فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶
ص ۱-۱۴

بررسی الگوی تجمع رسوبات کواترنر مسیر رودخانه‌های دیرین کرج و شور در دشت تهران و کرج با استفاده از مطالعات ژئوالکتریکی

سید حسن صدوق؛ دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
محمدمهدی حسین‌زاده؛ دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
خلیل رضایی؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
سمیرا چزغه*؛ دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۱

چکیده

مطالعات رسوبات آبرفتی کواترنر از جنبه‌های مختلف اهمیت فراوانی دارد. هدف از این پژوهش بررسی ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی رسوبات آبرفتی کواترنر در قسمتی از دشت تهران و کرج به‌روش توصیفی- تحلیلی و با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی به‌روش ژئوالکتریکی است. بدین‌منظور، بر اساس مشخصات دشت و وضعیت زمین‌شناسی تهران و کرج، نخست مرز لایه‌های آبرفت و سنگ بستر، با استفاده از مقادیر مقاومت الکتریکی به‌دست‌آمده از تفسیرها مشخص شد. در مرحلهٔ بعد، پروفیل‌های منفک‌شده بر اساس جنس لایه‌ها، با استفاده از GIS بر خطوط پیمایش اصلی در دشت منطبق و برای هر یک از نقاط سونداژ، ضخامت و مقاومت الکتریکی لایه‌های زیرسطحی تعیین شد. برای تفسیر از تحلیل نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هم‌ضخامت آبرفت و نقشه‌های پیزومتری استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق، ساختار ناودیس‌شکل کشیده بین رودخانهٔ شور و کرج را نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر کم مقاومت ویژه در درون این ناودیس کشیده و تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی، احتمالاً این ناودیس مسیر قدیمی رودخانهٔ شور است که در گذشته در قسمت‌های شمالی‌تر دشت جریان داشته است. به‌علاوه، مورفولوژی سنگ بستر در انتهای دشت تهران فررفتگی چاله‌مانندی را نشان می‌دهد که از اطراف با برآمدگی سنگ‌بستر محاط شده است و شیبی به سمت جنوب‌شرق دارد.

کلیدواژه‌ها: رسوبات کواترنر، رودخانهٔ شور، ژئوالکتریک.

مقدمه

کواترنری بخشی از تاریخ تکوین زمین است که تا دو میلیون سال پیش را دربرمی‌گیرد. رسوبات کواترنر بستر فعالیت‌های بشری محسوب می‌شود و اهمیت خاصی دارد. بررسی این رسوبات نیازمند پژوهش‌هایی همه‌جانبه در این زمینه است.

به‌طور کلی، آبرفت‌های کواترنری در ایران عمدتاً از نوع مخروط‌افکنه‌ای است. مخروط‌افکنه‌ها غالباً اشکال آبرفتی مثلثی‌شکل دوران چهارم است که در محل ورود آبراهه یا رودخانه‌ها به داخل سطوح تقریباً هموار دشت‌ها شکل می‌گیرد (هاگت، ۲۰۰۳). در رأس مخروط[1] کانالی وجود دارد که رسوبات آواری را از مرتفع‌ترین نقطهٔ کوهستان به طرف دشت می‌آورد. در نتیجه، این رسوبات در مقطع طولی به فرم معقر و در مقطع عرضی به شکل محدب است که در سطح آن بریدگی‌های رودخانه‌ای دیده می‌شود (موسوی حرمی، ۱۳۶۷). کانال‌های اصلی روی مخروط‌افکنه‌ها بعد از خروج از

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۹۳۱۶۴۴۲۸
Email: chsamira59@gmail.com

1. apex

کوهستان به‌علت کاهش شیب و در نهایت کاهش آستانهٔ شیب، برای تمرکز به‌صورت واگرا پخش می‌شود و روی مخروط‌افکنه گسترش می‌یابد (جریان‌های گیسویی یا سرگردان). نکتهٔ جالب توجه اینکه جریان‌های مذکور پیوسته تغییر مسیر می‌دهد و مسیر جدیدی را روی مخروط‌افکنه طی می‌کند. اغلب علت این تغییر مسیر، رسوبگذاری روی بستر کانال‌های مذکور است که بعد از مدتی سطح بستر را بالا می‌آورد و موجب تغییر جریان‌ها می‌شود یا اینکه سیلاب شدیدی به چنین حالتی می‌انجامد (بول، ۱۹۷۷).

طی دوره‌های زمانی طولانی، کانال‌ها به‌منظور حفظ شکل و موقعیت مخروط‌افکنه، در تمامی سطح مخروط باید تغییر مسیر دهد. در روند تکامل، سطوح متفاوت مخروط‌افکنه‌ها با جابه‌جاشدن محل فرسایش و تراکم تشکیل می‌شود که از اساسی‌ترین مشخصه‌های تشکیل مخروط‌افکنه است. به این ترتیب، با تشکیل اولین سطح مخروط‌افکنه، با تغییرات به‌وجود آمده و جابه‌جاشدن کانال اصلی و تغییر شیب، سطح دوم و در نهایت سطح سوم مخروط‌افکنه ایجاد می‌شود (مقصودی و محمدنژاد آروق،۱۳۹۰: ۸۰).

نهشته‌های آبرفتی ایران، به‌جز در برخی مناطق خاص، با وجود گستردگی بسیار زیاد، کمتر مورد مطالعهٔ دقیق و عمقی قرارگرفته است. این نهشته‌ها محل اصلی استقرار بسیاری از نقاط مسکونی، صنعتی و گاه راهبردی است و از دیدگاه منابع آب زیرزمینی و معادن قرضهٔ شن و ماسه نیز اهمیت زیادی دارد. لذا، بررسی رسوبات آبرفتی یکی از ارکان اساسی در این زمان است و اهمیت بسیاری دارد. در این پژوهش سعی شده است تا ویژگی‌های نهشته‌های آبرفتی در جنوب بلندی‌های البرز، در دشت‌های تهران، کرج و شهریار بررسی شود.

آبرفت‌های تهران، برخلاف بسیاری از نقاط ایران، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده و تاکنون مطالعات قابل‌توجهی برای شناخت آن صورت پذیرفته است. این رسوبات را نخستین‌بار ریبن (۱۹۵۵) بین سال‌های ۱۹۵۳ تا ۱۹۶۶ بررسی کرد. بعدها افرادی نظیر هوبر (۱۹۶۰)، دلنباخ، آلنباخ و انگلند (۱۹۶۸)، و ویتافینزی در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۶ بررسی‌هایی در این زمینه انجام دادند.

در سال‌های اخیر نیز پژوهش‌های زیادی در رابطه با وضعیت زیرسطحی در دشت‌های شهریار، کرج و هشتگرد انجام شده است. در پژوهشی با استفاده از تصاویر رادار به بررسی و علت‌یابی فرونشست جنوب‌غرب تهران در دشت شهریار پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که علت اصلی فرونشست، افت شدید سطح آب زیرزمینی و ضخامت زیاد نهشته‌های ریزدانه است (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). در پژوهشی دیگر، رسوبات کواترنری دشت شهریار با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی، بافت و ساخت رسوبی و شواهد زیرسطحی بررسی شد. در نهایت، محیط رسوبی دشت شهریار با استفاده از روش‌های مذکور تعیین گردید (فیاضی و همکاران، ۱۳۷۹).

مطالعهٔ ویژگی‌های رسوبات مخروط‌افکنه‌ای دشت هشتگرد موضوع مورد بررسی دیگری است که در آن از طریق مطالعات دانه‌بندی و دانه‌سنجی، ویژگی‌های رسوبی دشت هشتگرد بررسی شد و جهت جریان‌های دیرینه با استفاده از مطالعات رسوب‌شناسی و عملیات میدانی به‌دست آمد (نویدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱).

از لحاظ بررسی‌های ژئوتکنیکی می‌توان به تحقیقات پدرامی (۱۳۵۷)، بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، امینی (۱۳۷۳)، نقیبیان (۱۳۷۵)، جعفری و کشاورز (۱۳۸۰)، ملکی (۱۳۸۱)، پهلوان (۱۳۸۱)، اسپهبد (۱۳۷۱)، حائری و همکاران (۱۳۸۲)، چشمی و همکاران (۱۳۸۷)، و قنبری (۱۳۸۸) اشاره کرد که هر یک به تشریح ویژگی‌های ژئوتکنیکی آبرفت تهران پرداخته‌اند. مطالعات ژئوفیزیکی برای آگاهی از وضعیت زیرسطحی دشت تهران– کرج را برای نخستین‌بار کمپانی ژنرال ژئوفیزیک به‌طریقهٔ ژئوالکتریکی از سال ۱۳۴۳–۱۳۴۶ در سه مرحله انجام داد. همچنین، در دشت تهران در سال ۱۳۶۴ واحد مهندسی آب و خاک جهاد سازندگی تعداد ۳۵۸ سونداژ الکتریکی در راستای ۲۴ پروفیل با طول فرستندهٔ جریان حداکثر ۴۰۰۰ متر مکمل مطالعات قبلی انجام داد.

در این پژوهش سعی شده است تا روند رسوبگذاری در دشت‌های تهران و کرج با علوم نوینی همچون مطالعات ژئوفیزیکی و تلفیق آن با علوم دیگر بررسی و تحلیل شود. در واقع، با بررسی ساختار زمین‌شناسی و تعیین عمق و وضعیت توپوگرافی پی‌سنگ از طریق مطالعات ژئوفیزیکی، در مناطقی همچون تهران که بر اثر تراکم ساخت‌وساز موانع بسیاری سرراه بررسی‌های مستقیم وجود دارد، می‌توان علاوه‌بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه، بستر مناسبی برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در طرح‌های عمرانی و زیربنایی آتی فراهم کرد.

