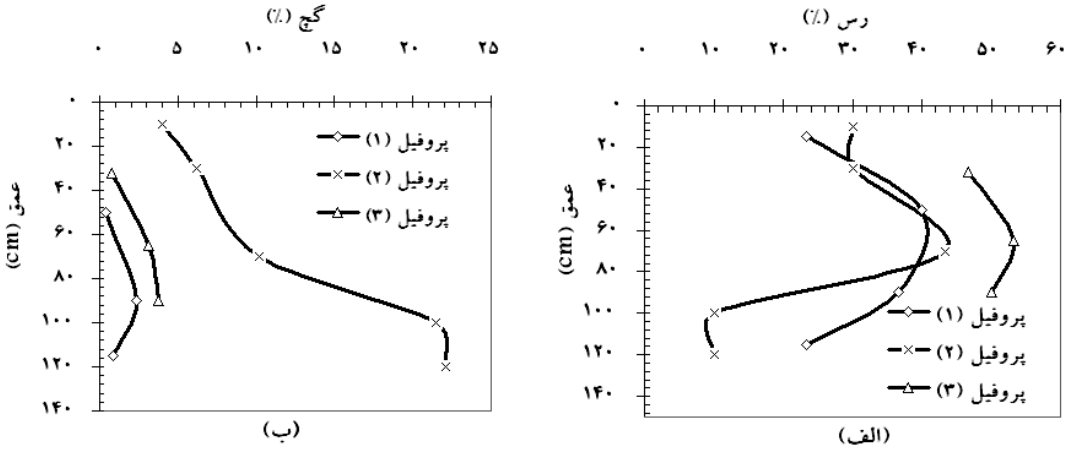


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**جدول ۲. نتایج رده‌بندی در دو سیستم آمریکایی و WRB (۲۰۰۶)**

| پروفیل و موقعیت | بر مبنای سیستم جامع آمریکایی | بر مبنای WRB |
|---|---|---|
| ۱- شمال کرند، جنب ایستگاه پمپاژ | Typic Haplocambids | Haplic Cambisols (aridic) |
| ۲- شمال آق قلا | Gypsic Aquisalids | Hypersalic Solonchaks (sodic-chloridic) |
| ۳- اطراف فرودگاه گرگان | Typic Endoaquepts | Haplic Gleysols (calcaric-siltic) |




**شکل ۲. الف: توزیع مقدار ذرات رس در عمق، تجمع ذرات رس در محدوده cm ۸۰-۶۰ عمق خاک است.**
**ب: توزیع مقدار گچ (٪) برحسب عمق**

۲۰ درصد بوده و مقدار نسبی متوسط رس نیز بیش از ۵۰ درصد است. مقدارCEC خاک‌ها به مقدار مواد آلی، بافت خاک و نوع کانی‌های رسی وابسته است ( ۲۲).

بر اساس نتایج کانی شناسی در خاک‌های مورد مطالعه، کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، کلریت و مقدار اندکی کائولینیت مشاهده شده است (جدول۴، شکل ۳). کانی‌های غالب مشاهده شده در رژیم اریدیک (پروفیل‌های ۱ و ۲) ایلیت و کلریت و در رژیم زریک (پروفیل ۳) ایلیت و اسمکتیت بوده‌اند. مواد مادری لسی در منطقه مورد مطالعه غنی از کانی ایلیت بوده و منشاء ارثی برای حضور این کانی‌ها گزارش شده است (۱). کانی اسمکتیت در شرایط زه‌کشی ضعیف، محیط قلیایی و با ابقاء Si, Al و $Mg^{2+}$ در محلول خاک، می‌تواند شکل گیرد (۳۸). در پروفیل ۳، pH بالا، شرایط زه‌کشی ضعیف و بالا بودن آب زیرزمینی محیط را برای تشکیل اسمکتیت از طریق نوتشکیلی از محلول خاک فراهم نموده است. تشکیل اسمکتیت از کانی‌های ایلیت ،کلریت و پالی گورسکیت در مناطق نیمه خشک و تحت شرایط زه‌کشی ضعیف و وضعیت قلیایی نیز گزارش شده است (۲ و ۲۵). به عبارت دیگر شرایط زه‌کشی توانسته است با اثر گذاری بر منشاء کانی اسمکتیت مقدار نسبی آن را نیز افزایش دهد. در پروفیل‌های ۱ و۲ بخشی از اسمکتیت منشاء مادری و مقداری نیز منشاء تبدیلی از ایلیت را داشته است.

### میکرومورفولوژی

در خاک‌های مورد مطالعه میکروساختمان‌های توده‌ای تا مکعبی بدون زاویه با تمایز خوب مشاهده شده است (جدول۵). اصلی‌ترین کانی درشت، کوارتز زاویه‌دار و بدون زاویه با قطر معادل ۱۰ تا ۶۰ میکرومتر است. علاوه بر کوارتز، ذرات گچ با اندازه بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرومتر، سنگ آهک و پوسته صدف (Shell fragment) با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر نیز مشاهده شده



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**جدول ۳. مقدار مشخصه‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی در افق‌های مورد مطالعه**

