

# تحلیل و ارزیابی پارامترهای مؤثر بر فرونشست زمین

حسین رهنما<sup>۱</sup>، سهراب میراسی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز

۲- دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد (پردیس لردگان)

S.Mirasi@Sutech.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۳/۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۹/۱۹]

**چکیده** - پدیده فرونشست سطح زمین ناشی از عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در نقاط مختلف دنیا و در طی سال‌های اخیر در کشور ایران به‌خصوص استان فارس به علت برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، خشک‌سالی و عوامل دیگر پدیدار شده است و سبب آسیب‌های جدی به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها و دیگر سازندها و بروز خسارت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی شده است. در این مقاله با انجام یک پژوهش موردی در دشت مرودشت به بررسی عوامل و پارامترهای مؤثر و ارزیابی میزان تأثیر هر کدام برنشست سطح زمین پرداخته شده است. در این خصوص نحوه تعیین و تحلیل پارامترهای مؤثر همچون میزان افت سطح آب، جنس و ضخامت لایه‌های خاک به‌خصوص لایه‌های ریزدانه، خصوصیات ژئوتکنیکی خاک موردبررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از آن است که جهت انجام محاسبات فرونشست خاک، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز تا حد امکان باید به‌صورت دقیق و جامع تهیه شوند و ویژگی‌ها و شرایط متفاوت هر پارامتر در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال نشست ناشی از افت یکسان آب و یا ضخامت یکسان لایه ریزدانه در اعماق مختلف متفاوت می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** فرونشست زمین، لایه ریزدانه، افت آب، مرودشت، برداشت بی‌رویه.

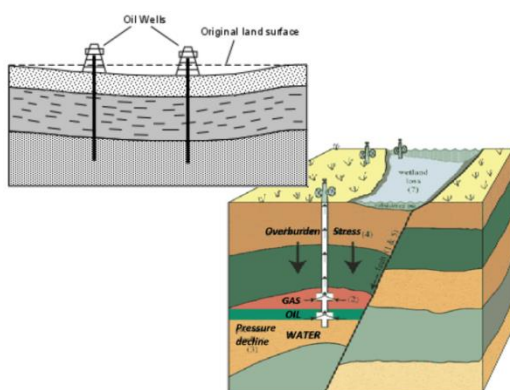
## ۱ - مقدمه

فرونشست زمین خصوصاً از نقاط خشک و کم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است که مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی این مناطق، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است [۲]. این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکوسیتی، تایلند، ژاپن و امریکا [۳] و نقاط دیگری از چین رخ داده است (جدول ۱). هو و همکاران عنوان نموده‌اند که این پدیده در بیش از ۱۵۰ شهر جهان گزارش شده است [۴]. همچنین می‌توان به نشست زمین به دلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته در شهر بانکوک در تایلند اشاره نمود که با حداکثر نشست سالانه ۱۲۰ میلی‌متر در اوایل دهه ۱۹۸۰ گزارش گردیده است [۵].

از نظر یونسکو این پدیده عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد. رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه بهره‌برداری از منابع آب برای استفاده در کشاورزی و صنعت، پی‌آمدهای نامطلوب زیادی در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب داشته است. در دهه‌های اخیر حالت تصاعدی این پدیده همراه با اوج صنعتی شدن، شهرنشینی شدن و پمپاژ بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی مشاهده شده است. این پدیده در نقاط مختلفی از جهان گزارش گردیده است. شهر ونیز ایتالیا نیز در فاصله سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ حدود ۱۵ سانتیمتر فرونشست داشته است [۱]. گزارش‌های متعددی از

## ۲- بررسی برخی عوامل ایجاد فرونشست

برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی یا گاز یا نفت از لایه‌های پایینی سبب تقلیل فشار در لایه‌های زیرین و به تناسب فشار سربار ناشی از لایه‌های بالایی موجب کاهش حجم در لایه‌های پایینی و نشست وسیع در سطح زمین می‌گردد (شکل ۱). کاهش بلندمدت سطح آب زیرزمینی در اثر آبیاری در سامانه‌های آبخوان دارای لایه‌های سیلت و رس نیمه تحکیم یافته آبخوان‌های ناتروا<sup>۱</sup> و باضخامت تراکمی مناسب، می‌تواند منجر به رهاسازی یک‌باره آب آبخوان‌های ناتروای متراکم گردد که به صورت فرونشست زمین ظاهر می‌شود [۱۶ و ۱۷].



شکل (۱) فرونشست ناشی از برداشت از منابع زیرزمینی

رس‌ها با دارا بودن خاصیت انقباضی و نفوذناپذیری زیاد معمولاً حجمی از رطوبت را برای دهه‌های مختلفی در خود نگهداری می‌کنند. خشک شدن سبب انقباض خاک رسی و رطوبت (جذب آب) مجدد باعث انبساط خاک می‌شود. این مسئله به هنگام منقبض و متورم شدن فصلی موجب شکاف برداشتن خاک مجاور سازه‌ها می‌گردد [۱۷].

وقوع حفرات رمبنده و مشخصه رمبش وابسته به نوع خاصی از سنگ‌ها همچون تبخیری‌ها (نمک، ژئپس و ایندریت) و کربنات‌ها (سنگ آهک و دولومیت) می‌باشد. این سنگ‌ها مستعد انحلال در آب و تشکیل حفرات هستند. نمک و ژئپس قابلیت حل شدن بیشتری نسبت به سنگ آهک دارند [۱۶ و ۱۷].

