

بررسی همبستگی مورفومتری ترک‌های حاصل از فرونشست با تغییرپذیری اداپیک در دشت نیشابور

مریم جلینی - دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد.
عادل سپهر* - استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد.
غلامرضا لشکری پور - استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
علیرضا راشکی - استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹

چکیده

در دهه اخیر، پدیده فرونشست به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک، در بخش وسیعی از دشت‌های ایران در حال وقوع است. این پدیده با بروز ترک‌ها و شکاف‌هایی در روی زمین و آسیب زدن به سازه‌های سطح زمین شناخته می‌شود. هدف این مقاله بررسی ارتباط آماری بین تغییرپذیری اداپیک با تغییرات مورفولوژی ترک‌های حاصل از فرونشست زمین در دشت نیشابور می‌باشد. در ابتدا چهار منطقه در سطح دشت نیشابور شامل رو ستاهای بازوبند، کاریزک، بشرو و کلاته‌قنبر که شکاف‌های مرتبط با فرونشست در آن‌ها به لحاظ ویژگی‌های مورفومتری مانند عرض، طول و ژرفا برجسته و متفاوت هستند، شناسایی و انتخاب شد. در طول شکاف این مناطق نمونه‌برداری خاک به صورت سیستماتیک در دو حالت سطحی (۳۰-۰ سانتیمتر) و عمقی (۱۰۰-۳۰ سانتیمتر) صورت گرفت و اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژی شامل عرض، طول و عمق شکاف انجام شد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک، پنج مشخصه بافت، دانه‌بندی، درصد رطوبت، pH و هدایت الکتریکی نمونه‌ها تعیین شد. سپس با بهره‌گیری از آزمون‌های آماری ناپارامتریک، ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک با شاخص‌های مورفولوژی شکاف‌ها بررسی و تحلیل شد. ضریب همبستگی بین متغیرها نشان داد که رابطه بین شاخص طول شکاف و درصد رطوبت در سطح اطمینان ۹۵ درصد، با ضریب همبستگی ۰/۶۷۷ معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین شاخص عمق شکاف با درصد رطوبت، درصد شن و درصد رس در سطح عدم اطمینان ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج همبستگی آماری تأیید کرد که رطوبت خاک عاملی جهت گسترش ابعاد شکاف (عمق و طول) است. همچنین افزایش مقادیر هدایت الکتریکی نیز باعث افزایش ابعاد شکاف (عمق) در منطقه مطالعاتی شده است.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، افت سفره آب زیرزمینی، شکاف زمین، دشت نیشابور، روش‌های آماری.

مقدمه

پدیده فرونشست زمین یکی از مخاطرات ژئومورفیک ناشی از عوامل زمین‌ساخت و فعالیت‌های انسانی است که در نقاط مختلف جهان و قسمت‌های مختلف ایران مشاهده می‌شود. بنا به تعریف یونسکو^۱ فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد. به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود. این تعریف پدیده‌هایی همچون زمین‌لغزش‌ها را به دلیل اینکه حرکت آن‌ها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاک‌های دستی، که دارای مکانیسم متفاوتی می‌باشد شامل نمی‌شود (مهشادینیا، ۱۳۸۴).

در آوریل ۱۹۷۵، در قالب برنامه بین‌المللی هیدرولوژی^۲، کارگروه فرونشست در پاریس، با بررسی تفصیلی ۴۲ گستره فرونشست در ۱۵ کشور جهان تشکیل شد. بر اساس اطلاعات این کارگروه مشخص شد که فرونشست زمین^۳ در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان و در بسیاری از نقاط جهان مانند مکزیک، استرالیا، کلمبیا، چین، آمریکا، تایلند، هند، ژاپن، ایران، ایتالیا، هلند، ونزوئلا، مصر، عربستان سعودی، انگلستان، فرانسه، فلسطین اشغالی و سوئد رخ داده است (هو^۴، ۲۰۰۶، هو و همکاران، ۲۰۰۴).

فرونشست انواع متعددی دارد که به‌طور عمده بر اثر کاهش فشار هیدرواستاتیک به‌صورت موضعی رخ می‌دهد: نوع اول نشست ناشی از بارگذاری می‌باشد که ممکن است به‌صورت الاستیک باشد و بلافاصله بعد از اعمال بارگذاری صورت گیرد و مقدار آن به مقدار بار اعمال شده و جنس زمین بستگی دارد و در خاک‌های درشت‌دانه رخ می‌دهد (معارف‌وند و شمس‌الدین سعید، ۱۳۹۲). نوع دوم نشست به‌صورت پلاستیک بوده و در خاک‌های ریزدانه رخ می‌دهد و علت آن خروج آب از لابه‌لای ذرات است و به آن عملکرد تحکیم خاکدانه^۵ می‌گویند و برخلاف نوع اول آنی نبوده، بلکه تدریجی و برگشت‌ناپذیر است. آب زیرزمینی در سفره‌های محصور و غیرمحصور در داخل رسوبات قرار دارد. با خروج آب از این آبخوان، به تدریج فشار آب افت می‌کند، از آنجاکه این فشار با توجه به وزن لایه‌های فوقانی در حال تعادل بوده، با بهره‌برداری از آب، فشار هیدرواستاتیک کاهش و تنش مؤثر افزایش می‌یابد و باعث تحکیم لایه‌های آبدار ریزدانه می‌شود (کانوی^۶، ۲۰۱۵، لیبینگ دای^۷، ۲۰۱۶، متق و همکاران، ۲۰۱۶). نوع سوم نشست‌های موضعی و طبیعی هستند که مرتبط با فضاهای خالی در زیرزمین، مناطق کارستی یا شبه کارستی و معدن‌کاوی است. این فضاها یا به‌طور طبیعی یا به‌وسیله انسان ایجاد شده است و کاهش فشار هیدرواستاتیک باعث نشست آنی زمین می‌شود (راکولس^۸ و همکاران، ۲۰۰۳ و گویگوین^۹، ۲۰۰۹). در سفره‌های آب زیرزمینی، فضاهای خالی بین ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات را آب پر می‌کند که این آب شامل آب ثقلی و آب جذب سطحی است. هرچه رسوبات دانه ریزتر باشند، مقدار آب جذب سطحی آن‌ها زیادتر است. هرچه رسوبات دانه درشت‌تر باشند مقدار آب ثقلی بیشتر و توسط چاه قابل استخراج است. رس‌ها در اثر جذب آب افزایش حجم و با از دست دادن آب کاهش حجم پیدا می‌کنند. چنانچه در منطقه‌ای برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی صورت گیرد، سطح ایستابی در ناحیه افت پیدا می‌کند. در صورت وجود رسوبات ریزدانه مانند رس و سیلت که به علت افت سطح ایستابی کاهش حجم پیدا کرده‌اند، و با توجه به وزن لایه‌های فوقانی نشست زمین در منطقه اتفاق خواهد افتاد (ولایتی و بهنیافر، ۱۳۸۶).

¹ UNESCO

² International Hydrological Program (IHP)

³ Ground subsidence

^۴ Hu

⁵ Consolidation of aggregate performance

^۶ Conway

⁷ Liping Dai

^۸ Raucoules

^۹ Gueguen

کشور ایران در دهه‌های اخیر رشد جمعیت را در کنار توسعه کشاورزی تجربه کرده است، محدودیت منابع آب سطحی و روش‌های غیر صحیح آبیاری در بخش کشاورزی به همراه الگوی کشت نامناسب با منابع آبی موجود در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، موجب حفر بی‌رویه چاه‌های آب در اغلب آبخوان‌ها گردیده است (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). توسعه برداشت از آب‌های زیرزمینی به‌اندازه‌ای که مقدار تخلیه آبخوان از تغذیه آن بیشتر شود، موجب برهم خوردن تعادل در آبخوان شده و به‌صورت زمانی یا مکانی موجب کاهش ارتفاع هیدرولیکی می‌گردد. کاهش ارتفاع هیدرولیکی و یا افت سطح آب باعث کاهش فشار آب منفذی و افزایش تنش مؤثر وارد بر ذرات آبخوان می‌شود. این پدیده تحکیم لایه‌هایی از رسوبات ریزدانه را به دنبال دارد که نتیجه آن به‌صورت نشست در سطح زمین نمایان می‌شود. این پدیده با بروز ترک‌ها و شکاف‌هایی (شق) در روی زمین و آسیب زدن به سازه‌های سطح زمین شناخته می‌شود. آثار و پیامدهای فرونشست زمین می‌تواند به شکل شکاف‌ها و ترک‌های گسترده سطحی نمایان شود (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). این شکاف‌های بزرگ کشتی به عمق ده‌ها متر و طول ده‌ها کیلومتر توسعه می‌یابند. گسترش و شکل‌گیری این شکاف‌ها که عمدتاً در زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌شود سبب مشکلات عمده برای کشاورزان و هدر رفتن آب در این شکاف‌ها، آسیب به چاه‌های کشاورزی، تغییر شیب زمین و عوض شدن مسیر جریان سطحی و زیرسطحی، افزایش سیل‌خیزی منطقه، افت کیفیت آب‌های زیرزمینی و همچنین سبب آسیب رساندن به جاده‌ها، خطوط راه‌آهن، پل‌ها، خطوط انتقال گاز، مواد نفتی و آب و سایر سازه‌ها و ساختمان‌ها می‌گردد (منتصری، ۱۳۹۳).