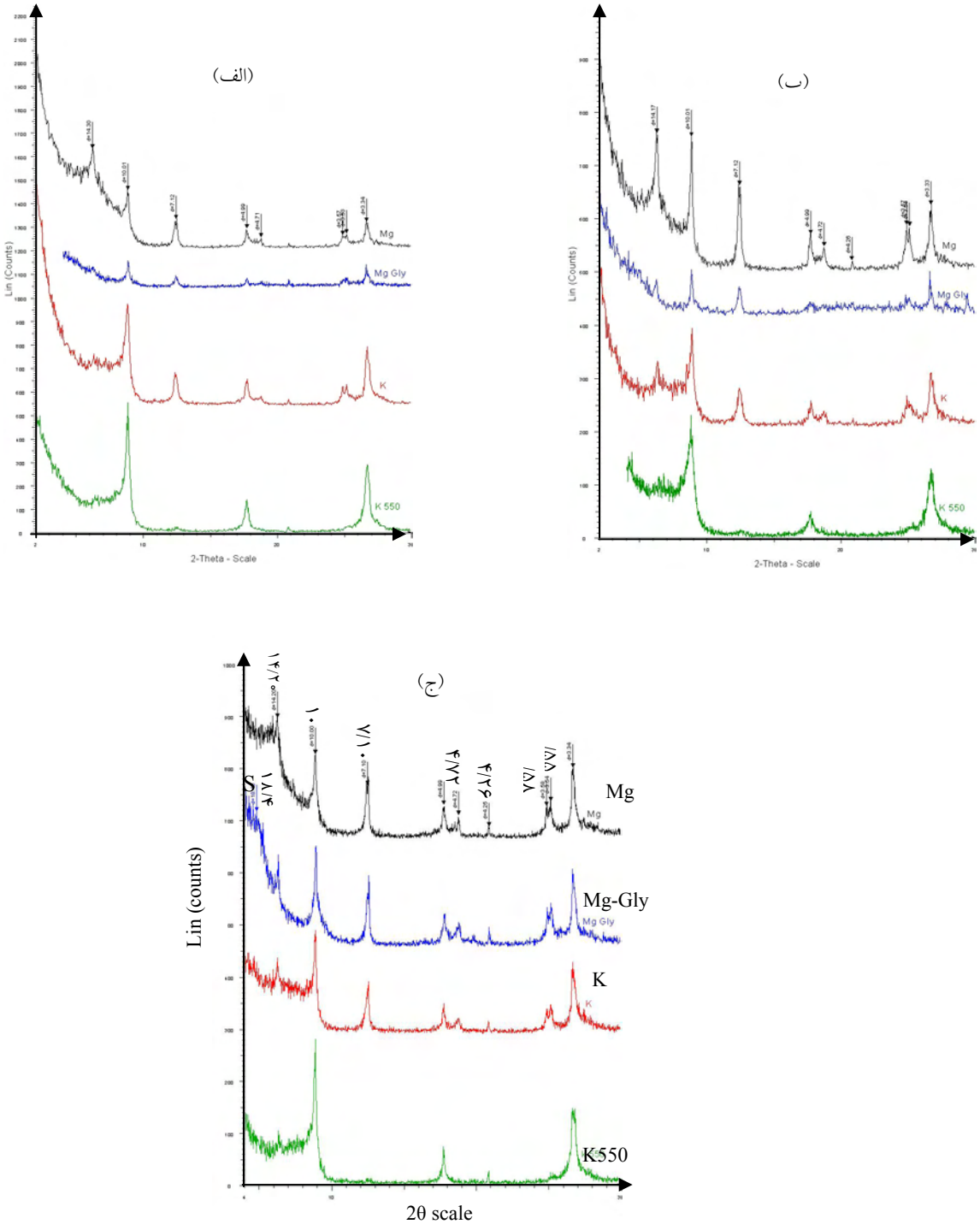
| پروفیل، افق و عمق (cm) | | pH | EC[a] ($dSm^{-1}$) | توزیع ذرات خاک نمونه | | | رنگ | ساختمان خاک* | منافذ* | واکنش با اسیدکلریدریک | بافت خاک** | OC[b] (٪) | CEC[c] ($cmol\ kg^{-1}$) | CCE[d] (٪) | گچ(٪) | سولفات (meq/lit) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | شن(٪) | سیلت(٪) | رس(٪) | (مرطوب) | | | | | | | | | |
| ۱- *Typic Haplocambids* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰–۱۵ | ۷/۵۸ | ۱۱/۴ | ۱۵/۸۳ | ۶۰/۸۴ | ۲۳/۳۳ | ۱۰YR۶/۳/۵ | clody | mvf | (+) | sil | ۰/۷۸ | ۷/۳۶ | ۲۷/۵ | tr | ۲۶/۷۵ |
| Bw | ۱۵–۵۰ | ۸/۱۹ | ۹/۱ | ۹/۱۶ | ۵۰/۸۴ | ۴۰ | ۱۰YR۵/۳ | m۱sbk | mvf | (+) | sic | ۰/۵۱ | ۶/۷۸ | ۳۰ | ۰/۴۳ | tr |
| By | ۵۰–۹۰ | ۸/۰۵ | ۱۵/۶ | ۱۵ | ۵۵ | ۳۰ | ۱۰YR۵/۳ | f۱abk | cvf | (+) | sicl | ۰/۴۳ | ۹/۴۷ | ۲۷/۵ | ۲/۳۶ | ۵۹/۷۸ |
| C | ۹۰–۱۱۵ | ۸ | ۱۴/۲ | ۱۹/۱۶ | ۵۷/۵۱ | ۲۳/۳۳ | ۱۰YR۵/۳ | m | fvf | (+) | sil | ۰/۴۳ | ۵/۱ | ۲۵/۵ | ۰/۸۶ | ۴۳/۳۳ |
| ۲- *Gypsic Aquisalids* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰–۱۰ | ۷/۳۸ | ۱۱۴ | ۱۰ | ۶۰ | ۳۰ | ۱۰YR۴/۴ | m | mvf | (+) | sicl | ۰/۷۱ | ۵/۳۴ | ۱۹ | ۴ | ۳۹/۶ |
| Byz | ۱۰–۳۰ | ۷/۷۸ | ۸۳/۵ | ۱۲/۵ | ۵۷/۵ | ۳۰ | ۱۰YR۴/۴ | f۱abk | mvf | (++) | sic | ۰/۹۴ | ۶/۳۸ | ۲۵/۵ | ۶/۲ | tr |
| Byg۱ | ۳۰–۷۰ | ۷/۱۹ | ۸۹ | ۳/۳۳ | ۵۳/۳۴ | ۴۳/۳۳ | ۱۰YR۴/۶ | f۱abk | ffp | (++) | sicl | ۰/۷۶ | ۲۳/۸۶ | ۱۱ | ۱۰/۲ | ۱۰۱/۸۷ |
| Byg۲ | ۷۰–۱۰۰ | ۷/۲۵ | ۶۹/۵ | ۳۰ | ۶۰ | ۱۰ | ۱۰YR۴/۶ | f۱abk | ffp | (++) | sil | ۰/۱ | ۱۷/۴۲ | ۱۷ | ۲۱/۵ | ۱۰۳/۱۹ |
| Cg | ۱۰۰–۱۲۰ | ۷/۴۲ | ۸۹ | ۵۶/۶۷ | ۳۳/۳۳ | ۱۰ | ۵,۲YR۴/۶ | m | ffp | (++) | l | ۰/۳۷ | ۸/۶۲ | ۱۹ | ۲۲/۱ | ۱۷۸/۸ |
| ۳- *Typic Endoaquepts* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰–۳۲ | ۷/۶۴ | ۵ | ۶/۶۶ | ۴۶/۶۸ | ۴۶/۶۶ | ۱۰YR۴/۱ | f۱abk | mvf | (++) | sic | ۱ | ۲۶/۵۷ | ۲۰ | ۰/۸ | ۱۶/۸۵ |
| Byg۱ | ۳۲–۶۵ | ۷/۹ | ۸/۳ | ۶/۶۷ | ۴۰ | ۵۳/۳۳ | ۵Y۴/۶ | m۲abk | ffp | (++) | sic | ۱/۳۳ | ۲۹/۷۳ | ۲۱ | ۳/۱ | ۲۷/۳ |
| Byg۲ | ۶۵–۹۰ | ۷/۵۸ | ۸ | ۳/۳۳ | ۴۶/۶۷ | ۵۰ | ۵/۶Y۲/۵ | m۱abk | ffp | (+) | sic | ۱/۵۳ | ۲۴/۱ | ۲۱ | ۳/۸ | ۲۶/۸ |