جدول (۱) نمونه فرونشست‌های رخ داده در جهان [۶]

منبع	نشست (متر)	محل فرونشست
گمبولتی و فریز، ۱۹۷۳	۰/۱۵	ونیز، ایتالیا
پولند، ۱۹۶۹	۸	مکزیکوسیتی
پولند، ۱۹۶۹	۴	توکیو، اوزاکا
پولند و دیویس، ۱۹۶۹	۱/۱۸	لاندن
جان و وارن، ۱۹۷۶	۰/۳	باتون روژ، لوئیزیانا
لافگران، ۱۹۶۹	۲/۷	هاستون-بیتون
پولند، ۱۹۶۹	۸/۵	سانجوا، کالیفرنیا
اسچومن و پولند، ۱۹۶۹	۴	سانتا کلارا، کالیفرنیا
آکستمن، ۱۹۷۵	۲/۳	الوی، آریزونا
گرت، ۱۹۵۴	۴	زیراکی، نیوزیلند
مایوگا و آلن، ۱۹۶۹	۹	ویلمنگتن، کالیفرنیا

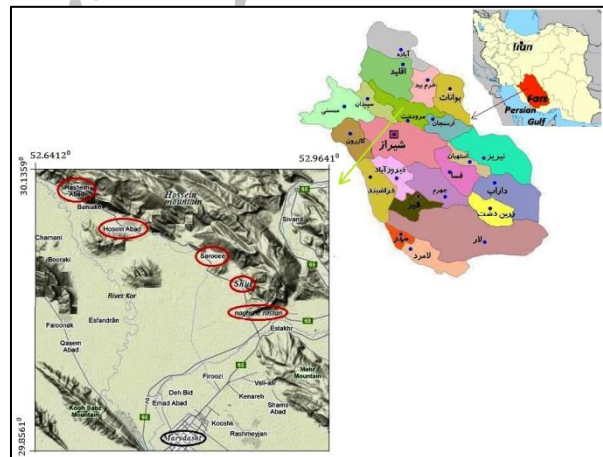
در سال‌های اخیر پدیده فرونشست منطقه‌ای زمین در بسیاری از دشت‌های کشور به علل مختلف رخ داده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به نشست دشت سیرجان [۷]، زرنند و کرمان [۸]، دشت لردگان در استان چهارمحال و بختیاری [۹] به علت افت شدید سطح آب و تخلیه آب‌های زیرزمینی اشاره نمود. علل فرونشست در دشت‌های اردکان یزد ناشی از عوامل درونی همچون تجمع آب در مکان‌های خاص به دلیل شیب بسیار کم زمین و وجود حفره‌های لوله‌ای حاصل از پوسیدگی ریشه‌های گیاهی و عوامل درونی مرتبط به دانه‌بندی خاک‌های تشکیل‌دهنده زمین و رمبنده بودن خاک منطقه می‌باشد [۱۰].

در دشت فامینین و کیودرآهنگ همدان، عوامل اصلی ایجاد حفره‌های انحلالی بزرگ ناشی از سیستم درز و شکاف در سنگ‌بستر و پمپاژ آب و عوامل تسریع در وقوع فرو چاله‌ها ناشی از ماسه شویی لایه‌ها، خروج گاز از چاه‌ها و افت سریع آب زیرزمینی بوده است [۱۱].

این پدیده در دشت معین‌آباد و رامین [۱۲]، تهران، شهریار [۱۳] و دشت‌های استان فارس [۱۴، ۱۵] و دیگر دشت‌های ایران نیز گزارش شده است و به نظر می‌رسد در بین عوامل مؤثر در ایجاد این پدیده، برداشت بیش‌ازحد مجاز از منابع آب زیرزمینی، ضخامت لایه رسوبی و ویژگی‌های مهندسی رسوبات، عوامل اصلی ایجاد فرونشست هستند.

### ۳- ارزیابی و محاسبه فرونشست

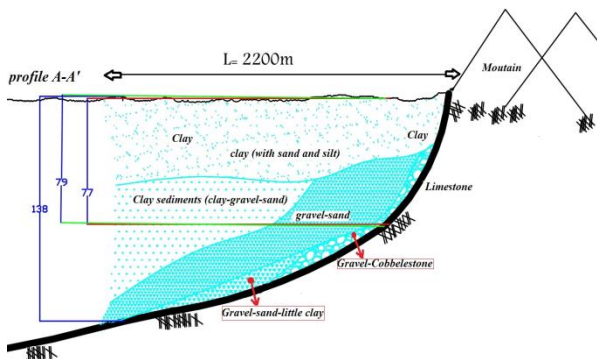
در اکثر دشت‌های استان فارس پدیده فرونشست و آسیب‌های ناشی از آن گزارش شده است که در میان این دشت‌ها، بیشترین خسارات و معضلات در دشت مروودشت مشاهده گردیده است [۱۸]. در این راستا پس از انجام مشاهدات، تجزیه و تحلیل اطلاعات صحرایی و داده‌های مربوط به وضعیت منطقه، عوامل مرتبط با این پدیده شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت؛ که در این خصوص چندین روستا به‌ویژه روستای شول و سارویی متحمل بیشترین آسیب شده بودند. در نهایت روستای شول به‌عنوان نمونه از منطقه مورد نظر انتخاب شده و لوگ‌های زمین‌شناسی این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل (۲) موقعیت روستاهای آسیب‌دیده در دشت مروودشت استان فارس