در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ که همزمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والتام^۲، ۱۹۸۹).

دیدگاه‌های ایجاد فرونشست زمین متنوع‌اند اما عمده مطالعات صورت گرفته به دو دیدگاه بیشتر تأکید می‌کنند. دیدگاه اول این پدیده را به افت سطح آب زیرزمینی مرتبط می‌داند، که از آن جمله می‌توان به مطالعات (پولند^۳، ۱۹۸۱ در کالیفرنیا)، (باراماتی^۴ و همکاران، ۲۰۰۳ در ایتالیا)، (فین و ج^۵ و همکاران، ۲۰۰۶ در تایلند) (وانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۹ در چین)، (توماس^۷ و همکاران، ۲۰۱۰ در اسپانیا)، (گالوی^۸ و همکاران، ۲۰۱۳ در امریکا)، (شوجان^۹ و همکاران، ۲۰۱۵، لین بای^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶ در چین)، (کانوی، ۲۰۱۵ در امریکا)، (متق و همکاران، ۲۰۱۶ در ایران) اشاره کرد.

در مقابل دیدگاه دیگر ایجاد فرونشست را به عوامل زمین‌ساخت (تکتونیک) مرتبط می‌داند. در این مورد می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد.

آبدین^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه فرونشست کشور اندونزی که دارای نرخ نشست ۲۵-۲۰ سانتیمتر در سال می‌باشد، خاک‌های با تراکم‌پذیری بالا و نشست‌های تکتونیک را عامل اصلی نشست در این منطقه عنوان کردند.

^۱ fissures

^۲ Waltham

^۳ Poland

^۴ Baramati

^۵ Phin-wej

^۶ Wong

^۷ Tomás

^۸ Galloway

^۹ Shujun

^{۱۰} Lin Bai

^{۱۱} Abidin

مارتینز^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، اعلام داشتند که نفوذ سریع در یک آبخوان نیمه اشباع منجر به نشست زمین، توسعه مناطق از پیش شکسته موجود و ایجاد ترک‌های جدید می‌شود. اگر یک لایه خاک رس در شکستگی موجود باشد مانند مانع عمل کرده و مانع نفوذ از طریق شکستگی می‌شود. شدت نفوذ به ارتفاع آب، عرض شکستگی و نفوذپذیری شکستگی بستگی دارد.

زارع مهرجردی (۱۳۹۰)، در مطالعه فرونشست میبد دو عامل ژئوتکتونیک و تکتونیک را مورد بررسی قرار داد و شکستگی‌های این منطقه را ناشی از فعالیت گسل‌های منطقه عنوان نمود. پورخسروانی و همکاران (۱۳۹۱)، با مطالعه فرونشست چند دشت کشور اعلام داشتند که برداشت آب زیرزمینی دلیل تامه فرونشست نیست و فرونشست دشت‌های کشور معلول دوآلیتی^۲ در تحرکات پوسته‌ای بین دشت و کوهستان‌های مجاور است. عالم رجبی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی تأثیر گسل‌ها در تشکیل و توسعه نشست زمین در دشت یزد اردکان پرداختند، نتایج ایشان بیانگر این بود که شرایط ژئوتکتونیک، نظیر وجود خاک‌های مسئله‌دار و نهشته‌های جوان تحکیم نیافته، و فعالیت‌های تکتونیک عامل ایجاد و توسعه نشست در منطقه می‌باشند. کشاورز بخشایش و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی فرونشست در محدوده مرکزی شهر تهران خصوصیات ژئوتکتونیک خاک را عامل اصلی فرونشست در کنار سطح تراز آب زیرزمینی عنوان کردند.

در ایران اولین گزارش نشست زمین مربوط به دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ می‌باشد. تاکنون در ایران فرونشست زمین ناشی از عوامل تکتونیک و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، در دشت‌های زیادی رخ داده و توسط محققین مختلف بررسی شده و اثرات زیان‌بار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از آن به صورت‌های مختلف گزارش شده است. آمار دشت‌های کشور که در آن نشست زمین مشاهده شده شامل ۲۰۹ دشت می‌باشد. از جمله این موارد می‌توان به دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۵)، دشت اسداباد در استان همدان (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶a، خورسندی آقایی و قریشی، ۱۳۹۰)، دشت مشهد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶b، حسینی، ۱۳۸۴، موسوی مداح و همکاران، ۱۳۸۹)، دشت نیشابور (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶c)، دشت سبزوار (گوهری و همکاران، ۱۳۹۵، کارگر و قاسمی، ۱۳۹۲)، دشت رفسنجان در استان کرمان (عباس نژاد، ۱۳۷۷، موسوی و همکاران، ۲۰۰۱، سلیمانی و مرتضوی، ۲۰۰۸)، تهران و شهریار (بلورچی، ۱۳۸۴، علی پور و همکاران، ۲۰۰۸، کشاورز بخشایش و همکاران، ۱۳۹۳، تردست و همکاران، ۱۳۹۰)، هرمزگان (ترکمانی تمبکی و رهنما، ۱۳۹۳)، استان فارس (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۲ و عبدی، ۱۳۹۰)، اردبیل (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲)، یزد (عالم رجبی و همکاران، ۱۳۹۲، زارع مهرجردی، ۱۳۹۰)، اصفهان (حقیقت مهر و همکاران، ۱۳۹۰)، اراک (روانان و همکاران، ۱۳۹۵) و لرستان (امینی حسینی و بحرینی، ۱۳۷۹) اشاره کرد.

دشت نیشابور در سال‌های اخیر نشست زمین را همراه با ایجاد شکاف به وفور تجربه کرده است. این دشت یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی از نظر توسعه صنعتی، کشاورزی و تراکم جمعیتی به شمار می‌آید. در دهه‌های اخیر توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی باعث برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. برداشت از سفره آب زیرزمینی این دشت سبب افت سالیانه حدود ۰/۸ متر سطح آب زیرزمینی گردیده است، به طوری که این دشت را جزو دشت‌های بحرانی قرار داده است. با توجه به اوضاع بحرانی این دشت مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است که عمده آن به ارتباط این پدیده با افت سطح آب‌های زیرزمینی پرداخته است. در این پژوهش بر روی مورفولوژی شکاف‌های حاصل از فرونشست در دشت نیشابور یا پدیده شق (ترک خوردگی) و ارتباط آن با

^۱ Martinez

^۲ Duality

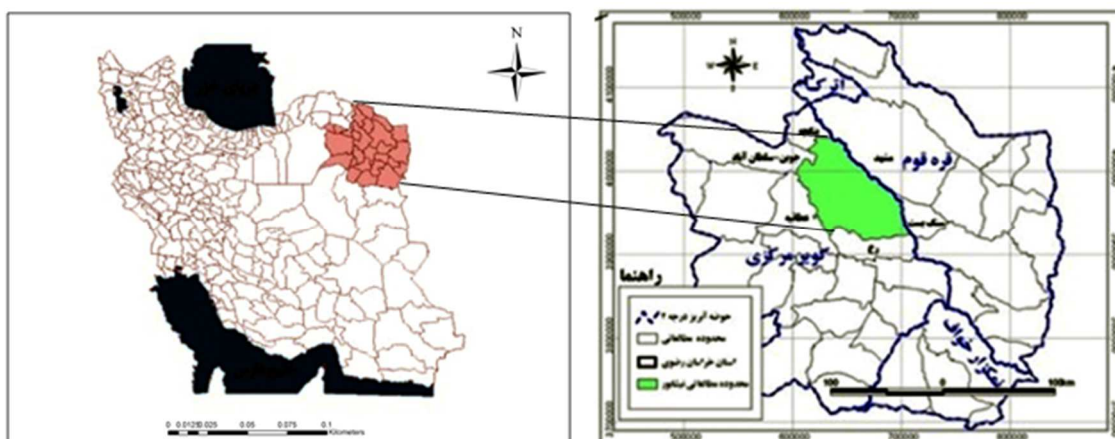
ویژگی‌های ادا فیک منطقه تأکید شده است. به عبارتی جدای از علت فرونشست در منطقه، آثار حاصل از آن که عمدتاً به صورت پدیده شق نمایان می‌شود و ارتباط مورفولوژی ترک‌ها با خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دشت نیشابور با وسعت ۹۰۶۳/۱۸ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۴۰۱۱ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد و در شمال شرق ایران واقع شده است (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مذکور در حدفاصل ۵۸ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)، محدوده مورد مطالعه در گستره یال جنوبی ساختار زمین‌شناسی بینالود و حد شمال شرقی زون مثلثی شکل ایران مرکزی واقع شده است. در محدوده دشت نیشابور ۵ آبخوان آبرفتی شناسایی شده است. این آبخوان‌ها از ضخامت‌های مختلف لایه آبدار، عمق متفاوت سنگ کف و سطح آب زیرزمینی برخوردار هستند.

