

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۶، بهار ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۴/۱۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۵

صفحات: ۲۶۲ - ۲۴۵

## بررسی برخی از مسائل اقتصادی و اجتماعی پدیده نشست زمین ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در شهر رفسنجان

فهیمة جعفری مهدی آباد<sup>۱</sup>، دکتر محمد عبدالهی عزت آبادی<sup>۲</sup>

### چکیده

افزایش مصرف آب‌های زیرزمینی به‌منظور توسعه صنعت و کشاورزی توأم با خشکسالی‌های متوالی باعث کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی شده است. این مسئله پدیده نشست زمین را به‌همراه داشته است. در مطالعه جاری برخی از مسائل اقتصادی و اجتماعی پدیده نشست زمین ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در شهر رفسنجان، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از روش پیمایشی و با تکمیل ۳۰۰ پرسشنامه، اطلاعات موردنیاز به‌دست آمد. سپس برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش رگرسیون و آنالیز واریانس استفاده شد. نتایج نشان داد بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افزایش آفت سالانه، افزایش خسارت‌ها و هزینه‌های تعمیرات ساختمان به‌دلیل نشست زمین را به‌دنبال داشته است. به‌منظور کاهش اثرات منفی ناشی از برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، پیشنهاد می‌شود در ارزیابی‌های اقتصادی به هزینه‌ها و منافع اجتماعی توجه شود. نتایج این مطالعه همچنین می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در جهت نحوه توسعه منطقه شهری در شهر رفسنجان مورد استفاده قرار گیرد. کلید واژگان: آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری بی‌رویه، نشست زمین، ارزیابی اقتصادی-اجتماعی، شهر رفسنجان.

## مقدمه

در سه دهه اخیر افزایش مصرف آب‌های زیرزمینی برای توسعه صنعت و کشاورزی توأم با خشکسالی‌های متوالی، کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است (Khanlari et.al, 2012: 518). به‌طور کلی مدیریت نامناسب این منابع باعث به‌وجود آمدن هزینه‌های دولتی بیش‌ازحد یا بی‌جا، اخیراً بدتر شدن زیرساخت‌ها، سلامت و بهداشت جامعه و مشکلات تولید به‌دلیل کیفیت و کمیت نامناسب منابع، کاهش‌های منطقه‌ای و مرزی، تخریب آب‌و‌خاک، اتلاف سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و... است که بسیاری از این مشکلات به این دلیل به‌وجود می‌آیند که قیمت محسوب‌شده آب کمتر از قیمت واقعی آن است و تنها با اندک هزینه‌های استخراج و توزیع آن مرتبط است (Schrecongost et.al, 2004: 1). یکی از ویژگی‌های آب، ایجاد فشار منفذی در لابه‌لای خاک است. با افزایش افت سطح آب‌های زیرزمینی و در نتیجه خارج شدن آب از خاک و حذف این فشار، نیروی تنش‌ی وارد بر خاک افزایش یافته، تعادل ساختمان خاک از بین می‌رود. با افزایش تراکم و بارگذاری‌های متناوب، نشست زمین به‌وقوع می‌پیوندد (Poland, 1981: 115). این در صورتی است که نرخ برداشت آب بیشتر از نرخ جایگزینی آن باشد (اوریا، ۱۳۸۳: ۷۹). کاهش ارتفاع سطح زمین به‌طور معمول به نسبت‌های سانتی‌متری در هر سال اتفاق می‌افتد. در بسیاری از کشورهای جهان پدیده نشست زمین و ایجاد شکاف در سطح زمین مشاهده شده است. در حدود ۲۶۰۰۰ کیلومتر مربع از مساحت آمریکا به‌طور دائم ارتفاع سطح زمین کاهش می‌یابد (Holzer and Galloway, 2005: 87). دامنه نشست از ۰/۳ متر (در ساوانا و گرجستان) تا ۰/۹ متر (در کالیفرنیا و سن‌جاگوئین) متغیر است (Poland, 1981: 115). Shui and Chongxi و همکاران (۲۰۰۳)، در شهر سوزو؛ Shui and Shuang (۲۰۱۱) و همکاران (۲۰۱۳)، در شانگهای هر دو از استان‌های کشور چین با استفاده از مدل‌های ریاضی متفاوت نشان داده‌اند که نشست زمین به‌شدت

با استخراج آب‌های زیرزمینی در هر دو مقیاس مکانی و زمانی در ارتباط است. در مطالعه zhu و همکاران (۲۰۱۵) در شهر پکن نرخ نشست زمین ۵۲ میلی‌متر در سال گزارش شده است. اگر روند کنونی استخراج آب‌های زیرزمینی ادامه داشته باشد، کاهش عمق تا سال ۲۰۶۰ در حدود دوبرابر مقدار کنونی خواهد رسید؛ در نتیجه مسائل زیست‌محیطی گسترش می‌یابد و اساس محدودیت توسعه پایدار از نظر اجتماعی و اقتصادی می‌شود (Hasanuzzaman et.al, 2017; 238). چنانچه فروچاله‌های ناشی از کاهش آب‌های زیرزمینی در فلات Obruk باعث آسیب به زیرساخت‌ها و روستاهای آن شده است (Fabiana et.al, 2017; 1). در ایران نیز در دهه‌های اخیر، استخراج بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی باعث تقلیل شدید این منابع بارز شده است. Khanlari et.al (۲۰۱۲) با بررسی هیدرولوژیکی و ژئوتکنیکی در دشت مرکزی همدان، Motagh et.al (۲۰۰۸)، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران؛ Anderssohn et.al (۲۰۰۶)، در دشت مشهد، et.al (۲۰۰۸)، در دشت کاشمر با ترکیب داده‌های سطح آب و تصاویر ماهواره‌ای روند افزایشی نشست زمین و ارتباط مستقیم آن با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی را گزارش کرده‌اند. در استان کرمان نیز ضعف اقدامات مدیریتی و ادامه روند کنونی تخلیه آبخوان‌ها، باعث ایجاد مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی شده است (شاهی‌دشت و عباس‌نژاد، ۱۳۸۹: ۱). شهر رفسنجان یکی از مناطق درگیر با این مسئله در استان کرمان است. نقاط مختلف شهر رفسنجان در حال حاضر بین ۰ تا کمتر از ۱۲ سانتی‌متر در سال به‌ازای ۰/۶۵ الی ۰/۷ متر افت سطح آب، نشست می‌کند. میزان نشست سالانه در سال ۱۴۰۰ در مناطقی از شهر به بیش از ۱۴ سانتی‌متر در سال خواهد رسید. این اختلاف شدید نشست در شهر می‌تواند خسارت جدی به شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب وارد آورد (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۸۵).

بدیهی است که در چند دهه اخیر به دلیل افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، سرعت نشست زمین این مقدار نخواهد بود. در آینده با توجه به افت مداوم سطح آب، نشست زمین با آهنگ به‌مراتب بیشتری صورت خواهد گرفت (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۳). در نهایت اینکه تطابق لازم برای رسیدگی به این کمبود و حل بحران آب ممکن است گران و ناخوشایند به نظر برسد؛ اما این امر الزامی است و بدون برنامه‌ریزی مناسب وضعیت بدتر خواهد شد (Ackerman and Stanton, 2011: 29). تنها راه‌حل، مناسب‌ساختن و مطابقت‌کردن نیازهای خود با شرایط هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی، فرهنگی، اقتصادی و سیاسی هر منطقه است (Gunn, 2011: 97). به‌طور کلی پیامدهای منفی بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی به این دلیل است که بیشترین مطالعات آب زیرزمینی تا به امروز تنها در ارزیابی از محدود خدمات مرتبط با استخراج و توزیع آب زیرزمینی است و از دید جامع‌تری از تولید و خدمات زیست‌محیطی دیده نشده است (National Academic Press Washington, 1997: 1). همچنین با توجه به اینکه افت آب‌های زیرزمینی باعث ایجاد هزینه‌های جنبی می‌شود و رفاه اجتماعی را می‌کاهد (تهامی‌پور و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۱۳). قیمت‌گذاری مناسب آب ابزاری است که می‌تواند کمکی به پیشبرد اهدافی از قبیل توسعه و مدیریت منابع آب، افزایش بهره‌وری، توزیع مجدد درآمد، کاهش بار مالی بر دولت و حفاظت منابع آب باشد. (Schrecongost et.al, 2004: 1). به‌عبارت‌دیگر، با دریافت هزینه اجتماعی منابع آب با‌عنوان آب‌بها می‌توان کشاورزان را وادار کرد در بهره‌برداری از منابع آب از اصول اقتصادی استفاده کنند (میرزایی و چیذری، ۱۳۸۳: ۴۹). بایستی، تفاوت بین ارزش بهره‌وری نهایی و هزینه پمپاژ هر مترمکعب آب (که نشان‌دهنده مازادی است که نصیب تولیدکنندگان می‌شود) را صرف احیای منابع آب، بهبود سیستم‌های آبیاری منطقه و جلوگیری از کاهش اتلاف آب کرد تا از این طریق زیان‌های رفاه اجتماعی جبران شود (تهامی‌پور و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۱۳).