** si =silty, s=sandy, c=clay, l=loam; [a] EC= Electrical Conductivity, [b] OC= Organic Carbon, [c] CEC=Cation Exchange Capacity, [d] CCE= Calcium Carbonate Equivalent, tr=trace

*: نمادها بر اساس راهنمای تشریح خاک بیان شده است (۳۷).

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]




**شکل ۳. نمونه‌هایی از تفرق اشعه ایکس الف: افق By پروفیل ۱.، ب: افق Byz پروفیل ۲.،**
**ج: افق $Byg_1$ پروفیل ۳، که در تیمار منیزیم گلیسرول ظهور پیک ۱۸/۴ نشانه‌ای بر وجود اسمکتیت است.**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**جدول ۴. مقدار نسبی کانی‌های رسی در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه**

| پروفیل، افق و عمق (cm) | | | کلریت (٪) | کائولینیت (٪) | ایلیت (٪) | اسمکتیت (٪) | ترکیب کانی‌های رسی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | Ap | ۰-۱۵ | ** | * | ***** | * | ایلیت> کلریت > کائولینیت> اسمکتیت |
| ۱ | By | ۵۰-۹۰ | *** | ** | **** | ** | ایلیت> کلریت > کائولینیت> اسمکتیت |
| ۲ | Az | ۰-۱۰ | **** | *** | **** | ** | ایلیت> کلریت > کائولینیت> اسمکتیت |
| ۲ | Bzy | ۳۰-۷۰ | *** | ** | ***** | * | ایلیت> کلریت > کائولینیت> اسمکتیت |
| ۳ | AP | ۰-۳۲ | ** | ** | **** | ** | ایلیت> اسمکتیت > کلریت> کائولینیت |
| ۳ | Byg۱ | ۳۲-۶۵ | ** | ** | **** | *** | ایلیت> اسمکتیت> کلریت> کائولینیت |

*<۱۰ ** ۱۰-۲۰ *** ۲۰-۳۰ **** ۳۰- ۵۰ ***** > ۵۰

است. وجود پوسته صدف نشان‌دهنده پسروی دریای خزر و ته‌نشینی رسوبات دریایی همراه با رسوبات رودخانه‌ای است که خاک منطقه را تشکیل داده‌اند. حفرات مشاهده شده عمدتاً کانال (۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرومتر) و حجره‌ای بوده و حفرات بی‌شکل (قطری بین ۵۰ الی ۳۵۰ میکرومتر) و صفحه‌ای در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند (جدول۵).

بی فابریک در کلیه افق‌ها کریستالیتیک بوده که ناشی از مقدار زیاد آهک در کل پروفیل‌ها (جدول ۳) و هم‌چنین وجود گچ در خاک است. بی فابریک کریستالیتیک در اثر فراوانی ذرات ریز کلسیت میکریتیک و کریستال‌های گچ حاصل شده است (۲۰). در پروفیل شماره ۱ که در رژیم اریدیک واقع شده و آبشویی محدود است، به نظر می‌رسد انتقال ذرات کلسیت به افق زیرین در دوره‌هایی با خشکی کمتر و ترسیب آن از محلول خاک در دوره خشک‌تر صورت پذیرفته است انقباض و انبساط ناشی از دوره‌های تر و خشک، انتقال کلوویال و به هم خوردگی بیولوژیکی خاک سه مکانیزم عمده برای حضور فرم تکه‌ای رس می‌باشند (۲۶). فرم تکه‌ای در نزدیکی افق سطحی پروفیل ۱ ناشی از مکانیزم به هم خوردگی خاک به علت عملیات کشاورزی و نیز فرسایش بخش عمده‌ای از این افق است.

## میکرومورفولوژی گچ

### منشأ، شکل و فرم‌های مختلف گچ در خاک‌های مورد مطالعه

در پروفیل (۱) کریستال‌های ریز گچ به مقدار زیاد و در ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میکرومتر و مقدار کمی در اندازه ۱۰۰-۴۰۰ میکرومتر مشاهده شده است (شکل ۴، الف و ب). کریستال‌های گچ عدسی شکل، عمدتاً از نوع گوشه دار(u-hedral) است که می‌تواند نشان دهنده تشکیل در جای (In-situ) گچ و عدم انتقال آن به وسیله آبشویی و یا نوسانات آب زیرزمینی باشد ضمناً در مواردی کریستال‌های گچ عدسی شکل از نوع بدون گوشه (Sub-hedral) دیده شده است. آرایش کریستال‌ها در افق‌ها به صورت تصادفی بوده و فرم مشخص در پروفیل، پرشدگی ناقص حفرات کانال وحجره‌ای است (شکل ۴، الف). پرشدگی بخشی از حفرات به وسیله کریستال‌های گوشه دار نشان دهنده حضور گچ‌های پدوژنیک است (۷). مواد آلی هر چند اندک، در تشکیل فرم عدسی شکل مؤثر می‌باشند(۹ و ۱۸). در این پروفیل مقدار مواد آلی بین ۰/۴۳ الی ۰/۷۸ درصد متغیر است. باک و وان هوزن نیز اظهار داشته‌اند که مواد آلی و میکروارگانیزم‌ها در خاک می‌توانند به تشکیل کریستال‌های گچ کمک نمایند (۵). افزایش اندازه کریستال‌ها در نزدیکی ریشه‌ها می‌تواند به وسیله دینامیک حرکت یون‌ها در فاصله بین ریشه و خاک تفسیر گردد (۱۹). در این پروفیل مقدار کل گچ بین ۰/۴۳ الی ۲/۳۶ (By) متغیر بوده است. از دید مورفولوژی اسنوبال این خاک‌ها (پروفیل ۱) در مرحله اولیه توسعه یعنی "رشته‌ای" قرار دارند. تومانیان و همکاران (۳۲) نیز گزارش نموده‌اند که در این مرحله افق ژیپسیک تشکیل نشده و کریستال‌های ریز عدسی شکل گچ در داخل حفرات ریز که دارای محلول خاک غنی از سولفات است، شکل