### ۳-۱- بررسی پروفیل لایه‌بندی و سنگ کف

بر اساس داده‌های صحیح به‌دست‌آمده از لوگ‌های چاه‌های آبیاری و پیژومتری موجود در اطراف روستای شول، عمق بستر سنگی و لایه‌بندی خاک مشخص شده است. نمونه‌ای از لوگ‌های حفاری مربوط به چاه‌های کشاورزی در شکل (۳) نمونه‌ای از لوگ‌های حفاری چاه‌های کشاورزی نشان داده شده است. بر اساس داده‌های چاه‌ها، پروفیل تغییرات وضعیت لایه‌بندی، جنس لایه‌ها و عمق سنگ‌بستر ترسیم شده است (شکل ۴). طول این پروفیل ۲/۲ کیلومتر (فاصله از روستای شول) می‌باشد. به دلیل ضخامت زیاد آبرفت اکثر چاه‌ها به سنگ‌بستر برخورد نکرده‌اند. در شکل ۴ مشاهده می‌شود تا عمق حدود ۴۰ متر لایه‌های رسی (در بعضی نقاط همراه با سیلت و ماسه) قرار دارند و پس از آن با حرکت به سمت عمق از میزان ذرات ریزدانه کاسته می‌شود و لایه‌های شنی، ماسه‌ای و قلوه‌سنگ پدیدار می‌شوند.



شکل (۴) پروفیل لایه‌بندی خاک در محدوده روستا

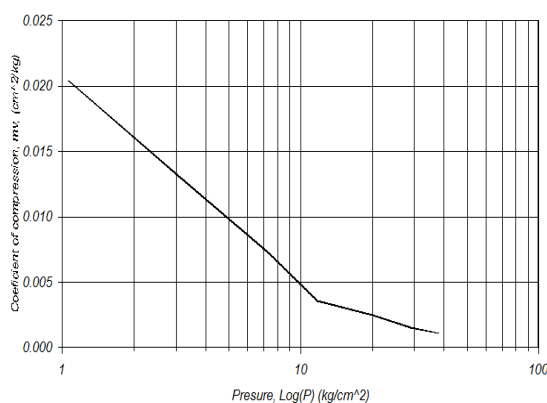
### ۳-۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی

بر اساس ارزیابی‌های انجام‌شده دوره خشک‌سالی در دشت مروودشت از سال آبی ۸۴-۸۳ شروع شده و تا سال ۹۰-۸۹ ادامه یافته است در این خصوص میانگین سطح آب در فصول تر سال ۸۳-۸۴ و همچنین در فصول تر ۸۹-۹۰ تعیین گردیده و اختلاف این دو مقدار به‌دست‌آمده به‌صورت کانتورهای هم‌افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه در شکل ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است روستاهایی که در دامنه کوه‌ها قرار گرفته و دارای لایه‌بندی متفاوتی هستند متحمل آسیب‌پذیری بیشتری شده‌اند.

شرح تشکیلات	نمودار تشکیلات	عمق (متر)	شرح تشکیلات	نمودار تشکیلات	عمق (متر)
		0	ریس و سیلت		0
		10	ریس		10
گل رس		20			20
		30			30
		40	ریس، شن و ماسه		40
		50	ریس و کمی ماسه		50
شن و ماسه		60			60
		70	ریس و کمی ماسه		70
		80	شن، ماسه و ریس		80
قلوه سنگ		90			90
		100			100
		110	ماسه و کمی ریس		110
		120			120
		130	شن، ماسه و کمی ریس		130
گل رس و شن		140			140
		150			150
		160			160
شن و قلوه سنگ		170			170
		180			180
		190			190
		200			200

شکل (۳) نمونه‌ای از لوگ‌های حفاری چاه‌های کشاورزی

در خاک‌های ریزدانه (رس) به علت نفوذپذیری پایین، خروج آب پس از گذشت مدت زمان طولانی انجام می‌پذیرد و نشست تحکیم در آن‌ها حائز اهمیت است. در یک‌لایه خاک اشباع تحت اضافه تنش باگذشت زمان، آب به تدریج از خاک خارج شده و معادل آب خارج شده، خاک نشست پیدا می‌کند. برخلاف ضرایب  $c_e$  (ضریب بارگذاری) و  $c_s$  (ضریب باربرداری)، مقدار  $m_v$  (ضریب تغییر حجم) به ازای محدوده تنش‌های مختلف متغیر و ارتباط بین  $e$  و  $p$  (فضای غیر لگاریتمی) به صورت خطی نمی‌باشد؛ بنابراین برای محاسبه نشست با استفاده از  $m_v$ ، باید مقدار  $m_v$  مربوط به همان محدوده تنش موردنظر قرائت گردد (شکل ۷) نمودار تغییرات ضریب تراکم‌پذیری حجمی خاک در مقابل افزایش تنش).



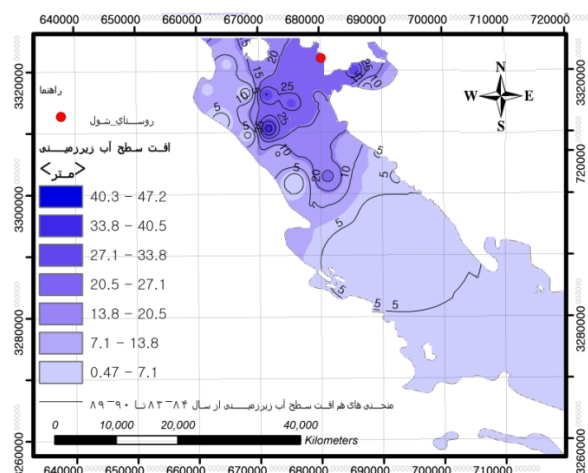
شکل (۷) نمودار تغییرات ضریب تراکم‌پذیری حجمی خاک در مقابل افزایش تنش طبق نتایج حاصل از آزمایش‌های تحکیم در محدوده روستای شول

