

## سنجش و ارزیابی کشت برنج و صیفی جات و تأثیر آن بر بحران نشست زمین آبخوان نورآباد ممسنی

محمدعلی زنگنه اسدی - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری.  
رحمان زندی\* - دانشیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان.  
نجمه شفیعی - پژوهشگر پسادکتر ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲      تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

### چکیده

فرونشست یک مخاطره محیطی که سبب ریزش و پایین رفتن سطح زمین می‌شود و در بازه زمانی طولانی نشست زمین را به همراه دارد؛ توسعه آن در کشورهای جهان سوم از جمله ایران به دلیل استفاده بی حد و حصر از منابع آب زیرزمینی در زمینه فعالیت‌های کشاورزی رو به افزایش است. دشت نورآباد یکی از دشت‌های مهم استان فارس از لحاظ توسعه کشاورزی به شمار می‌آید که در چند سال اخیر با پدیده‌ی فرونشست زمین در اثر برداشت ی‌رویه از منابع آب زیرزمینی روبرو بوده است. الگو کشت نقش موثری در میزان فرونشست زمین دارد. در این پژوهش به بررسی نوع کشت در میزان فرونشست حوضه آبریز نورآباد از روش‌های تداخل سنجی راداری، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون فضایی استفاده گردید. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان فرونشست زمین در مناطقی که به کشت گونه‌های برنج اختصاص یافته به حداکثر میزان حدود ۱۰ سانتیمتر در سال رسیده است. نتایج حاصل از الگو کشت و ارتباط آن با فرونشست زمین نشان از وجود همبستگی مثبت ضریب  $R^2$  برابر  $0.9+$  و کمترین میزان خطا حدود  $0.001$  را به خود اختصاص داده است.

واژگان کلیدی: نوع کشت، فرونشست زمین، آبخوان نورآباد فارس، تداخل سنجی راداری، *GEE SVM*

### مقدمه

پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می تواند دارای بردار جابه جایی اندکی باشد (باتس و جکسون، ۱۹۸۰، ۷۸). فرونشست زمین یک پدیده زمین شناسی است که موجب پایین رفتن آرام و افقی سطح زمین می شود. (هیو و همکاران ۲۰۰۹، ۲۶۹).

پدیده فرونشست زمین به عوامل طبیعی از جمله پدیده های زمین شناسی، حرکات آرام پوسته و خروج گدازه ها، فعالیت های انسانی و تخلیه آبخوان ها وابسته است. فرونشست زمین در اراضی کشاورزی در دشت ها باعث تخریب سیستم های آبیاری و نابودی خاک های حاصلخیز می شود و با شکاف و ترک خوردگی و غیرقابل استفاده شدن زمین همراه خواهد شد. مشکل اصلی فرونشست برگشت ناپذیری زمین است زمینی که با فرونشست همراه شود دیگر قابلیت زراعت نخواهد داشت. در دشت ها در اثر برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی و تخلیه آبخوان ها رخ می دهد که منجر به فشرده شدن لایه های رسی می شود. کشور ایران از جمله کشورهایی هست که در سال های اخیر با بحران منابع آب زیرزمینی روبه روبرو شده است خشکسالی ها، احداث سد، از یک طرف افزایش جمعیت نیاز به منابع آبی حفر بیش از حد چاه غیر مجاز و کشت گونه های آب بر از طرف دیگر سبب بروز خطر بحران آبی را در این کشور به وجود آورد. هدف از این پژوهش بررسی الگو کشت و نقش آن بر فرونشست آبخوان نورآباد استان فارس می باشد.

از دیر باز حوضه آبریز نورآباد به دلیل وجود منابع غنی آب سطحی رودخانه های بوان، کتی، دروغزن و آب مروارید و همچنین اقلیم مناسب، بخش اعظم زمین های کشاورزی به کشت گونه های برنج، و صیفیجات اختصاص یافته است و با گذشت زمان و تغییر شرایط اقلیمی کاهش منابع سطحی سبب گسترش حفرچاه عمیق و نیمه عمیق در سطح آبخوان شده است تغییر نموده است ولیکن کشت همچنان به روش قدیمی (غرقابی) پا برجاست و این یکی از مشکلات اصلی می باشد.

کشت های مذکور هنوز به عنوان گونه غالب در منطقه مورد استفاده قرار می گیرد که به عنوان یک مسئله مهم بحران فرونشست را در سطح حوضه دوچندان کرده است. از جمله اهداف این پژوهش شناسایی گونه های کشت آب بر در محدوده آبخوان، مناطق دارای حداکثر فرونشست و ارتباط آن با گونه های آب برمی باشد یکی از نوآوری های اصلی در این پژوهش برای اولین بار به بررسی ارتباط بین الگو کشت و فرونشست زمین پرداخته شده است. اصلاح الگوی کشت به عنوان راهکار مهم در جلوگیری از پیشرفت پدیده فرونشست زمین است با توسعه کشت گیاهان دارویی و انتقال کشت از فضای باز به فضای گلخانه ای و توسعه کشت نشایی و تغییر زمان کشت از بهار به پاییز راهی جهت مقابله با کم آبی می باشد اقداماتی نظیر آبیاری تحت فشار و تسطیح لیزری و اجرای کشتی حفاظتی و توسعه باغات متحمل با خشکی و توسعه کشت گلخانه ای به همراه آموزش به کشاورزان در راستای سازگاری با کم آبی، اصلاح الگوی کشت و ممانعت از برداشت بی رویه از منابع زیرزمینی از اقدامات مهم در کاهش اثرات پدیده فرونشست است (نصیری، ۲۰۲۲)

### پیشینه پژوهش

آبیدین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) اثرات زیست محیطی فرونشست را در مناطق شهری اندونزی بررسی کردند. و با تکنیک رادار و GPS نشان دادند که میزان فرونشست دارای تغییرات فضایی و زمانی است و مقدار آن را در این مناطق بین ۵ تا ۱۰ سانتی متر در سال اندازه گیری کردند. که ناشی از استفاده بیش از حد از آب های زیرزمینی، بار سازه ها و فعالیت های زمین شناسی در منطقه است و اثرات فرونشست را به اثرات محیطی، زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی طبقه بندی کردند. لین و همکاران (۲۰۱۶)، برای مطالعه تغییرات شکل زمین (فرونشست و بالا آمدگی) در شهر ووهان در مرکز چین از تجزیه

<sup>۱</sup>- Abidin.