ارتفاعات شمال شرقی حوضه از شیل‌ها، اسلیت‌ها و سنگ‌های آهکی و دگرگونی پالئوزوئیک تا ژوراسیک و ارتفاعات شمال غرب، غرب، جنوب و جنوب شرق، از گدازه‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرین درونی و رسوبات تبخیری کرتاسه تا سنگ‌های دوران سوم تشکیل گردیده است. به طوری که تنوع واحدهای سنگی فوق در سطح حوضه آبریز باعث تأثیر متفاوت فرآیندهای فرسایشی و ایجاد مورفولوژی با ناهمگونی شدید می‌گردد. ارتفاعات شمال شرقی نسبت به سایر قسمت‌های حوضه مرتفع‌تر بوده و دارای اشکال پرتگاهی و دره‌های نسبتاً عمیق و عمیق می‌باشد. در صورتی که ارتفاعات غربی، جنوب و جنوب شرقی از ارتفاع کمتری برخوردار بوده و نواحی پست حوضه را تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه ارتفاعی در سطح حوضه با ارتفاع ۳۲۰۰ متر و پست‌ترین آن با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا به ترتیب در ارتفاعات شمال غرب و محل خروجی دشت نیشابور واقع است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز نیشابور در استان خراسان رضوی و کشور ایران

۲-۲- محل ایجاد شکاف در منطقه مورد مطالعه

در سطح دشت نیشابور شکاف‌های عدیده‌ای ناشی از فرونشست زمین مشاهده می‌شود که مشکلات و مخاطرات زیادی برای ساکنین این مناطق و زمین‌های کشاورزی به همراه داشته است. از جمله بارزترین این شکاف‌ها که در این پژوهش

به بررسی آن‌ها پرداخته شده، می‌توان به مناطقی در مرکز دشت (بشرو و کاریزک)، شرق (کلاته قنبر) و غرب دشت (بازوبند) اشاره کرد، که هر کدام از جنبه‌های متفاوت (طول، عرض، عمق، موقعیت و فعال بودن) حائز اهمیت می‌باشند.

شکاف‌های غرب نیشابور در نزدیکی روستای بازوبند: شکاف‌های ایجادشده در این منطقه با توجه به نوع شکاف به دو صورت در قسمت‌های مختلف دشت مشاهده می‌شوند. اول شکاف‌های خطی کششی به طول چند کیلومتر، دوم شکاف‌هایی که در ابعاد کوچک‌تر به طول چند متر در جهات مختلف تشکیل شده و عمدتاً به صورت هلالی شکل مشاهده می‌شوند. بیشتر این شکاف‌ها خصوصاً شکاف‌های نوع اول در داخل زمین‌های کشاورزی تشکیل شده‌اند. این شکاف‌ها به دلیل نشت آب درون آن‌ها و همچنین به دلیل تغییر شیب زمین، مشکلات زیادی برای کشاورزان ایجاد نموده‌اند. لذا کشاورزان به طور مداوم نسبت به مسطح کردن زمین و محو آثار شکاف‌ها در زمین‌های کشاورزی اقدام می‌نمایند. ادامه نشت زمین و گسترش این شکاف‌ها سبب مشکلاتی در منطقه خواهد شد. البته این نکته لازم به یادآوری است که نشت در برخی نقاط دشت همراه با شکاف سطحی و در برخی نقاط فاقد شکاف‌های سطحی است و به صورت نشت یکنواخت و متجانس مشاهده می‌گردد. در نشت متجانس چون مناطق گسترده و غالباً به طور یکسان نشت می‌کند قابل احساس نمی‌باشد. نشت در مقیاس زیاد از این نوع به صورت لوله‌زایی در چاه‌های آب و تغییر شیب زمین آشکار می‌شود. در منطقه مورد مطالعه به فاصله کم در مسیر شکاف بزرگ چند کیلومتری ایجادشده، راه آهن مشهد-تهران و جاده قدیم نیشابور-سبزوار و در فاصله کمی در امتداد جنوبی شکاف، آزادراه نیشابور-سبزوار و نیز راه‌های فرعی دیگر و روستاهای مختلف از جمله تونده‌جان‌نو در امتداد شمالی آن قرار دارد.

شکاف‌های مرکز دشت در نزدیکی روستای بشرو: در این منطقه شکاف‌های عمیق به عمق حدود ۱۰ متر و عرض تا ۸ متر (در نقاطی که دچار آب شستگی شده‌اند) و طول یک کیلومتری مشاهده می‌شود (البته شکاف در مناطقی محو می‌شود و بعد از طی مسافتی در امتداد همان شکاف، شکاف جدیدی روی زمین ظاهر می‌شود که در این صورت طول شکاف بیش از آن چیزی است که ذکر شد و مسافت چندین روستا را می‌پیماید). به دلیل عمق زیاد خطر سقوط انسان، دام و حیات وحش را به وجود آورده است. چون بسیار نزدیک به خط آهن مشهد-نیشابور است و تا آنجا گسترش یافته، قابل توجه است. خط لوله گاز سراسری هم از کنار این شکاف عبور می‌کند. شکاف‌ها، جاده بین روستایی این منطقه را نیز تحت تأثیر قرار داده است و چون عمود بر مسیر جریان سیلاب‌های فصلی واقع شده است، آب سیلاب را به دام انداخته و موجب قطع ارتباط هیدرولوژیک و رسیدن آب به کشاورزان پایین دست می‌شود. همچنین شکاف‌های منطقه از لحاظ موقعیت، موازی با رشته قنات‌ها حرکت می‌کند. با توجه به اینکه آبدهی چاه‌ها در این مناطق کم شده و مردم آگاه‌سازی شده‌اند، به سمت کشت محصولاتی نظیر زعفران روی آورده‌اند و از شیوه‌های نوین آبیاری نیز در این منطقه به وفور استفاده می‌شود.

شکاف‌های مرکز دشت در نزدیکی روستای کاریزک: شکاف‌ها در این منطقه با طول چند کیلومتر و عمق تا ۶ متر و عرض نسبتاً زیاد نسبت به سایر مناطق مشاهده می‌شود و به دلیل نزدیکی به روستا بسیار حائز اهمیت است. به طوری که منازل مسکونی در این مناطق از این پدیده در امان نبوده و آسیب دیده‌اند. خط لوله آب روستا و نهرهای آبیاری را تحت الشعاع قرار داده و تغییر مسیر و شیب را موجب شده است. شکاف‌های منطقه از لحاظ موقعیت در حدفاصل بین دو رشته قنات واقع شده است.

شکاف‌های شرق دشت نیشابور در نزدیکی روستای کلاته قنبر: شکاف‌ها در این منطقه هنوز گسترش چندانی نیافته و با توجه به ابعاد شکاف‌ها و اظهار نظر اهالی به تازگی ظهور یافته است. چنانچه روند تخلیه آب زیرزمینی ادامه یابد ممکن است به مرحله بحرانی برسد که با توجه به نزدیک بودن به اماکن و تأسیسات روستایی می‌تواند خطر آفرین باشد. در حال حاضر طول شکاف‌ها به چند کیلومتر می‌رسد که به صورت مستقیم نبوده و به شکل نیم دایره‌ای سطح دشت را احاطه کرده، که این شکل خاص به نوع خاک و ساختارهای زمین‌شناسی مرتبط می‌شود. عرض شکاف از چهار متر و عمق شکاف

از یک متر تجاوز نمی‌کند. این شکل شکاف در این منطقه مانند هلالی آبیگر عمل نموده و آب حاصل از بارندگی را از سطح وسیع‌تر جمع نموده و ذخیره می‌کند و پوشش بهتری نسبت به کل دشت مشاهده می‌شود.