#### ۴- محاسبه فرونشست سطح زمین

برای محاسبه نشست تحکیم از روابط ترزاقی و ضرایب و پارامترهای مربوطه استفاده شده است (معادله ۱). در این رابطه جهت محاسبه نشست خاک می‌بایست تغییرات تنش مؤثر خاک ناشی از افت آب، ضخامت لایه‌های ریزدانه و ضریب تراکم‌پذیری حجمی خاک تعیین گردد؛ که روش و نحوه به دست آوردن هر کدام در ادامه بیان شده است.

$$S_c = m_v z \Delta \sigma \rightarrow \Delta \sigma = \Delta h (\gamma_{\text{sand}} - \gamma'_{\text{sand}}) \quad (1)$$

در رابطه فوق پارامترهای استفاده شده به شرح زیر تعریف می‌گردند:



شکل (۵) منحنی‌های هم‌افت سطح آب زیرزمینی محدوده روستای شول بین سال‌های ۸۴-۸۳ تا ۹۰-۸۹

### ۳-۳- نمونه برداری و آزمایش جهت تعیین پارامترهای موردنیاز

انجام محاسبات میزان نشست زمین و تعیین خصوصیات لایه‌های خاک در محدوده روستای شول نیازمند یک سری از پارامترها می‌باشد که در این پژوهش از نتایج آزمایش تحکیم اذیوتر استفاده شده است. با توجه به اینکه افت آب در این مناطق ناشی از خشک‌سالی و برداشت بی‌رویه به صورت کلی و یک سطح مشخص افت پیدا می‌کند که می‌توان از نتایج آزمایش تحکیم که بارگذاری و نشست در جهت قائم و یک‌بعدی می‌باشد استفاده نمود. نمونه‌ها از طریق گمانه‌های دستی در ۵ نقطه مختلف نزدیک و دور از روستا در عمق‌های ۱ تا ۳ متر برداشت شدند. در شکل ۶ موقعیت نمونه‌های برداشت شده نشان داده شده است.

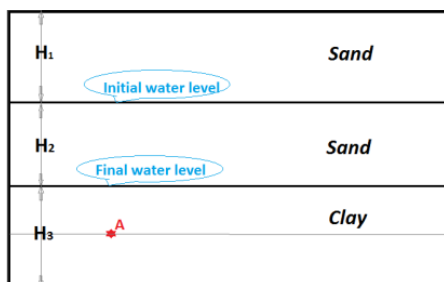


شکل (۶) موقعیت نمونه‌های برداشت شده برای آزمایش تحکیم در محدوده اطراف روستای شول

$$\Delta \sigma = (H_1(\gamma_{sand} - \gamma_w) - H_1(\gamma_{sand} - \gamma_w)) + (H_2(\gamma_{sand} - (\gamma_{sat.sand} - \gamma_w)) + (0.5H_3(\gamma_{sat.clay} - \gamma_w) - 0.5H_3(\gamma_{sat.clay} - \gamma_w))$$

طبق رابطه بالا میزان اضافه تنش ناشی از افت آب این گونه محاسبه می شود.

$$\Delta \sigma'_V = H_2(\gamma_{sand} - \gamma'_{sand}) = H_2(19.42 - 9.89) = 9.53H_2 \quad (2)$$



شکل (۸) افت سطح آب زیرزمینی

دقت شود میزان نشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی، مرحله به مرحله محاسبه شود و برای مثال اگر افت آب ۲۰ متر باشد ۲۰ متر افت آب در ۴ مرحله با افت ۵ متر اعمال می شود و میزان نشست ناشی از ۵ متر افت آب در مرحله اول، علاوه بر اینکه بر لایه های که افت آب در آن اتفاق افتاده است بر دیگر لایه های ریزدانه زیرین نیز اعمال شود و توجه شود که چون افت سطح آب زیرزمینی به صورت گسترده می باشد میزان اضافه تنش اعمالی به لایه های زیرین به اندازه اضافه تنش لایه های بالایی (اضافه تنش ناشی از افت آب) می باشد.

لازم به ذکر است که تأثیر نشست که افت سطح آب در لایه های بالایی دارند بیشتر از همان میزان افت آب در لایه های پایینی می باشد. به دلیل اینکه در لایه های پایینی میزان مدول الاستیک بزرگ تر و ضریب تغییر حجم کمتری دارند که در نمودار زیر تأثیر عمقی که آب در آن افت پیدا می کند و نشست متناظر آن نشان داده شده است. به عنوان مثال اگر خاکی به ضخامت ۴۵ داشته مدنظر باشد و افت آبی به میزان ۳۰ متر باشد که این میزان افت آب، ۶ مرحله با هر بار افت آب به میزان ۵ متر در عمق مربوط به همان لایه اعمال می شود. باید دقت شود در زمان اعمال بار ناشی از افت آب در مرحله دوم و سوم و... این میزان تنش روی لایه های بالایی خود دیگر اعمال

$S_c$ : میزان نشست ناشی از افت آب (متر)

$Z$ : ضخامت لایه خاک ریزدانه (متر)

$\Delta \sigma$ : تغییرات فشار مؤثر ( $\frac{KN}{m^2}$ )

$m_v$ : ضریب تراکم پذیری حجمی ( $\frac{m^2}{KN}$ )

$\gamma_w$ : وزن واحد حجم آب ( $\frac{KN}{m^3}$ )

$\gamma'_{sand}$ : وزن مخصوص غوطه وری ( $\frac{KN}{m^3}$ )

$\gamma_{sand}$ : وزن مخصوص طبیعی یا وزن مخصوص تر (مرطوب) ( $\frac{KN}{m^3}$ )

لازم به ذکر است مقدار مدول الاستیک خاک با افزایش عمق لایه ریزدانه به دلیل تراکم پذیری افزایش می یابد که تغییرات آن با عمق به صورت خطی نیست. در ادامه نحوه تعیین و اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز جهت جایگذاری در فرمول فوق و محاسبه نشست خاک بیان گردیده است.