و تحلیل INSAR و داده‌های ماهواره ترا در سال های ۲۰۱۰-۲۰۰۹ استفاده کردند نتایج نشان داد حداکثر نرخ فرونشست ۶۷ میلیمتر در سال تخمین زده شد. اما اثر عوامل انسانی مهم‌تر از عوامل طبیعی قلمداد شد. اسمیت و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود برآورد از دست دادن دائمی ذخایر آب زیرزمینی در دره سن ژواکوین کالیفرنیا عنوان کردند اگر آب بیش از حد از آبخوان‌ها استخراج شود، مخصوصاً در نواحی که لایه‌های خاک رس دارند، متراکم شدن لایه‌های خاک به دلیل افت فشار آب باعث ایجاد حالت غیرقابل برگشت می‌شود و توانایی خاک برای حفظ و نفوذ آب از دست می‌رود، از این رو آبخوان ظرفیت دریافت آب خود را به‌طور دائم از دست می‌دهد. بنتوا و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از روش PNINSAR و تصاویر سنتینل به صورت دوره ای به اندازه گیری میزان فرونشست دریاچه ی آبی در ووهان چین را شناسایی نمودند. میندهود و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی ارتباط بین کاربری اراضی و فرونشست زمین در دلتا مکونگ پرداختند و نتایج حاصل از پژوهش نشان داد بالاترین نرخ فرونشست مربوط به مناطق کشاورزی حدود ۲۰ میلی متر در سال می باشد. های و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی ارزیابی خطر زیرساخت های کلان شهر مربوط به فرونشست زمین با استفاده از FAHP پرداختند نتایج به دست آمده با منطقه پیشگیری از فرونشست زمین در حال حاضر مقایسه شد و مشاهده شد که منطقه پیشگیری از نشست زمین در دستورالعمل های مدیریت دولتی به اندازه کافی آسیب پذیری زیرساخت های قابل توجه را در نظر نمی گیرد. نصیری و همکاران ۲۰۲۱ به بررسی، فرونشست و ارتباط آن با افت آب زیرزمینی با مدل OLS دشت فهلیان فارس پرداختند. شیرزی و همکاران (۲۰۲۱) به اندازه گیری فرونشست ساحلی پرداختند. اورهان (۲۰۲۱) به ارزیابی فرونشست منطقه قونیه در ترکیه پرداخت. نتایج نشان داد که فرونشست شدید زمین که برخی از آن به ۷۵ میلی متر در سال می‌رسد، در نواحی خاصی از منطقه مورد مطالعه طی یک دوره سه و نیم ساله رخ داده است. همبستگی بالایی بین فرونشست زمین و تغییر سطح آب زیرزمینی مشاهده شده در منطقه، با همبستگی متقابل بیش از ۹۵٪ پیدا شد. همچنین الگوهای زمانی و مکانی سطح زیر کشت و شهرنشینی که از دلایل اصلی مصرف آب های زیرزمینی در منطقه هستند با استفاده از داده های نوری آشکار شد. ژائو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تحلیل فضایی تغییرات فرونشست در ووهان چین در سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ پرداختند. کو و همکاران (۲۰۲۲)؛ به بررسی تنوع مکانی در فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب زیرزمینی در دلتای چوشوی نتایج حاکی از آن است که بیشترین میزان فرونشست در منطقه ای مشاهده می شود که هم مصرف برق بالای چاه ها و هم درصد زیادی خاک ریزدانه دارد. نتایج PCA نشان می‌دهد که مصرف برق چاه‌ها با عمق انباشته فرونشست زمین همبستگی زیادی دارد. اولین مؤلفه اصلی، عامل اکتسابی است که باعث فرونشست زمین می شود. نتایج حاکی از آن است که بیشترین میزان فرونشست در منطقه ای مشاهده می شود که هم مصرف برق بالای چاه ها و هم درصد زیادی خاک ریزدانه دارد. نتایج PCA نشان می‌دهد که مصرف برق چاه‌ها با عمق انباشته فرونشست زمین همبستگی زیادی دارد. اولین مؤلفه اصلی، عامل اکتسابی است که باعث فرونشست زمین می شود.

آکیتایا و ایچی (۲۰۲۲) به بررسی فرونشست زمین ناشی از نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی در کاواجیما (ژاپن) و مدل سازی عددی تک بعدی با الگوریتم تکاملی پرداختند.

به دلیل کشت آب بر از جمله برنج، چغندر، ذرت و صیفیجات منابع آب زیرزمینی با افت جدی روبه رو می باشد و جای یک پژوهش جدید که بتواند تاثیر نوع کشت بر میزان فرونشست در دشت نورآباد استان فارس به عنوان یکی از کانون های اصلی کشاورزی در استان را مورد بررسی قرار دهد تقریباً خالیست.

در این پژوهش از تصاویر سنتیل<sup>۲</sup> به منظور تهیه الگو کشت در محیط GEE<sup>۱</sup> و تهیه گردید سپس با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در محیط نرم افزار ENVI به نمونه برداری (ROI) از گونه های انتخاب شده انجام گرفت به منظور محاسبه میزان فرونشست با استفاده از روش تداخل سنجی راداری<sup>۲</sup> در محیط نرم افزار SNAP محاسبه گردید در پایان به منظور بررسی ارتباط بین فرونشست و الگو کشت در محدوده مورد مطالعه از روش GWR<sup>۳</sup> استفاده گردید.

### روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان نیز از جمله الگوریتمهای یادگیری ماشین ناپارامتری است. در تعریف ساده، SVM الگوریتمی است که به وسیله یک ابرصفحه جداکننده که روی داده های آموزشی تعریف میشود، دو کلاس خاص از هم جدا و مشخص میشوند. از جمله قابلیت های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیر خطی داده های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده ها به فضایی به بعد بزرگتر انتقال مییابند که در آن تفکیک پذیری بهتر انجام میشود و ابر صفحه جداکننده در آن فضا تعیین میشود. در سنجش از دور کاربردی، کرنل تابع پایه شعاعی<sup>۴</sup> RBF گوسی از نظر کارایی و زمان پردازش مناسب با ارزش است تابع کرنل پایه شعاعی گوسی به صورت زیر تعریف شد است

رابطه (۱):

$$k(x_i, x) = \exp(-g/x_i \cdot x)^2$$

برای مدلسازی و برآورد مشخصه های کمی توسط مدل SVM و کرنل تابع پایه شعاعی انتخاب مقدار پارامتر  $c$  و  $g$  لازم است. هر دو این پارامترها، وابسته به بازه توزیع داده ها هستند و از یک مسأله طبقه بندی به طبقه بندی دیگر متفاوت هستند. روش معمول برای انتخاب مقادیر مناسب پارامتر  $c$  و  $g$  استفاده از یک شبکه جستجوی دو بعدی است که در این مطالعه بدین منظور از جستجوی شبکه در نرم افزار ENVI استفاده شد و مقدار بهینه پارامترها در طبقه بندی لحاظ شد.