شکل ۲: تصاویر شکاف‌های حاصل از فرونشست زمین در چهار منطقه مطالعاتی پژوهش

۲-۳- روش کار

در ابتدا داده‌های پایه شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و نقشه ژئومورفولوژی شهرستان نیشابور تهیه شد. سپس آمار و اطلاعات مرتبط با داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۵، داده‌های ایستگاه GPS ثابت موجود در ایستگاه هواشناسی نیشابور و داده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری دشت در طول سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۶ جمع‌آوری شد. سپس با عملیات میدانی و بررسی آمار مرتبط، چهار منطقه در دشت نیشابور که از لحاظ مورفولوژی و ابعاد پدیده شق (ترک‌خوردگی) در شرایط بحرانی قرار دارند و همچنین دارای ویژگی‌های متفاوت خاک‌شناسی می‌باشند، انتخاب شد. در محل شکاف‌های شناسایی‌شده، نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک در دو عمق، سطحی (۳۰-۰) و عمقی (حدود ۱ متر) و ۱۱ نقطه (طول هر شکاف به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شد) در هر منطقه صورت گرفت که در مجموع ۸۸ نمونه خاک برداشت شد. شاخص‌های نشان داده‌شده در جدول ۱، برای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده ادافیکی و مورفولوژی

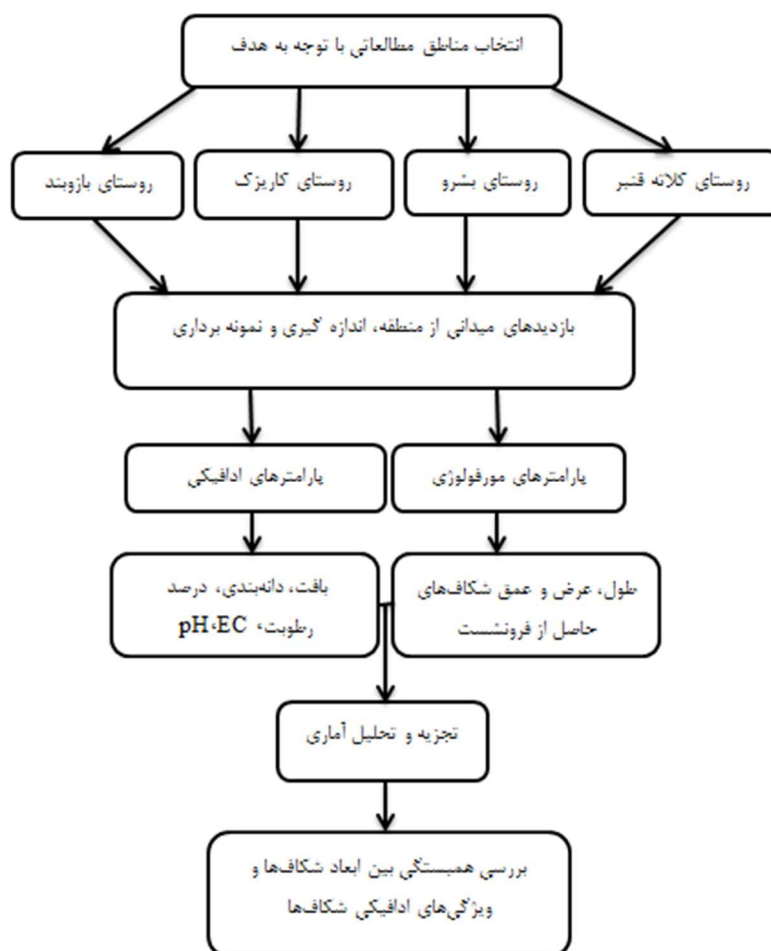
پارامترهای ادافیکی	پارامترهای مورفولوژی
بافت	طول شکاف
دانه‌بندی	عرض شکاف
هدایت الکتریکی	عمق شکاف
اسیدیته خاک	
درصد رطوبت	

داده‌ها و بررسی روابط موجود با کمک نرم‌افزار آماری SPSS 22 صورت گرفت. جهت تعیین اختلاف دار بودن یا نبودن شاخص‌های مورفولوژی شکاف‌ها، از آزمون‌های آماری استفاده شد. از آزمون کولوموگروف - اسمیرنوف^۱ (K-S) جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها بهره برده شد. برای مقایسه میانگین پارامترها در مناطق، اگر توزیع داده‌ها نرمال بود از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و اگر نرمال نبود از آزمون ناپارامتریک کروسکال - والیس^۲ استفاده شد. زمان به

^۱ Kolmogorov - Smirno

^۲ Kruskal - Wallis

وجود آمدن تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها، برای مشخص شدن تفاوت معنی‌دار بین هر دو متغیر از آزمون من - ویتنی^۳ و روش کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) (بی‌همتا و چاهوکی، ۱۳۸۷) استفاده شد. در انتها برای بررسی همبستگی مورفولوژی شکاف‌ها با ویژگی‌های آدافیک خاک مناطق از ضریب همبستگی اسپیرمن که آزمون ناپارامتری می‌باشد بهره برده شد. در شکل ۳، روش انجام کار ترسیم‌شده است.



شکل ۳: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

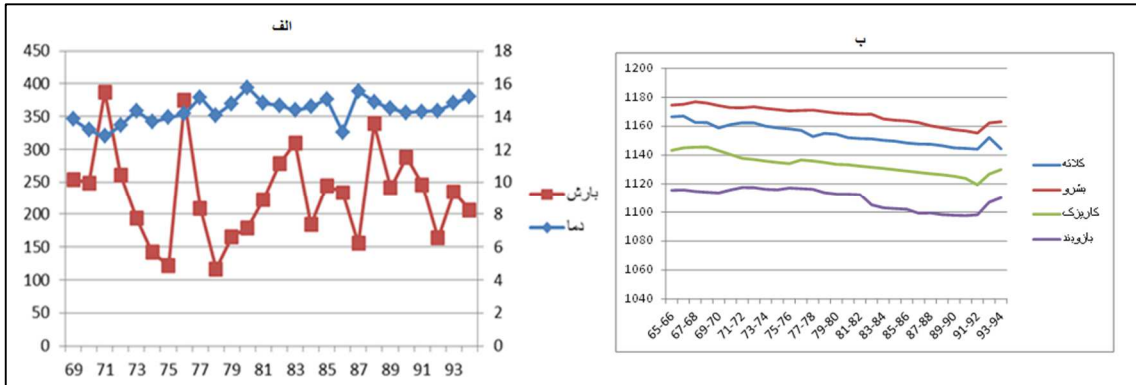
۳- نتایج و بحث

۳-۱- افت سطح آب

بررسی تغییرات دما و بارش طی دوره آماری مطالعه شده (۱۳۹۵-۱۳۶۵) نشان داد که نوسانات قابل توجهی در میانگین بارش (۲۵۰ میلی‌متر) در طول دوره مورد مطالعه وجود ندارد. همچنین نوسانات دما نیز در این دوره تغییرات قابل توجهی نداشته است. بنابراین می‌توان با توجه به شکل (۴) چنین استنباط کرد که بین برداشت بی‌رویه از آبخوان با گسترش شکاف‌ها رابطه معنی‌داری وجود دارد. در دشت نیشابور تعداد ۲۵۸۹ حلقه چاه عمیق و کم‌عمق، ۹۱۴ دهانه چشمه و ۹۳۰ رشته قنات وجود دارد. بیشترین آب مصرفی در منطقه مربوط به بخش کشاورزی بوده که در این بین چاه‌ها مهم‌ترین نقش را در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی ایفا می‌کنند (یزدانی و منصوریان، ۱۳۹۳). مقدار افت سطح آب طی این دوره در چهار

^۳ Mann - Whitney

منطقه مطالعاتی به میزان متوسط ۲۵ متر می‌باشد، یعنی به‌طور متوسط ۰/۹ متر در سال سطح سفره افت داشته است (شکل ۴ ب).