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین داده در این تحقیق، پروفیل‌های ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریکی و تفسیر این داده‌ها با علوم دیگر مربوط به زمین است. در این پژوهش از ۵۵۱ سونداژ الکتریکی قائم با آرایش شولومبرژه در راستای ۲۹ پروفیل با راستای جنوب‌غربی- شمال‌شرقی استفاده شده است (کمپانی ژنرال ژئوفیزیک و واحد مهندسی آب و خاک جهاد سازندگی). از آنجا که برداشت‌های ژئوالکتریکی[۱] به فرمت خطی و دیجیتال بود، برای پردازش و تحلیل آن‌ها، نخست لازم بود تا این پروفیل‌ها در نرم‌افزار GIS ژئورفرنس شود. به‌علاوه، برای میان‌یابی و ساخت مدل ارتفاعی (DEM) از سنگ بستر نیاز به رقوم ارتفاع نیز بود. برای به‌دست آوردن مختصات و ارتفاع، خطوط ترسیمی پروفیل‌ها به‌صورت نقطه درآمد و از طریق رابطه‌های زیر تمامی نقاط دارای مختصات و ارتفاع شد. با استفاده از رابطهٔ (۱) و (۲)، اختلاف هر نقطه از ابتدای پروفیل را در اختلاف واقعی ابتدا و انتهای پروفیل ضرب می‌کنند و نتیجه بر اختلاف مجازی ابتدا و انتهای پروفیل تقسیم می‌شود. بدین‌ترتیب، اختلاف هر نقطه از ابتدای پروفیل به‌دست می‌آید.

$$\Delta X = \frac{\Delta x_{i_F} \times \Delta x_{_R}}{\Delta x_{_F}} \qquad (۱)$$

$$X = x_{max\text{-}R} - \Delta X \qquad (۲)$$

که ΔX فاصلهٔ Xهای واقعی تا انتهای پروفیل، $\Delta X_{i\text{-}F}$ برابر است با فاصلهٔ X مجازی هر نقطه از انتهای پروفیل و $x_{max\text{-}R}$ برابر است با X حقیقی انتهای پروفیل.

با استفاده از رابطهٔ (۳) نیز اختلاف ارتفاع هر نقطه از عمق به‌دست آمد.

$$h_i = \Delta h_i + h_{min} \qquad (۳)$$

که Δh_i برابر است با اختلاف ارتفاع هر نقطه نسبت به عمق پروفیل و h_{min} برابر است با بیشترین عمق پروفیل. در این رابطه با جمع کمترین ارتفاع پروفیل‌ها با اختلاف ارتفاع هر نقطه با کمترین ارتفاع، ارتفاع واقعی هر نقطه به‌دست آمد.

در مرحلهٔ بعد، برای مشخص‌کردن جنس لایه‌ها با استفاده از رقوم مقاومت ویژهٔ حقیقی که در واقع حاصل تعبیر و تفسیر ارقام مقاومت‌های ویژهٔ الکتریکی ظاهری است و در هر محدودهٔ مطالعاتی منحصر به شرایط و خصوصیات زمین‌شناسی، مشخصات فیزیکی- شیمیایی آبرفت‌ها و به‌طور کلی، وضعیت هیدروژئولوژیکی و کیفیت منابع آب است، جنس لایه‌ها تفکیک شد. حدود و دامنهٔ تغییرات مقاومت ویژهٔ حقیقی لایه‌ها که با اهم‌متر سنجیده می‌شود در محدودهٔ مورد مطالعه بسیار زیاد و از کمتر از ۱ اهم‌متر تا بیش از ۷۰۰ اهم‌متر می‌رسد. بنابراین، برای تفسیر آن‌ها از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تهران، کرج و رباط‌کریم استفاده شد و دو لایهٔ آبرفت و سنگ بستر تفکیک گردید. مشخصات آن به جدول اطلاعات توصیفی در محیط ARC MAP وارد و در نهایت هر یک از نقاط ژئورفرنس‌شده، دارای ارتفاع، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و جنس لایه (لایهٔ آبرفت و سنگ بستر) شد. در مرحلهٔ آخر نقاطی که بر اساس جنس، در مرحلهٔ قبل تفکیک شده بود، بر اساس ارتفاع میان‌یابی شد و لایهٔ رستری مورفولوژی سنگ بستر به‌دست آمد.

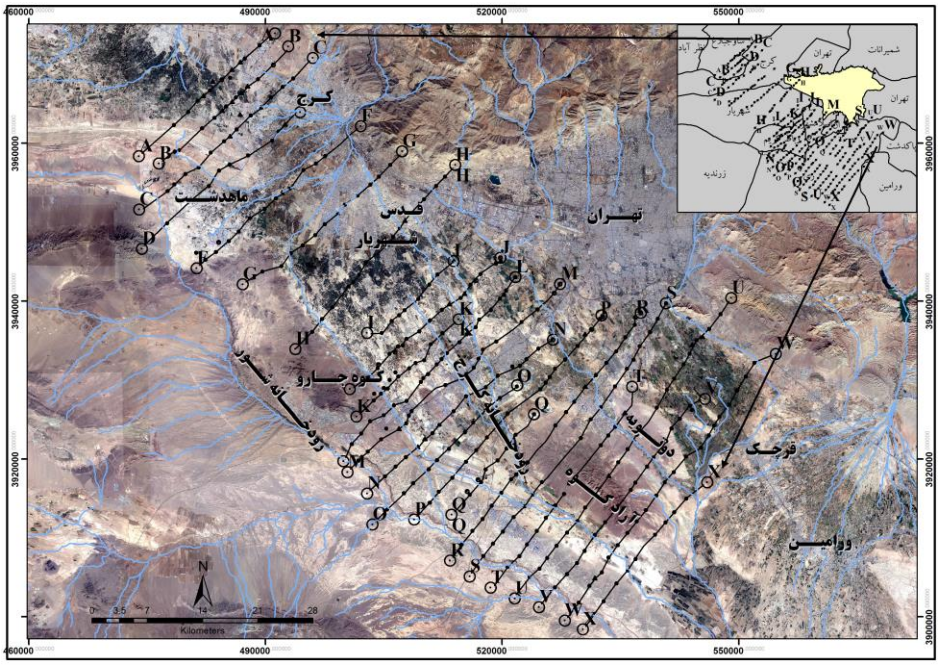
برای تحلیل بهتر نقشه‌ای که از نتایج سوندژهای ژئوالکتریکی به‌دست آمده بود از بررسی‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و ضخامت آبرفت‌های منطقه نیز استفاده شد. نقشه‌های ژئومورفولوژی منطقه بر اساس نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجندهٔ TM و نقشهٔ شیب در نرم‌افزار Arc Gis تهیه شد.

برای مطالعهٔ آب‌های زیرزمینی از آمار مربوط به قرائت ۸۱ حلقه چاه پیزومتری در سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۳ استفاده شد. با عملیات میان‌یابی این آمار در نرم‌افزار Arc GIS، نقشهٔ پیزومتری تهیه شد. با استفاده از منحنی‌های الکتریکی حاصل از سوندژهای ژئوالکتریکی و تفسیر لایه‌های زیرزمینی موجود در محل هر سونداژ به‌واسطهٔ مقاومت الکتریکی

۱. این برداشت‌ها به‌صورت نیم‌رخ‌های مقاومت ویژهٔ الکتریکی از سازمان آب، به‌صورت فایل اتوکد دریافت شد.

آن‌ها، همچنین تلفیق این داده‌ها با داده‌های زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از لوگ چاه‌ها، الگوی آبراهه‌ها، تکتونیک و ضخامت آبرفت در محدودهٔ مورد مطالعه، نقشه‌های هم‌ضخامت آبرفت بررسی و تفسیر شد.

محدودهٔ مورد مطالعه در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی، در قسمتی از جنوب‌غربی نقشهٔ زمین‌شناسی تهران در دشتی در کنار دشت‌های تهران و کرج قراردارد و از لحاظ جغرافیایی بین مدار ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۵ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقهٔ عرض شمالی واقع شده است. این محدوده از شمال به هشتگرد، از شمال‌شرق به کوه‌های البرز، از شرق به شهر تهران، از جنوب به ورامین و مخروط‌افکنهٔ جاجرود، از جنوب‌غرب به سیاه‌کوه و از غرب به رودخانهٔ شور منتهی می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. نقشهٔ محدودهٔ مورد مطالعه و مسیر پروفیل‌ها و سوندژهای ژئوالکتریکی

این محدوده از دیدگاه زمین‌شناختی در واحد مرکزی منطقهٔ[1] البرز قراردارد. این واحد از شمال به جنوب به چهار بخش تقسیم می‌شود.

۱. البرز مرتفع. متشکل از سنگ‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترسیر که به‌واسطهٔ فازهای مختلف کوهزایی، چین‌خوردگی‌های شدیدی در آن‌ها صورت پذیرفته و روی هم رانده شده است. به‌همین دلیل، این بخش ارتفاع زیادی دارد.

۲. چین‌های حاشیه‌ای. به‌طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری سازند کرج متعلق به ائوسن تشکیل یافته است. گسل مشاء- فشم مرز البرز مرتفع و چین‌های حاشیه‌ای محسوب می‌شود.