### روش تداخل سنجی راداری

در تداخل سنجی راداری، فاز حاصل از دو تصویر گرفته شده از یک منطقه معین جهت تولید داخل نگار تداخل داده می شود. در واقع، تداخل نگار حاصل ضرب مختلط دو تصویر راداری است. این دو تصویر ممکن است توسط یک سکوی هوایی با فضایی که دارای دو آنتن با فاصله معین (خط مبنا) باشد اخذ شده باشند (تداخل سنجی با عبور منفرد) و یا دو تصویر با فواصل زمانی مختلف و از یک سکوی مشابه گرفته شوند (روش تداخل سنجی با عبور مکرر). اختلاف فاز موجود در دو تصویر به صورت لبه یا حاشیه در تداخل نگار نمایش داده شده که هر حاشیه یا لبه مشاهده شده به اختلاف فازی به میزان  $2\pi$  مربوط است. تداخل نگار فراهم شده به روش InSAR قابلیت نمایش تغییرات ارتفاعی و ناهمواری ها را دارد. دقت تغییرات مقادیر ارتفاعی ( $dz$ ) قابل محاسبه از هر حاشیه تابع ویژگی های ماهواره مانند طول خط مبنا ( $B_n$ )، طول موج یا باند مورد استفاده ( $\lambda$ )، زاویه برخورد ( $\theta$ ) و طول بردار مایل ارتفاع ماهواره تا زمین ( $p$ ) است.

$$dz = (\lambda p \sin \theta) / 2B_n$$

است. بر مبنای تحقیقات و مشاهدات، فاز ثبت شده ( $\Delta\phi$ ) موج حاوی اطلاعات و خصوصیات بهتری نسبت به دامنه موج ( $Ap$ ) در تصاویر راداری است (گیگلیا و پریس ۱۹۹۸) بر اساس این، محاسبه ارتفاع یک نقطه حاصل از اختلاف دامنه آن  $\Delta r = p - p^2$  از طریق محاسبه اختلاف فاز بیان شده ( $\Delta\phi$ ) در تداخل نگار و به کمک رابطه زیر امکان پذیر است:

<sup>1</sup> -Google Earth Engine

<sup>1</sup>. Interferometry

<sup>2</sup>. Geographically Weighted Regression

<sup>3</sup>. Radial Base Function

رابطه (۱):

$$Z(x,y)=H \quad B^2=(\Delta\phi\lambda) \quad 2(\Delta\phi\lambda-B\sin(a-\theta))*\cos\theta$$

روش تداخل سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل‌های رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌آورد که دقت ارتفاعی بهینه آن برای داده C باند با طول موج ۵/۶ سانتی حدود ۵ متر است. روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) اولین بار زیگر و گلد اشتاین (۱۹۸۹) ارائه کردند. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پاره‌ای پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابه‌جایی سطحی زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصویر راداری با روزه مجازی (SAR) اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از حداقل سه (دو تصویر DEM+) یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلیمتری آشکارسازی کند. در عین حال، این دقت تابع طول موج داده مورد استفاده و معادل نصف آن ( $1/2\pi$ ) خواهد بود. روش تداخل سنجی راداری در زمینه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین کارایی در خور تحسینی دارد. اصول بنیادین نحوه اندازه‌گیری این تغییرات در شکل شماره ۲ ب نمایش داده شده است. در این شکل P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست این فضا را در زمان  $t_0$  ثبت و مقدار فاز آن را اندازه‌گیری می‌کند. (Φm) مقدار نشست فاصله P تا P1 است که طی زمان مشخصی صورت گرفته است. (Di) برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویری دومی در زمان t با هندسه‌ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز را بر روی آن اندازه‌گیری می‌کند (Φs). روش تداخل سنجش تفاضلی، تفاضل فاز Φs و Φm را در فرم تداخل نگار فازی نمایش می‌دهد (ΔΦint). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر (SP- MP) ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده است و مقدار آن به کمک رابطه زیر به دست می‌آید

رابطه (۲):

$$\Delta\phi = 4\pi SP - MP/\lambda$$

در اندازه‌گیری مقدار فرونشست به کمک این روش، سطح ناپایدار تصور شده؛ به طوری که سطح از P به P1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر (D) تابع اختلاف فاز دو تصویر (ΔΦint). به همراه فاز ناشی از اثر توپوگرافی (Φtop) و فاز ناشی از جابه‌جایی سطح (Φmov) و همچنین فاز ناشی از اثر اتمسفر (Φatm) خواهد بود (زیگر و همکاران، ۱۹۹۴).

رابطه (۳):

$$\Delta\phi=4\pi PS-PM/\lambda=\phi_{TOP}+\phi_{ATM}$$

در این روش، در صورت در اختیار نداشتن تصویر سوم، به کمک مدل رقومی زمین (DEM) تبدیل ارتفاع به فاز، یک تداخل نگار مصنوعی تولید می‌شود و از این راه به کمک معکوس اطلاعات (DEM)، اثر فاز ناشی از توپوگرافی محاسبه و از مقادیر اختلاف فاز حذف می‌شود. اختلاف فاز باقی مانده به اثر جابه‌جایی سطح و اتمسفر تعلق دارد. در نهایت، با نادیده انگاشتن اثر اتمسفر در جابه‌جایی‌های به میزان بالا (چند سانتی متر) و یا حذف آن به کمک تصاویر اپتیکی، اختلاف فاز دو تداخل نگار یعنی تداخل نگار مصنوعی و اصلی فقط بیان‌کننده مقادیر جابه‌جایی سطح (نشست) خواهد بود.

یکی از ابزارهای توانمند جهت پایش پدیده فرونشست روش تداخل سنجی راداری است. این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد. در محدوده مطالعاتی، جهت استخراج نرخ و دامنه فرونشست، تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) (تک منظر) با پلاریزاسیون vv جهت محاسبه میران نرخ جابجایی استفاده می‌شوند. روش تداخل سنجی راداری روشی برای ترکیب

تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده های راداری نصب شده بر روی هواپیما به منظور تهیه نقشه های ارتفاعی، جابه جایی و تغییرات سطح زمین و نیز تعیین سرعت حرکت هدف است دو تصویر SAR پیش و پس از ایجاد جا به جایی از سطح زمین گرفته می شود. هرگونه جابه جایی در سطح زمین گرفته می شود هرگونه جابه جایی در سطح زمین سبب تغییر در فاصله سنجنده می شود.