محققان بسیاری در منطقه رفسنجان با استفاده از روش‌های مختلف از جمله: اوریا (۱۳۸۳) به‌صورت تحلیلی و همچنین با استفاده از مدل اجزای محدود؛ معافی (۱۳۸۵) با استفاده از آمار چاه‌های پیژومتری دشت در دهه اخیر، دبی پمپاژ چاه‌ها و همچنین همه ویژگی‌های جغرافیایی و اطلاعات برداشت‌شده توسط GPS در خصوص نشست در یک دوره ۸ ماهه؛ توفیق و طباطبایی‌عقدا (۱۳۸۸) با روش محاسبه برگشتی؛ سلیمانی و مرتضوی (۲۰۰۷) با بررسی لوگ حفاری چاه‌های موجود در منطقه، نشست منطقه‌ای زمین تحت بارگذاری متناوب ناشی از تغییرات سطح آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. معمولاً خسارت‌های فراوانی به دلیل نشست زمین بر روی تأسیسات شهری و ساختمان‌ها وارد می‌آید (اوریا، ۱۳۸۳: ۷). خطرناک‌ترین ترک ایجادشده در یک سازه، ترک قطری است که در سازه‌های دیوار باربر اتفاق می‌افتد و نابودی سازه را به‌همراه دارد؛ به‌طوری‌که یک ساختمان با ترک قطری دیگر ارزش سازه‌ای ندارد و می‌توان پدیده را نوعی زلزله خاموش تصور کرد (مرتضوی، ۱۳۸۷: ۱۲۲). ترک‌ها از سطح زمین شروع شده، بر روی دیوار و حتی سقف ادامه پیدا می‌کنند. این ترک‌ها علاوه بر تخریب نماسازی، باعث تلفات حرارتی و ضعیف‌شدن سیستم سازه‌ای در مقابل نیروی زلزله می‌شود (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۱۲). طباطبایی (۱۳۸۵)، با برداشت آماری از آسیب‌دیدگی‌های خارجی ساختمان‌های شهر و با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه پهنه‌بندی خطر نشست در شهر رفسنجان را تهیه کرد. وی به این نتیجه می‌رسد که میزان نشست در مناطق شمال یا شمال شرقی شهر، با توجه به زیادبودن ضخامت لایه رس، بیشتر از قسمت‌های دیگر شهر است. در قسمت‌های غربی یا جنوب غربی، به دلیل قابلیت نشست کم پروفیل خاک، نشست کمتری دارد. به‌طور کلی، شهر رفسنجان به دلیل واقع شدن در حدفاصل رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه، دارای اختلاف نشست زیادی در محدوده شهر است.

بهتری برای خود در نظر بگیرند (عبدالهی عزت‌آبادی، ۱۳۸۷: ۱۲۲).

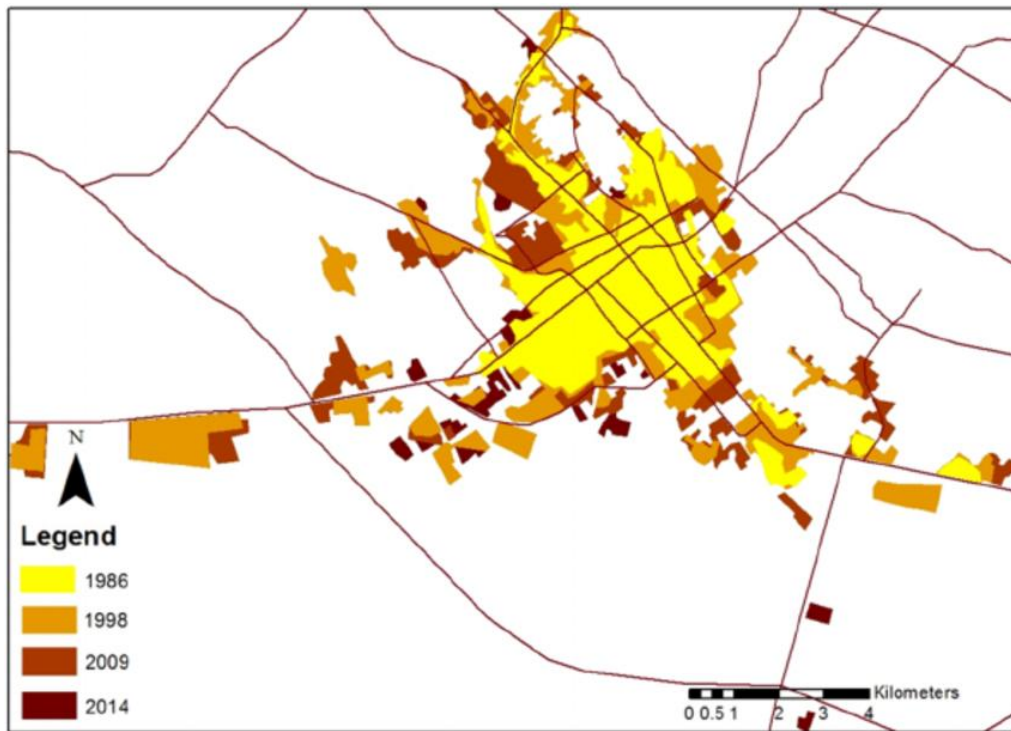
بدین ترتیب نیاز به بررسی مسائل اقتصادی و اجتماعی پدیده‌نشست زمین ناشی از بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی در شهر رفسنجان وجود دارد. در این خصوص نیاز است تا اثرات منفی ناشی از این مسئله بر روی هزینه‌ها و منافع اجتماعی بررسی شود؛ از این رو، در مطالعه جاری سعی می‌شود تا به این مسئله پرداخته شود. برای این منظور، در گام نخست تأثیر آفت آب و در نتیجه نشست زمین و ایجاد ترک بر هزینه‌های استهلاک ساختمان‌ها بررسی می‌شود. سپس با محاسبه ارزش اقتصادی آب از دیدگاه اجتماعی به مقایسه آن با هزینه‌های بخش خصوصی پرداخته می‌شود.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر رفسنجان در حاشیه جنوبی کویر لوت و در شمال غربی استان کرمان در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه شرقی قرار گرفته است. فاصله رفسنجان تا مرکز استان، شهر کرمان، ۱۱۰ کیلومتر است. رفسنجان در ارتفاع ۱۴۶۰ متری از سطح دریا قرار دارد و با مساحتی حدود ۱۰۶۸۷ کیلومتر از شمال به شهرستان‌های بافق و زرنند و از جنوب به شهرستان بردسیر و از غرب به شهرستان‌های انار و شهر بابک و از شرق به شهرستان‌های کرمان و زرنند محدود می‌شود. رفسنجان دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. میزان بارندگی متوسط سالانه آن ۱۰۰ میلی‌متر است. طبق آمار سرشماری سال ۱۳۸۵، جمعیت این شهرستان حدود ۳۰۰ هزار نفر و جمعیت شهر رفسنجان به تنهایی بالغ بر حدود ۱۴۰ هزار نفر بوده است. شهرستان رفسنجان شامل ۳ مرکز شهری (کشکوئیه، سرچشمه و رفسنجان) و ۳ بخش (مرکزی، نوق و کشکوئیه) است.

تاکنون هیچ مطالعه‌ای، پدیده نشست زمین ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه را از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی در شهر رفسنجان و فراتر از آن در دیگر نقاط درگیر با این پدیده مورد بررسی قرار نداده است. با توجه به مسائل مطرح شده، هرچند رفع همه مشکلات کمبود آب در سطح کشور امکان‌ناپذیر است؛ باوجود این افزایش سطح آگاهی بهره‌برداران آب کشاورزی و دولتمردان ضروری است. در اختیار قراردادن این معلومات می‌تواند گامی مؤثر در تصمیم‌گیری‌های سیاست‌گذاران و تولیدکنندگان در جهت رشد و توسعه پایدار کشور باشد (بوستانی و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۸۷). سیاست‌گذاری‌های نامناسب و ناهماهنگ در بخش‌های کلان اقتصادی، منابع آب و کشاورزی، کاهش رفاه اجتماعی را به‌همرا داشته و باعث توسعه ناپایدار در مناطق مختلف کشور شده است (عبدالهی عزت‌آبادی، ۱۳۸۷: ۱۳۴). این امر فراتر از مشکلات توسعه می‌تواند عامل یک فاجعه اقتصادی و امنیتی نیز باشد (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۸۹). چنانچه شفيعی ثابت (۱۳۷۳) در مطالعه خود نقل کرده است که در نواحی مرکزی آریزونا، شکاف‌های زمین و آفت سطح آب زیرزمینی منجر به دست‌کشیدن کشاورزان از زمین‌های زراعی دارای سیستم‌های پیشرفته آبیاری شده است (شفيعی ثابت، ۱۳۷۳: ۱۵). با وجود اینکه پیش‌بینی آینده بسیار دشوار است، اما با ارزیابی فعل و انفعالات حاکم بر محیط، تأثیرات عمومی و پیامدهای ناشی از این فرایندها، می‌توان آینده واضح‌تری برای کشور تصور کرد (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت، ۱۳۹۲: ۹۳). به‌طور کلی برای رسیدن به پایداری در مدیریت منابع آب، در ابتدا لازم است که ارتباط بین استفاده از آب و پیامدهای آن را تعریف کنیم (بریم‌نژاد و یزدانی، ۱۳۸۳: ۵). با معرفی این پیامدهای منفی در شهر رفسنجان، امید است که مسئولان سایر مناطق کشور، با درس گرفتن از سرنوشت آن سیاست‌های مناسب‌تری اتخاذ نمایند و با در نظر گرفتن توسعه پایدار آینده



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه  
منبع: (Mehryar and et al, 2015)

### روش‌شناسی

در این تحقیق، سه گروه از داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. گروه اول آمار میدانی بود که توسط پرسشنامه تهیه شد. گروه دوم از داده‌ها، مربوط به اطلاعات کتابخانه‌ای است. در این زمینه از مطالعات قبلی شامل کتاب، مقاله‌های معتبر علمی و رساله‌های دوره کارشناسی ارشد در زمینه موضوع مورد مطالعه استفاده شد. گروه سوم از اطلاعات، مربوط به داده‌هایی است که از سازمان‌ها و اداره‌های درگیر در مسئله آب کشاورزی شهرستان رفسنجان تهیه شد. برای این منظور، از شهرداری رفسنجان، سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و ناحیه آب منطقه‌ای شهرستان رفسنجان اطلاعات دریافت شد.