۳. کوهپایه و دشت. این بخش از نهشته‌های آبرفتی از فرسایش شدید البرز در راستای گسل‌های گوناگون به‌وجود آمده است. کوهپایه به‌طور نسبی از نهشته‌های قدیمی (پلیوسن و پلیوپلئیستوسن) تشکیل شده است و نفوذپذیری متوسطی دارد. به‌سمت جنوب، دشت با نهشته‌های آبرفتی جدید (کواترنر) قراردارد. این نهشته‌ها تا کنارهٔ کویر جنوب تهران گسترش یافته است. این آبرفت‌ها، به‌دلیل نفوذپذیری بالایی که دارد با دربرگرفتن آبخوان‌های گسترده و مهم، اهمیت ویژه‌ای دارد.

۴. آنتی البرز. این بخش به تپه‌ماهورها و کوه‌های کم‌ارتفاع شرق تهران مانند ارتفاعات سه‌پایه (سپاهیه) گفته می‌شود (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). در فرونشینی که در امتداد حاشیهٔ جنوبی کوه‌های البرز در ناحیهٔ تهران

1. zone

تکامل یافته، سازندهای آبرفتی مختلفی تشکیل شده است. این آبرفت‌ها را در نواحی دامنه‌ای و پست سیلاب‌هایی برجاگذاشته‌اند که در اواخر دوران سوم و هم‌زمان با برپایی ارتفاعات البرز از این ارتفاعات سرچشمه گرفته‌اند. این رسوبات را نخستین‌بار ریبن بررسی کرد و همهٔ بررسی‌کنندگان کم‌وبیش تقسیم‌بندی او را به‌کار برده‌اند که به چهار بخش به نام A، B، C، D تقسیم می‌شود. سازند A قدیمی‌ترین و D جدیدترین محسوب می‌شود (نقل از بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

از این محدوده چندین رود دائمی و فصلی می‌گذرد که مهم‌ترین آن‌ها به این شرح است:

رود دائمی کرج. این رودخانه پرآب‌ترین رود دامنه‌های جنوبی البرز است و در ۴۰ کیلومتری غرب تهران از کانون آبگیر خرسنگ‌کوه سرچشمه می‌گیرد و در ادامهٔ مسیر خود به‌سمت جنوب، شاخه‌های متعددی، به‌ویژه از کرانهٔ شرقی رود، به آن می‌پیوندد. این رودخانه با جهت جنوب‌شرقی به طول ۲۴۵ کیلومتر در شرق محدودهٔ مورد مطالعه جریان دارد.

رود شور. این رودخانه که از استان زنجان سرچشمه گرفته است، پس از عبور از استان قزوین و جنوب‌غرب استان تهران و شهرستان زرندیه، به شهرستان ری می‌رسد. شاخه‌های مشهور آن عبارت است از خررود، ابهررود، کردان، و سرود. این رود دائمی ۴۲۰ کیلومتر طول دارد و در بخشی از شهرستان ری به‌موازات رود کرج و در جنوب آن و با فاصلهٔ متوسط ۱۰ کیلومتری جریان دارد و با قوس بزرگ راستگردی از فشاپویهٔ ری خارج و به دهستان قمرود شهرستان قم وارد می‌شود و در نهایت به شوره‌زار شرق حوض سلطان قم می‌ریزد (جعفری، ۱۳۸۴: ۳۰۷).

یافته‌های پژوهش

نتایج اولیهٔ حاصل از تحقیق نشان‌دهندهٔ فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌هایی در تمامی پروفیل‌های محدودهٔ مورد مطالعه و ناشی از نحوهٔ نهشته‌گذاری رودخانه‌های جاری روی مخروط‌افکنه در محدودهٔ مورد مطالعه است. مهم‌ترین فرضیه‌ها در رابطه با این فرورفتگی‌ها در این پژوهش بدین قرار است:

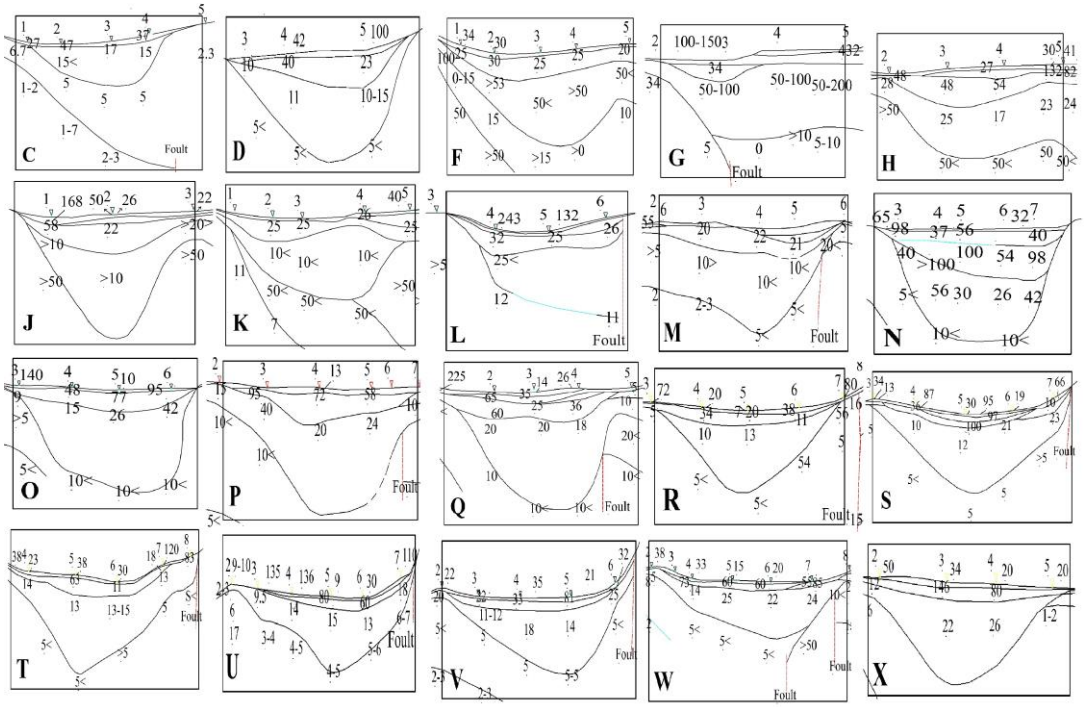
فرض نخست. به‌نظر می‌رسد وجود ناودیس کشیده‌ای در زیر سطح زمین، بین رودخانهٔ شور و کرج، مسیر اولیهٔ رودخانهٔ شور بوده است نه کرج و احتمالاً مسیر اولیهٔ رودخانهٔ شور از جنوب ملارد و حاشیهٔ مخروط‌افکنهٔ فعلی کرج می‌گذشته است.

فرض دوم. به‌نظر می‌رسد با توجه به شیب شمال‌غرب به جنوب‌شرق دشت تهران، آب‌های زیرزمینی در انتهایی‌ترین نقطهٔ خود در جنوب‌شرق تهران تجمع می‌کند و این آب‌ها از تنها راه خروجی خود خارج می‌شود که باریکه‌ای به سمت قرچک ورامین است.

تحلیل فرضیهٔ نخست

با توجه به فرضیهٔ نخست و ردیابی مسیر رودخانهٔ شور، این فرضیه از چهار منظر بررسی می‌شود، شامل تحلیل داده‌های ژئوالکتریکی، مورفولوژی سطحی، زمین‌شناسی و تکتونیکی.

داده‌های ژئوفیزیکی در محدودهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که روی سنگ بستر در قسمت جنوب پروفیل‌های C تا X فرورفتگی نامتقارنی در تمامی پروفیل‌ها به‌دنبال هم وجود دارد که قسمت عمیق آن به طرف شمال است (شکل ۲). قرارگیری متوالی این پروفیل‌ها با استفاده از میان‌یابی ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار GIS نشان‌دهندهٔ ناودیسی کشیده است. داده‌های ژئوالکتریکی همچنین نشان می‌دهد که در پروفیل C میزان مقاومت ویژهٔ الکتریکی در لایهٔ روی سنگ بستر بین ۱۵ تا ۱۷ اهم‌متر است و در رسوبات بالاتر افزایش می‌یابد و بین ۲۷ تا ۴۷ اهم‌متر متفاوت است. در پروفیل D که تقریباً از حاشیهٔ مخروط‌افکنهٔ ماهدشت می‌گذرد مقاومت رسوباتی که ناودیس را پرکرده‌اند بین ۱۰ تا ۱۵ اهم‌متر است و به‌طرف سطح بر مقاومت رسوبات افزوده می‌شود، به‌طوری که رسوبات دارای مقاومت بین ۴۲ اهم‌متر و در دو طرف تاقدیس‌ها به ۱۰۰ در شمال و ۱۲۰ در جنوب تغییر می‌کند. قسمت جنوبی پروفیل F دارای مقاومت ویژهٔ الکتریکی بین ۵۰ تا ۵۳ اهم‌متر است و به‌طرف شمال یکباره مقاومت رسوبات به ۲۰۰ تا ۲۵۰ تغییر می‌کند.