مطالعات تداخل سنجی راداری در این تحقیق توسط ۸ تصویر سنتینل و به کمک نرم افزار SNAP انجام گرفته است. به منظور کاهش نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام ها حتی الامکان سعی شد، از زوج تصاویر راداری با بازه زمانی کوتاه (حدود ۴۵ روز) استفاده شود. ترکیب داده های راداری از مدارهای سعودی و نزولی نیز جهت بهبود مدل های رقومی زمین با به دست آوردن جابجایی ها در جهات مختلف با استفاده از اینتر فرمتری می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

### مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)

در روش رگرسیون وزنی جغرافیایی، پهنای باند برای محاسبه تابع وزن دهی ( $W(u)$ ) با پراکندگی مشاهدات حول نقطه مرجع تطبیق داده می شود. به عبارت دیگر چنانچه مشاهدات پراکنده باشند، پهنای باند بیشتری در نظر گرفته می شود و اگر مشاهدات حول نقطه مرجع متراکم باشند، پهنای باند کمتری انتخاب می شود. در واقع روش رگرسیون وزنی جغرافیایی همان روش حداقل مربعات معمولی است با این تفاوت که به مشاهدات بر اساس مکان یا مختصات مکانی آنها نسبت به نقاط مرجع وزن داده می شود. هر پارامتر یا ضریب مدل GWR دارای یک علامت و مقدار می باشد. اگر علامت یک ضریب، مثبت باشد پس افزایش مقدار متغیر مستقل باعث افزایش متغیر وابسته خواهد شد. اگر علامت آن منفی باشد، آن متغیر دارای اثر کاهشی روی متغیر وابسته می باشد. مدل رگرسیون چند متغیره خطی GWR به صورت زیر می باشد رابطه (۵):

$$Y_u = \beta_0 + \beta_1 x_{1i}(u) + \beta_2 x_{2i}(u) + \beta_m x_{mi}(u)$$

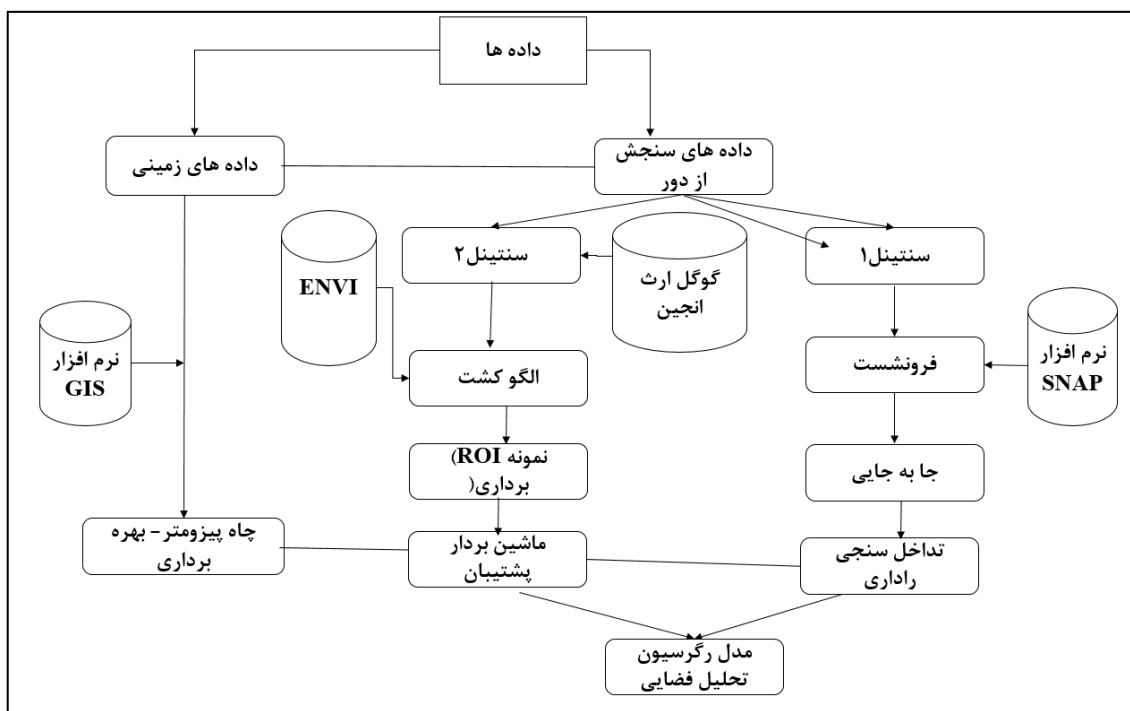
در صورتیکه مؤلفه وزن مشاهدات در معادله رگرسیون وارد شود، رابطه بردار پارامترها با ضرایب بتا، به یک رابطه رگرسیون وزنی جغرافیایی تبدیل می شود و مشاهدات نزدیک نسبت به مشاهدات دورتر وزن بیشتری دارند (توبلر ۱۹۷۰) ضرایب یا پارامترهای مدل با رابطه زیر تخمین زده می شوند (توبلر ۱۹۷۰). رابطه (۶):

$$B(u) = (X^T W(u) X)^{-1} X^T W(u)$$

که  $W(u)$  ماتریس وزن (ماتریس مربع) در موقعیت ( $u$ ) مختصات متریک  $X^T$  ترانزپوز ماتریس متغیرهای مستقل ( $X$ ) می باشد. ماتریس وزن تابع مختصات متریک با استفاده از رابطه نمایی زیر قابل تخمین می باشد: رابطه (۷)