آمار میدانی مورد نیاز این تحقیق با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی دو مرحله‌ای، با تکمیل ۳۰۰ پرسشنامه تهیه شد. در این خصوص از ساکنان ساختمان‌های انتخابی درباره هزینه‌های تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها و هزینه تعمیرات خساراتی که ناشی از شکست و ترک خوردگی است و ویژگی‌های

مربوط به ساختمان که شامل عمر ساختمان، نوع ساختمان و تعداد دفعات تعمیرات است، مصاحبه شد. تعداد چاه‌های آبیاری و موقعیت جغرافیایی آنها در دشت رفسنجان، از سازمان آب منطقه‌ای کرمان و ناحیه آبیاری رفسنجان گرفته شد. برای این منظور، سعی شد اطلاعات همه چاه‌های آبیاری موجود در شهر رفسنجان و محدوده اطراف آن استخراج شود؛ اما به دلیل ناقص بودن آمار برخی از چاه‌های آبیاری و یا امتناع مسئولان مربوط از دادن آمار برخی از چاه‌ها با عنوان حفاظتی بودن آنها، در نهایت آمار ۴۱ حلقه چاه که در محدوده شهر قرار داشتند، استخراج شد. در این خصوص اطلاعاتی از قبیل سطح ایستابی، عمر چاه، دبی مجاز و واقعی، عمق چاه و عمق آبکشی دریافت شد. در ضمن آمار مربوط به تعداد ساختمان‌های شهر رفسنجان از واحد فورماتیک شهرداری رفسنجان تهیه شد. بهره‌برداری بی‌رویه و افزایش افت سالانه باعث پدیده نشست منطقه‌ای زمین می‌شود. این پدیده باعث ایجاد ترک در ساختمان‌ها می‌شود و برای ساختمان‌های آسیب‌دیده ایجاد هزینه می‌کند (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۲-۶). بدین ترتیب فرض می‌شود که میزان خسارات و

انجام آزمایش‌ها و ترسیم نقشه خاک، تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی و تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی به‌عنوان معیاری از نوع خاک در نظر گرفته شد؛ زیرا تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی به ظرفیت آبدهی ویژه خاک بستگی دارد.

تخلخل مواد ریزدانه بیشتر از مواد درشت‌دانه است و برعکس، نگهداشت مخصوص در مواد ریزدانه بیشتر از مواد درشت‌دانه است؛ اما چون تغییرات آنها با یکدیگر متقارن نیست، بنابراین تفاوت تخلخل مواد و نگهداشت مخصوص آنها آبدهی مخصوص است؛ به این نحو که از سمت مواد درشت‌دانه، ابتدا آبدهی زیاد و به نقطه حداکثر رسیده و سپس با ریزتر شدن مواد، آبدهی کاهش پیدا می‌کند. نقطه ماکزیمم جایی است که اندازه ذرات متوسط (نه ریز و نه زیاد درشت) باشد (علیزاده، ۱۳۸۵: ۳۳۵).

جدول ۱. تخلخل مفید (آبدهی مخصوص) در برخی مواد رسوبی

نوع مواد	آبدهی مخصوص (%)		
	حداکثر	حداقل	متوسط
رس	۵	۰	۲
سیلت	۱۹	۳	۱۸
ماسه	۲۸	۱۰	۲۱
شن متوسط	۳۲	۱۵	۲۶
شن درشت	۳۵	۲۰	۲۷
گراول-شن	۳۵	۲۰	۲۵
گراول ریز	۳۵	۲۱	۲۵
گراول متوسط	۲۶	۱۳	۲۳
گراول درشت	۲۶	۱۲	۲۲

منبع: علیزاده، ۱۳۸۵: ۳۳۵

قابلیت فشرده‌شدن مواد رسوبی عکس مدول الاستیک مواد آکیفر است. مدول الاستیک برخی از مواد تشکیل‌دهنده لایه آبدار به شرح زیر است (علیزاده، ۱۳۸۵: ۳۵۲).

رس  $10^6 - 10^8$

شن نرم  $10^7 - 10^9$

شن-گراول متراکم  $10^8 - 10^{10}$

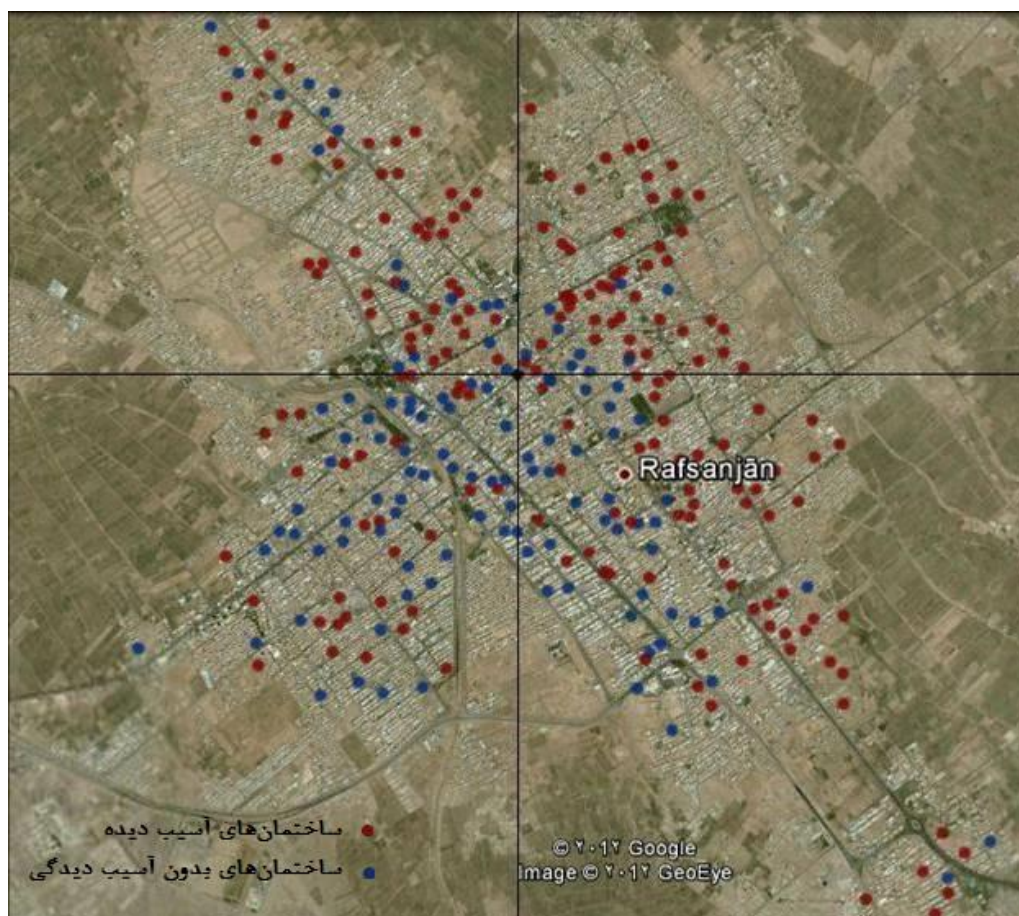
سنگ‌های ترک‌خورده  $10^9 - 10^{11}$

هزینه تعمیرات ساختمان با افزایش آفت سالانه افزایش می‌یابد. از آنجایی که مقاومت ساختمان‌ها، با توجه به عمر و انواع ساختمان‌ها متفاوت است، برای تعیین محدودیت عمر ساختمان، ساختمان‌های شهر از نظر عمر، در گروه‌های ۵ ساله طبقه‌بندی شدند؛ سپس میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده در هر گروه مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین برای بررسی مقاومت انواع ساختمان، با توجه به وجود چهار نوع ساختمان در شهر رفسنجان، ساختمان‌ها به پنج گروه خشت و گل، باربر بدون سنارژ، باربر سنارژدار، اسکلت بتونی و اسکلت فلزی تقسیم شدند. میزان ساختمان‌های آسیب‌دیده در هر یک از این چهار نوع ساختمان‌ها مقایسه شد. برای اطمینان از مشخص کردن محدودیت طول عمر ساختمان و مقاومت انواع ساختمان در مقابل نشست، تراکم ساختمان‌ها از نظر عمر ساختمان و انواع ساختمان در محدوده شهر بررسی شد. برای این منظور، سطح شهر به چهار منطقه تقسیم شد. تقاطع خیابان شهید بهشتی شمالی و شهید بهشتی جنوبی به مختصات  $30^{\circ}24'26''N$  و  $54^{\circ}E$  و  $55^{\circ}59'28''E$  به‌عنوان مرکز این تقسیم‌بندی انتخاب شد. بدین ترتیب شهر رفسنجان در چهار منطقه شمال شرق، جنوب شرق، جنوب غرب و شمال غرب تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). سپس با استفاده از آنالیز واریانس انواع ساختمان و عمر ساختمان و درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده در هر قسمت مشخص شد. بدین ترتیب مقاومت انواع ساختمان در مقابل نشست زمین تعیین شد. همچنین مشخص شد که نمی‌توان هیچ محدودیتی برای عمر ساختمان در نظر گرفت. سپس با استفاده از اطلاعات گرفته‌شده از ناحیه آبیاری شهرستان رفسنجان و با استفاده از روش آنالیز واریانس، میزان آفت آب‌های زیرزمینی، سطح ایستابی آب، مقدار دبی چاه‌ها و تفاوت دبی مجاز و واقعی در مناطق چهارگانه شهر مقایسه شد. همچنین برای بررسی تأثیر جنس خاک بر روی میزان آسیب‌دیدگی ساختمان‌ها در اثر نشست زمین، به دلیل موجود نبودن نقشه خاک سطح شهر و نبود امکانات و هزینه برای

سالانه، سطح ایستابی، دبی واقعی، تفاوت دبی مجاز و واقعی و تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی با میزان خسارت‌ها و هزینه تعمیرات ساختمان در چهار منطقه شهر مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به تعداد ساختمان‌های شهر رفسنجان، درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده و میزان هزینه تعمیرات ترک‌های ناشی از نشست زمین، هزینه ایجادشده در سطح شهر محاسبه شد. سپس با توجه به دبی و تعداد چاه‌های محدوده شهر، میزان برداشت سالانه آب از محدوده شهر محاسبه شد. بدین ترتیب هزینه ایجادشده از ترک‌های ناشی از نشست زمین برای هر مترمکعب آب در محدوده شهر رفسنجان محاسبه شد. با کسر هزینه ترک‌های ناشی از نشست زمین برای هر مترمکعب آب از بازدهی هر مترمکعب آب (از دیدگاه بخش خصوصی)، بازدهی هر مترمکعب آب از دیدگاه اجتماعی به دست آمد.