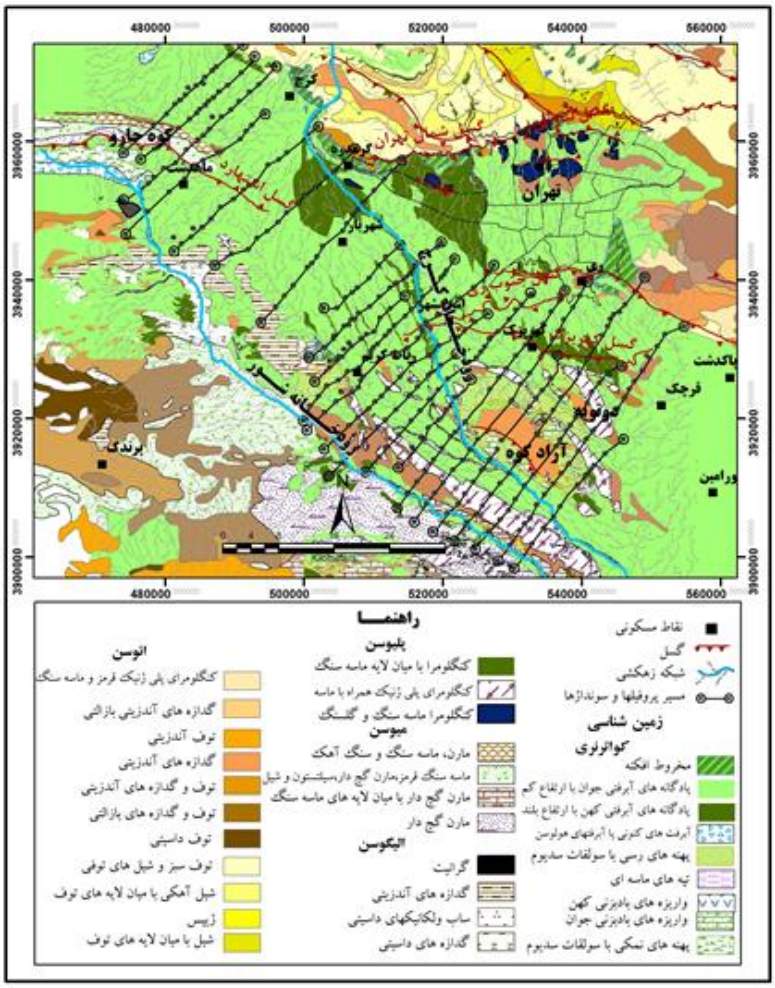


شکل ۲. قسمتی از پروفیل‌های ژئوالکتریکی که فرورفتگی نامتقارن را در خط پیمایش‌های C تا X نشان می‌دهد

به‌طور کلی، مقادیر مقاومت ویژه در تمامی پروفیل‌ها نشان می‌دهد ناودیس اصلی مقادیر پایین‌تری دارد که مسیر احتمالی و قدیمی رودخانهٔ شور است، در حالی که با عبور از چالهٔ اصلی و نزدیک‌شدن به حوضهٔ رودخانهٔ کرج، مقاومت‌ها در لایه‌های سطحی و زیرسطحی افزایش می‌یابد، زیرا رسوبات مخروط‌افکنه در وهلهٔ نخست به ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضهٔ آبریز آن بستگی دارد (مقصودی و محمدنژاد آروق، ۱۳۹۰: ۱۴۳). رودخانهٔ کرج از توفیت‌های سبز ائوسن (سازند کرج) عبور می‌کند، در حالی که رودخانهٔ شور از سازندهای دوران میوسن می‌گذرد (شکل ۳). به‌علاوه، رودخانهٔ شور که از کوه‌های استان زنجان سرچشمه می‌گیرد مسیر طولانی‌تری را نسبت به رودخانهٔ کرج طی می‌کند. بنابراین، رسوبات آبرفتی روخانهٔ کرج درشت‌دانه‌تر و دارای مقاومت بیشتری است.

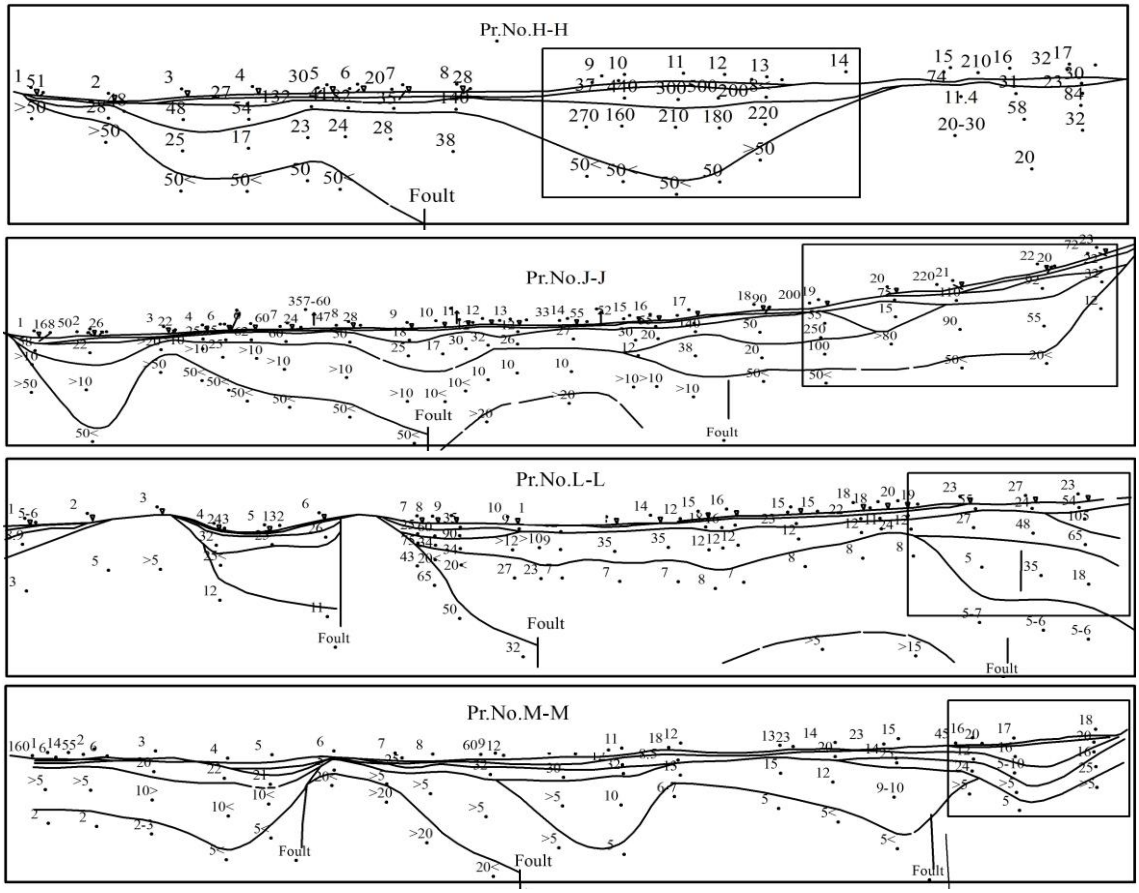
البته، همان‌گونه که از شکل ۴ نیز مشخص است، در پروفیل‌های H-J-L-M، که سونداژها محدودهٔ رودخانه‌های غرب تهران را نیز پوشش می‌دهد، ناودیس‌هایی با رسوبات درشت‌دانه (با اهم‌مترهای بالا) دیده می‌شود که ناشی از رسوبگذاری رودخانه‌های تهران (کن و چیتگر) است. درشت‌دانه‌بودن آن‌ها نشان‌دهندهٔ نزدیکی این نهشته‌ها به منشأ خود است (شکل ۴).

از دیدگاه ژئومورفولوژیکی، چنین به‌نظر می‌رسد که نخست رودخانه‌های جاری روی مخروط‌افکنهٔ کرج بعد از گردنهٔ بیلقان از شمال‌شرق به جنوب‌غرب جریان داشته است که محل خروج رودخانه از کوهستان، همچنین ابتدای مخروط‌افکنهٔ کرج است و نخست مخروط‌افکنهٔ کرج (مخروط‌افکنهٔ قدیمی که شهر کرج روی آن قرارگرفته است) را به‌وجود آورده است و در گذر زمان، با تغییر مسیرهای پی‌درپی، به‌طرف جنوب تغییر مسیر داده تا جایی که رسوبات خود را در ناحیهٔ ماهدشت برجای گذاشته است. مخروط‌افکنهٔ ماهدشت در جنوب ارتفاعات رشته‌کوه‌های البرز و در غرب مخروط‌افکنهٔ جدید کرج قرارگرفته و در واقع بین مخروط‌افکنهٔ قدیمی و جدید کرج است. همچنین، تپه‌ماهورهایی در شمال آن قرارگرفته است. وجود تپه‌ماهورها روی سازندهای دوران سوم و کواترنر معرف حرکات تکتونیکی است و این خود شاهدی است بر تحول مخروط‌افکنهٔ ماهدشت. به‌علاوه، در قسمت جنوب‌غربی نیز کوه‌های جارو و کردکوه قراردارند که به‌صورت رشته‌کوهی از غرب ماهدشت آغاز می‌شوند و تا اشتهارد و پس ازآن امتداد می‌یابند.