شکل ۴: الف: مجموع بارش سالیانه (میلی‌متر) و متوسط دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) طی سال‌های ۹۳-۶۹. ب: هیدروگراف واحد آبخوان برای مناطق مطالعاتی

۳-۲- بافت

به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین میزان درصد رس، ماسه و شن در چهار منطقه مطالعاتی ابتدا آزمون کولموگراف - اسمیرنوف (K-S) انجام شد و با توجه به P-value (مقدار پی) میزان رس، ماسه و شن دارای توزیع نرمال ($P\text{-value} \geq 0.05$) می‌باشد. با توجه به نرمال بودن داده‌های بافت خاک از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده گردید (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس (ANOVA) برای پارامترهای رس، ماسه و شن خاک

شاخص بافت	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	P-value
رس	بین گروه‌ها	۳	۱۸۶۳,۸۰۳	۲۸,۵۹۹	۰,۰۰۰۱
	درون گروه‌ها	۸۴	۶۵,۱۷۱		
	کل	۸۷	۱۱۰۶۵,۷۷۳		
ماسه	بین گروه‌ها	۳	۱۶۱۶,۶۶۷	۱۶,۵۴۲	۰,۰۰۰۱
	درون گروه‌ها	۸۴	۹۷,۷۳۲		
	کل	۸۷	۱۳۰۵۹,۴۵۵		
شن	بین گروه‌ها	۳	۱۷۹۸,۴۸۵	۱۳,۰۹۲	۰,۰۰۰۱
	درون گروه‌ها	۸۴	۱۳۷,۳۷۷		
	کل	۸۷	۱۶۹۳۵,۰۹۱		

با توجه به جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA)، چون سطح معنی‌داری برای هر سه پارامتر از ۰/۰۵ کوچک‌تر است، با اطمینان ۹۵ درصد، درصد رس، ماسه و شن بین مناطق مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است. بنابراین عامل منطقه روی مقادیر مربوط به بافت خاک مؤثر است. جهت مشخص نمودن محل اختلاف میانگین‌های مربوط به درصد رس، شن و ماسه در مناطق مورد مطالعه، در این تحقیق از روش کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. در سطح معنی‌داری ۵ درصد، برای پارامتر درصد رس، منطقه بازوبند با منطقه کلاته قنبر اختلاف معنی‌داری ندارد. از جهت شاخص سیلت منطقه بازوبند و کاریزک در یک گروه و منطقه کلاته قنبر و بشرو در گروه متفاوت دیگر قرار می‌گیرند. از جهت شاخص درصد شن نیز منطقه بازوبند با سایر مناطق اختلاف معنی‌دار دارد و مناطق کلاته قنبر و کاریزک و بشرو در یک گروه قرار می‌گیرند و اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳-۳- هدایت الکتریکی

برای بررسی تفاوت هدایت الکتریکی خاک در چهار منطقه مطالعاتی، پس از اجرای آزمون کولموگراف - اسمیرنوف، نرمال نبودن توزیع داده‌ها ($P\text{-value} \leq 0/05$) مشخص گردید. بنابراین از تحلیل واریانس ناپارامتری استفاده می‌شود. در این حالت از آزمون کروسکال - والیس استفاده شده است (جدول ۳).

جدول ۳: آزمون کروسکال - والیس برای هدایت الکتریکی خاک

مربع کی	درجه آزادی	P- value	EC خاک
۱۵/۵۴	۳	۰/۰۰۱	

با توجه به سطح معنی‌داری، نتایج آزمون کروسکال - والیس که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان بیان کرد که بین هدایت الکتریکی در چهار منطقه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به وجود اختلافات در چهار منطقه، برای مشخص شدن محل اختلافات میانگین هدایت الکتریکی از آزمون من - ویتنی استفاده شد. طبق نتایج این آزمون در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، منطقه بشرو با منطقه کلاته قنبر اختلاف معنی‌داری ندارد و منطقه کلاته قنبر و کاریزک نیز با هم اختلاف معنی‌داری از نظر هدایت الکتریکی ندارند.

۳-۴- قدرت هیدورژنی خاک (pH)

با بررسی آزمون کولموگراف - اسمیرنوف (K-S) بر روی داده‌های pH غیرنرمال بودن داده‌ها مشخص شد ($P \leq 0/05$) - value). بنابراین از تحلیل واریانس ناپارامتری و آزمون کروسکال - والیس استفاده شد (جدول ۴).

جدول ۴: آزمون کروسکال - والیس برای اسیدیته خاک

مربع کی	درجه آزادی	P - value	pH خاک
۲/۳۲۴	۳	۰/۵۰۸	

با توجه به سطح معنی‌داری، نتایج آزمون کروسکال - والیس که بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان بیان کرد که بین مقادیر pH خاک در چهار منطقه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

۳-۵- درصد رطوبت خاک

با بررسی آزمون کولموگراف - اسمیرنوف (K-S) بر روی داده‌های درصد رطوبت غیرنرمال بودن داده‌ها مشخص شد ($P \leq 0/05$) - value). با توجه به نتایج جدول فوق از تحلیل واریانس ناپارامتری و آزمون کروسکال - والیس استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵: آزمون کروسکال - والیس برای درصد رطوبت خاک

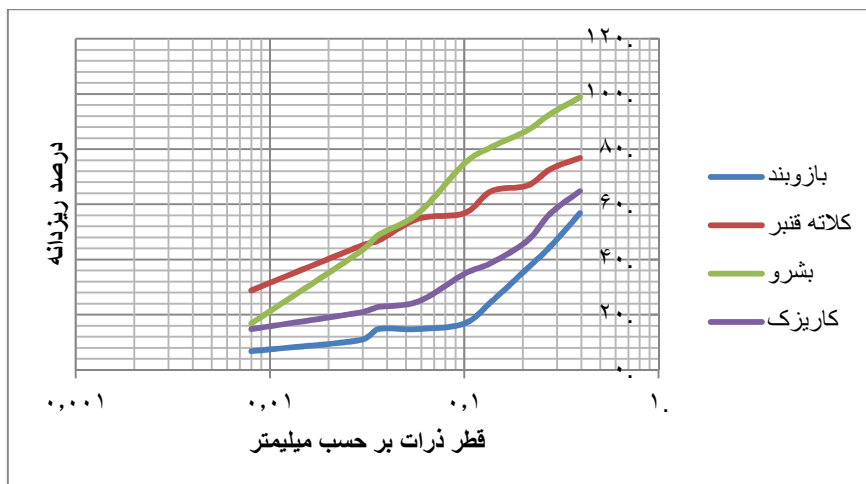
مربع کی	درجه آزادی	P - value	درصد رطوبت خاک
۵۲/۵۸۸	۳	۰/۰۰۱	

با توجه به سطح معنی‌داری، نتایج آزمون کروسکال - والیس که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان بیان کرد که بین مقادیر درصد رطوبت در چهار منطقه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به وجود اختلافات در چهار منطقه، برای مشخص شدن محل اختلافات میانگین درصد رطوبت از آزمون من - ویتنی استفاده شد که نتایج نشان داد که درصد رطوبت در تمام مقایسات اختلاف معنی‌داری دارد. بنابراین عامل منطقه روی درصد رطوبت تأثیرگذار است.

۳-۶- دانه‌بندی خاک

جهت تعیین دانه‌بندی نمونه‌های خاک، نمودارهای دانه‌بندی برحسب درصد ریزدانه به قطر ذرات ترسیم شد. بر اساس نمودارها قطر ذرات از بالا به پایین کاهش داشته و همچنین درصد ریزدانه کاهش داشته است (شکل ۵). دانه‌هایی با قطر بزرگ‌تر در اثر گذشت زمان و نیروی ثقل زودتر از دانه‌هایی با قطر کوچک‌تر ته‌نشین می‌شوند. بر این اساس در این مناطق خاک‌ها به سمت ماسه و رس

است و خاک‌های درشت‌دانه درصد کمتری را تشکیل می‌دهند. خاک منطقه بشرو دارای بیشترین میزان ریزدانه و منطقه بازوبند کمترین مقدار درصد ریزدانه را دارا می‌باشد.



شکل ۵: منحنی دانه‌بندی نمونه‌های خاک مناطق مطالعاتی

۳-۷- همبستگی و رگرسیون بین ابعاد شکاف‌های حاصل از فرونشست و خاک منطقه

در این پژوهش همبستگی بین ابعاد شکاف‌ها با متغیرهای خاک در سطح مناطق مورد مطالعه بررسی شده است. برای سنجش همبستگی از ضرایب گوناگون استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها ضریب همبستگی اسپیرمن^۴ است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است و به محاسبه ضریب همبستگی ناپارامتری میان دو متغیر می‌پردازد و همواره بین +۱ (حداکثر همبستگی مستقیم) و -۱ (حداکثر همبستگی معکوس) تغییر می‌کند.

با توجه به نتایج این آزمون (جدول ۶)، ضریب همبستگی بین متغیر طول شکاف و درصد رطوبت به میزان ۰/۶۷۷ می‌باشد که در سطح عدم اطمینان ۵ درصد معنی‌دار و رابطه آن مستقیم می‌باشد (هر چه رطوبت بیشتر طول شکاف هم بیشتر). همچنین ضریب همبستگی بین عرض شکاف و متغیرهای درصد رطوبت، درصد رس و درصد ماسه خاک به ترتیب ۰/۲۲۱ -، ۰/۳۳۰ - و ۰/۴۰۵ بوده که در سطح ۵ درصد معنی‌دار و رابطه معکوس و درصد ماسه رابطه مستقیم دارد. همچنین ضریب همبستگی بین عمق شکاف با درصد رطوبت، درصد شن و درصد رس به ترتیب ۰/۷۰۳ -، ۰/۲۲۰ و ۰/۳۷۸ - می‌باشد که در سطح عدم اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بوده و با درصد شن رابطه مستقیم و سایر پارامترها رابطه غیرمستقیم دارند.