#### ۴-۱- تغییرات فشار مؤثر و اثر افت سطح آب زیرزمینی بر تنش اعمالی به لایه های زیرین

طی دوره خشک سالی بین سال های ۸۳-۸۴ تا ۸۹-۹۰ در محدوده روستای شول سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۱/۴۳ متر افت داشته است و برای دیگر نقاط دشت مرودشت نیز جداگانه بر اساس تراز آب در پیزومترها مشخص شده است. با کاهش فشار آب منفذی و با این فرض که تغییر وزن مخصوص خاک در اثر افت آب ناچیز است، تغییرات تنش کل ناچیز بوده و بر اساس اصل تنش مؤثر، تنش مؤثر در لایه های خاک افزایش می یابد. به صورت معادل می توان تصور کرد که فشار آب منفذی کاهش پیدا نکرده است بلکه افزایش تنش کل ناشی از اعمال بار خارجی، باعث افزایش تنش مؤثر گردیده است؛ که طبق شکل ۸ بار خارجی ناشی معادل با افت سطح آب زیرزمینی به ارتفاع  $H_2$  به صورت زیر محاسبه می شود. به عنوان مثال میزان افزایش تنش مؤثر در نقطه A ناشی از افت سطح آب در لایه ماسه به ارتفاع  $H_2$  نشان داده شده است.

$$\sigma'_{V (initial)} = H_1 \gamma_{sand} + H_2 (\gamma_{sat.sand} - \gamma_w) + (0.5H_3 (\gamma_{sat.clay} - \gamma_w))$$

$$\sigma'_{V (final)} = H_1 \gamma_{sand} + H_2 \gamma_{sand} + 0.5H_3 (\gamma_{sat.clay} - \gamma_w)$$

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش تحکیم نشان داده شده در شکل ۷ می توان به طور متوسط مقدار ضریب تراکم پذیری حجمی، حدود ۰/۰۰۵. بر اساس میزان تنش متوسط برای خاک رس این منطقه در نظر گرفت و با استفاده از روند زیر می توان میزان مدول الاستیک خاک را به دست آورد و سپس بر اساس جدول ۳ نوع رس را مشخص نمود؛ که به صورت تقریبی نشان دهنده خاک رس متوسط می باشد ( $m_v = 0.005$ ).

$$\frac{1}{m_v} = \frac{(1-\mu)}{(1-2\mu)(1+\mu)} E \rightarrow E = 270 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (3)$$

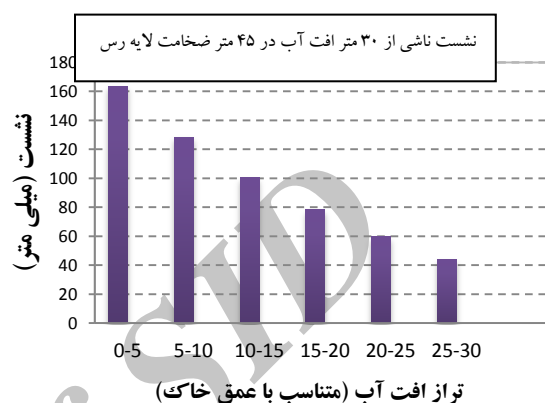
جدول (۳) مدول الاستیک انواع رس و ماسه

نوع خاک	مدول الاستیک $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
رس نرم	۱۰-۱۵۰
رس متوسط	۱۵۰-۳۰۰
رس سفت	۳۰۰-۱۰۰۰
ماسه شل	۱۰۰-۲۰۰
ماسه متوسط	۲۰۰-۴۰۰
ماسه متراکم	۴۰۰-۸۰۰

#### ۴-۳- ضخامت لایه ریزدانه

ضخامت لایه ریزدانه (رس) بر اساس داده های لوگ های حفاری مربوط به چاه های کشاورزی موجود در اطراف روستای شول و گمانه های پیژومترهای موجود در دشت مرودشت مشخص شده اند. برای به دست آوردن میزان ضخامت لایه ریزدانه و تعداد لایه های ریزدانه باید کلیه مشخصات لایه ها از سطح زمین تا سنگ کف مشخص گردد. برای محاسبه نشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی دقت شود ضخامت کل لایه ریزدانه از سطح زمین لحاظ نشود چون معمولاً چند متر بالایی در سطح زمین از قبل خشک بوده اند و افت سطح آب بر روی لایه بالایی تأثیری ندارد و این عمق را می توان از طریق ارتفاع سطح آب در زمان حفاری و یا تراز آب از زمانی که خشک سالی و افت آب شروع شده در نظر گرفت و میزان تنشی که ناشی از خاک سطحی که افت آب در آن انجام نشده است در میزان تنش تخمینی در هر عمقی برای تعیین ضریب تغییر حجم لحاظ شود. در ادامه یک سری نکات ضروری در

نمی شود یعنی ۵ متر افت آب در مرحله اول روی ۴۵ متر ضخامت خاک اثرگذار است و در مرحله دوم، ۵ متر افت آب چون در لایه دوم خاک اتفاق می افتد این میزان افزایش تنش روی ۴۰ متر ضخامت خاک زیرین خود اثر می گذارد (شکل ۹).