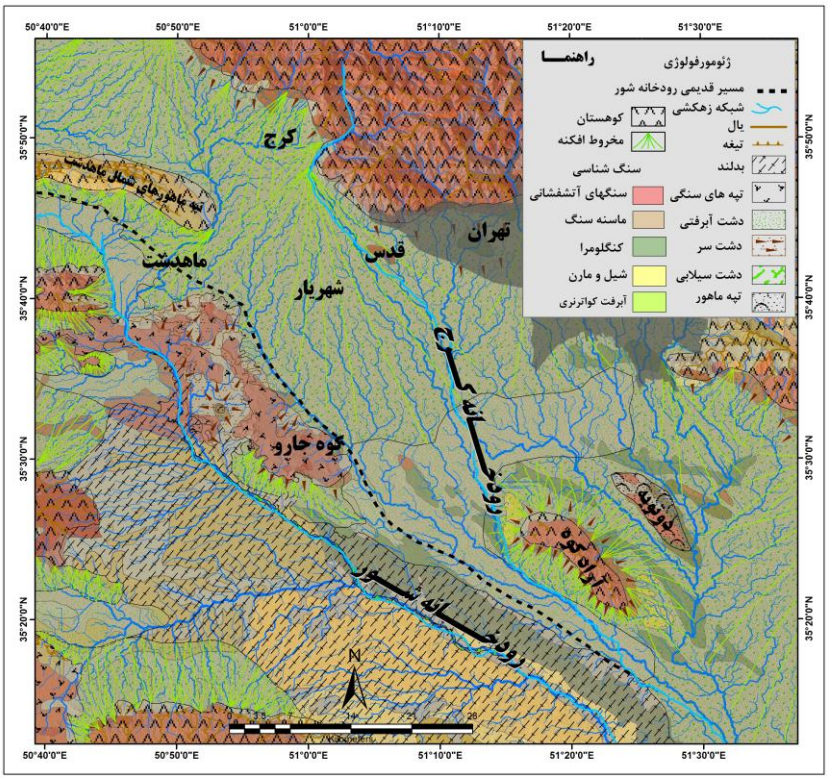


شکل ۳. زمین‌شناسی محدودهٔ مورد مطالعه و سازندهای عبوری رودخانهٔ کرج و شور

رودخانهٔ شور که در حال حاضر در جنوب مخروط‌افکنهٔ ماهدشت و از میان سازندهای آتشفشانی ائوسن (کوه‌های جارو و کردکوه) جریان دارد، اغلب منطبق بر همین ارتفاعات است و محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها را بریده و با جهت گسل‌ها و شکستگی‌ها تطابق یافته است. دلیل آن تشکیل ساختمان هورست و گرابن مربوط به فاز پاسادنین در ۵۸۰ هزار سال پیش است (پدرامی، ۱۳۶۶). با این تفاسیر می‌توان نتیجه گرفت که رودخانهٔ شور کانال اصلی در این محدوده است و نخست از شمال مسیر فعلی خود جریان داشته و پس از اینکه رودخانهٔ کرج به آن پیوسته، مسیر خود را به سمت جنوب‌شرق می‌پیموده است. اما، به‌تدریج رسوبات روخانهٔ کرج که روندی شمالی- جنوبی داشته است، باعث جابه‌جایی کانال اصلی و عقب‌راندن رودخانهٔ شور به سمت جنوب شده است. معمولاً جابه‌جایی کانال‌های اصلی که ویژگی عمدهٔ آن پهنای زیاد است، بسیار آرام و کند صورت می‌گیرد (مقصودی و محمدنژاد آروق، ۱۳۹۰). در نهایت، ساختمان‌های گسلی و شکستگی‌های فراوان منطقه (طوطی، ۱۳۷۰) و شکل‌گیری هورست و گرابن‌ها باعث تسهیل در تغییر مسیر رودخانهٔ شور در میان سازندهای آتشفشانی جنوب کرج شده است. بنابراین، می‌توان گفت این ناودیس کشیده به‌لحاظ ژئومورفولوژی نیز در واقع مسیر قبلی رودخانهٔ شور بوده است و در گذشته به‌جای اینکه سازندهای ائوسن را بشکافد و به مسیر خود ادامه دهد از جنوب شهر ماهدشت می‌گذشته است و به‌نظر می‌رسد که رودخانهٔ کرج با برجای گذاشتن رسوبات و به‌وجود آوردن مخروط‌افکنهٔ ماهدشت، باعث به‌عقب‌راندن رودخانهٔ شور به سمت جنوب شده است. در مرحلهٔ نهایی، رودخانهٔ کرج خود نیز با رسوبگذاری و تراکم مواد رسوبی در سطح مخروط‌افکنه، باعث بالاآوردن سطح مخروط و تسهیل در جابه‌جایی کانال‌ها به طرف جنوب‌شرق شده و مخروط‌افکنهٔ بزرگ و کنونی کرج در اثر جابه‌جایی مکرر کانال‌ها در محدودهٔ شهریار- قدس به‌وجود آمده است (شکل ۵).



شکل ٤. نمایش پروفیل‌های نشان‌دهندهٔ رسوبگذاری رودخانه‌های غرب تهران

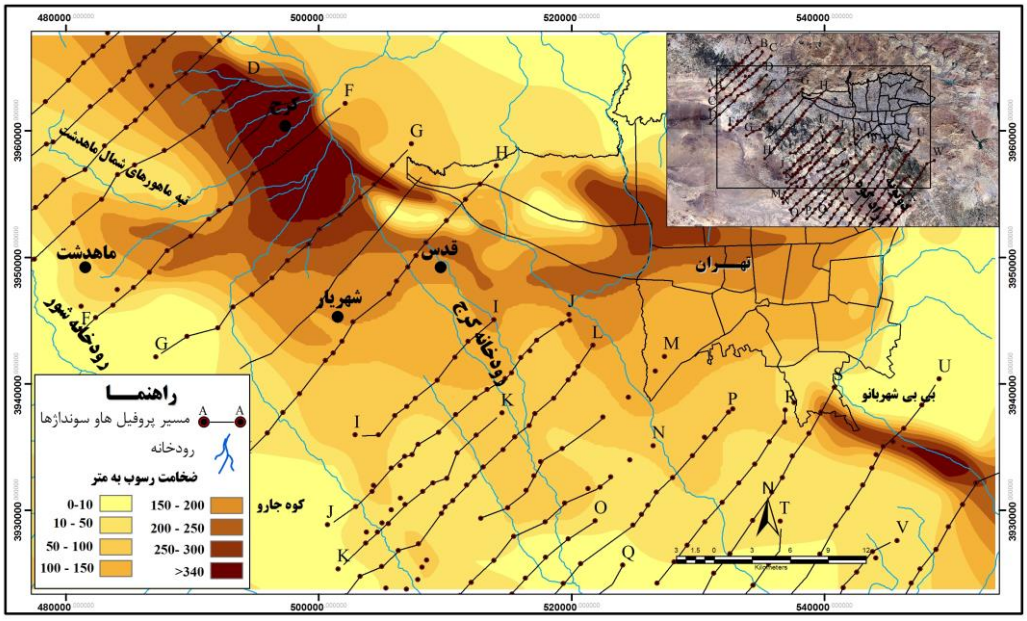


شکل ٥. نقشهٔ ژئومورفولوژی و نمایش هر سه سطح مخروط‌افکنهٔ کرج، ماهدشت و شهریار و مسیر قدیمی رودخانهٔ شور

تحلیل فرضیهٔ دوم

با توجه به فرضیهٔ دوم و احتمال حرکت آب‌های زیرزمینی تجمع‌یافته در انتهای مخروط‌افکنهٔ کرج به سمت قرچک، با استفاده از نقشهٔ هم‌ضخامت رسوبات، مورفولوژی سنگ بستر، نقشه‌های پیزومتری و توپوگرافی محل نتایج زیر به‌دست آمد.