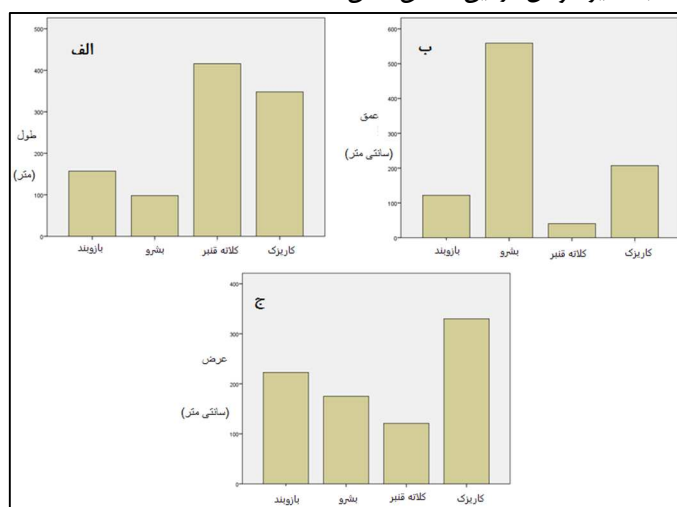
جدول ۶: ضریب همبستگی بین پارامترهای خاک و مورفولوژی شکاف در مناطق مطالعاتی

رس	ماسه	شن	درصد رطوبت	EC	pH		
۰,۱۴۹	- ۰,۰۸۴	۰,۰۰۳	۰,۶۷۷	۰,۰۹۷	۰,۱۲۶	ضریب همبستگی	طول شکاف
۰,۱۶۵	۰,۴۳۴	۰,۹۷۵	۰,۰۰۱	۰,۳۶۶	۰,۲۴۲	P- VALUE	
۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	تعداد	
- ۰,۳۳۰	۰,۴۰۵	- ۰,۰۸۷	- ۰,۲۲۱	۰,۱۴۸	- ۰,۲۱۲	ضریب همبستگی	عرض شکاف
۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۱	۰,۴۱۸	۰,۰۳۹	۰,۱۶۹	۰,۴۸	P- VALUE	
۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	تعداد	

⁴ Spearman correlation test

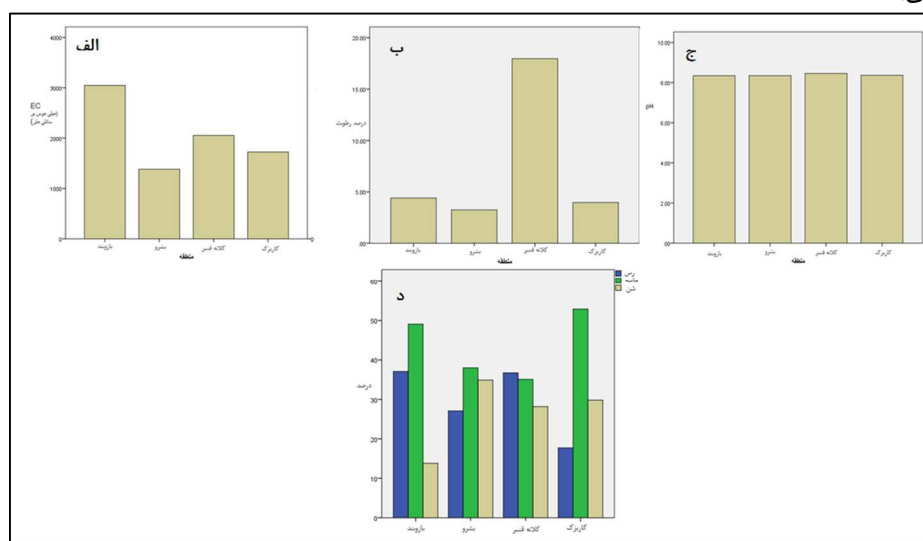
عمق شکاف	ضریب همبستگی	-۰,۰۴۸	-۰,۲۵۴	-۰,۷۰۳	۰,۲۲۰	۰,۰۳۹	-۰,۳۷۸
تعداد	P- VALUE	۰,۶۵۸	۰,۱۷	۰,۰۰۰۱	۰,۰۴۰	۰,۷۱۸	۰,۰۰۰۱
۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸

معادله خط رگرسیون نیز برای نشان دادن ارتباط پارامترهای اداپیک با مورفولوژی شکاف‌ها، با توجه به جداول ضرایب رابطه رگرسیونی نوشته شد. از بین خصوصیات خاک فقط درصد رطوبت با طول شکاف رابطه معنی‌دار دارد. همان‌گونه که در شکل ۶ نمایان است، بیشترین تغییرات مورفولوژی شکاف‌ها در مناطق مختلف مربوط به عمق شکاف می‌باشد. تغییرات عرض شکاف تغییرات کم‌تری نسبت به سایر عوامل در این مناطق نشان داده است.



شکل ۶: الف: تغییرات میانگین طول شکاف، ب: تغییرات میانگین عمق شکاف، ج: تغییرات میانگین عرض شکاف در چهار منطقه مورد بررسی

با توجه به شکل ۷، کمترین تغییرات میانگین در بین پارامترهای اداپیک اندازه‌گیری شده، مربوط به pH است. درصد رطوبت بیشترین تغییرات را در این مناطق نشان می‌دهد. از بین اجزای بافت خاک، در تمامی مناطق سیلت بیشترین مقدار و شن کمترین مقدار را دارا می‌باشد.

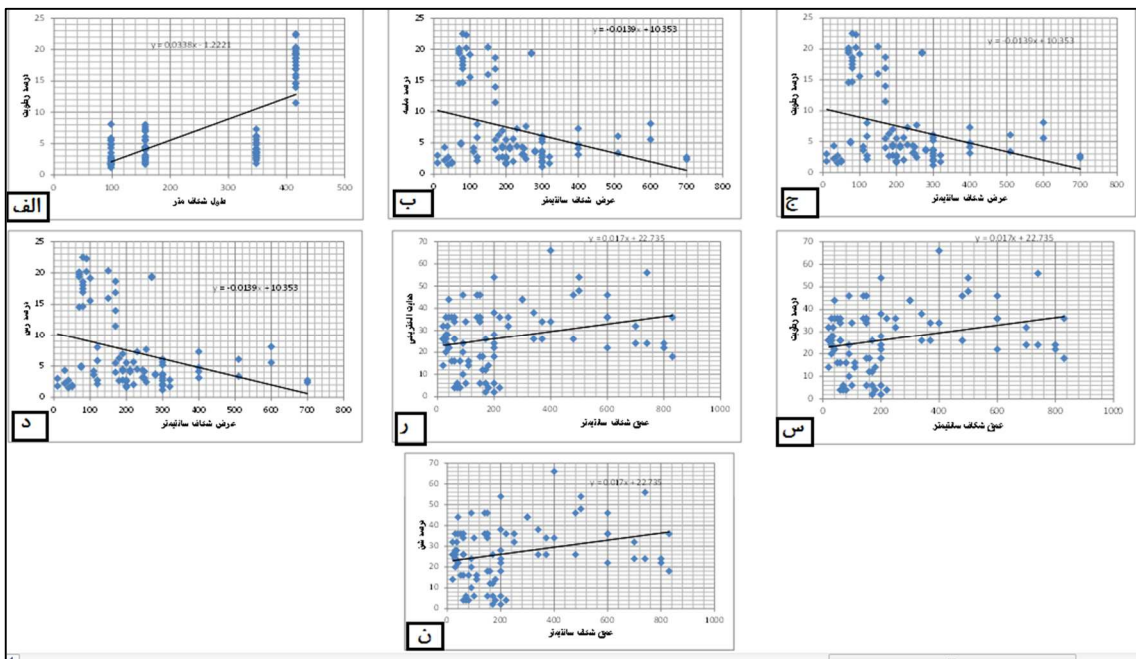


شکل ۷: الف: تغییرات هدایت الکتریکی، ب: تغییرات درصد رطوبت، ج: تغییرات pH، د: تغییرات بافت خاک در چهار منطقه

۳-۸: نمودارهای ارتباط مورفولوژی شکاف‌ها با عوامل ادا فیک منطقه

در شکل ۸، تأثیرپذیری پارامترهای مورفولوژی از شاخص‌های خاک‌شناسی به نمایش درآمده است. در این بین، ارتباط میان طول شکاف و درصد رطوبت، ارتباط هدایت الکتریکی و عمق شکاف، ارتباط درصد رطوبت و عمق شکاف و ارتباط عمق شکاف و درصد شن، مستقیم می‌باشد. با افزایش درصد رطوبت در منطقه عمق و طول شکاف افزایش می‌یابد. بنابراین رطوبت خاک عاملی جهت گسترش ابعاد شکاف مطرح می‌شود. عمق شکاف همچنین با افزایش مقادیر هدایت الکتریکی، افزایش می‌یابد. با افزایش هدایت الکتریکی و افزایش نمک‌های محلول خاک، پراکندگی خاکدانه‌ها افزایش یافته و خاصیت چسبندگی کاهش یافته، بنابراین شرایط برای توسعه ابعاد شکاف فراهم می‌شود. با افزایش درصد شن در منطقه، با توجه به چسبندگی کمتر خاک‌های درشت‌دانه در مقایسه با خاک‌های ریزدانه، ابعاد شکاف گسترش بیشتری می‌یابد.