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**جدول ۵ . خصوصیات میکرومورفولوژیک افق‌های مورد مطالعه**

| پروفیل، افق و عمق | حفره[a] | میکرو ساختمان[b] | الگوی توزیع ذرات[c] | کانی‌های درشت[d] | بی فابریک[e] | ویژگی‌های خاکساز[f] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱- Typic Haplocambids | | | | | | |
| Ap ۰–۱۵ cm | عمدتاً کانال[۱] و کمی حجره‌ای (۱۰٪)[۲] | عمدتاً توده‌ای[۵] (۹۰٪) | پورفریک خیلی باز[۹] (۳/۷) | کوارتز[۱۳] (۶۰ –۱۰ µm) | کریستالیتیک[۱۵] | مقداری بقایای موجودات زنده[۱۶]، کمی هیپوکوتینگ آهک[۱۷](۵٪>)، تکه‌های رس[۱۸] در زمینه خاک |
| Bw cm۱۵–۵۰ | عمدتاً کانال و کمی حجره‌ای (۱۵٪–۱۰) | عمدتاً توده‌ای و کمی بلوکی بدون زاویه[۶] با تمایز ضعیف | پورفریک باز [۱۰](۳/۷) | کوارتز (۴۰ –۱۰ µm) | کریستالیتیک | ندول‌های آهک تیپیک[۱۹] به مقدار زیاد |
| By cm۵۰–۹۰ | عمدتاً کانال و کمی حجره‌ای (۳۰٪) | بلوکی بدون زاویه و گاهاً زاویه‌دار[۷] با تمایز متوسط تا خوب | پورفریک باز (۳/۷) | کوارتز (۴۰ –۱۰ µm) | کریستالیتیک | پرشدگی[۲۰] حفرات (۱۵٪–۱۰) با کریستال‌های گچ عدسی شکل[۲۱]، (ریز: µm ۶۰ –۱۰) (درشت: mm ۱ –۰/۴) |
| C cm۹۰–۱۱۵ | عمدتاً کانال و مقدار کمی حجره‌ای | عمدتاً توده‌ای | پورفریک خیلی باز (۳/۷) | کوارتز (۴۰ –۱۰ µm) و گچ (۲۰۰–۱۰۰ µm) | کریستالیتیک | پرشدگی حفرات (۵٪>) با کریستال‌های گچ عدسی شکل، (ریز: µm ۴۰ –۳۰) (درشت: µm ۲۰۰ –۱۰۰) |
| ۲- Gypsic Aquisalids | | | | | | |
| Byz cm۱۰–۳۰ | عمدتاً کانال و کمی بی شکل[۳] | غالباً توده‌ای و مقدار کمی اسفنجی[۸] | پورفریک بسته[۱۱] (۳/۷) | کوارتز و گچ | کریستالیتیک | مقداری بقایای موجودات زنده، پرشدگی متراکم و ناقص حفرات (۲۰٪–۱۰) با کریستال‌های گچ عدسی شکل، (ریز: µm ۲۰ –۱۰) |
| Byg۱ cm۳۰–۷۰ | کانال و حجره ای (۳۰٪–۲۰) و بی شکل | بلوکی بدون زاویه با تمایز ضعیف تا متوسط | پورفریک باز (۱/۹) | کوارتز | کریستالیتیک | مقدار خیلی کمی هیپوکوتینگ آهن و منگنز[۲۲] در اطراف کانال‌ها (۵٪>) |
| Byg2 ۷۰–۱۰۰ cm | عمدتاً کانال و حجره‌ای و کمی صفحه‌ای[۴] | غالباً توده‌ای و مقدار کمی بلوکی بدون زاویه با تمایز ضعیف | پورفریک باز (۴/۶) | کوارتز و گچ | کریستالیتیک | کمی کریستال‌های گچ عدسی شکل ریز در اندازه µm ۱۰۰ –۲۰ و به مقدار زیاد در ابعاد درشت تا حدود ۱ سانتی‌متر |
| ۳- Typic Endoaquepts | | | | | | |
| Ap ۰–۳۲ cm | کانال و حجره ای (۲۰٪–۱۵)، تا ۷۰ درصد کانال‌ها بوسیله گچ پر شده است. | غالباً توده‌ای و کمی بلوکی بدون زاویه با تمایز متوسط | پورفریک باز (۲/۸) و مانیک[۱۲] | عمدتاً کوارتز (۵۰ –۱۰ µm) و پوسته صدف[۱۴] (۱۰۰ µm) | کریستالیتیک | پرشدگی متراکم و نسبتاً کامل حفرات (۲۰٪–۱۰) با کریستال‌های گچ عدسی شکل، (۱۰۰ –۵۰ µm)، ندول‌های تیپیک آهن و منگنز[۲۳] (۴۰۰ –۲۰۰ µm) و کمی هیپوکوتینگ آهن و منگنز (۲۰٪–۱۵) در اطراف حفرات |

ادامه دارد.