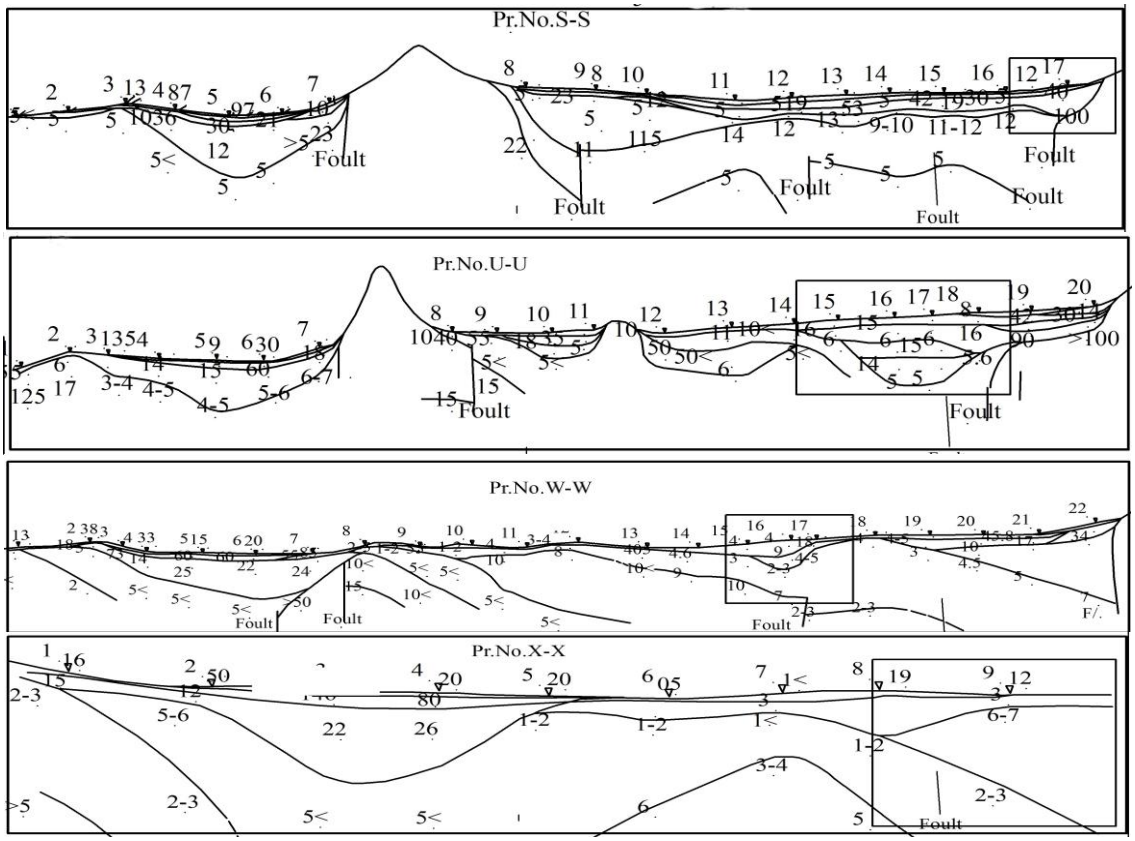
نخست، به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ تغییرات ضخامت آبرفت، منحنی‌های الکتریکی حاصل از سوندژهای ژئوالکتریکی تفسیر و لایه‌های زیرزمینی موجود در محل هر سونداژ به‌واسطهٔ مقاومت الکتریکی آن‌ها از هم تفکیک شد. سپس، با تلفیق این داده‌ها با داده‌های زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از لوگ چاه‌ها، ضخامت آبرفت‌های کواترنر محاسبه شد (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). بر اساس نقشهٔ هم‌ضخامت رسوبات، به‌طور کلی، ضخامت آبرفت در محدودهٔ مورد مطالعه بین کمتر از ۱۰ متر در مجاورت برآمدگی‌ها به‌دلیل بالاآمدن سنگ بستر، تا بیش از ۳۵۰ متر در چاله‌ها و فرورفتگی‌ها متغیر است. به‌طور کلی، ضخامت رسوبات از بالا به پایین مخروط‌افکنه کاهش می‌یابد، ولی در انتهای مخروط‌افکنه، یعنی مکانی که مخروط‌افکنهٔ کرج با مخروط‌افکنهٔ جاجرود هم‌مرز می‌شود، ناگهان ضخامت رسوبات به بیش از ۳۵۰ متر افزایش می‌یابد (شکل ۶)، این در حالی است که طبق تحقیقات مقصودی (۱۳۸۷)، ضخامت آبرفت در جنوب‌غرب ورامین کم است. بنابراین، محل تقاطع این‌دو، یعنی رسوبات مخروط‌افکنهٔ کرج با ضخامت زیاد و رسوبات مخروط‌افکنهٔ جاجرود با ضخامت کم، باعث ایجاد شیب به سمت مخروط‌افکنهٔ جاجرود می‌شود.



شکل ٦. نقشهٔ هم‌ضخامت آبرفت در محدودهٔ مورد مطالعه

همان‌گونه که از پروفیل‌های به‌دست‌آمده از بررسی‌های ژئوفیزیکی نیز پیداست، رسوبات در پروفیل‌های S، U، W و X ضخامت قابل‌توجهی دارد. ضخیم‌ترین لایهٔ رسوب در پروفیل U و W دیده می‌شود. به‌علاوه، همگی پروفیل‌ها مقادیر مقاومتی پایینی دارند که نشان‌دهندهٔ این است که ساختار خاک در این قسمت از دشت ریزدانه است (شکل ۷).

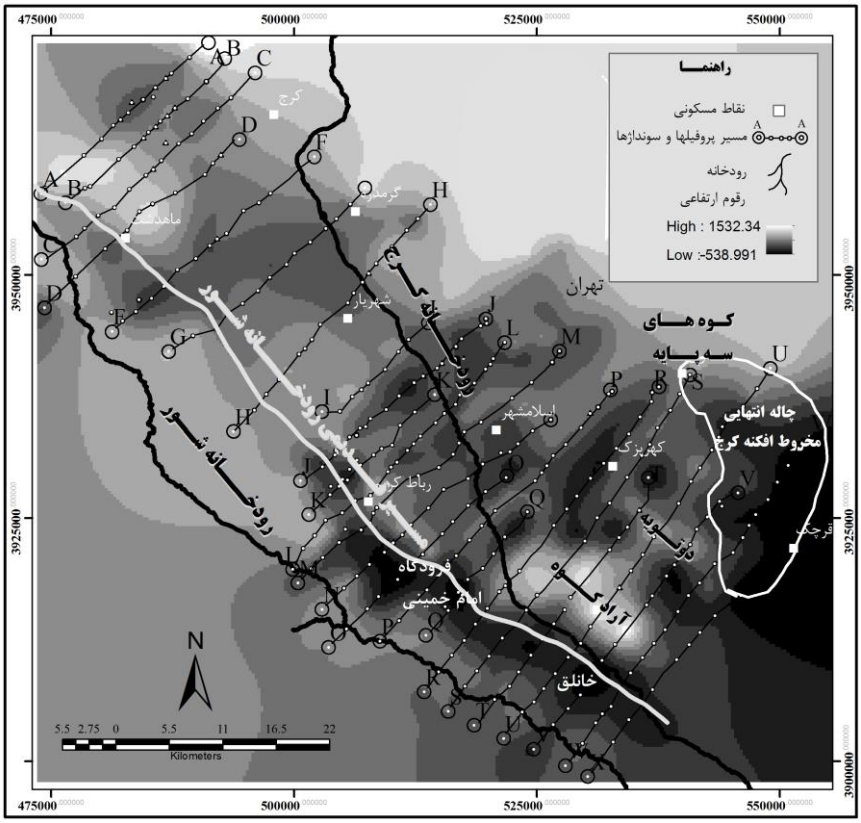
از طرفی، مورفولوژی سنگ بستر نشان می‌دهد که سنگ بستر در اعماق بیشتری نسبت به سطح زمین قرارگرفته است و رسوباتی که طی قرن‌ها از طریق رودخانه‌های کرج و تهران آورده شده در این مکان انباشته شده است (شکل ۸).



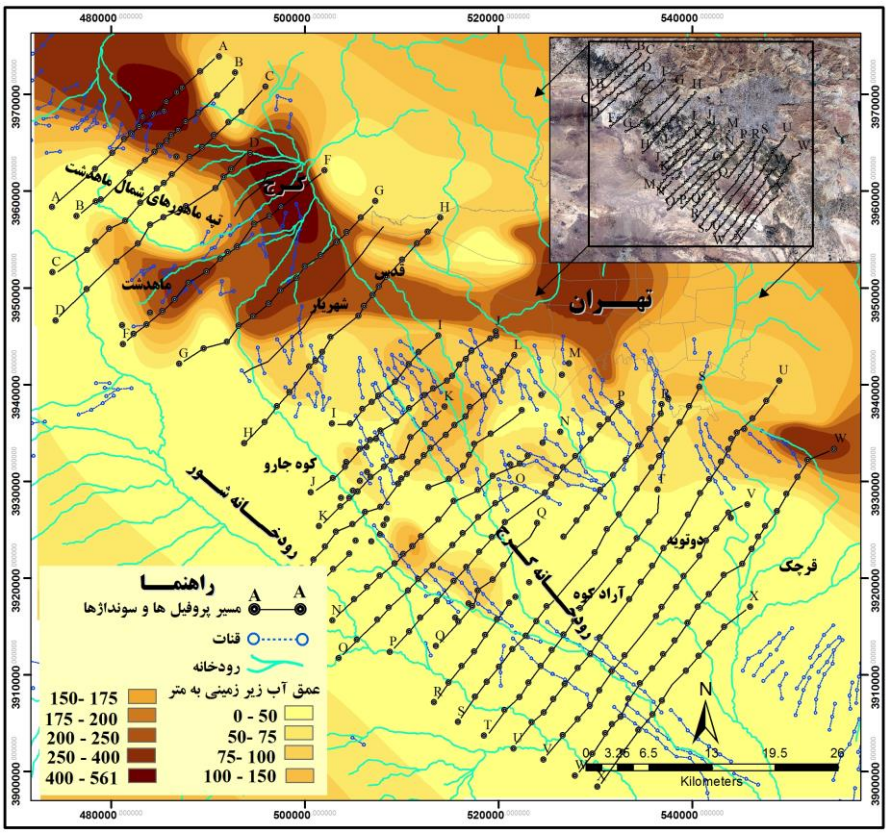
شکل ۷. پروفیل‌های ژئوفیزیکی نشان‌دهندهٔ ضخامت رسوبات در انتهای مخروط‌افکنهٔ کرج شهریار

سفرهٔ آب‌های زیرزمینی در محدودهٔ مورد مطالعه از شمال‌غرب و غرب به آبخوان دشت کرج و ارتفاعات تخت رستم و جارو، از شرق و جنوب‌شرق به آبخوان اصلی شهر تهران و کوه‌های سه‌پایه و بی‌بی‌شهربانو و آبخوان دشت ورامین و از جنوب به دامنهٔ شمالی ارتفاعات کهریزک و آرادکوه محدود است (شکل ۹). در این بخش، آبرفت، به‌طور عمده، از نوع سری C و B با نفوذپذیری زیاد تا متوسط است. سطح آب زیرزمینی در حاشیهٔ شمال‌شرقی دشت در بیشترین عمق قراردارد. در این نواحی عمق آب زیرزمینی بر اساس آخرین آمار موجود (سال آبی ۱۳۸۲–۱۳۸۳) به بیش از ۱۳۵ متر می‌رسد. به‌سمت جنوب و شرق به‌تدریج از مقدار آن کاسته می‌شود، به‌طوری که در جنوب‌شرق دشت به کمتر از ۲ متر می‌رسد. نقشهٔ تراز آب زیرزمینی سال آبی ۱۳۸۲–۱۳۸۳ نشان می‌دهد که حداکثر رقوم خط تراز در حاشیهٔ شمال‌شرقی دشت بیش از ۱۲۰۰ متر و حداقل رقوم تراز آب زیرزمینی کمتر از ۹۹۰ متر در جنوب‌شرق محدودهٔ مورد مطالعه است (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴).