با توجه به تئوری فوق و با توجه به اینکه در محدوده شهر رفسنجان مواد گراول و درشت‌تر از شن درشت بسیار ناچیز است. کاهش آبدی مخصوص نشان‌دهنده ریزتر شدن تشکیلات رسوبی است. به عبارت دیگر در محدوده شهر رفسنجان مناطقی که آبدی چاه‌ها کمتر است، خاک منطقه ریزدانه‌تر می‌باشد. تراکم‌پذیری مواد نیز در خاک‌های ریزدانه بیشتر است. با توجه به اینکه آبدی چاه‌ها تابعی از تفاوت عمق آبکشی و یا عمق چاه با سطح ایستابی است؛ بنابراین تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی و تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی در چهار منطقه شهر مقایسه شد؛ سپس با استفاده از مشاهدات میدانی، حداقل تا عمق ۱/۵ متری، نتایج به دست آمده تأیید شد. در مرحله بعد، میزان دفعات تعمیرات ساختمان، فاصله زمانی بین دو تعمیر و هزینه تعمیرات ساختمان در چهار منطقه شهر مورد بررسی قرار گرفت. سپس ارتباط آفت



شکل ۲. موقعیت نقاط آماربرداری شده

منبع: یافته‌های تحقیق

## نتایج

نتایج آزمون مقایسه میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده

جدول ۲. میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده در طبقات عمر

## ساختمان

F	میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده (درصد)	تعداد	عمر ساختمان
-	۰/۷	۱۰	۰ تا ۵ سال
-	۰/۶۱	۲۳	۵ تا ۱۰ سال
-	۰/۶۲	۲۱	۱۰ تا ۱۵ سال
-	۰/۶۱	۵۷	۱۵ تا ۲۰ سال
-	۰/۶۹	۴۵	۲۰ تا ۲۵ سال
-	۰/۵۵	۵۳	۲۵ تا ۳۰ سال
-	۰/۴۸	۳۳	۳۰ تا ۳۵ سال
-	۰/۶۸	۲۸	۳۵ تا ۴۰ سال
-	۰/۸۹	۹	بیشتر از ۴۰ سال
	۰/۶۲	۲۷۹	کل ساختمان‌ها
۱/۰۰۶ (۰/۴۳۲)			

عدد داخل پرانتز: سطح معناداری

منبع: یافته‌های تحقیق

در گروه‌های در نظر گرفته شده از لحاظ عمر ساختمان (طبقه‌بندی ۵ ساله) در جدول شماره ۲ آمده است. معناداری حتی در سطح ۱۰ درصد با یکدیگر نداشته‌اند. بررسی دقیق تر ارقام میانگین نشان می‌دهد که ساختمان‌های بیشتر از ۴۰ سال بیشتر از سایر مناطق آسیب دیده‌اند؛ بنابراین ساختمان‌ها از نظر عمر ساختمان در دو گروه کمتر و بیشتر از ۴۰ سال طبقه‌بندی شدند. نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده در ساختمان‌های

کمتر و بیشتر از ۴۰ سال

F	میانگین (درصد)	تعداد	عمر ساختمان
-	۰/۶۱	۲۷۰	کمتر از ۴۰ سال
-	۰/۸۹	۹	بیشتر از ۴۰ سال
۲/۹۲۸*			

\* سطح معناداری: ده درصد

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که ۸۹ درصد از ساختمان‌هایی که بیشتر از ۴۰ سال عمر داشته‌اند، آسیب دیده‌اند. ساختمان‌هایی که کمتر از ۴۰ سال عمر داشته‌اند، چنانچه مشخص است تفاوت معناداری در سطح ۱۰ درصد بین این دو طبقه عمر ساختمان وجود دارد. به عبارت دیگر ساختمان‌هایی که بیشتر از ۴۰ سال عمر دارند؛ به دلیل کاهش مقاومت، بدون در نظر گرفتن مسائل نشست زمین نیز آسیب پذیر می‌باشند؛ اما ممکن است اکثر ساختمانی که بیشتر از ۴۰ سال عمر دارند در یک منطقه پرخطر، از نظر نشست زمین قرار گرفته باشند. همچنین مواردی وجود داشته است که عمر ساختمان بیشتر از ۴۰ سال بوده است، اما در ساختمان هیچ‌گونه ترکی وجود نداشته است. این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده کم‌خطر بودن محل از نظر نشست زمین باشد؛ از این رو باید پراکندگی ساختمان‌ها از نظر عمر ساختمان در مناطق مختلف شهر بررسی شود. نتایج در جدول شماره ۵ آمده است.

چنانچه نتایج جدول شماره ۲ نشان می‌دهد به‌طور متوسط در ۶۲ درصد از ساختمان‌های شهر رفسنجان علائم نشست زمین (ترک‌های قطری که مسیر آن بر روی زمین و یا ساختمان اطراف نیز ادامه داشته است) مشاهده شده است. میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده، در طبقات ۵ ساله طول عمر ساختمان، تفاوت



برای بررسی دقیق‌تر مقاومت ساختمان از نظر عمر و نوع ساختمان‌ها، شهر رفسنجان به چهار منطقه تقسیم شد. تقاطع خیابان شهید بهشتی شمالی و شهید بهشتی جنوبی به مختصات  $04''N$  و  $30^{\circ}24'26''$  و  $54''E$  و  $55^{\circ}59'28''$  به عنوان مرکز این تقسیم‌بندی انتخاب شد. بدین ترتیب شهر رفسنجان در چهار منطقه شمال شرق، جنوب شرق، جنوب غرب و شمال غرب تقسیم‌بندی شد. نتایج مقایسه میانگین عمر و انواع ساختمان در مناطق چهارگانه شهر رفسنجان و همچنین درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده در هر قسمت، در جدول شماره ۵ آمده است.

ساختمان‌های شهر رفسنجان از نظر مقاومت مصالح در پنج نوع ساختمان طبقه‌بندی شدند؛ ساختمان‌ها از نوع خشت و گل، باربر بدون شنارژ، شنارژدار افقی، اسکلت فلزی و اسکلت بتونی. این پنج نوع ساختمان از نظر میزان آسیب‌دیدگی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج در جدول شماره ۴ آمده است.

جدول ۴. میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده در انواع مختلف ساختمان

F	میانگین ساختمان‌های آسیب‌دیده (درصد)	تعداد	انواع ساختمان
-	۰/۷۷	۴۳	خشت و گل
-	۰/۵۸	۱۷۹	باربر بدون شنارژ
-	۰/۷۵	۱۲	شنارژدار افقی
-	۰/۵	۲۶	اسکلت فلزی
-	۰/۷۳	۱۵	اسکلت بتونی
۲/۱۹۶*			

\* سطح معناداری: ده درصد

منبع: یافته‌های تحقیق

چنانچه نتایج جدول شماره ۴ نشان می‌دهد، ۷۷ درصد از ساختمان‌های خشت و گل، ۵۸ درصد از ساختمان‌های باربر بدون شنارژ، ۷۵ درصد از ساختمان‌های شنارژدار افقی، ۵۰ درصد از ساختمان‌های اسکلت فلزی و ۷۳ درصد از ساختمان‌های اسکلت بتونی آسیب دیده‌اند. چنانچه مشخص است، کمترین میزان آسیب‌دیدگی مربوط به ساختمان‌هایی است که از نوع اسکلت فلزی می‌باشند. بیشترین آسیب‌دیدگی مربوط به ساختمان‌هایی است که از نوع خشت و گل می‌باشند؛ اما براساس نتایج این جدول نمی‌توان ساختمان‌ها را از نظر مقاومت مورد بررسی قرار داد. در صورتی این مقایسه ممکن است که انواع ساختمان‌ها از پراکندگی یکسانی در مناطق مختلف شهر برخوردار باشند.

جدول ۵. مقایسه میانگین عمر، انواع ساختمان و درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده در مناطق چهارگانه شهر رفسنجان

ویژگی ساختمان	کل شهر	منطقه شمال شرق	منطقه جنوب شرق	منطقه جنوب غرب	منطقه شمال غرب	f	گروه‌های مقایسه میانگین
۱ عمر ساختمان (سال)	۲۴/۸۴	۲۶/۷۴	۲۲/۴۱	۲۶/۹۱	۲۳/۸۳	۳/۰۱۲**	(شمال شرق، جنوب غرب، شمال غرب، جنوب شرق)
۲ خشت و گل (درصد)	۰/۱۵۷	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۷۸۴	-
۳ باربر بدون شناژ (درصد)	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۲۹۵	-
۴ شناژ افقی (درصد)	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۴۴۲	-
۵ اسکلت فلزی (درصد)	۰/۰۹۴	۰/۰۷۷	۰/۱۱۸	۰/۱۰۳	۰/۰۶۷	۰/۴۵۴	-
۶ اسکلت بتونی (درصد)	۰/۰۵۴	۰/۰۶۲	۰/۱۰۶	۰/۰۰	۰/۰۳۳	۳/۰۳۵**	غرب، شمال شرق، جنوب شرق
۷ درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده	۰/۶۳	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۷۲	۱۲/۱۶***	(جنوب غرب، جنوب شرق، شمال)

\*\*\* سطح معناداری: یک درصد، \*\* سطح معناداری: پنج درصد، \* سطح معناداری: ده درصد  
منبع: یافته‌های تحقیق

شهر رفسنجان، پراکندگی از نظر عمر ساختمان، تطابق نامتناسبی با درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده دارد و این پراکندگی برخلاف انتظار است. به عبارتی در مناطقی که خسارات کمتری بر ساختمان‌ها وارد آمده است، میانگین عمر ساختمان‌ها بیشتر است. این مسئله حاکی از این است که خسارات آماربرداری شده ارتباطی به افزایش طول عمر ساختمان‌ها ندارد. کاهش خسارات در منطقه‌ای که ساختمان‌ها قدمت بیشتری داشته‌اند، نشان‌دهنده مقاومت بیشتر تشکیلات آن منطقه نسبت به تراکم حاصل از افت سطح آب‌های زیرزمینی و یا کم‌تر بودن افت سطح آب در آن منطقه است؛ بنابراین برای بررسی مسائل نشست زمین در شهر رفسنجان، نمی‌توان محدودیتی از نظر عمر ساختمان در نظر گرفت.