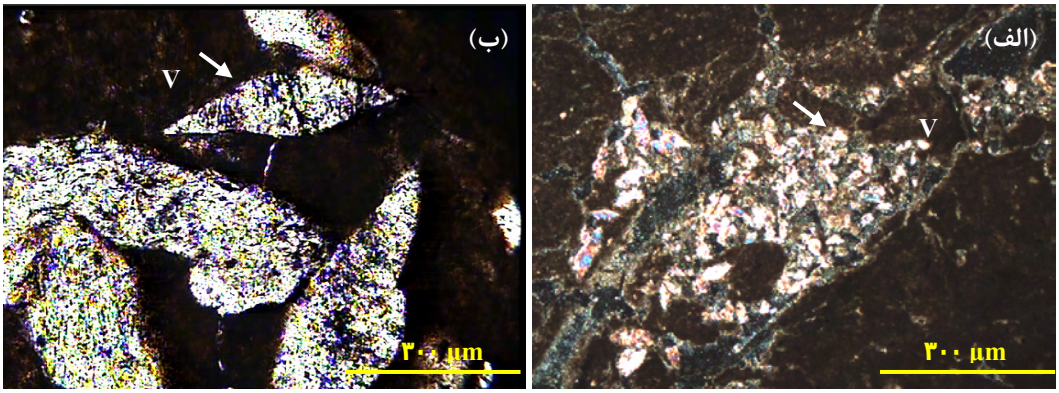
[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**ادامه جدول ۵**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Byg۱ ۳۶-۶۵ cm | غالباً کانال و صفحه‌ای و کمی حجره (۱۰٪)، تا ۸۰ درصد کانال‌ها به وسیله گچ پر شده است. | غالباً توده‌ای و کمی بلوکی بدون زاویه‌دار با تمایز خوب | پورفریک باز (۴/۶) و مانیک | مقداری کوارتز و گچ | کریستالیتیک | مقدار کمی کوتینگ گچ، پرشدگی متراکم و نسبتاً کامل حفرات (۴۰-۳۰٪ مقطع) با کریستال‌های گچ عدسی شکل، کریستال‌های بزرگ در ابعاد (۶- ۱ mm)، آرایش‌های رز شکل و بادبزنی کریستال‌های ستونی و عدسی شکل، ندول‌های تیپیک آهن و منگنز (۴۰۰ -۲۰۰ µm) و کمی هیپوکوتینگ آهن و منگنز (۲۰-۱۵٪) در اطراف حفرات |
| Byg2 ۶۵-۹۰ cm | کانال و حجره‌ای (۴۰-۳۰٪) | عمدتاً توده‌ای و مقدار کمی بلوکی بدون زاویه با تمایز ضعیف | پورفریک بسته (۳/۷) | کوارتز (۵۰-۱۰ µm) و پوسته صدف (۱۰۰ µm) | کریستالیتیک | مقدار کمی کوتینگ گچ و هیپوکوتینگ آهک، مقداری بسیار کمی بقایای موجودات زنده، پرشدگی ناپیوسته و ناقص کریستال‌های گچ (۵٪> مقطع) در اندازه (۲۰۰ µm -۵۰)، هیپوکوتینگ آهن و منگنز (۵٪> مقطع) در اطراف حفرات، |

[a] voids, [b] microstructure, [c] related distribution, [d]coarse mineral, [e]b-fabric, [f] pedofeatures
[1]channel, [2]chamber, [3]vugh, [4]plane, [5]massive, [6]sub-angular blocky, [7]angular blocky, [8]crumb, [9]double-Spaced porphyric, [10]open porphyric, [11]close porphyric, [12]monic, [13]quartz, [14]shell fragment, [15]crystallitic, [16]excrement, [17]calcite hypocoating, [18]papules, [19]typic calcite nodules, [20]infilling, [21]lenticular gypsum, [22]Fe/Mn hypocoating, [23]typic Fe/Mn nodules




**شکل ۴. الف: پرشدگی ناقص حفرات (V) به وسیله کریستال‌های گچ عدسی شکل در ابعاد ۴۰-۲۰ میکرومتر در پروفیل ۱، ب: کریستال‌های بزرگ گچ عدسی شکل گوشه‌دار در ابعاد ۴۰۰ میکرومتر در افق زیر سطحی پروفیل ۱ (در نور XPL).**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

می‌گیرند. ساختمان کریستال‌ها نیز بسیار سست، آرایش کریستال‌ها از بافت خاک و اندازه حفرات تبعیت کرده و مقدار کل گچ نیزحدود ۲٪ است. در این پروفیل (۱) سولفات منشاء آبرفتی از تشکیلات زمین شناسی، شیل و مارن که در ارتفاعات حوزه آبریز اترک واقع شده‌اند دارد. خاک منطقه از نوع شور-سدیمی بوده و سدیم می‌تواند منشاء هوادیدگی از کانی فلدسپار داشته باشد. عدم آبشویی سدیم در پروفیل ۱، ناشی از بارندگی کم است که به خاک‌های مناطق خشک نسبت داده شده است (۲۷).

در پروفیل (۲) اندازه کریستال‌ها بین ۱۰ تا۲۰ میکرومتر متغیر بوده و فرم پرشدگی نسبتاً کامل حفرات به وسیله گچ دیده شده است ( شکل ۵، الف). افزایش اندازه گچ تا ۴۰۰ میکرومتر در عمق مشاهده شده به طوری‌که تغییرات تراز آب زیرزمینی غنی از سولفات شرایط مطلوب را برای تشکیل کریستال‌های بزرگ گچ در افق‌های زیرسطحی (در دوره تبخیری) فراهم نموده است(شکل ۵، ب). در این پروفیل شواهدی از انحلال کریستال‌ها نیز وجود دارد. در منطقه، آب زیرزمینی سولفات دار است و در شرایط حضور $Ca^{2+}$ قابل تبادل درخاک، گچ به صورت پدوژنیک شکل گرفته است. مقدار کل گچ در این پروفیل بین ۴ الی ۲۲/۱ ٪ متغیر بوده است. از دید مورفولوژی اسنوبال در مرحله دوم "ندول" است. در این مرحله کریستال‌های گچ به صورت لکه‌ای (افق‌های Byg۱،۲) قابل تشخیص هستند. مقدار متوسط مواد آلی در این پروفیل ۰/۵۵ ٪ است که جهت تشکیل کریستال‌های گچ عدسی شکل و افق ژیپسیک ضروری است (۱۷). با توجه به نتایج تومانیان و همکاران این افق‌ها در مرحله سوم توسعه (تشکیل افق ژیپسیک) قرار گرفته‌اند. در این مرحله متوسط مقدار گچ باید بین ۱۵ الی ۶۰٪ متغیر بوده و فرم‌های گچ شامل لکه‌ها،کوتینگ‌ها و پرشدگی حفرات دیده شوند (۳۲).