ارتباط بین عرض شکاف و درصد ماسه، عرض شکاف و درصد رطوبت و همچنین ارتباط عرض شکاف و درصد رس، غیرمستقیم و معکوس می‌باشد. هر چه مقادیر ریزدانه خاک مانند رس و سیلت در خاک بیشتر باشد، ابعاد شکاف کمتر گسترش می‌یابد. پیرو آن با افزایش درصد ریزدانه، به خاطر ظرفیت نگهداری بالای آب در رس، رطوبت خاک افزایش می‌یابد و عرض شکاف کمتر توسعه می‌یابد. به عبارتی خاک‌های ریزدانه که لازمه شروع فرونشست در هر منطقه‌ای است، از گسترش ابعاد شکاف جلوگیری می‌کند.



شکل ۸: الف: ارتباط طول شکاف و درصد رطوبت، ب: ارتباط عرض شکاف و درصد ماسه، ج: ارتباط عرض شکاف و درصد رطوبت، د: ارتباط عرض شکاف و درصد رس، ر: ارتباط هدایت الکتریکی و عمق شکاف، س: ارتباط درصد رطوبت و عمق شکاف، ن: ارتباط عمق شکاف و درصد شن

نتایج به دست آمده از این پژوهش، نتایج لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶ در دشت نیشابور را تأیید می‌کند که علت اصلی نشست در منطقه را افت سطح آب زیرزمینی در این دشت می‌داند. در این پژوهش نیز ارتباط معنی‌داری بین افت سطح ایستابی و شکاف‌های حاصل از فرونشست طی سال‌های اخیر گزارش شد.

همچنین با نتایج کار مارتینز و همکاران، ۲۰۱۳ که وجود لایه خاک رس را در محدود کردن گسترش ابعاد شکاف‌ها و نفوذ از طریق شکستگی مؤثر عنوان کردند، مطابقت دارد. افزایش میزان رس در مناطق دارای شکاف با کاهش عمق و عرض شکاف در این پژوهش ارتباط نشان داد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق فرونشست زمین و ایجاد شکاف‌ها در دشت نیشابور مورد مطالعه قرار گرفت. وجود شکاف‌هایی در غرب، مرکز و شرق دشت نیشابور و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از ایستگاه GPS نصب‌شده در ایستگاه هواشناسی نیشابور وقوع فرونشست را در پهنه‌ای وسیع از دشت تأیید می‌نماید. نرخ این فرونشست با توجه به اطلاعات جمع‌آوری‌شده از ایستگاه GPS بیش از ۱۰ سانتیمتر در سال گزارش شده است. مهم‌ترین عامل در ایجاد نشست در این دشت افت شدید سطح آب زیرزمینی در رسوبات آبرفتی ریزدانه‌ای است که از قابلیت تراکم‌پذیری بالایی در اثر زهکش آب میان‌لایه‌ای برخوردار هستند. و مهم‌ترین عامل در افت سطح آب برداشت‌های بی‌رویه از آب زیرزمینی برای مقاصد مختلف و خصوصاً کشاورزی می‌باشد و کاهش بارندگی و افزایش دما و یا خشکسالی هیچ‌کدام عامل جدی تأثیرگذار بر این پدیده نمی‌باشند. طبق نتایج این تحقیق افت سطح آب در تمام سطح دشت به میزان‌های متفاوت اتفاق افتاده است اما شکاف‌ها در مناطقی ظاهر شده‌اند که خاک مستعد وقوع این پدیده بوده است یعنی بافت ریزدانه و تراکم‌پذیر دارد.

با اطمینان ۹۵ درصد، درصد رس، ماسه، شن، هدایت الکتریکی و درصد رطوبت بین مناطق مختلف مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌داری است. بنابراین عامل منطقه روی مقادیر اشاره‌شده مؤثر است. تنها بین مقادیر اسیدیته خاک در چهار منطقه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

ضریب همبستگی اسپیرمن بین متغیر طول شکاف و درصد رطوبت به میزان $0/677$ می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین عرض شکاف و متغیرهای درصد رطوبت، درصد رس و درصد ماسه خاک نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارتباط معنی‌دار دارند. همچنین ضریب همبستگی بین عمق شکاف با درصد رطوبت، درصد شن و درصد رس معرف معنی‌داری روابط بود. به‌طور کلی در مناطقی که درصد رطوبت خاک بالاتر است طول شکاف گسترش بیشتری داشته است. با افزایش درصد سیلت در مناطق مختلف عرض شکاف نیز افزایش می‌یابد. در مناطقی که درصد رطوبت بالا باشد عمق شکاف کمتر توسعه می‌یابد یا بالعکس در مناطقی با شکاف‌های کم عمق در مقایسه با مناطق دارای شکاف‌های عمیق درصد رطوبت خاک بالاتر است. همچنین عمق شکاف‌ها با میزان درصد رس در خاک این مناطق رابطه معکوس دارد به عبارتی خاک‌های ریزدانه لازمه فرونشست در منطقه می‌باشند اما از گسترش عمق شکاف‌ها جلوگیری می‌کند.

راهکار اصلی توقف فرونشست بیشتر در دشت نیشابور کنترل پمپاژ بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی است. بنابراین بدون اعمال مدیریت صحیح منابع آب، جلوگیری از پیشرفت فرونشست امکان‌پذیر نمی‌باشد. استفاده از کشت گلخانه‌ای و اصلاح الگوی کشت و حذف کشت‌هایی با نیاز آبی زیاد، استفاده از روش‌های نوین آبیاری، به‌جای روش‌های سنتی جهت صرفه‌جویی در برداشت آب توصیه می‌گردد. در این زمینه در بسیاری مناطق به سمت کشت‌هایی با نیاز آبی کم مانند زعفران روی آورده‌اند که با توجه به هزینه اولیه زیاد در کشت محصول اگر حمایت‌هایی در این زمینه صورت گیرد حرکت مؤثری در کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی صورت خواهد گرفت.

منابع

- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ معالی اهری، نسیم و احمدی، طیبه (۱۳۹۲) تعیین مناطق فرونشست احتمالی دشت اردبیل با استفاده از GIS، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۶، صص ۲۳-۱.
- امینی حسینی، کامد و بحرینی، پدram (۱۳۷۹) نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در گستره استان لرستان، انجمن زمین‌شناسی ایران.
- بلورچی، محمدجواد (۱۳۸۴) احتمال فرونشست زمین در اراضی وسیعی از تهران، پایگاه خبری شریف نیوز.
- بی‌همتا، محمدرضا و زارع چاهوکی، محمدعلی (۱۳۸۷) اصول آمار در منابع طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- پورخسروانی، محسن؛ رامشت، محمدحسین و المدرسی، سید علی (۱۳۹۱) دوالیتی در ژئومورفولوژی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۳، صص ۷۲-۶۳.