چنانچه ردیف اول جدول شماره ۵ نشان می‌دهد، متوسط عمر ساختمان‌ها در شهر رفسنجان ۲۵ سال است. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان می‌دهد که متوسط عمر ساختمان‌ها در منطقه شمال شرق و جنوب غرب شهر ۲۶/۸ سال است که تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. این درحالیست که کمترین و بیشترین میزان آسیب‌دیدگی را به ترتیب در ساختمان‌های مناطق جنوب شرق و شمال شرق شهر داشته‌ایم (ردیف ۷، جدول ۵). کمترین متوسط عمر ساختمان‌ها و به میزان ۲۲/۴۱ سال، متعلق به منطقه جنوب شرق است که تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد با دو منطقه قبل و منطقه شمال غرب دارد. میانگین عمر ساختمان در منطقه شمال غرب ۲۳/۸۳ سال است. چنانچه مشخص است، در مناطق چهارگانه

خشت‌وگل، کمترین مقاومت و ساختمان‌های از نوع اسکلت فلزی، بیشترین مقاومت در برابر نشست را داشته‌اند. ساختمان‌های گنبدی و شنارژدار افقی تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته و به‌طور متوسط ۷۶ درصد از این نوع ساختمان‌ها آسیب دیده‌اند که تفاوت معناداری در سطح یک درصد ( $F=7/26$ ) با نوع ساختمان باربر بدون شنارژ و فلزی دارند. ساختمان‌های از نوع باربر بدون شنارژ و فلزی نیز تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته و به‌طور متوسط ۵۷ درصد این ساختمان‌ها آسیب دیده‌اند. دلیل آسیب‌پذیری غیرقابل انتظار، در ساختمان‌های اسکلت فلزی (مقاومتی مساوی با ساختمان‌های باربر بدون شنارژ) و شنارژدار افقی (مقاومتی برابر با ساختمان‌های گنبدی) را می‌توان عدم استفاده از اصول صحیح مهندسی در این ساختمان‌ها دانست. البته قابل ذکر است که میزان آسیب‌دیدگی در هر نوع از ساختمان‌ها (خشت و گل، باربر بدون شنارژ، شنارژدار افقی، اسکلت فلزی و اسکلت بتونی) بالا بوده است (جدول شماره ۴) و این آمار نشان می‌دهد که مسئله نشست زمین و ایجاد ترک در منطقه شهر رفسنجان بسیار جدی و خطرناک است.

چنانچه ردیف ۷ جدول شماره ۵ نشان می‌دهد، به‌طور متوسط در ۶۳ درصد از ساختمان‌های شهر رفسنجان علائم نشست زمین و ترک مشاهده شده است. بیشترین میزان آسیب‌دیدگی‌ها در منطقه شمال غرب و شمال شرق است که تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند؛ اما با سایر مناطق تفاوت معناداری در سطح یک درصد دارند. به‌طور متوسط ۷۷ درصد از ساختمان‌های شمال شهر (شمال شرق و شمال غرب) آسیب دیده‌اند. کمترین میزان آسیب‌دیدگی مربوط به منطقه جنوب غرب شهر است (۳۸ درصد). ۶۰ درصد از ساختمان‌های جنوب شرق شهر آسیب دیده‌اند که تفاوت معناداری در سطح یک درصد با منطقه شمال و جنوب غرب شهر دارد.

برای بررسی میزان هزینه‌های وارداً آمده بر ساختمان‌ها و همچنین میزان احساس ناامنی ساکنان، به‌دلیل

چنانچه ردیف ۲، ۳، ۴ و ۵ جدول شماره ۵ نشان می‌دهد، ۱۶ درصد از ساختمان‌های شهر رفسنجان از نوع خشت و گل، ۶۵ درصد از نوع باربر بدون شنارژ، ۴ درصد از نوع شنارژدار افقی و ۹ درصد از نوع اسکلت فلزی می‌باشند. متوسط هر کدام از انواع ساختمان‌های خشت و گل، باربر بدون شنارژ، شنارژدار افقی و اسکلت فلزی در چهار منطقه شهر یکسان است؛ اما چنانچه ردیف ۶ جدول شماره ۵ نشان می‌دهد، ساختمان‌هایی که از نوع اسکلت بتونی می‌باشند، در سطح شهر پراکندگی یکسانی ندارند. متوسط ساختمان‌های اسکلت بتونی در سطح شهر رفسنجان ۵ درصد است. طبق آزمون مقایسه میانگین، متوسط ساختمان‌های بتونی در چهار منطقه شهر رفسنجان تفاوت معناداری در سطح ۱۰ درصد با یکدیگر دارند. آزمون مقایسه میانگین در صورت در نظر گرفتن دو منطقه شرق و غرب، نشان می‌دهد که در منطقه شرق شهر ۹ درصد از ساختمان‌ها بتونی است. در منطقه غرب تنها ۲ درصد از ساختمان‌ها بتونی می‌باشند که بین آنها تفاوت معناداری در سطح یک درصد وجود دارد ( $F=6/95$ ). همچنین آزمون مقایسه میانگین میزان آسیب‌دیدگی ساختمان‌ها در این دو منطقه (منطقه شرق و غرب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان آسیب‌دیدگی (۷۰ درصد) مربوط به منطقه شرق شهر است. ۵۴ درصد از ساختمان‌های منطقه غرب آسیب دیده‌اند که از این نظر تفاوت معناداری در سطح یک درصد ( $F=8/235$ ) با منطقه شرق دارد. چنانچه مشخص است، بیشترین درصد ساختمان‌هایی که از نوع اسکلت بتونی هستند، در منطقه‌ای قرار دارند که ساختمان‌ها بیشتر آسیب دیده‌اند. به عبارت دیگر علت آسیب‌دیدگی بیشتر این ساختمان‌ها قرار گرفتن در مناطق پرخطر از نظر نشست زمین است؛ بنابراین نمی‌توان ساختمان‌هایی را که از نوع بتونی هستند برای بررسی مقاومت در نظر گرفت.

سایر انواع ساختمان‌ها را چنانچه در نتایج جدول شماره ۴ آمده است، می‌توان از نظر مقاومت مورد بررسی قرار داد. به این ترتیب که ساختمان‌های از نوع

مرکز شهر (تقاطع خیابان شهید بهشتی جنوبی و شهید بهشتی شمالی) در نظر گرفته شد. تعداد چاه‌های آبیاری در مناطق شمال شرق، جنوب شرق، جنوب غرب و شمال غرب شهر به ترتیب برابر با ۲۸، ۲۲، ۱۶ و ۳۸ عدد چاه است. به عبارت دیگر در منطقه شمال شهر ۶۶ عدد و منطقه جنوب شهر ۳۸ عدد چاه در فاصله ۱۰ کیلومتری از مرکز شهر وجود دارد. چنانچه مشخص است، تراکم چاه‌ها در منطقه شمال شهر بیشتر از منطقه جنوب شهر است.

وجود ترک‌های ناشی از آفت آب‌های زیرزمینی و نشست زمین، در مناطق چهارگانه شهر، ابتدا میانگین این ویژگی‌ها با توجه به میانگین دیگر ویژگی‌هایی که می‌توانند بر روی نشست زمین و ترک‌های ایجادشده تأثیرگذار باشند، در چهار منطقه شهر رفسنجان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج در جدول ۶ آمده است. همچنین چاه‌های آبیاری شهر رفسنجان از نظر تراکم در مناطق چهارگانه شهر مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تراکم چاه‌ها در فاصله ۱۰ کیلومتری از

جدول ۶. مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های ساختمان‌ها و دیگر ویژگی‌های مؤثر در ایجاد ترک در مناطق چهارگانه شهر رفسنجان

گروه‌های مقایسه میانگین	f	منطقه شمال غرب	منطقه جنوب غرب	منطقه جنوب شرق	منطقه شمال شرق	کل شهر رفسنجان	ویژگی ساختمان	رتبه
-	۲/۱۱۹	۱/۳۷	۱/۳۶	۰/۸۲	۱/۱۳	۱/۱۶۵	آفت سالانه (متر)	۱
شمال، جنوب	۳/۹**	۹/۷	۱۶/۷	۱۶/۳۱	۸/۷۶	۱۲/۱۳	دبی واقعی چاه‌های آبیاری (لیتر بر ثانیه)	۲
-	۰/۹۱۴	۱۷/۰۶	۱۳/۳۰	۱۰/۸	۱۶/۶۴	۱۴/۸۷	تفاوت دبی مجاز و واقعی (لیتر بر ثانیه)	۳
-	۱/۳۶	۷۰/۷۵	۴۰/۶۰	۶۰/۹	۶۸/۴	۶۳/۳۸	تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی (متر)	۴
جنوب غرب، شرق، شمال غرب	۴/۶۸***	۱۲۳/۵۴	۶۲/۸۶	۱۰/۷	۱۰۵/۵	۱۰۴/۲۸	تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی (متر)	۵
-	۲/۱۰	۶۸	۸۱/۴۲	۷۰/۵	۶۹/۵	۷۱/۳۵	سطح ایستابی (متر)	۶
-	۰/۵۲۴	۴/۹	۶/۲۶	۵/۶	۴/۷۳	۵/۴	فاصله زمان بین دو نوبت تعمیرات (سال)	۷
جنوب شرق، غرب، شمال شرق	۲/۴۲۰*	۲/۹۳	۳/۲۲	۱/۶۱	۴/۶۸	۳/۰۴	تعداد دفعات تعمیرات در عمر ساختمان	۸
جنوب شرق، غرب، شمال شرق	۳/۹۷۴***	۲۷۱۸۱۲۲	۳۰۴۲۱۹۲	۲۱۹۱۵۳۰	۷۱۴۰۸۱۴	۳۷۱۴۷۱۹	هزینه تعمیرات سالانه ساختمان (ریال)	۹

\*\*\* سطح معناداری: یک درصد، \*\* سطح معناداری: پنج درصد، \* سطح معناداری: ده درصد.