در پروفیل (۳) کریستال‌های گچ در ابعاد ۵۰ تا ۱۰۰ و کمی ۳۰۰-۴۰۰ میکرومتر با آرایش نسبی مشاهده شده است. پرشدگی حفرات کانال به وسیله کریستال‌های عدسی و ستونی گوشه‌دار گچ، بشکل عمود بر دیواره از فرم‌های غالب است (شکل ۶، الف). در افق زیرین کریستال‌ها دارای آرایش بوده الگوی رزت (Rosset) (شکل ۶، ب) و بادبزنی (Fan shape) (شکل ۶، ج) نیز مشاهده شده است. کریستال‌های ستونی از نوع گوشه‌دار خاصه مناطق با نوسانات آب زیرزمینی است (۱۴ و ۱۷). تشکیل فرم‌های عمود بر دیواره و آرایش خاص کریستال‌های گچ دلیلی بر تشکیل درجای این کریستال‌ها بوده که اشاره به تکامل بیشتر این پروفیل نیز دارد. با افزایش عمق، اندازه کریستال‌های گچ بزرگ‌تر و ابعاد ۲ تا ۵ میلی‌متر نیز دیده می شود. مقدار میانگین کل گچ در این پروفیل اندک و بین ۰/۸ الی ۳/۸ تغییر نموده است. مقدار متوسط مواد آلی نیز حدود ۱/۲۹ ٪ بوده است. شرایط اولیه برای تشکیل گچ فراهم بوده لیکن مقدار کل گچ جهت تشکیل و تحول افق ژیپسیک فراهم نیست. این منطقه تحت کشت بوده و مقدار شاخص اقلیمی P/ETO در آن ۰/۵ می‌باشد که شرایط را برای تشکیل و پایداری افق ژیپسیک نامناسب ساخته است.

### اثر شرایط زه‌کشی بر خصوصیات کریستال‌های گچ

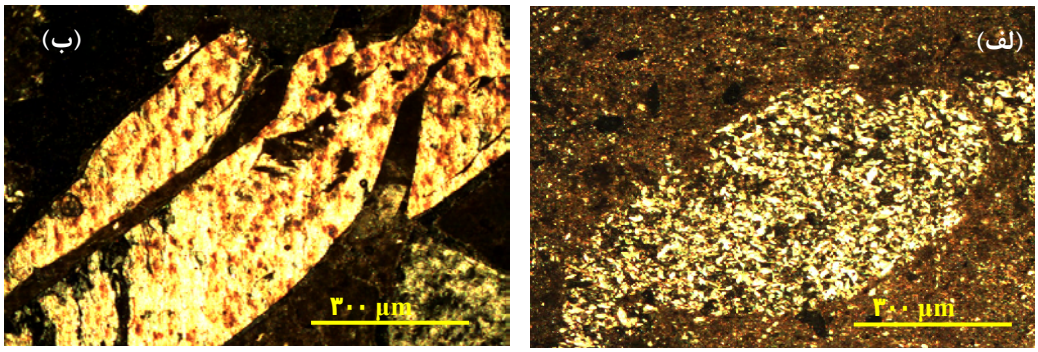
با توجه به نتایج، برای حضور و تجمع گچ، کیفیت و نوسانات آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان عامل مؤثر دیگری در نظر گرفته شود. عمق، نوسانات و کیفیت آب زیرزمینی، بر اندازه، مقدار، نوع و آرایش یافتگی کریستال‌های گچ اثر گذارده است. سولفات موجود درآب زیرزمینی به همراه نوسانات آب، شرایط را برای تشکیل و افزایش اندازه کریستال‌های گچ در افق‌های زیر سطحی فراهم نموده است.

شوری آب زیرزمینی که در پروفیل (۲) حداکثر مقدار را داراست باعث شور شدن خاک ناشی از نیروی کاپیلاری در یک دوره تبخیری شده است. شوری در شکل گیری کریستال‌های عدسی شکل مؤثر بوده است (۹). در افق‌های تحت تأثیر عمق و کیفیت آب زیرزمینی، آرایش نسبی، تنوع در شکل و فرم‌های گچ دیده شده است. در این افق‌ها اشکال عدسی، ستونی،

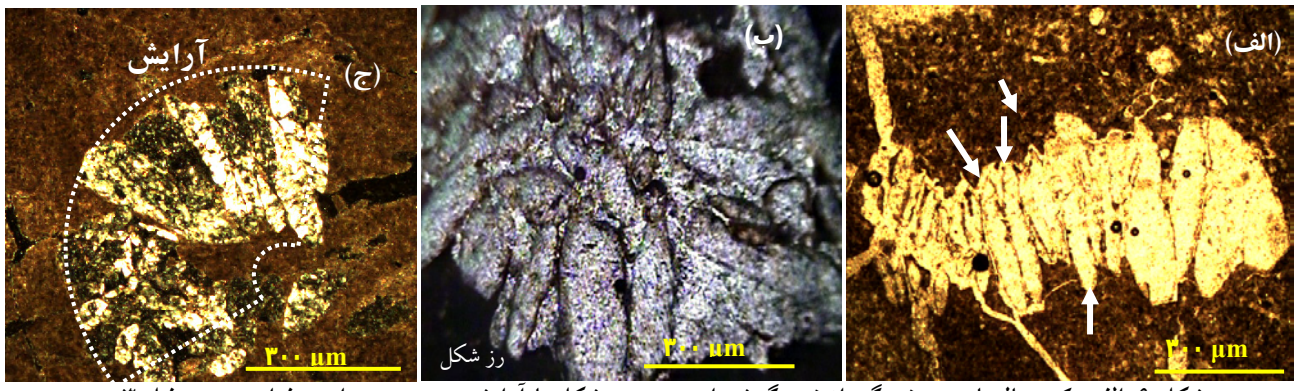


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

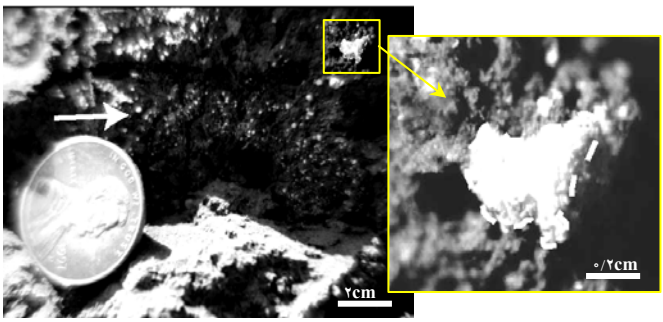
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]




**شکل۵. الف: پرشدگی نسبتاً کامل حفرات به وسیله کریستال‌های گچ عدسی شکل در ابعاد ۲۰-۱۰ میکرومتر در افق Byg۱ پروفیل ۲، ب: کریستال‌های بزرگ گچ عدسی شکل گوشه‌دار در ابعاد بیش از ۴۰۰ میکرومتر در افق Byg۲ پروفیل ۲ (در نور XPL).**




**شکل ۶. الف: کریستال‌های ستونی گچ از نوع گوشه‌دار و عدسی شکل با آرایش عمود بر دیواره حفرات در پروفیل ۳، ب: کریستال‌های گچ به شکل رز در پروفیل ۳، افق Byg۱، ج: آرایش نوع بادبزنی در پروفیل ۳، افق Byg۱، (در نور XPL).**




**شکل ۷. نمایی کلی از مورفولوژی اسنوبال (۵)**

آرایش‌های رزت و بادبزنی و فرم‌های کوتینگ و پرشدگی حفرات به وسیله کریستال‌های گوشه‌دار گچ غالب است.