شکل (۹) تأثیر میزان افت آب در ترازهای مختلف بر روی نشست لایه های خاک اشباع

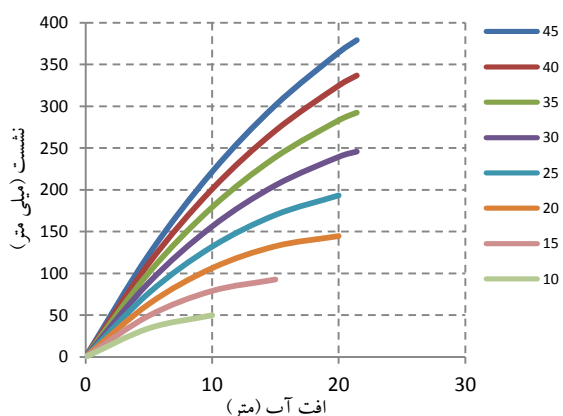
#### ۴-۲- ضریب تراکم پذیری حجمی

مقادیر نسبت پواسون را می توان با انجام آزمایش های مربوطه به دست آورد یا از روابط و مقادیر ارائه شده در کتابها استفاده نمود که در اینجا از نتایج تجربی ارائه شده در کتاب مکانیک خاک استفاده شده است [۱۹]. طبق جدول ۲، نسبت پواسون برای رس متوسط بین ۰/۳ تا ۰/۳۵ و برای رس سفت بین ۰/۲ تا ۰/۳ می باشد که در اینجا یک میزان متوسط و حداقلی را با توجه به خاک منطقه که رس متوسط می باشد به میزان ۰/۳ را لحاظ شده است [۱۹].

جدول (۲) نسبت پواسون انواع خاک های رس و ماسه [۱۹]

نوع خاک	نسبت پواسون
رس نرم	۰/۴ - ۰/۳۵
رس متوسط	۰/۳۵ - ۰/۳
رس سفت	۰/۳ - ۰/۲
ماسه شل	۰/۲۵ - ۰/۱۵
ماسه متوسط	۰/۳ - ۰/۲۵
ماسه متراکم	۰/۳۵ - ۰/۲۵

متغیر بودن لایه‌بندی خاک و عمق سنگ‌بستر که به تناسب آن ضخامت لایه‌های ریزدانه هم متفاوت می‌باشند بر اساس نتایج به دست آمده از لایه‌بندی خاک در محدوده روستای شول، ضخامت لایه‌های ریزدانه بین ۲۰ تا ۵۵ متر متغیر هستند. در شکل ۱۱ میزان تأثیر ضخامت لایه ریزدانه به ازای افت آب مشخص به میزان ۲۱/۴۳ متر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود نشست در لایه‌ای با ضخامت ۴۰ متر بیش از ۲ برابر میزان نشست در لایه‌ای با ضخامت ۲۰ متر می‌باشد.



شکل (۱۱) میزان نشست لایه‌ها با ضخامت‌های مختلف در محدوده روستای شول

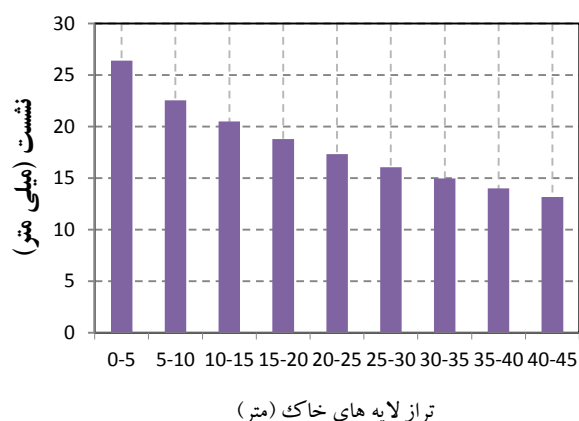
## ۶- نشست روستای شول و محدوده اطراف آن

با بررسی و تفسیر اطلاعات به دست آمده از بیش از ۷۰ چاه آبیاری، میزان نشست محدوده روستای شول با توجه به لایه‌بندی و ضخامت لایه رس، خصوصیات لایه‌ها و میزان افت سطح آب زیرزمینی در شکل ۱۲ ارائه شده است وضعیت ضخامت آبرفت و عمق سنگ‌بستر نیز در این محدوده به صورت دقیق مشخص شده است که به تناسب آن نتایج دارای دقت بیشتری هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از چاه‌های آبیاری محدوده روستای شول مشاهده می‌شود که میزان فرونشست در خود روستای شول به طور متوسط ۱۶,۵ سانتی‌متر و با فاصله گرفتن از محدوده روستا این میزان فرونشست به علت افزایش ضخامت آبرفت به حدود ۲۲ سانتی‌متر و در فاصله حدود ۲ کیلومتری از روستا این میزان نشست به ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد؛ که این افزایش میزان نشست

خصوصاً ضخامت لایه‌ها و پارامترهای مرتبط به آن‌ها بیان شده است:

**نکته ۱)** با افزایش عمق، تراکم لایه‌های خاک و میزان مدول الاستیک خاک افزایش می‌یابد که این افزایش غیرخطی می‌باشد، به جای استفاده از نشانه فشردگی ( $c_c$ ) که تقریباً ثابت است از ضریب تغییر حجم ( $m_v$ ) استفاده شده است. ضریب تغییر حجم با توجه به عمق هر لایه و میزان تنش که هر لایه تحمل می‌کند از روی نمودار به دست آمده از آزمایش تحکیم ادومتر به نسبت تنش مشخص قرائت می‌شود. برای محاسبه دقیق میزان نشست باید خاک ریزدانه به لایه‌های با ضخامت‌های کمتر بین ۲ تا ۵ متر تقسیم شوند و سپس نشست هر لایه به میزان تنش همان لایه و ضریب تغییر حجم آن لایه محاسبه گردد.