منبع: یافته‌های تحقیق و ناحیه آبیاری رفسنجان

چنانچه ردیف اول جدول شماره ۶ نشان می‌دهد، میزان آفت آب‌های زیرزمینی در شهر رفسنجان ۱/۱۶۵ متر است. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان می‌دهد که متوسط آفت آب در چهار منطقه شهر، تفاوت معناداری نداشته است؛ اما چنانچه متوسط میزان آفت آب در منطقه جنوب شرق را با سایر مناطق مقایسه کنیم، بین آنها تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد

وجود دارد. میزان آفت آب در منطقه جنوب شرق شهر ۰/۸۲ متر است، که کمترین میزان آفت آب نسبت به سایر مناطق را دارد. همین امر را می‌توان دلیل کم‌تر بودن ساختمان‌های آسیب‌دیده در این منطقه (جنوب شرق) نسبت به مناطق شمال غرب و شمال شرق شهر دانست.

شن درشت بسیار کم است). خاک‌های رسی و ریزدانه تراکم‌پذیری بیشتری نسبت به خاک‌های شنی دارند. همچنین ظرفیت آبدهی چاه‌ها در این مناطق (مناطق که تشکیلات زمین‌شناسی آن خاک رس است) کمتر از مناطقی است که دارای خاک‌های شنی و شنی‌رسی است. تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی در منطقه جنوب غرب شهر کمتر از سایر مناطق است. تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی در منطقه جنوب غرب شهر ۴۰/۶ متر است. این درحالیست که تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی در مناطق دیگر شهر (جنوب غرب و شمال شهر)، ۶۷ متر است. این مسئله نشان می‌دهد که ضریب ویژه خاک در منطقه جنوب غرب، بیشتر از سایر مناطق شهر است. این ویژگی درباره تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی نیز صادق است (ردیف ۵، جدول شماره ۶). تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی در چاه‌های آبیاری منطقه جنوب غرب کمتر از سایر مناطق شهر است (۶۲/۸۶ متر). چنانچه ذکر شد، کمترین میزان آسیب‌دیدگی و به میزان ۳۸ درصد، مربوط به منطقه جنوب غرب شهر است (ردیف ۷ جدول شماره ۵). به عبارت دیگر نوع خاک و تشکیلات زمین‌شناسی در این منطقه به گونه‌ای بوده است که تراکم‌پذیری کمتری داشته‌اند؛ بنابراین میزان ساختمان‌های آسیب‌دیده در این منطقه، بسیار کمتر از سایر مناطق است. مشاهدات میدانی نیز نشان می‌دهد که حداقل تا عمق ۱/۵ متری، خاک منطقه جنوب غرب غالباً از نوع شنی و گاهی شنی-رسی است. سه منطقه دیگر غالباً دارای خاک رسی و یا رسی-شنی است. بیشترین تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی مربوط به چاه‌های آبیاری منطقه شمال غرب و به میزان ۱۲۳/۵ متر است که تفاوت معناداری با منطقه جنوب غرب و دو منطقه دیگر (شرق شهر) دارد. متوسط تفاوت عمق چاه و سطح ایستابی در شمال شرق و جنوب شرق به ترتیب ۱۰۵/۵ و ۱۰۷ متر است که تفاوت معناداری از این نظر، بین این دو منطقه وجود ندارد؛ اما با دو منطقه قبل، تفاوت معناداری در سطح یک درصد وجود دارد (ردیف ۳،

متوسط دبی واقعی چاه‌ها در محدوده شهر رفسنجان ۱۲/۱۳ لیتر در ثانیه است. مقدار دبی واقعی چاه‌ها در منطقه شمال شهر کمتر از منطقه جنوب شهر است. دبی واقعی چاه‌ها در مناطق شمال و جنوب شهر، به ترتیب برابر با ۹/۳ و ۱۶/۵ لیتر در ثانیه است که تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد با یکدیگر دارند (ردیف ۲، جدول شماره ۶). چنانچه ردیف سوم جدول شماره ۶ نشان می‌دهد، به‌طور متوسط، تفاوت دبی مجاز و واقعی در سطح شهر ۱۵ لیتر در ثانیه است که تفاوت معناداری در مناطق چهارگانه سطح شهر وجود ندارد. چنانچه ذکر شد مثبت بودن این آمار نشان‌دهنده کمبود آب در منطقه است. این موارد نشان می‌دهد که چاه‌های منطقه شمال شهر بسیار کم‌آب‌تر از منطقه جنوب شهر است. به عبارت دیگر میزان افت سالانه در منطقه شمال شهر می‌توانست بیشتر از آماری باشد که ذکر شد (ردیف ۱، شماره ۶). تراکم بیشتر چاه‌ها در منطقه شمال شهر نیز این مسئله را تأیید می‌کند. به عبارت دیگر وضعیت منابع آب در منطقه شمال شهر، به‌ویژه در منطقه شمال شرق شهر بسیار بحرانی‌تر از منطقه جنوب شهر است. چنانچه در ردیف ۷ جدول شماره ۵ مشخص شد، بیشترین میزان آسیب‌دیدگی ساختمان‌ها نیز مربوط به منطقه شمال شهر و به‌خصوص منطقه شمال شرق شهر است.

چنانچه ردیف چهارم جدول شماره ۶ نشان می‌دهد، میانگین تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی چاه‌های آبیاری در شهر رفسنجان و محدوده اطراف آن، ۶۳/۳۸ متر است که تفاوت معناداری در چهار منطقه شهر وجود ندارد؛ اما چنانچه متوسط تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی در منطقه جنوب غرب را با سایر مناطق مقایسه کنیم، مشخص می‌شود که از این نظر، تفاوت معناداری در سطح ۱۰ درصد ( $F=۳/۵۷$ ) با یکدیگر دارند. هرچه ضریب آبدهی ویژه خاک کمتر باشد (تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی بیشتر باشد) نشان‌دهنده ریزدانه بودن خاک در محدوده شهر رفسنجان است (خاک سطح شهر رفسنجان غالباً از نوع رسی و یا شنی است و خاک‌های گراول و بزرگ‌تر از

ریال است. کمترین این مقدار مربوط به منطقه جنوب شرق و به میزان ۲۰۰۰۰۰۰ ریال است که تفاوت معناداری با منطقه قبل (شمال شرق) و با منطقه غرب شهر (جنوب غرب و شمال غرب) دارد. متوسط هزینه تعمیرات سالانه در ساختمان‌های منطقه غرب شهر (جنوب غرب و شمال غرب) ۲۷۰۰۰۰۰ ریال است. چنانچه مشخص می‌شود، بیشترین هزینه‌های تعمیرات متعلق به ساختمان‌های منطقه شمال شرق شهر است. چنانچه ذکر شد، وضعیت منابع آب در منطقه شمال شرق شهر بحرانی‌تر از سایر مناطق شهر است (ردیف ۱ و ۳، جدول شماره ۶).

برای بررسی ارتباط هزینه‌ها با وضعیت منابع آب، در شهر رفسنجان تابع هزینه‌های تعمیرات ساختمان در شهر رفسنجان تخمین زده شد.

هزینه تعمیرات ساختمان‌ها در شهر رفسنجان تابعی از آفت سالانه، تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی است. این تابع به وسیله رگرسیون زیر نشان داده شده است.

رابطه (۱):

$$CT_{omr} = - ۷/۳۱۲ * ۱۰^{\wedge} - ۲/۴۱۵ * ۱۰^{\wedge} (NW) + ۳/۳۲۴ * ۱۰^{\wedge} (OFT) + ۷۵۸۹۲۱۳ / ۴۲۱ (TaOVS) + ۹۹۱۹۶۶۶ / ۱۳۵ (FT) - ۳/۵۸۴ *** - ۳/۸۰۲ *** ۳/۷۲۹ *** ۳/۷۹۴ *** ۴/۸۲۱ ***$$

$$R^2 = ۰/۱۳۴ \quad R^2_{ADJ} = ۰/۱۲۰$$

$$F = ۹/۷۱۸ ***$$

$CT_{omr}$ : هزینه تعمیرات در طول عمر ساختمان بر حسب ریال.

NW: منطقه شمال غرب شهر رفسنجان.

OFT: آفت سالانه بر حسب متر.

TaOVS: تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی بر حسب متر.

FT: فاصله زمان بین دو نوبت تعمیر ساختمان بر حسب

سال

جدول شماره ۶). چنانچه ذکر شد، بیشترین میزان آسیب دیدگی‌ها در منطقه شمال شهر است (ردیف ۷، جدول شماره ۵).

متوسط سطح ایستابی آب در شهر رفسنجان در ۷۱/۳۵ متری است که در چهار منطقه شهر تفاوت معناداری وجود ندارد؛ اما چنانچه میانگین سطح آب در جنوب غرب شهر را با سایر مناطق مقایسه کنیم، تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد با سایر مناطق دارد. سطح آب در منطقه جنوب غرب در ۸۱/۴۲ متری قرار دارد. سطح آب در سایر مناطق به طور متوسط در سطح ۶۹ متری قرار دارد (ردیف ۶، جدول شماره ۶).