$$W(u) = e^{-0.5(d(u)/h)^2}$$

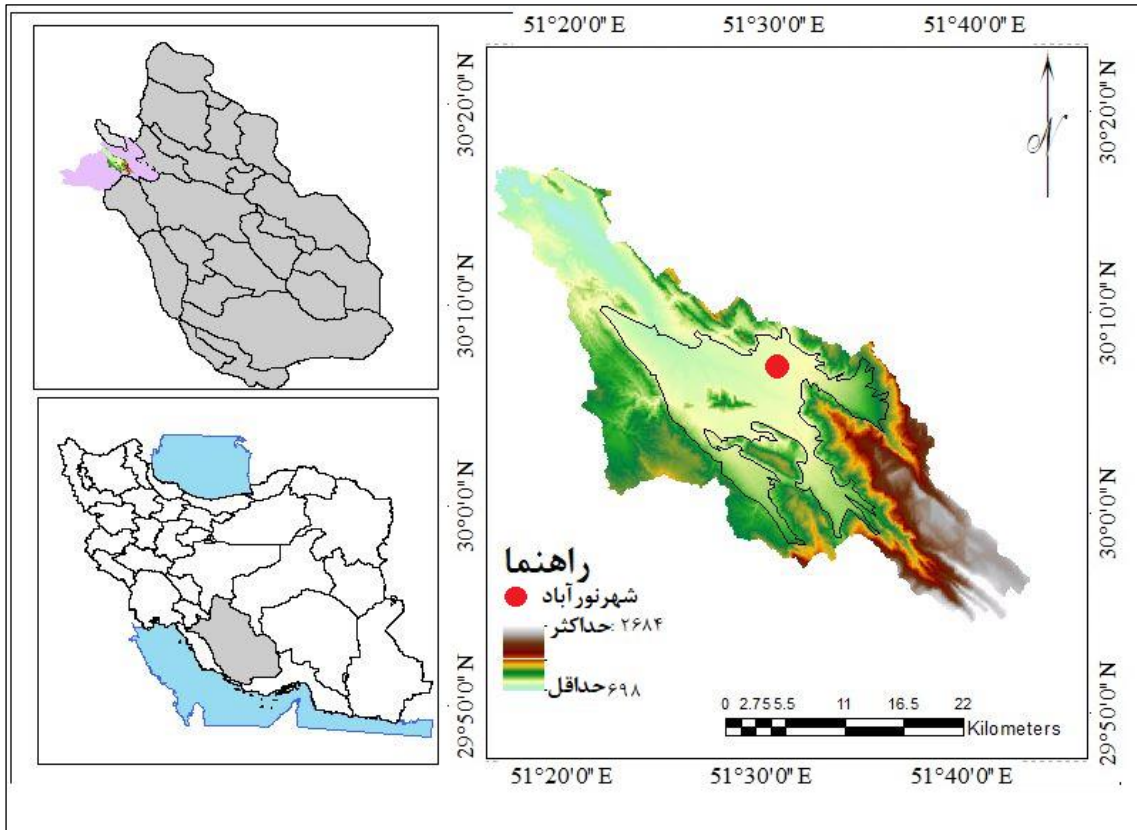
که  $W(u)$  وزن جغرافیایی مشاهدات : در موقعیت مکانی  $d(u)$ ، اندازه فاصله مکانی بین مشاهدات  $i$  و  $h$  پهنای باند انتخابی بر حسب متر می باشد.



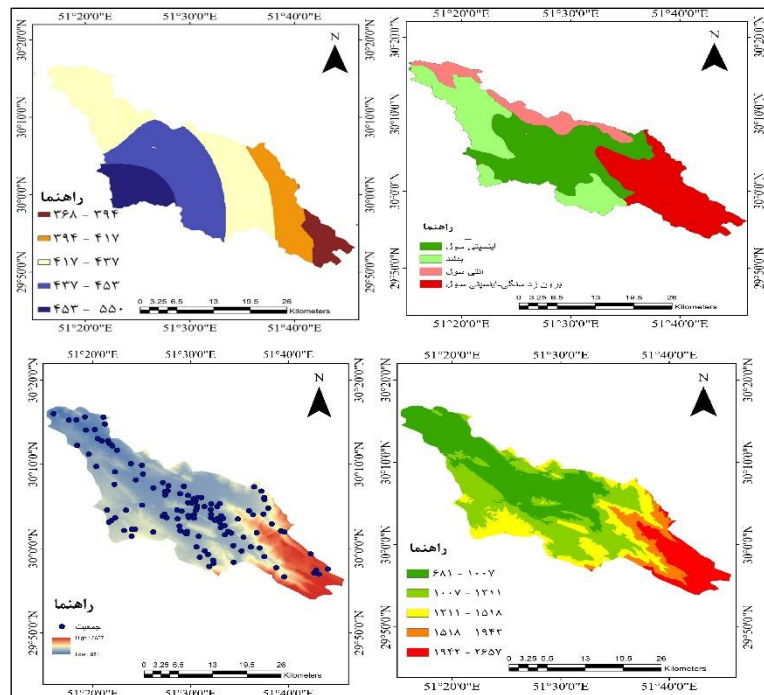
شکل ۱: فلوچارت کلی تحقیق

### محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه آبخوان حوضه آبریز نورآباد ممسنی در محدوده جغرافیایی شمال غرب استان فارس، در دامنه‌های جنوب غربی سلسله جبال زاگرس چین خورده و جنوب کشور قرار دارد. محدوده نورآباد از شمال با شهرستان مصیری (محدوده رستم) و از جنوب با دشت قائمیه و از غرب با دشت ماهور میلادی و از سمت شرق با دشت فهلیان در ارتباط است. در محدوده جغرافیایی  $30^{\circ} 15'$  تا  $51^{\circ} 46'$  طول شرقی و  $29^{\circ} 55'$  تا  $30^{\circ} 15'$  عرض شمالی واقع است. تنها شهری که در این محدوده وجود دارد شهر نورآباد می باشد، که در ارتفاع ۹۳۵ متری از سطح دریا قرار دارد و در ۱۵۰ کیلومتری شیراز مرکز استان فارس قرار دارد. حدود ۲۲۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را دشت و ۵۳۴ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را ارتفاعات در بر می گیرد. حداکثر ارتفاع ۲۶۸۴ متر در کوه خانی در جنوب شرقی محدوده و حداقل ارتفاع ۶۹۸ متر در مصب رودخانه فهلیان در حوالی روستای باتون شمال غربی دشت می باشد. آبخوان در بخش مرکزی دشت واقع شده و حدود ۱۸۶ کیلومتر مربع مساحت دارد و دارای ۱۸ حلقه چاه پیزومتر می باشد (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۳: لایه خاک-بارش-ارتفاع-جمعیت حوضه نورآباد