همان‌گونه که در شکل ۹ نیز مشخص است، از شمال به جنوب از عمق آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود و جهت جریان آب زیرزمینی در مطابقت با شیب عمومی دشت از شمال به سمت جنوب و در نهایت به سمت جنوب‌شرقی است. بنابراین، جهت عمومی جریان از شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق است. در بخش جنوبی تغذیهٔ آبخوان بیشتر تحت تأثیر جریان‌های ورودی زیرزمینی از سوی غرب حوضه و آب‌های برگشتی کشاورزی است. بالارفتن سطح آبخوان طی ۳۵ سال گذشته در بخش شمال‌شرقی باعث شده است تا میزان جریان‌های زیرزمینی به سمت جنوب‌شرق دشت افزایش یابد. با توجه به ریزدانه‌بودن رسوبات در این بخش، افزایش جریان‌های زیرزمینی سطح آبخوان را به میزان چشمگیری بالا برده است (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴).



شکل ۸. مورفولوژی سنگ بستر و نمایش ناودیس کشیده (مسیر دیرینهٔ رودخانهٔ شور) و چالهٔ انتهایی مخروط‌افکنهٔ کرج



شکل ۹. نقشهٔ پیزومتری عمق آب زیرزمینی در محدودهٔ مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روی لایهٔ سنگ بستر، درهٔ عمق و پرشده‌ای از رسوبات وجود دارد که از ماهدشت شروع می‌شود و تا رباط‌کریم و قنبرآباد با جهت شمال‌غرب– جنوب‌شرق و بین ارتفاعات جارو در شمال‌غربی و ارتفاعات آرادکوه و سیاه‌کوه در جنوب‌شرقی قراردارد. این دره منطبق بر خط گسلی نسبتاً طولانی در شمال‌غربی است (گسل اشتهارد) و با توجه به شواهد، احتمال دارد که این ناودیس کشیده مسیر اصلی رودخانهٔ شور بوده باشد، که البته بعدها جابه‌جا شده و در مسیر فعلی جریان پیدا کرده است. به‌عبارتی، در گذشته رودخانهٔ شور از جنوب ملارد و شرق شهر صنعتی پرند می‌گذشته و به سمت جنوب جاری می‌شده است، در حالی که امروزه از جنوب‌غربی شهر صنعتی پرند عبور می‌کند (یعنی، جابه‌جایی شمال به جنوب داشته است). البته، در بعضی از نقاط ناودیسِ کشیده فرورفتگی‌های عمیقی وجود دارد که ممکن است ناشی از ورود آب‌های رودخانه‌ای دیگر به آن باشد، زیرا افزایش دبی در اثر پیوستن جریان دیگری به رودخانهٔ اصلی، باعث افزایش گودشدگی و در نتیجه ضخامت بیشتر رسوب می‌شود. این نقاط منطبق بر موارد زیر است.

انتهای مخروط‌افکنهٔ ماهدشت (سطح دوم مخروط‌افکنهٔ کرج) بین تپه‌ماهورهای شمال ماهدشت و کوه‌های جارو فررفتگی عمیقی است که احتمالاً محل تلاقی روخانهٔ کرج به شور است. همچنین، دو چالهٔ نسبتاً عمیق دیگری، یکی در نزدیکی روستای پیغمبر شهریار و دیگری در حوالی فرودگاه امام خمینی وجود دارد که به‌دلیل ورود جریان‌های دیگر (رودخانه‌های کن و چیتگر) به آن است و این نشان می‌دهد که در گذشته این جریان‌ها با جهت شمال‌شرق– جنوب‌غرب به رودخانهٔ شور می‌پیوسته است و وجود ناودیس‌های کشیده و پراکنده با جهت شرقی– غربی به سمت چاله‌های ذکرشده گواه آن است. به‌عبارتی دیگر، در جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق جریان اصلی، جریان‌های دیگری عمود بر ناودیس کشیده وجود دارد که احتمالاً مسیر رودخانه‌های کن و چیتگر است و پس از خارج‌شدن از کوهستان با قوسی در جهت شرق به غرب به رودخانهٔ شور می‌ریخته است.

در انتها چالهٔ کاسه‌مانندی در انتهای مخروط‌افکنهٔ کرج– شهریار مشاهده می‌شود. در جنوب‌شرقی منطقه بین کوه‌های دوتویه و آرادکوه و کوه‌های سه‌پایه، سنگ بستر به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود. به‌عبارتی، از عمق رسوبات کمتر می‌شود. از طرفی، منحنی‌های هم‌میزان آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در عمق کمی از زمین قراردارد.

به این نکته نیز باید توجه داشت که شیب کلی تهران شمال‌غربی– جنوب‌شرقی است و آب‌های زیرزمینی به این مکان انتقال می‌یابد. از طرفی، شرایط توپوگرافی محل به‌گونه‌ای است که در جنوب‌شرق محدودهٔ مورد مطالعه، سنگ بستر بعد از فرورفتگی عمیقی در مرکز (نقشه‌های هم‌ضخامت رسوبات نیز آن را نشان می‌دهد) در کناره‌های کوه‌های بی‌بی‌شهربانو و آرادکوه و دوتویه به سطح زمین نزدیک می‌شود (در مورفولوژی سنگ بستر توضیح داده شد). از طرفی، به‌دلیل ریزدانه‌بودن خاک حرکت آزادانهٔ آب‌های زیرزمینی به اطراف بسیار محدود است. بنابراین، آب‌های زیرزمینی انباشته‌شده در این محل به‌دلیل وجود سنگ بستر در عمق کم، راه خروجی ندارد و تنها راه خروجی آن باریکه‌ای از سمت جنوب، یعنی به‌طرف مخروط‌افکنهٔ جاجرود است.

از آنجا که جهت آب‌های زیرزمینی روی مخروط‌افکنهٔ جاجرود جنوب‌شرقی است، بنابراین حاصل این دو برایند، یعنی جهت حرکت شمال‌غربی– جنوب‌شرقی در مخروط‌افکنهٔ کرج و جنوب‌شرقی در مخروط‌افکنهٔ جاجرود باعث راندن آب‌های زیرزمینی انباشته‌شده در این محل به سمت قرچک ورامین می‌شود. به‌همین دلیل است که در سال‌های اخیر شاهد بالاآمدن سطح آب‌های زیرزمین در منطقهٔ قرچک ورامین بوده‌ایم. شاهد آن وجود نیزارهای فراوان در سال‌های اخیر است.

در نهایت، مجموعهٔ شواهد موجود در این منطقه گویای بالاآمدن آب زیرزمینی در جنوب تهران و چاله‌ها و برکه‌های آبی است. وجود نیزارهای متعدد در سال‌های اخیر شاهد آن است. همچنین، مجموعه مطالعات در مورد رودخانه‌های جاری بر سطح دشت نشان می‌دهد که در طول کواترنر رودخانهٔ شور و کرج مسیر واحدی داشتند ولی در طول زمان این دو از هم جدا شدند و هر یک مسیری جداگانه ولی به‌موازات هم پیدا کردند. در نهایت، این دو رود در جنوب تهران به حوضهٔ آبریز دریاچهٔ مسیلهٔ قم می‌ریزند. در انتها، از آنجا که در این پژوهش تنها از داده‌های ژئوفیزیکی و

تلفیق آن با داده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود برای اطمینان و اثبات محکم‌تر نتایج حاصل از تحقیق، مطالعات رسوب‌شناسی برای تغییر مسیر رودخانهٔ کرج و سن‌سنجی روی سطوح مخروط‌افکنهٔ محدودهٔ کرج صورت گیرد.

منابع

اسپهبد، م.ر. (۱۳۷۱). نتیجه‌گیری‌های ژئوتکنیکی آبرفت‌های بخش شرقی تهران از نظر جمع‌آوری آب‌های سطحی. سمپوزیوم کواترنر: ۱۸۱-۱۹۲.

امینی، م. (۱۳۷۳). ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات کواترنر دشت تهران. مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین‌المللی کواترنر، دانشگاه تهران: ۱۷۱-۱۷۵.

بربریان، ا.، قریشی، م.، ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۶۴). بررسی نوزمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین لرزه در ناحیهٔ تهران بزرگ و پیرامون. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شمارهٔ ۵۶.

پدرامی، م. (۱۳۶۶). چینه‌شناسی کواترنری و روش‌های مطالعهٔ آن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۸ ص.

پدرامی، م. (۱۳۵۷). مطالبی مختصر در مورد رسوبات کواترنر اطراف تهران. سازمان زمین‌شناسی کشور.

پهلوان، ب. (۱۳۸۱). مطالعهٔ تغییر شکل‌پذیری آبرفت درشت‌دانهٔ تهران با استفاده از پرسیومتر. پایان‌نامهٔ دکتری زمین‌شناسی مهندسی، استاد راهنما علی فاخر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ علوم پایه، ۲۸۵ ص.