- تردست، علی؛ بلورچی، محمدجواد و شمشکی، امیر (۱۳۹۰) فرونشست زمین در اثر افت آب زیرزمینی در جنوب غربی تهران، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- ترکمانی تمبکی، حمزه و رهنماری، جعفر (۱۳۹۳) افت سطح آب زیرزمینی، فرونشست و خشکی زمین در دشت میناب، فاجعه‌ای اسفناک، همایش ملی بحران آب در ایران و خاورمیانه.
- حسینی، سیدعلی (۱۳۸۴) برداشت بی رویه آب زیرزمینی، افت سطح آب و نشست زمین در منطقه توس (مشهد)، نشریه رساناب شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی مشهد، شماره ۲۷، صص ۴۲-۳۲.
- حقیقت مهر، پریسا؛ ولدان زوج، محمدجواد؛ صاحبی، محمودرضا و دهقانی مریم (۱۳۹۰) اندازه‌گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- خورسندی آقایی، احمد و قریشی، سیدحسین (۱۳۹۰) بررسی فرونشست زمین در حوضچه‌های تغذیه مصنوعی، مطالعه موردی جنوب نیروگاه همدان و مقایسه آن با فروچاله‌های دشت همدان، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
- روانان، نجم الدین؛ امیرافضلی، میلاد و عزتی فیض، جواد (۱۳۹۵) ارزیابی خطر فرونشست دشت اراک با استفاده از روش *AHP*، اولین همایش تخصصی پدیده فرونشست زمین در ایران، آبان ۱۳۹۵، تهران.
- زارع مهرجردی، احمدعلی (۱۳۹۰) بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در در منطقه رستاق جنوب میبد، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۶۶-۱۵۵.
- عالم رجبی، محمدکاظم؛ مهرنهاد، حمید و آریامنش، محمد (۱۳۹۲) بررسی تاثیر گسل‌ها در تشکیل و توسعه زمین نشست در دشت یزد-اردکان، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت.
- عباس نژاد، احمد (۱۳۷۷) بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صص ۳۱۰-۳۰۳.
- عقیقی، محمدابراهیم؛ قنبری، عبدالرسول و طبخی، فاطمه (۱۳۹۲) ارزیابی پتانسیل فرونشست و عوامل موثر بر آن مطالعه موردی دشت سیدان فاروق مروذشت، اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، ۱۰ دی، دانشگاه آزاد میبد.
- کارگر، رضا و قاسمی، مریم (۱۳۹۲) قنات و نشست زمین در دشت سبزوار. اولین همایش ملی جغرافیا شهرسازی و توسعه پایدار، اسفند ۱۳۹۲، تهران.
- کشاورز بخشایش، محمد؛ نجفی، بهنام و تلخابلو، مهدی (۱۳۹۳) ارزیابی خطر فرونشست زمین در محدوده مرکزی شهر تهران، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، مرکز اراک.
- گوهری، زهرا؛ آرا، هایده و تاجبخش، سیدمحمد (۱۳۹۵) تعیین مناطق مستعد فرونشست با تکیه بر پهنه بندی کمی آب زیرزمینی دشت سبزوار، همایش تخصصی پدیده فرونشست زمین در ایران، تهران، ۲۶ آبان.
- لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ باقرپور، احمد و طالبیان، سیده لیلا (۱۳۸۶) *a*) تاثیر افت سطح آب زیرزمینی در نشست زمین: مطالعه موردی دشت کاشمر، مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد دوم، صص ۹۲۲-۹۱۶.
- لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ کاظمی گلپان، رمضان و دم شناس، مهدی (۱۳۸۶) *b*) نشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت نیشابور، پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد و مرادی، طاهر (۱۳۸۶) *c*) افت سطح آب های زیرزمینی و بررسی نشست زمین در دشت اسدآباد، مجموعه مقالات یازدهمین همایش علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.

- لشکری پور، غلامرضا؛ رستمی بارانی، جمیدرضا؛ کهندل، اصغر و ترشیزی، حسین (۱۳۸۵) افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر، مجموعه مقالات دهمین همایش علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۲۴۳۸-۲۴۲۸.
- معارف وند، پرویز و شمس‌الدین سعید، مسعود (۱۳۹۲) اثر بارگزاری سطحی بر لوله‌های فاضلاب شهری در روش‌های مختلف اجرا، مجله علمی پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی مهندسی معدن، دوره ۳، دوره ۵، صص ۱۰-۱.
- موسوی مداح، سیدمحمد؛ غفوری، محمد؛ لشکری پور، غلامرضا و افشار، سلمه (۱۳۸۹) بررسی پدیده نشست زمین تاثیر آن بر گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنبندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین، چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، ۱۱ و ۱۲ آبان، تهران.
- مهشادنی، فاطمه (۱۳۸۴) مروری بر نشست منطقه‌ای زمین در ایران و تدوین بانک اطلاعات فرونشست زمین، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ولایتی، سعید و بهنیافر، ابوالفضل (۱۳۸۶) غارشناسی، ترجمه گلیسون، دیوید، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- یزدانی، وحید و منصوریان، حمید (۱۳۹۳) پهنبندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره ۱۵.

- Abidin, H.Z, Andreas, H. Gumilary, I, Wangsaatmaja, S, Fukuda, Y. (2009), *subsidence and groundwater extraction in Bandung Basin, Indonesia*, IAHS Publ. Vol. 329, pp. 145-156.
- Alipour, A., Motagh, M., Sharifi, M. and Walter, T.R. (2008). *Satellite radar interferometry time series analysis of land subsidence caused by groundwater overexploitation in Tehran, Iran*, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-10684.
- Baramati, A., Carbognin, L., Quaial, T., Teatini, P. and Tosi, L. (2003). *The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence*, *Episodes*, Vol. 26 (3), pp. 264-268.
- Chatterjee, R.S., Fruneau, B., Rudant, J.P., Roy, P.S., Frison, P.L., Lakhera, R.C., Dadhwal, V.K. and Saha, R., (2006). *Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) Technique*, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 102, pp. 176-185.
- Conway Brian D. (2015). *Land subsidence and earth fissures in south-central and southern Arizona, USA*. *J Hydrogeol*.
- Galloway, D.L., Burbey, J. Thomas, J. 2013. *Regional land subsidence accompanying groundwater extraction*. *Hydrogeology Journal*, 19: 1459-1486.
- Hou, C.S., Hu, J.C, Shen, L.C, Wang, J.S., Chen, C.L., Lai, T.C., Huang, C., Yang, Y.R., Chen, R.F., Chen, Y.G., Angelier, J., (2005). *Estimation of subsidence using GPS measurements, and related hazard: the Pingtung Plain, southwestern Taiwan*. *C.R. Geosciences*, Vol. 337, pp. 1184-1193.
- Hu, J.C., Chu, H.T., Hou, C.S., Lai, T.H., Chen, R.F., Nien, P.F., (2006). *The contribution to tectonic subsidence by groundwater abstraction in the Pingtung area, southwestern Taiwan as determined by GPS measurements*. *Quaternary International* Vol. 147, pp. 62-69.
- Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, S.J., (2004). *Review on current status and challenging issues of and subsidence in China*, *Engineering Geology*, Vol. 76, pp. 65-77.
- Leake, s.a., (2004), *Land Subsidence From Ground Water Pumping*, *United States Geological Survey*, URL: <http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>.
- Lin Bai, Liming Jiang, Hansheng Wang and Qishi Sun, (2016). *Spatiotemporal Characterization of Land Subsidence and Uplift (2009-2010) over Wuhan in Central China Revealed by TerraSAR-X InSAR Analysis*.
- Motagh, M. Thomas R. Walter, Mohammad Ali Sharifi, Eric Fielding, (2016). *Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation*. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 35, L16403,
- Minsi, A . Changcheng, W . Rongan, X . Xingqing, Zh . Jun, H . Yanan, D . Zhiwei, L. Jianjun, Zh. Wujiao, D . Cuilin, K. (2014). *Monitoring the land subsidence with persistent scatterer interferometry in Nansha District, Guangdong, China*. *Nat Hazards* Vol. 75, pp. 2947-2964.

- Mousavi, M., Shamsai, A., El Negar, M.H. and Khamsehchian, M. (2001). A GPS based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. *Can. J. Eng*, Vol. 28, pp. 425-464.
- Martinez, I., Hinkelmann, R., Savidis, S. 2013. Fast water infiltration: a mechanism for fracture formation during land subsidence. *Hydrogeology Journal*, 21: 761–771.
- Phin-wej, N., Giao, P.H. and Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand, *Engineering Geology*, Vol.82, pp.187-201.
- Poland, J. F., (1981), *The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys, California*, PhD Dissertation, Stanford University, Palo Alto, California.
- Ruilin, H. (2006). Urban land subsidence in China, *Pro. of 10th IAEG Congress*, Nottingham, UK, Paper number 786.
- Shujun, Y. Yuqun, X. Jichun, W. Xuexin, Y. Jun, Y.(2015). Progression and mitigation of land subsidence in China. *J Hydrogeol*.
- Solaimani, K. and Mortazavi, S.M. (2008). Investigation of land subsidence and its consequences of large groundwater withdrawal in Rafsanjan, Iran, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 11, pp. 265-269.
- Tomás, R., Herrera, G., Lopez-Sanchez, J.M., Vicente, F., Cuenca, A. Mallorquí, J.J. 2010. Study of the land subsidence in Orihuela city (SE Spain) using PSI data: distribution, evolution and correlation with conditioning and trigger ing factors, *Engineering Geology*, 115, 105-121.
- Waltham, A.C. 1989. *Ground subsidence*. Blackie & Son Limited.
- Wong, G.Y, You. G, Shi. B, Yu. J, Tuck, M (2009). Long-term Land subsidence and strata compression in Changzhou, China, *Engineering Geology*, Vol. 104 (1-2), pp. 109-118.
- .