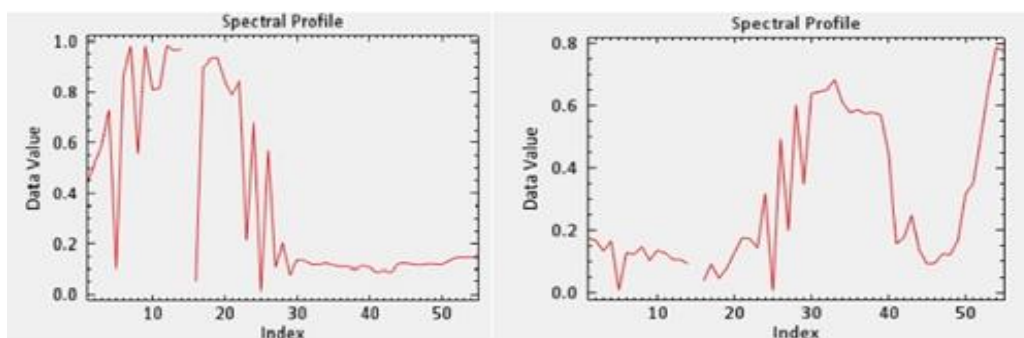


### بحث و یافته‌ها

#### بررسی الگو کشت در محدوده آبخوان نورآباد

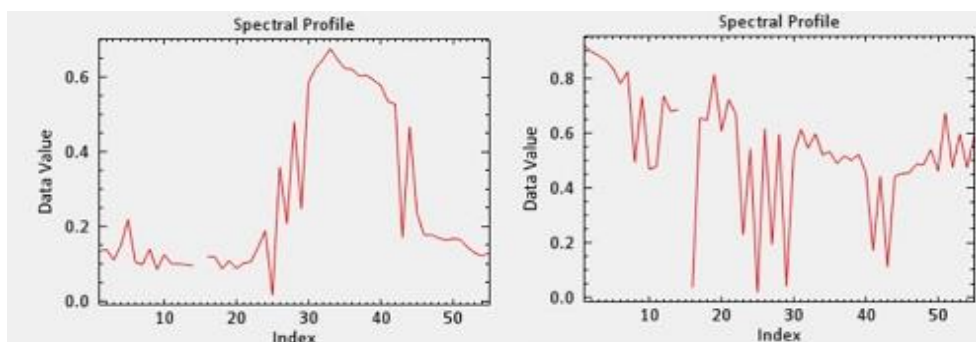
نتایج حاصل از روش ماشین بردار جهت تعیین نوع کشت در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد شکل (۴) نیمرخ طیفی کشت آبی (برنج) را نشان می‌دهد که بیشترین میزان پوشش طیفی حدود ۰/۸ را به خود اختصاص می‌دهد شکل (۵) نیمرخ طیفی کشت دیم را در منطقه نشان می‌دهد که در ماه خرداد کمترین میزان و در تیرماه به حداکثر خود حدود ۰/۶ رسیده است و سپس دارای یک سیر نزولی حدود ۰/۲ می‌باشد. نیمرخ طیفی کشت سبزیجات که در فصل خرداد و مرداد کمترین میزان بازتاب طیفی را دارد که میزان دریافت منابع آب از این نوع کشت در حداقل میزان ۰,۰۵ را به خود اختصاص می‌دهد.

کشت صیفیجات در ماه‌های خرداد تا مرداد ماه بین ۰/۱۰ تا ۰/۸ متفاوت هست به دلیل کاشت و برداشت زیاد در این بازه زمانی می‌باشد. کشت صیفیجات در ماه‌های خرداد و تیر به حداکثر میزان خود ۱ می‌رسد و در مرداد ماه در منطقه به پایین‌ترین حد خود می‌رسد. الگو کشت با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان را نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه بخش اعظمی از گونه‌های کشت در مصرف منابع آب زیرزمینی در سطح آبخوان را دارند



شکل ۴: الف) نیمرخ طیفی برنج

ب) نیمرخ طیفی صیفیجات در منطقه مورد مطالعه.

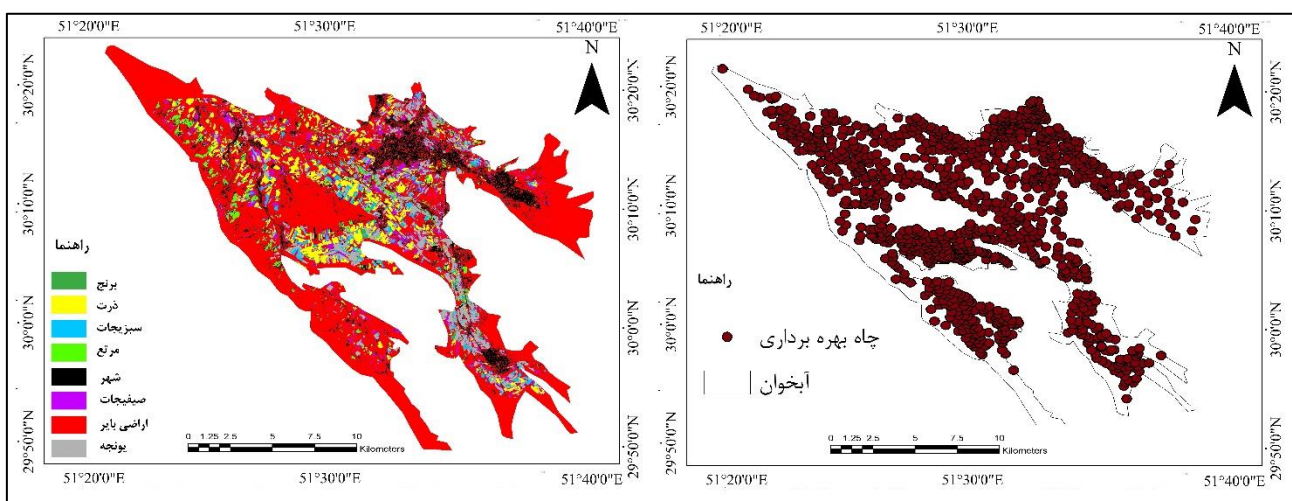


شکل ۵: الف) نیمرخ طیفی سبزیجات

ب) نیمرخ طیفی دیم در منطقه مورد مطالعه.

### نوع کشت در محدوده نورآباد با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان

یکی از دلایل اصلی در بروز خطر افت آب زیرزمینی و فرونشست زمین آبخوان نورآباد وجود ۲ گونه آب بر می باشد که در محدوده مورد مطالعه منابع آب زیرزمینی به عنوان راهی در جهت استفاده تولیدات کشاورزی می باشد که نوع کشت در محدوده نورآباد توسط تصاویر سنتیل ۲ در محیط نرم افزار (GEE) و ENVI تهیه شده است نشان می دهد با توجه به روش اعمال شده در آن بیشترین میزان دریافت آب مربوط به کشت صیفی برنج، می باشد که بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص داده اند این گونه ها با دریافت آب از چاه های بهره برداری سبب گسترش بحران فرونشست می شود (شکل ۶).