**نکته ۲)** یکی از پارامترهای اثرگذار بر روی محاسبات نشست خاک، ضخامت لایه‌های ریزدانه می‌باشد مثلاً اگر فرض شود سطح آب زیرزمینی به میزان ۵ متر افت داشته باشد میزان نشست ناشی از آن در یک لایه ریزدانه که ۴۵ متر ضخامت دارد و به زیر لایه‌های ۵ متری تقسیم شده است (شکل ۱۰). طبق شکل ۱۰ می‌توان درصد میزان نشست هر لایه ۵ متری را مشاهده کرد با توجه به اینکه لایه در چه عمقی قرار دارد میزان ضریب تغییر حجم متفاوتی دارد.



تراز لایه‌های خاک (متر)

شکل (۱۰) تأثیر افت آب به میزان ۵ متر بر روی نشست لایه‌ها در ترازهای مختلف خاک

**نکته ۳)** با توجه به قرارگیری روستای شول در دامنه کوه و

خاک افزایش می‌یابد که این افزایش غیرخطی می‌باشد و بهتر است سعی شود از ضریب تغییر حجم ( $m_v$ ) به جای نشانه فشردگی ( $c_c$ ) که تقریباً ثابت است استفاده گردد.

- نشست هر لایه می‌بایست به میزان تنش همان لایه و میزان ضریب تغییر حجمی آن لایه محاسبه گردد در غیر این صورت نتایج با واقعیت دارای اختلاف زیادی خواهند بود.

## ۸- مراجع

[1] Gambolati, G., Gatto, P. and Freeze, R. A., 1974. Mathematical simulation of the subsidence of Venice, 2. Results, Water Resour. Res., 10, 563-577.

[2] Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutis, V., & Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. Engineering Geology, 84:143-160.

[3] Quanlong, W., 2006. Land subsidence and water management in Shanghai, Master thesis, Delft University, Netherlands.

[4] Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., & Wang, S.J., 2004. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. Engineering Geology, 76:65-77.

[5] Phien-wei, N., Giao, P.H., & Nutalaya, P., 2006. Land subsidence in Bangkok, Thailand. Engineering Geology, 82,187-201.

[6] Bouwer, H., 1978. Land subsidence and cracking due to ground-water depletion, Groundwater hydrology, Mc Graw Hill, 572p.

[7] عباس نژاد، ا.، ۱۳۷۷. بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط‌زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

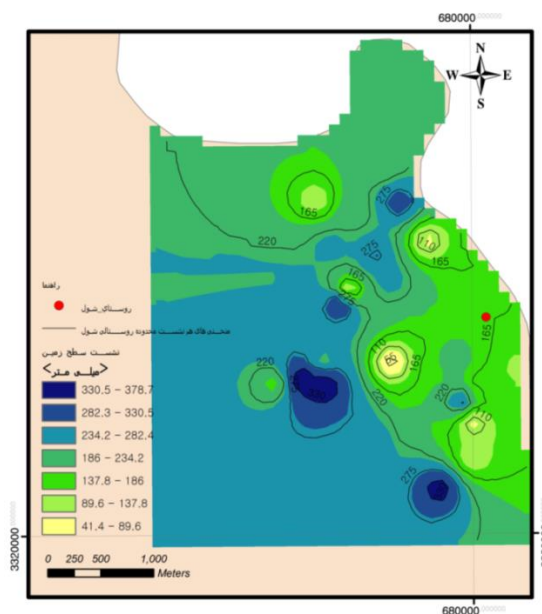
[8] رحمانیان، د.، ۱۳۶۵. نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آب‌های زیرزمینی در کرمان. مجله آب، ۴۲.

[9] رهنما، ح.، میراثی، س.، ۱۳۹۲. بررسی جامع وضعیت پدیده فرونشست با در نظر گرفتن آسیب‌ها و عوامل رخداد آن و ارائه راهکارهای مناسب (مطالعه موردی: استان فارس و چهارمحال و بختیاری) مجله بنا، راه و ساختمان.

[10] عالمی، الف.، ۱۳۸۱. بررسی علل نشست در دشت یزد اردکان. مجموعه مقالات سومین همایش بین‌المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ص ۴۳۴-۴۲۹.

[11] امیری، م.، ۱۳۸۴. ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین، کبودرآهنگ، قهاوند با سنگ کف منطقه، مجله علوم زمین،

سطح زمین به ازای افت آب تقریباً یکسان به علت افزایش ضخامت لایه‌های ریزدانه و عمق آبرفت می‌باشد.



شکل (۱۲) میزان فرونشست محدوده اطراف روستای شول بر اثر افت سطح آب زیرزمینی (میلی‌متر)

## ۷- نتیجه‌گیری

بر اساس بازدیدهای صحرائی و تحلیل داده‌های منطقه مشخص گردید که عوامل مهمی همچون کاهش نزولات جوی در طی ۶ سال گذشته، افت سطح آب زیرزمینی ناشی از برداشت بی‌رویه، عمق زیاد آبرفت روی بستر سنگی، تغییر ضخامت لایه‌های خاک در دامنه کوه و ضخامت زیاد لایه‌های ریزدانه رسی سبب فرونشست در دشت مرودشت و آسیب وارده به ساختمان‌های روستایی شده‌اند. در راستای نحوه محاسبه نشست سطح زمین و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن نتایجی به شرح زیر ارائه شده است:

- میزان فرونشست در روستای شول به ازای ۲۱ متر افت آب به‌طور متوسط ۱۶/۵ سانتی‌متر تعیین شده است که بافاصله گرفتن از روستا این میزان فرونشست به علت افزایش ضخامت آبرفت، به حدود ۲۲ سانتی‌متر افزایش یافته است.