فاصله زمانی بین دو نوبت تعمیرات ساختمان در سطح شهر رفسنجان به طور متوسط ۵/۴ سال است (ردیف ۷، جدول شماره ۶). تفاوت معناداری از این نظر در

مناطق چهارگانه شهر وجود ندارد. چنانچه ردیف ۸ جدول شماره ۶ نشان می‌دهد، به طور متوسط هر ساختمان در طول عمر خود (متوسط ۲۵ سال) ۳ نوبت تعمیر شده است. بیشترین تعداد دفعات تعمیرات در عمر ساختمان مربوط به منطقه شمال شرق است (۴/۶۸ نوبت) که تفاوت معناداری با سایر مناطق دارد.

کمترین دفعات تعمیرات در عمر ساختمان و به میزان ۱/۶ نوبت مربوط به منطقه جنوب شرق است که تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد با منطقه شمال شرق و غرب منطقه دارد. چنانچه ذکر شد، کمترین و بیشترین عمر ساختمان‌ها نیز به ترتیب مربوط به منطقه جنوب شرق و شمال شرق است (ردیف ۱، جدول شماره ۶). تعداد دفعات تعمیرات در طول عمر ساختمان در منطقه غربی شهر (شمال غرب و جنوب غرب) به طور متوسط سه نوبت است که تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته، اما با دو منطقه قبل (مناطق شرقی شهر) تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد وجود دارد.

چنانچه ردیف ۹ جدول شماره ۶ نشان می‌دهد، متوسط هزینه تعمیرات سالانه در ساختمان‌های شهر رفسنجان ۳۷۰۰۰۰۰ ریال است. بیشترین هزینه مربوط به منطقه شمال شرق و به میزان ۷۰۰۰۰۰۰

مکعب) و قیمت یک کیلوگرم پسته در بازار (۱۵۰۰۰۰ ریال)، بازده هر مترمکعب آب ۶۰۰۰ ریال است. این ارزش از دیدگاه بخش خصوصی است.

براساس آمار اعلام‌شده از واحد انفورماتیک شهرداری رفسنجان، در شهر رفسنجان ۵۸۰۰۰ ساختمان وجود دارد. باتوجه به درصد ساختمان‌های آسیب‌دیده (ردیف ۷، جدول شماره ۵)، ۳۶۵۴۰ ساختمان در شهر رفسنجان بر اثر نشست زمین آسیب دیده‌اند. داده‌های استخراج‌شده از پرسشنامه‌ها نشان داد که هزینه مربوط به تعمیر ترک‌ها، در هریک از ساختمان‌های آسیب‌دیده، ۲۷۰۰۰۰ ریال است؛ بنابراین هزینه ایجادشده از نشست زمین در شهر رفسنجان سالانه ۹۸۷۰۰۰۰۰۰۰ ریال است.

با در نظر گرفتن ۱۰۴ حلقه چاه آبیاری در محدوده شهر رفسنجان (در حدود ۱۰ کیلومتری از مرکز شهر) و با توجه به مقدار ۱۲/۱۳ لیتر در ثانیه، میانگین دبی واقعی چاه‌های این محدوده (ردیف ۲، جدول شماره ۶)، برداشت آب از محدوده شهر رفسنجان، ۳۴ میلیون متر مکعب در سال است.

بنابر مطالب فوق، هزینه ایجادشده از نشست زمین در محدوده شهر رفسنجان، ۲۹۰ ریال بر مترمکعب است. این تنها هزینه مربوط به نشست زمین و تخریب ساختمان‌ها است. علاوه‌براین هزینه‌های دیگری همچون تخریب جاده‌ها، ویرانی شبکه‌های آبرسانی و فاضلاب و... نیز می‌توان به آن اضافه کرد که بسیاری از آنها به‌علت نبود اطلاعات قابل محاسبه نیست؛ از این رو می‌توان گفت که ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب برای تولید پسته در منطقه از دیدگاه اجتماعی با در نظر گرفتن هزینه‌های جنبی آبکشی کاهش خواهد یافت. در اینجا با کسر این هزینه از ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب (از دیدگاه بخش خصوصی) ارزش هر مترمکعب آب از دیدگاه اجتماعی به‌دست می‌آید. چنانچه ذکر شد، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب از دیدگاه بخش خصوصی ۶۰۰۰ ریال است. این درحالیست که ارزش هر مترمکعب آب از دیدگاه اجتماعی، ۵۷۰۰ ریال است.

تابع شماره ۱ با ۹۹ درصد اطمینان نشان می‌دهد، ۱۳ درصد از هزینه تعمیرات ساختمان‌ها به عواملی همچون منطقه جغرافیایی، افت سالانه آب، تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی هر منطقه و فاصله زمانی بین دو تعمیر ساختمان بستگی دارد.

با افزایش هر متر افت سالانه آب، به‌طور متوسط هزینه تعمیر هر ساختمان در شهر رفسنجان، ۳۰۰ میلیون ریال در طول عمر ساختمان افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن ۲۵ سال متوسط عمر ساختمان (ردیف ۱، جدول شماره ۵) و ۱/۲ متر، افت سالانه (ردیف ۱، جدول شماره ۶) و در صورت ادامه این روند، سالانه ۱۴ میلیون ریال، هزینه تعمیر هر ساختمان در شهر رفسنجان افزایش می‌یابد.

با افزایش هر متر تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی، هزینه تعمیرات به‌میزان ۷۵۸۹۲۱۳ ریال در طول عمر ساختمان افزایش می‌یابد. تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی به نوع خاک بستگی دارد. چنانچه در بخش قبل ذکر شد، در محدوده شهر رفسنجان مناطقی که تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی بیشتر است، نشان‌دهنده ریزدانه‌بودن خاک در آن منطقه است. خاک‌های رسی و ریزدانه تراکم‌پذیری بیشتری نسبت به خاک‌های شنی دارند. چنانچه در این تابع نیز مشخص می‌شود، هزینه تعمیرات ساختمان در این مناطق (منطقه‌ای دارای خاک رسی و ریزدانه) بیشتر است. همچنین با توجه به تابع فوق مشخص می‌شود میزان هزینه تعمیرات خسارت‌های ایجادشده در منطقه شمال غرب کمتر از سایر مناطق شهر است. چنانچه ذکر شد این امر به‌دلیل تراکم‌پذیری پایین نوع تشکیلات این منطقه نسبت به سایر مناطق است.

با افزایش هر سال، فاصله زمانی بین دو نوبت تعمیرات ساختمان، هزینه تعمیرات ساختمان در طول عمر ساختمان ۹۹۱۹۶۶۶ ریال افزایش می‌یابد.

### محاسبه ارزش اقتصادی آب از دیدگاه بخش

#### خصوصی و اجتماعی و مقایسه آن‌ها

با توجه به تولید نهایی آب به‌دست‌آمده از مطالعه جعفری مهدی‌آباد (۱۳۹۲)، (۰/۰۴ کیلوگرم در متر

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه میانگین و تخمین تابع هزینه، تأثیر افت آب بر هزینه‌های جانبی شهری (استهلاک ساختمان‌ها) مشخص شد. بدین ترتیب اثر منفی ناشی از این مسئله بر روی هزینه‌ها و منافع اجتماعی بررسی شد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط در ۶۳ درصد از ساختمان‌های شهر رفسنجان آثار نشست زمین (ترک‌های قطری) وجود داشته است. با افزایش هر متر افت سالانه آب و کاهش ظرفیت آبدهی چاه‌ها، هزینه تعمیرات هر ساختمان افزایش می‌یابد. علاوه بر این، میزان خسارت‌ها و افزایش هزینه‌های تعمیرات ساختمان‌ها به نوع خاک نیز بستگی داشته است. منطقه‌ای که دارای خاک شنی و یا شنی-رسی بوده است، میزان خسارت‌ها کمتر از مناطقی بوده است که دارای خاک رسی می‌باشند. به عبارت دیگر در این مناطق ضریب تراکم‌پذیری خاک کمتر است.

بیشترین میزان آسیب‌دیدگی ساختمان‌ها مربوط به منطقه شمال شهر و به‌ویژه در منطقه شمال شرق شهر است. مقدار دبی واقعی چاه‌ها در منطقه شمال شهر کمتر از منطقه جنوب شهر است، اما با توجه به اینکه متوسط دبی واقعی در سطح شهر کمتر از دبی واقعی بوده است؛ بنابراین کم‌بودن میزان دبی واقعی نشان‌دهنده کم‌آب بودن آبخوان است. این موارد نشان می‌دهد که منطقه شمال شهر بسیار کم‌آب‌تر از منطقه جنوب شهر است. به عبارت دیگر میزان افت سالانه در منطقه شمال شهر می‌توانست بیشتر از منطقه جنوب شهر باشد، اما کمبود آب مانع از بهره‌برداری بیشتر شده است. تراکم بیشتر چاه‌ها در منطقه شمال شهر نیز این مسئله را تأیید کرده است. به عبارت دیگر وضعیت منابع آب در منطقه شمال شهر، به‌ویژه در منطقه شمال شرق شهر بسیار بحرانی‌تر از منطقه جنوب شهر است. بیشترین هزینه تعمیرات ساختمان و بیشترین تعداد دفعات تعمیرات در طول عمر ساختمان نیز مربوط به منطقه شمال شرق شهر است. منطقه جنوب شرق شهر کمترین میزان افت آب نسبت به

سایر مناطق را دارد. با توجه به اینکه آبدهی چاه‌ها در این منطقه نسبت به سه مناطق دیگر شهر بیشتر است، همین امر (افت سالانه کمتر) دلیل کم‌تر بودن ساختمان‌های آسیب‌دیده در این منطقه (جنوب شرق) نسبت به مناطق شمال غرب و شمال شرق شهر است. کمترین میزان آسیب‌دیدگی مربوط به منطقه جنوب غرب شهر است. تفاوت عمق آبکشی و سطح ایستابی در منطقه جنوب غرب شهر کمتر از سایر مناطق است. به عبارت دیگر نوع خاک و تشکیلات زمین‌شناسی در این منطقه به گونه‌ای بوده است که تراکم‌پذیری کمتری داشته‌اند؛ از این رو میزان ساختمان‌های آسیب‌دیده در این منطقه بسیار کمتر از سایر مناطق است. مشاهدات میدانی نیز نشان داد که حداقل تا عمق ۱/۵ متری، خاک منطقه جنوب غرب غالباً از نوع شنی و گاهی شنی-رسی است. سه منطقه دیگر (شمال و جنوب شرق شهر) غالباً دارای خاک رسی و یا رسی-شنی است. چنانچه در مطالعه طباطبایی (۱۳۸۵) نیز با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در رابطه با نرخ نشست زمین در شهر رفسنجان، میزان نشست در منطقه شمال به‌ویژه شمال شرق شهر بیشتر از سایر نقاط و در منطقه جنوب غرب کمتر از قسمت‌های دیگر شهر مشخص شده است.