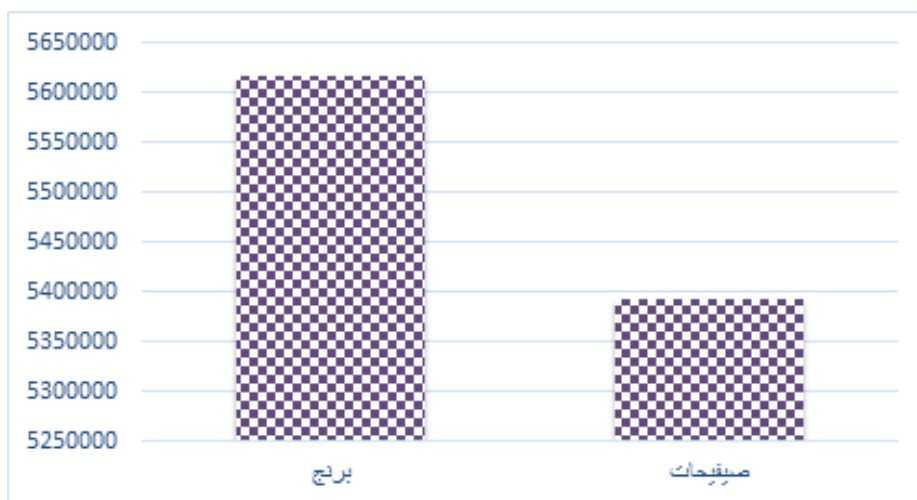


شکل ۶(ب): الگو کشت بر اساس مدل SVM

شکل ۶(الف): موقعیت چاه های بهره برداری آبخوان

### بررسی میزان تخلیه و آبدهی در محدوده آبخوان

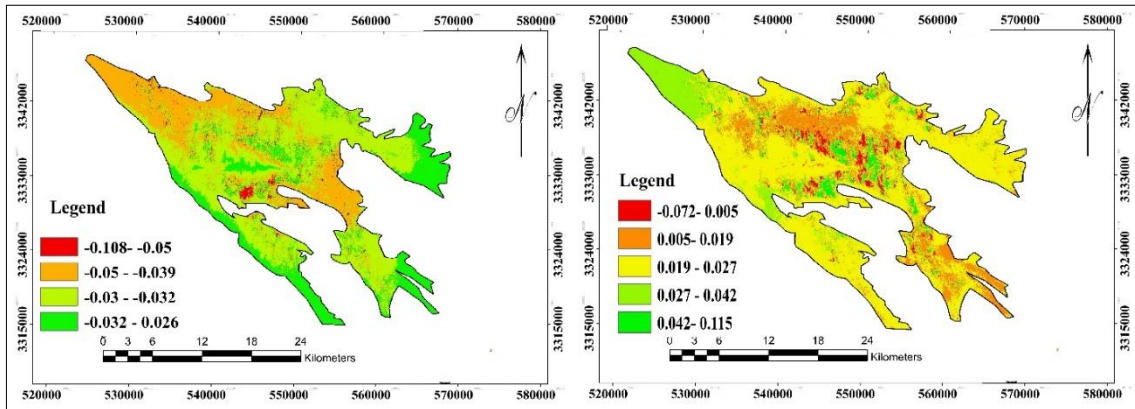
در منطقه آبخوان نورآباد حدود ۱۱۴۰ حلقه چاه بهره برداری وجود دارد که از این تعداد حدود ۶۰۰ حلقه آن مربوط به فعالیت های کشاورزی می باشد در سطح منطقه بیشترین میزان مصرف آب به کشت برنج و صیفی جات که به ترتیب حدود ۵۶۰۰۰۰۰ و ۵۴۰۰۰۰۰ میلیون متر مکعب در سال می باشد که این دو نوع کشت شرایط بحرانی را در آبخوان منطقه ایجاد کرده است.



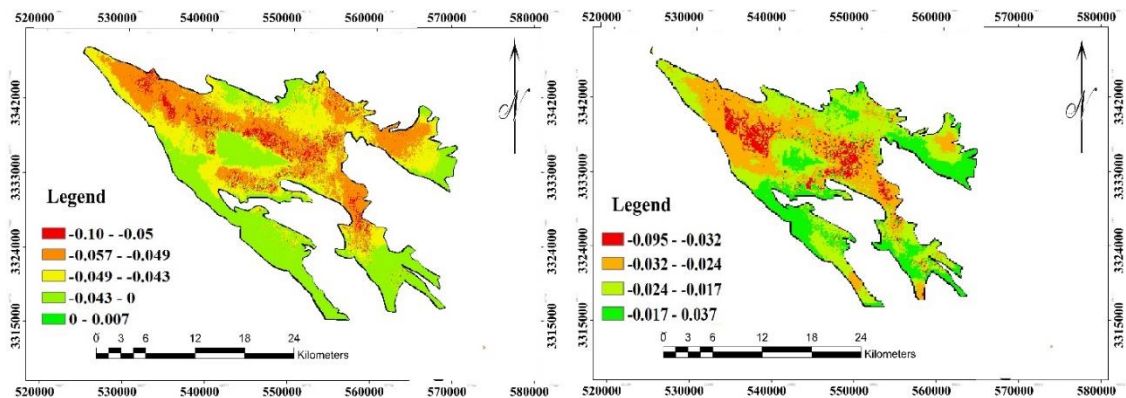
شکل ۷: میزان مصرف آب در گونه برنج و صیفیجات

#### فرونشست آبخوان های نورآباد

در این تحقیق، با روش تداخل سنجی تفاضلی داده‌های راداری، میزان و دامنه فرونشست در آبخوان نورآباد تبیین شده است. به منظور تولید نقشه‌های معرف الگوی فضایی میزان و دامنه نشست از زوج تصویر سنجنده های راداری به کار رفته در بازه زمانی متفاوت جهت انجام عملیات تداخل سنجی استفاده شد. با توجه به تغییر پذیری میزان و دامنه نشست، ناشی از برداشت آب به عنوان عامل ایجابی و همچنین نقش موهبت های طبیعی (بارش) به عنوان عامل تعدیل کننده، تصاویر در دوره های زمانی منطبق بر تقویم زراعی و فصل های بارانی مورد پردازش قرار گرفت. یافته ها مؤید رخداد فرونشست به میزان حداکثر سالانه ۰/۰۴ متر (۴ سانتیمتر) در عرصه ای به مساحت ۱۸۶ کیلومتر مربع است. رخداد چنین پدیده ای با توجه به ساختارهای زراعی در سایر نقاط ایران، تا حدود زیادی در خور تأمل است؛ زیرا اصولاً در ایران به سبب حاکم بودن تقویم زراعی خاص آبیاری در بهار و تابستان و همچنین وجود بارش در زمستان و اوایل بهار، امکان شارژ نسبی سفره و تأثیر گذاری آن در میزان نشست برای دوره های بعدی امری پذیرفته و به نسبت فراگیر است. با تهیه خروجی تصاویر راداری نتایج نشان می دهد میزان نشست در سطح آبخوان ترتیب از ۰/۰۷- به ۰/۱- متر افزایش یافته است. که مناطق در بخش های مرکزی و شرقی و جنوبی آبخوان بیشترین میزان نشست را در سطح آبخوان دارد که در مناطق مسکونی و کشاورزی منطقه توسعه یافته است به گونه ای که آثار و شواهد این نشست ها در منازعی مسکونی و زمین های کشاورزی نمایان است و مناطق سبز رنگ بالا آمدگی را نشان می دهد زمانی که در منطقه ای فرونشست صورت میگیرد فقط پایین رفتن صورت نمیگیرد بلکه دولیته یا بالا آمدگی هم سطح آبخوان شکل میگیرد و به طور میانگین حدود ۰/۰۴ متر که ۴ سانتی متر می باشد و طی بازه ۱ ساله حدود ۱۶ سانتی متر نشست رخ داده است. شکل (۹۸)