- نشست ناشی از افت سطح آب، در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی می‌باشد چراکه لایه‌های پایینی، مدول الاستیک بزرگ‌تر و ضریب تغییر حجمی کمتری دارند.

- با افزایش عمق، تراکم لایه‌های خاک و میزان مدول الاستیک



[16] USGS, 2000. 29 Mass Movement and Subsidence Caused by Anthropogenic Activity, Land subsidence in the United States, Fact Sheet 08700 in Website: <http://clic.cses.vt.edu>, December 20, 2005.

[۱۷] میراثی، س.، ۱۳۹۱. بررسی پدیده فرونشست زمین با در نظرگرفتن عوامل اثرگذار و آسیب‌های وارده بر ساختمان‌های روستایی در دشت مرودشت استان فارس، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شیراز.

[18] Rahnema, H. and Mirassi, S. "Seismic study of land subsidence and Vulnerability of Rural Buildings by using geophysics methods, near Shiraz city", *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol., 7 (11), 718-724, 2013

[۱۹] میونی بودهو، ترجمه یوسف زاده فرد، م.، ۱۳۸۵. مکانیک خاک و پی، انتشارات دانشگاه تبریز.

انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شماره ۸۵ صفحات ۱۴۸-۱۳۴.

[۱۲] شمشکی، الف.، انتظام سلطانی، الف.، ۱۳۸۴. سازوکار علل تشکیل شکاف‌های زمین در منطقه معین‌آباد ورامین. چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران، ص ۱۹۱-۱۷۸.

[۱۳] بلورچی، م. ج.، ۱۳۸۴. احتمال فرونشست زمین در اراضی وسیعی از تهران، پایگاه خبری شریف نیوز.

[14] Rahnema, H., Mirasi, S., 2012. Seismic and Geotechnical Study of Land Subsidence and Vulnerability of Rural Buildings, *International Journal of Geosciences*, 2012, 3, 878-884, doi: 10.4236/ijg.2012.324089

[15] Rahnema, H. and Mirassi, S. "Crisis Management Concerning Underground Water Falling and Land Subsidence Occurrence in the Plains of Iran", *Advances in Environmental Biology*, 8(5) April, Pages: 1453-1465 (2014).

# Analysis and evaluate the effective parameters on land subsidence

H. Rahnema<sup>1</sup>, S. Mirassi<sup>2\*</sup>

1- Assistant Prof., Dep. of Civil and Environmental Eng., Shiraz University of Technology, Shiraz

2- Ph.D. student of Geotechnical Engineering, Dep. of Civil and Environmental Eng., Shiraz University of Technology; and Head of Dep. of Civil Eng., Lordegan Branch, Shahrekord, Islamic Azad University

S.Mirasi@sutech.ac.ir

## Abstract:

Land subsidence caused by natural factors and human activities in different parts of the world. This phenomenon consists of collapse or settlement of the surface level that may occur due to some reasons such as the dissolution of subsurface formations, sediment compression, loading, drainage, vibration, subsurface mechanical erosion, shrinkage of clay soils, tectonic subsidence and etc. Land subsidence, as a serious crisis, has been observed in several Iranian plains in recent years. By the continuation of drought and excess withdrawal of water resources, land subsidence and gaps have slowly extended and it can impose expensive financial and social costs on the government gradually. Water consumption and withdrawal of under groundwater are important factors in the plain of Iran that is very irreparable and alarming. Low rainfall, nonexistence of appropriate nutrition for aquifers, continuous pumping is caused the groundwater level of plain in the most provinces during the past years has always reduced. The most important results of groundwater level dropping that can be noticed are land subsidence; increase the cost of drilling deeper wells and water pumping, drying and decreasing the water of wells, springs and water quality. On a global scale, hazard of land subsidence due to dropping water levels has reached its peak between 1950 and 1970, which coincided with industrialization and urbanization growth. This phenomenon has been observed in many parts of the world such as northern Greece, northern Italy, China, Mexico and Japan in the past years. Hu et al. (2004) reported these phenomena in over 150 cities worldwide. And also regional land subsidence related to the groundwater level dropping has been reported in many parts of Iran such as Ardakan plains of Yazd, Moin Abad in Varamin and Shahryar in Tehran. Also, subsidence along with the drop of groundwater levels has been reported in many aquifers such as Sistan Plain, Kashmar plain in Khorasan and Mashhad plain. In this paper was shown that subsidence in recent years is appeared in Fars province due to indiscriminate withdrawal of groundwater, drought and other factors. Land subsidence caused lots of damages to agricultural lands, residential buildings, roads, and other structures and generally created environmental, social and financial problems. In this research a case study was performed on the villages of Marvdasht plain in order to study the effective factors and parameters and evaluate the influence of each one on land subsidence. And also was examined how to determine and evaluate the main effective parameters such as water levels falling, material and thickness of soil layers especially fine-grained, geotechnical properties of soil layers. Results showed to perform of subsidence calculations the data and requirement information should be prepared accurate and complete as much as possible. It should be noted that the characteristics and different statuses of each parameter must be considered. For example, the amount of settlement is different in various depths due to same water falling or same thickness of layers. Based on the analysis of the data, the most important factors which caused land subsidence in Marvdasht plain and damage to rural buildings were water table dropping due to excessive exploitation of water resources, the decrease of precipitation during the studied time and presence of thick clay.

**Keywords:** Water Falling, Land Subsidence, Irregular Withdrawals, fine grain.