هزینه ایجادشده از نشست زمین، در محدوده شهر رفسنجان، ۲۹۰ ریال بر مترمکعب است. بدین ترتیب، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب از دیدگاه اجتماعی، ۵۷۰۰ ریال است. این درحالیست که ارزش هر مترمکعب آب از دیدگاه بخش خصوصی طبق مطالعه جعفری مهدی‌آباد (۱۳۹۲)، ۶۰۰۰ ریال است.

### پیشنهادها

- با توجه به اثرات منفی برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، شامل افزایش هزینه‌های برداشت آب، کاهش میزان تولید، کاهش ارزش ثروت کشاورزان و هزینه‌های جنبی نقدی و غیرنقدی دیگر، تخمین ارزش اجتماعی آب صورت گیرد. به عبارت دیگر در ارزیابی‌های اقتصادی، تنها به منافع و هزینه‌های



چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام. صص ۱۳-۱.

شفیعی‌ثابت، بهنام. (۱۳۷۳). مدل کردن نشست منطقه‌ای زمین در اثر پایین‌رفتن سطح آب‌های زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

طباطبایی‌عقدا، سیدطاها. (۱۳۸۵). پیش‌بینی و پهنه‌بندی نشست منطقه‌ای زمین بر اثر برداشت آب‌های زیرزمینی در رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

عباس‌نژاد، احمد؛ شاهی‌دشت، علیرضا. (۱۳۹۲). بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه. جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای. سال ۳. شماره ۷. صص ۹۶-۸۵.

عبدالهی عزت‌آبادی، محمد. (۱۳۸۷). نقش سیاست‌گذاری ناهماهنگ در توسعه ناپایدار کشت پسته با تأکید بر منابع آبی. فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال ۱۶، شماره ۶۳، صص ۱۳۷-۱۱۷.

علیزاده، امین. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات قدس رضوی.

- معافی، حمیده. (۱۳۸۵). بررسی پیامدهای بهره‌برداری بی‌رویه دشت کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوتکنیک. دانشگاه باهنر کرمان. دانشکده فنی.

میرزایی، حمیدرضا؛ چیدری، امیرحسین. (۱۳۸۳). تعیین کارایی فنی و مقدار بهینه آب در تولید پسته. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۲. صص ۴۹-۴۳.

Ackerman, Frank; Stanton, Elizabeth. (2011). The Last Drop: Climate Change and the Southwest Water Crisis. Somerville, MA: Stockholm Environment Institute-U.S. Center, Available at <http://seius.org/publications/id/371>.

Anderssohn, Jan; Wetzel, Hans-Ulrich; Walter, Thomas R; Motagh, Mahdi; Djamour, Yahiya; Kaufmann, Hermann (2008). Land subsidence pattern controlled by old alpine basement faults in the Kashmar Valley, northeast Iran: results from InSAR and leveling. *Geophys. J. Int.* (2008) 174, 287-294. <http://gji.oxfordjournals.org/>

Chongxi, Chen; Shunping, Pei; Jiu, Jiao. (2003). Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou City, China. *Hydrogeology Journal*. April 2003, Volume 11, Issue 2, pp 275-287.

خصوصی توجه‌نشده؛ بلکه هزینه‌ها و منافع اجتماعی مدنظر قرار گیرد. در این صورت میزان برداشت آب از سفره‌ها کاهش خواهد یافت.

- با توجه به اینکه بیشتر استهلاک ساختمان‌ها مربوط به منطقه شمال شرق بوده است، از گسترش شهر در منطقه جلوگیری شده در عوض توسعه شهر به سمت جنوب غرب که کمتر استهلاک دارد صورت گیرد.

- با توجه به اینکه بیشترین هزینه‌های تعمیرات ساختمانی صورت گرفته ناشی از افت آب‌های زیرزمینی است، ترتیبی اتخاذ شود که هزینه‌های فوق توسط افراد ایجادکننده آن پرداخت شود.

## منابع

اوریا، احمد. (۱۳۸۳). مدل‌بندی نشست زمین در اثر بارگذاری متناوب ناشی از نوسانات سطح آب زیرزمینی با روش اجزای محدود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی. دانشگاه شهید باهنر کرمان.

بریم‌نژاد، ولی؛ یزدانی، سعید. (۱۳۸۳). تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۳، صص ۱۶-۲.

بوستانی، فردین؛ محمدی، حمید. (۱۳۸۶). بررسی بهره‌وری و تابع تقاضای آب در تولید چغندر قند منطقه اقلید، چغندر قند. جلد ۲۳. شماره ۲، صص ۱۹۶-۱۸۵.

تهامی‌پور، مرتضی؛ مهرابی بشرآبادی، حسین؛ کرباسی، علیرضا. (۱۳۸۴). تأثیر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در رفاه اجتماعی تولیدکنندگان (مطالعه موردی: پسته‌کاران شهرستان زرنند). اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۱۳، شماره ۴۹؛ صص ۹۷-۱۱۶.

توفیق، محمدمحسن؛ طباطبایی‌عقدا، سید طاها. (۱۳۸۸). پیش‌بینی نشست منطقه‌ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تأثیر نشست بر شبکه فاضلاب، یادداشت فنی. مجله آب و فاضلاب، شماره ۱، صص ۷۲-۶۷.

جعفری مهدی‌آبادی، فهیمه. (۱۳۹۱). اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی بر کمیّت و کیفیت منابع آب دشت رفسنجان با تأکید بر مسائل اقتصادی و اجتماعی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه آب‌خیزداری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

شاهی‌دشت، علیرضا؛ عباس‌نژاد، احمد. (۱۳۸۹). مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه موردی: استان کرمان).

- National Academic Press Washington, D.C. (1997). Valuing Ground Water ", Committee on Valuing Ground Water, Pages 1-12, Available at <http://www.nap.edu/catalog.php>.
- Poland, J F. (1981). SUBSIDENCE IN UNITED STATES DUE TO GROUND-WATER WITHDRAWAL. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volume: 107. Issue Number: IR2: 115-136.
- Schrecongost, Alyse; Staatz, John M; Diallo, Boubacar Ciss; Yade, Mbaye. (2004). Water Pricing as Tool for Itegrated Water Resource Mngement: A synthesis of Key Issues for Rural Weet Africa. Bureau for Economic Growth, Agriculture & Trade. Number 73.
- Shui-Long, Shen; Lei, Ma; YeShuang, Xu; ZhenYu Yin (2013) Interpretation of increased deformation rate in aquifer IV due to groundwater pumping in Shanghai. *Canadian Geotechnical Journal*, 2013, 50(11): 1129-1142.
- Shui-Long Shen, YeShuang Xu. (2011). Numerical evaluation of land subsidence induced by groundwater pumping in Shanghai. *Canadian Geotechnical Journal*, 2011, 48(9): 1378-1392.
- Solaimani, karim; Mortazvi, mostafa. (2007). Investigation of the Land Subsidence and its Consequences of Large Groundwater Withdrawal in Rafsanjan, Iran. In: *Pakistan journal of Biological Sciences*, issue 2 , Pages 265-269.
- Zhu, lin; gon,Huili; Li, Xiajuan; wang, Rong; Chen, Beibei; Dai, Zhenxue; Teatini, piertro (2015). Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Engineering Geology*. Volume 193, 2 July 2015, Pages 243–255.
- Gunn. E. L, M.R. Llamas, A. Garrido, D. Sanz. (2011), "Groundwater Management", *Treatise on Water Science*, Chapter1.07, Pages 97-127.
- Hasanuzzaman, Mohammad; Song, Xianfang; Han, Dongmei; Zhang, Yinghua; Hussain, Shakir (2017). Prediction of Groundwater Dynamics for Sustainable Water Resource Management in Bogra District, Northwest Bangladesh. *Water* 2017, 9(4), 238.
- Holzer, Thomas; Devin, Galloway (2005). Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. *Geological Society of America*. v. 16, p. 87-99.
- Khanlari, Gholamreza; Heidari, Mojtaba; Momeni, Ali Akbar; Ahmadi, Mohammad; Taleb Beydokhti, Alireza. (2012). The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran. *Geophysical Journal International*. Volume 168, Issue 2. Pp. 518-526.
- Mehryar, Sara; Sharifi, Mohammad Ali; Sliuzas, Richard; Maarseveen, Van. (2015). The water crisis and socio-ecological development profile of Rafsanjan Township, Iran. *safety and Security Eng.*, Vol 6, No 4 (2016) 764–776
- Motagh, Mahdi. Djamour, Yahya; Walter Thomas; Wetzel, Hans-ulrich; Zschau, Jochen ; Arabi, Siavash. (2006). Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: Results from InSAR, levelling and GPS.
- Motagh Mahdi. Walter Thomas; Sharifi, Mohammad Ali; Fielding, Eric; Schenk, Andreas; Anderssohn, Jan; Zschau, Jochen. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*. Volume 35, Issue 16, August 2008.