جعفری، ع. (۱۳۸۴). رودها و رودنامهٔ ایران. جلد دوم، انتشارات گیتاشناسی ایران، ۵۴۵ صص.

جعفری، م.ک. و کشاورز بخشایش، م. (۱۳۸۰). بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی آبرفت‌های تهران. دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران، ایران.

چشمی، ا.، فاخر، ع. و خامه‌چیان، م. (۱۳۸۷). زمین‌شناسی آبرفت‌های تهران و ارزیابی طبقه‌بندی ریبن جهت مطالعات زمین‌شناسی مهندسی. مجلهٔ علوم دانشگاه تهران، ۳۴(۲): ۱-۱۵.

حائری، س.م.، یثربی، س.ش.، ارومیه‌ای، ع. و اصغری، ا. (۱۳۸۲). ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی آبرفت‌های درشت‌دانه و سیمانی شدهٔ تهران. مجلهٔ علوم زمین، ۴۷-۴۸: ۲-۱۵.

شمشکی، ا.، بلورچی، م.ج. و انصاری، ف. (۱۳۸۴). بررسی فرونشست زمین در دشت تهران- شهریار. گزارش شمارهٔ ۰۶/۰۲-۸۴ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

طوطی، ف. (۱۳۷۰). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما سیروس زارعیان، رشتهٔ زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

فیاضی، ف.، فتحی، ر. و غیومیان، ج. (۱۳۷۹). بررسی رسوب‌شناسی رسوبات کواترنری دشت شهریار. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز.

قنبری، ع. (۱۳۸۸). مطالعهٔ مدول الاستیسیتهٔ خاک در آبرفت جنوب تهران. مجلهٔ علوم زمین، ۲۱(۸۱): ۱۵۹-۱۶۸.

معتمد، ا. (۱۳۷۶). کواترنر (زمین‌شناسی دوران چهارم). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۶ ص.

مقصودی، م. (۱۳۸۷). بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنهٔ جاجرود). مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۵: ۷۳-۷۹.

مقصودی، م. و محمدنژاد آروق، و. (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌ها. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۲۲ ص.

ملکی، م. (۱۳۸۱). بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی شهری و تهیهٔ نقشه‌های ژئوتکنیکی نهشته‌های کواترنری تهران (با تهیه و توسعهٔ بانک اطلاعات ژئوتکنیکی تهران). پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما سید محمود فاطمی عقدا، دانشگاه تربیت معلم، دانشکدهٔ علوم، گروه زمین‌شناسی.

موسوی حرمی، ر. (۱۳۶۷). رسوب‌شناسی. مؤسسهٔ چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۴۹ ص.

نقشهٔ زمین‌شناسی چهارگوش تهران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

نقیبیان، ر. (۱۳۷۵). بررسی چینه‌شناسی نهشته‌های رسوبی کواترنری تهران و برآورد پارامترهای ژئوتکنیکی آن. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما دکتر احمد شمیرانی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ علوم زمین.

نویدی، ش.، قریب، ف. و میرزایی، ا. (۱۳۹۴). رسوب‌شناسی و تعیین جهت جریان‌های کهن در رسوب‌های مخروط‌افکنه (کواترنری)، منطقهٔ هشتگرد. فصلنامهٔ کواترنری ایران، ۱(۲): ۱۵۷-۱۶۸.

Allenbach, P. (1966). Geologic and petrographic des Damavand und seiner Umgeburg (Zentral Elburz), Iran. Mitteilung Nr. 63, Geologisches Institut, ETH, Zuurich.

Amini, M. (1994). Geotechnical properties of quaternary sediments in Tehran Plain. Total articles of the First Quaternary International Symposium, University of Tehran: 171-175. [in Persian]

Berberian, E., Ghorashi, M., Arjang Ravesh, B. and Mohajer Ashjaie, M. (1985). New tectonic and earthquake investigation and earthquake hazard in the large Tehran area and around. Geological Survey of Iran, Report 56. [in Persian]

Bull, W.B. (1977). The alluvial-fan environment. Progress in Physical Geography, 1: 222-270.

Cheshomi, A., Fakher, A. and Khame chian, M. (2008). Geology of Tehran alluvials and assessment of Rieben classification for engineering geology studies. Journal of Science, 34(2): 1-15. [in Persian]
Dellenbach, J. (1964). Contribution a l etude geologigue de la region situeo a l est de Tehran, Iran, Fac Sci, Univ. Strasbourg (France).
Engalenc, M. (1968). Geology, geomorphology, hydrology de Larcgion de Tehran (Iran). These sciences, Monollier.
Espahbod, M.R. (1992). Geotechnical conclusions of alluvium in the eastern part of Tehran for surface water collection. Quaternary Symposium: 181-192. [in Persian]
Fayazzi, F., Fathi, R. and Ghayomian, J. (2000). Investigation of sedimentology of Quaternary sediments of Shahriar plain. Fourth Iranian Geological Society Conference, Tabriz, Iranian Geological Society, University of Tabriz. [in Persian]
Frohlich, R.K. and Kelly, W.E. (1985). The relation between hydraulic transmissivity and transverse resistance in a complicated aquifer of glacial outwash deposits. J. Hydrol., 13: 529-556.
Ghanbari, A. (2009). Study of soil elastic modulus in south Tehran alluvium. Journal of Earth Sciences, 18(71): 3-8. [in Persian]
Ghanbari, A., Zerangzadeh, S.S., Rezaee, F. and Sheykh Zakariaie, S.J. (2008). Study of geotechnical features of alluvial sediments of Karaj. Journal of Earth Sciences, 21(81): 159-168.
Geological Map of Tehran, scale 1: 100000, Geological Survey of Iran. [in Persian]
Haeri, S.M, Yasrebi, S.Sh., Oromiehie, A. and Asghari, E. (2003). Characteristics of engineering geology of coarse-grained and cemented alluvial deposits of Tehran. Journal of Earth Sciences, 47-48: 2-15. [in Persian]
Haggett, R.J.C. (2003). Fandamental of geomorphology. Routledye.
Huber, H. (1960). The Quaternary deposits of the Darya-i-Namak, Central Iran, Iranaian Oil Company, Geol. Note 51.
Jafari, A. (2005). Iranian rivers and streams. First Edition, Vol. 2, Publications Gitashenasi, 545 pp. [in Persian]
Jafari, M.K. and Keshavarz Bakhshayesh, M. (2001). Evaluation of engineering geological and geotechnical characteristics of the deposits Tehran. Second Conference on Engineering Geology and The Environmental of Iran, Tehran, Iran. [in Persian]
Maleki, M. (2002). Investigation of geological characteristics of urban engineering and preparation of geotechnical maps of Quaternary deposits of Tehran, Master's Thesis. Supervisor Fatemi Aghda SM, Tarbiat Moalem University, Faculty of Science, Department of Geology. [in Persian]
Maghsoudi, M. (2009). Investigation of the factors influencing the evolution of the geomorphology of Alluvial Fan (Case Study: Jajrood Alluvial Fan). Journal of Natural Geography Research, 65: 73-79. [in Persian]
Maghsoudi, M. and Mohammad Nejad Arogh, V. (2011). Geomorphology of alluvial fan. Tehran University Press, 222 pp. [in Persian]
Mosavi Herami, S.R. (1999). Sedimentology. Astan Quds Razavi Press, 474 pp. [in Persian]
Motamed, A. (1997). Quaternary geology. Tehran University Press, Tehran, Iran, 346 pp. [in Persian]
Nabavi, M.H. (1976). A discussion of quaternary deposits in the Tehran area. The second gathering and the first international congress, Earth Sciences.
Naghibian, R. (1996). Stratigraphic study of sedimentary quaternary deposits of Tehran and estimation of its geotechnical parameters, Supervisor Shemirani A. Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Sciences. [in Persian]
Navidi, S., Gharib, F. and Mirzaie, A. (2015). Sedimentology and determining the direction of the ancient currents in the Alluvial sediments (Quaternary). Hashtgerd area, Quaternary Journal of Iran, 2: 157-168. [in Persian]
Pahlavan, B. (2002). Study of deformation behave coarse alluvial in Tehran using a percium meter. PhD Thesis of Engineering Geology, Supervisor Fakher A, Tarbiat Modares University, Faculty of Basic Sciences, 285 pp. [in Persian]
Pedrami, M. (1987). Quaternary stratigraphy and its study methods. Geological Survey of Iran, 88 pp. [in Persian]
Pedrami, M. (1978). Brief description of Quaternary sediments around Tehran. Geological Survey of Iran, 17 pp. [in Persian]
Rieben, H. (1955). The geology of the Tehran plain. Amer, Jour. Sci., 617 pp.
Shemshaki, A., Bolorchi, M.J. and Ansari, F. (2005). Survey of land subsidence in Tehran-Shahriyar plain. Report 84-06/02, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran. [in Persian]
Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990). Applied geophysics. Cambridge University Press, 522 pp.
Toti, F. (1991). Petrology of volcanic rocks in Jaroo mountain region. Master's Thesis, Supervisor Zareian S, Department of Geology, University of Tehran. [in Persian]
Vita, Finzi, C. (1979). Contributions to the Quaternary geology of southern Iran. G.S. of Iran. Rep. No. 47, 52 pp.
Zohdy, A.A.R. (1989). A new method for the automatic interpretation of schlumberger and Wenner Sounding Curves. Geophysics, 54: 245-253.