### توسعه‌یافتگی گچ خاکساز بر مبنای مورفولوژی اسنوبال (Snowball)

گچ‌های پدوژنیک عدسی شکل گوشه‌دار با قطر معادل ۰/۵ الی ۱ میلی‌متر و سفید رنگ در نیمرخ پروفیل مشاهده می‌شوند (شکل۷) که به این مورفولوژی "اسنوبال" گویند (۵). لازم به ذکر است که این مورفولوژی به pH و ساختمان خاک وابسته نیست لیکن به بافت خاک ارتباط دارد. اسنوبال در بافت‌های سیلت، لوم سیلت دار، لوم شن‌دار و بافت شنی دیده شده است (۵) که با نتایج بافت خاک در افق‌های مورد مطالعه



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

**جدول ۶. درجه توسعه یافتگی افق‌های تحت تأثیر گچ**

| شماره پروفیل | افق | مقدار گچ (٪) | بافت | بی فابریک | فرم‌های دیده شده** | مورفولوژی اسنوبال |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | By | ۲/۳۶ | لوم رسی سیلت‌دار | کریستالیتیک | پرشدگی ناقص، کریستال‌های ریز منفرد | اسنوبال به مقدار زیاد، رشته‌ای |
| | C | ۰/۸۶ | لوم سیلت دار | کریستالیتیک | // | اسنوبال به مقدار زیاد، رشته‌ای |
| ۲ | Byz | ۶/۲ | لوم رسی سیلت دار | کریستالیتیک | پرشدگی کم، کریستال‌های ریز و درشت به مقدار خیلی کم | اسنوبال به مقدار کم، رشته‌ای |
| | Byg۱ | ۱۰/۲ | رس سیلت دار | کریستالیتیک | پرشدگی کامل، کریستال‌های منفرد بزرگ | اسنوبال به مقدار کم، ندول |
| | Byg2 | ۲۱/۵ | لوم سیلت دار | کریستالیتیک | // | اسنوبال به مقدار کم، ندول |
| ۳ | Ap | ۰/۸ | رس سیلت دار | کریستالیتیک | پرشدگی خیلی کم، کریستال‌های ریز و درشت به مقدار خیلی کم | اسنوبال، رشته‌ای |
| | Byg۱ | ۳/۱ | رس سیلت دار | کریستالیتیک | پرشدگی خیلی کم، کوتینگ، کریستال‌های ریز و درشت به مقدار خیلی کم | اسنوبال به مقدار کم، ندول |
| | Byg2 | ۳/۸ | رس سیلت دار | کریستالیتیک | پرشدگی کامل، کوتینگ | اسنوبال به مقدار کم، ندول |

**. اخذ شده از جدول ۵.

نیز انطباق دارد (جدول ۶). با تکامل پروفیل خاک و تجمع بیشتر گچ، مقدار اسنوبال‌ها (٪) کم می‌شود. در مرحله "رشته‌ای"، اسنوبال‌ها ۹۳٪، در مرحله "ندول" ۱۵٪ و در مرحله "توده‌ای" فقط ۴٪ اسنوبال مشاهده خواهد شد.

مطابق جدول ۶ افق‌ها به لحاظ توسعه یافتگی از دیدگاه اسنوبال کلاسه‌بندی شده‌اند که افق‌های (By, C) مربوط به پروفیل۱،Byz مربوط به پروفیل ۲ و Ap مربوط به پروفیل۳ در مرحله "رشته‌ای" و افق‌های Byg۲،۱ پروفیل ۲، Byg۱ و Byg۲ پروفیل۳ در مرحله "ندول" قرار داشته‌اند و تشکیل اسنوبال در خاک‌های مورد مطالعه، با بی‌فابریک غالب دیده شده و افق مشخصه‌ای که این مورفولوژی در آن دیده شده، رابطه مشخصی ندارد.

## نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان گفت کریستال‌های گچ مشاهده شده جدای از اندازه، شکل و فرم از نوع ثانویه به شمار آمده و غالباً از نوع گوشه‌دار بوده‌اند. مقایسه میکروساختمان خاک و اندازه کریستال‌های گچ نیز نشان داده است که ابعاد بزرگ‌تر کریستال‌ها در میکروساختمان‌های بهبود یافته دیده شده است. در خاک‌های توسعه یافته‌تر که تحت تأثیر عمق و کیفیت آب زیرزمینی بوده‌اند، آرایش نسبی، تنوع در شکل و فرم‌های گچ دیده شده است. در این افق‌ها اشکال عدسی، ستونی، آرایش‌های رزت و بادبزنی و فرم‌های کوتینگ و پرشدگی حفرات به وسیله کریستال‌های گوشه‌دار گچ غالب بوده است. از دیدگاه مورفولوژی اسنوبال در خاک‌هایی با توسعه یافتگی بیشتر (پروفیل ۳)، گچ نیر در مرحله توسعه یافته "ندول" قرار داشته است. نتایج نشان داده است که در خاک‌های متکامل‌تر فرم عمود بر دیواره حفرات غالب بوده است. هم‌چنین بین تشکیل مورفولوژی اسنوبال، بی فابریک و افق مشخصه‌ای (A، B و C) که مورفولوژی مذکور در آن شکل گرفته است، ارتباطی وجود نداشته است.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

## منابع مورد استفاده


۱. پاشایی، ع. ۱۳۷۶. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و چگونگی خاستگاه رسوب‌های لسی در منطقه گرگان و دشت. مجله علوم زمین ۶(۲۴-۳۳): ۶۷-۷۸.

2. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid condition in Iran. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 329-336.
3. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
4. Bresler. E., B. L. McNealand and D. L. Carter. 1982. Saline and Sodic Soils. Advanced Series in Agricultural Science. Springer Pub., USA.
5. Buck, B. J. and J. G. Van Hoesen. 2002. Snowball morphology and SEM analysis of pedogenic gypsum. Southern New Mexico. USA. J. Arid Environ. 51: 469-487.
6. Bullock, P., N. Federoff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina and U. Babel. 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Waine Research Publications, Wolverhampton, UK.
7. Carter, B. J. and W. P. Inskeep. 1988. Accumulation of pedogenic gypsum in western Oklahoma soils: S.S.S.A. 52: 1107-1113.
8. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. Methods of Soil Analysis. Part 2: *In*: Black, C. A. (Ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
9. Cody, R.D. 1979. Lenticular gypsum: occurrences in nature, and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation. J. Sedimentary Petrol. 49: 1015-1028.
10. Cody, R.D. and A. M. Cody. 1988. Gypsum nucleation and crystal morphology in analog saline terrestrial environments. J. Sediment. Petrol. 58: 247-255.
11. Day, R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. PP: 545-566. *In*: C. A. Black *et al*, (Ed.), Methods of Soil Analysis. Ser. No 9 ASA. Madison, WI.
12. Doner, H. E. and C. L. Warren. 1989. Carbonate, halide, sulfate minerals. *In*: Dioxin, J. B., Weed, S. B. (Eds.), Minerals in Soil, Environments. 2nd ed., SSSA Pub., Madison, WI. USA.
13. Dultz, S. and P. Kühn. 2005. Occurrence, formation and micromorphology of gypsum in soils from the Central German Chernozem Region. Geoderma 129: 230– 250
14. Eswaran, H. and G. Zi-Tong. 1991. Properties, genesis, classification and Distribution of soils with gypsum. *In*: Nettleton. W.D. (Ed.). Occurrence, Characteristics and Genesis of Carbonate, gypsum and Silica Accumulations in soils. S.S.S.A Special Publication No. 26: 89-119.
15. Farpoor, M.H., Khademi, H., M.K. Eghbal and H.R. Krouse. 2004. Mode of gypsum deposition in southeastern Iranian soils as revealed by isotopic composition of crystallization water, Iran. Geoderma 121: 233– 242.
16. Hoesen, J.G. 2000. Pedogenic Gypsum in Southern New Mexico: Genesis, Morphology and Stable Isotopic Signature, MS thesis, Las Vegas, University of Nevada Las Vegas 182 p.
17. Jackson, M. L. 1975. Soil Chemical Analysis. Advanced Course. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, Wisconsin, USA.
18. Jafarzadeh, A.A. and C.P. Burnham. 1992. Gypsum crystallization in soils. J. Soil Sci. 43(3): 409– 421.
19. Johns, W. D., R. E. Grim and W. F. Bradley. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. J. Sediment Petrol. 24: 242-251.
20. Jungk, A. O. 1996. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. PP. 529-556. *In*: A. Waisel, Y., Eshel. U. Kafkafi, (Eds.), Plant-Roots the Hidden Half, 2nd ed, Marcel Dekker.
21. Kemp, R. A., P. S. Toms, J. M. Sayago, E. Derbyshire, M. King and L. Wagoner. 2003. Micromorphology and OSL Dating of the basal part of the loesso soil sequence at La Mesada in Tucuman province, Northwest Argentina, Quarter. Intl. 106: 111-117.
22. Khresat, S. A. and E. A. Qudah. 2006. Formation and properties of aridic soils of Azraq Basin in northeastern Jordan. J. Arid Environ. 64: 116-136.
23. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Sci. 96: 312-325.
24. Kubiena, W. L. 1938. Micropedology. Collegiate Press, Ames, IA.
25. Mahjoory, R. A. 1975. Clay mineralogy, physical and chemical properties of some soil in arid region of Iran. Soil Sci. Soc. Am. J. 39:1157-1164.
26. Mc Carthy, P. J., I. P. Martini and D. A. Leckie. 1998. Use of Micromorphology for paleoenviromental interpretation of complex alluvial paleosols: An example from the Mill Creek (Albian), Southwestern Alberta, Canada. Paleogeog., Paleoclim., Paleoecol. 143: 87-110.
27. Mzezewa, J., J. Gotosa and B. Nyamwanza. 2003. Characterization of a Sodic soil catena for reclamation and




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]

improvement strategies. Geoderma 113: 161-175.
28. Nettleton, W.D. 1991. Occurrence, Characteristics and Genesis of Carbonate, Gypsum, and Silica Accumulations in Soils. SSSA Pub., USA.
29. Page, M. C., D. L. Sparks, M. R. Noll and G. J. Henndricks. 1987. Kinetics and mechanism of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. Soil. Soc. Am. J. 51: 401-408.
30. Podwojewski, P. and M. Arnold. 1994. The origin of gypsum in Vertisols in New Caledonia determined by isotopic composition of sulfur. Geoderma 63: 179-195.
31. Taimeh, A. Y. 1992. Formation of gypsic horizons in some arid regions of Jordan. Soil Sci. 153: 486-498.
32. Toomanian, N., A. Jalalian and M.K. Eghbal. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. Geoderma 99(3): 99– 224.
33. Toulkeridis, T., P. Podwojewski and N. Clauer. 1998. Tracing the source of gypsum in New Caledonian soils by REE contents and S-Sr isotopic compositions. Chem. Geol. 145: 61-71.
34. Sadeghi, A. R., A. A. Kamgar-Haghighi, A. R. Sepaskhah, D. Khalili and S. Zand-Parsa. 2002. Regional classification for dry land agriculture in southern Iran. J. Arid Environ. 50: 333-341.
35. Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook Vol. 18 US Gov. Printing Office, Washington, DC.
36. Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil Taxonomy. U. S. Department of Agriculture, Natural Recourses Conservation Service.
37. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of soil and Regolith Thin Sections. SSSA, Madison, WI.
38. Viani, B. E., A. S. Al. Mashhady and J. B. Dixon. 1983. Mineralogy of central alluvial basins. Soil. Sci. Soc. Am. J. 47: 149-157.
39. World Reference Base for Soil Resources (WRB). 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.51.13.6 ]