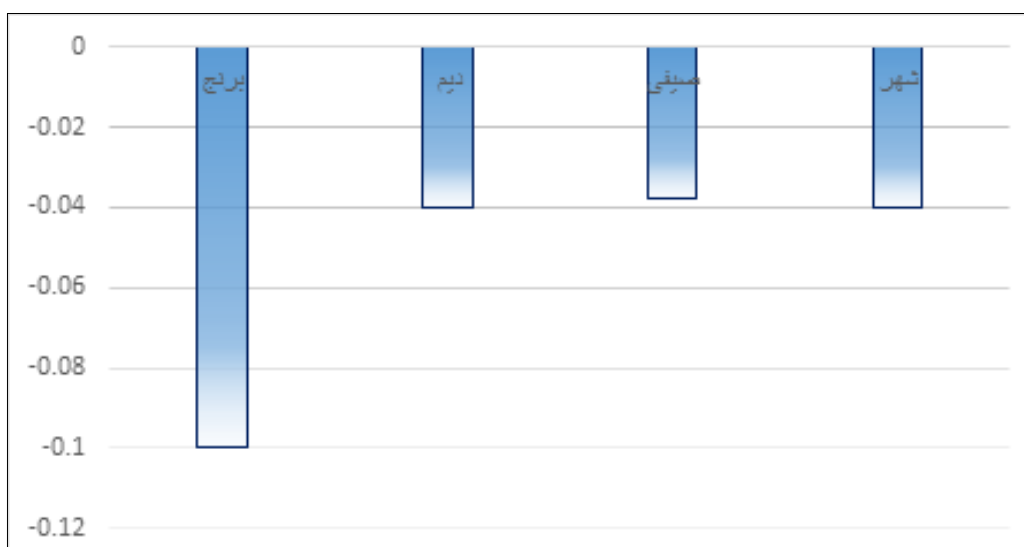
شکل ۸: لایه فرونشست آبخوان محدوده مورد مطالعه



شکل ۹: لایه فرونشست آبخوان محدوده مورد مطالعه

### میزان فرونشست گونه های کشت

بررسی میزان نشست زمین در گونه های کشت نشان میدهد که تمام گونه های کشت در آبخوان نورآباد آب بر محسوب می شود و متناسب با شرایط منطقه نمی باشد یکی از بحرانی ترین گونه در حوضه نورآباد کشت برنج می باشد. این گونه به دلیل مصرف بالای آب و غرقابی بودن و استفاده بالا از منابع آب زیرزمینی سبب افت آب زیرزمینی و نشست زمین میشود با توجه به نمودار نشان می دهد که میزان نشست زمین در گونه های برنج به حداکثر میزان حدود ۱۰ سانتیمتر در سال رسیده است. این وضعیت گویای نوعی هدر رفت بیش از حد ذخایر آب زیرزمینی و نشست زمین در حوضه آبریز نورآباد می باشد. صیفیجات با میزان نشست ۳ سانتیمتر رتبه دوم قرار دارد. این شرایط گویای بحران وضعیت فرونشست در آبخوان منطقه می باشد. شکل (۹).



شکل ۱۰: نمودار میزان فرونشست در گونه‌های کشت

### ارتباط فرونشست و الگو کشت

مدل GWR که به بررسی ارتباط بین میزان فرونشست زمین به عنوان متغیر وابسته و نوع کشت متغیر مستقل پرداخته است اولین خروجی حاصل اجرای مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی بر روی متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، اطلاعات عمومی مربوط به مدل است. مهمترین مقادیر در این خروجی، مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  تعدیل شده است که نشان‌دهنده تناسب و دقت مدل مورد استفاده است. هر چقدر این مقادیر به عدد ۱ نزدیک تر باشد، به معنای آن است که متغیرهای مستقل مورد استفاده توانسته‌اند به خوبی تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند. همچنین هر چقدر  $R^2$  تعدیل شده (به عنوان شاخص خوبی انطباق) افزایش یابد و به دنبال آن مقدار مجموع مربعات باقی مانده کاهش یابد، این امر نشان‌دهنده کاهش خطا و افزایش دقت در برآورد متغیر وابسته در مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی است. مقدار  $R^2$  و  $R^2$  تعدیل شده در این پژوهش به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ است که نشان‌دهنده دقت قابل قبول متغیرهای پژوهش حاصل در مدل‌سازی روابط فضایی عوامل موثر بر تاثیرپذیری نوع کشت است. Residual Squares میزان خطا در مدل را نشان می‌دهد که هرچه این میزان کمتر باشد گویا دقت کار و ارتباط بالای بین متغیرها می‌باشد ضریب معناداری  $\sigma$  حدود ۰/۰۰۱ که گویا بالا بودن میزان ارتباط بین دو متغیر مربوط می‌باشد.

جدول ۱: خروجی حاصل از روش GWR

پارامتر	مدل GWR
ضریب خطا	۰/۰۰۱
ضریب معناداری	۰/۰۰۵
$R^2$	۰/۹۹
$R^2$ Adjusted	۰/۹۸

### نقد و تحلیل الگوی کشت و فرونشست زمین در محدوده مورد مطالعه منطبق بر یافته‌ها

خروجی حاصل از پژوهش نشان می‌دهد حوضه نورآباد که در سال‌های اخیر جریانات سطحی آن خشک شده و در حال حاضر جهت تامین آب شرب و کشاورزی منطقه از منابع زیرزمینی اعم از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق استفاده می‌کند و بخش وسیعی از حوضه به کشاورزی اختصاص دارد مطابق شرایط گذشته از گونه‌های آب بر و روش‌های غرقابی استفاده می‌شود که این وضعیت سبب افت سطح آب زیرزمینی و همچنین گسترش پدیده فرونشست در سطح حوضه شده است این حوضه به دلیل قرارگیری در غرب استان فارس میزان بارش سالانه و اجرا طرح‌های آبخیزداری در حوضه با میانگین بارش سالانه ۵۵۰ میلی‌متر و احیا و بازسازی قنات‌ها، اجرا طرح کشت گونه‌های کم‌آب و همچنین حرکت به سوی روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی تا حدودی از گسترش بحران مخاطره فرونشست در حوضه را کنترل نمود.

### نتیجه‌گیری

نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. نتایج مطالعه‌ی فرونشست زمین نشان داد که عوامل متعددی در بروز پدیده‌ی فرونشست زمین موثرند براین اساس، بیشترین تاثیر بر فرونشست زمین مربوط به کشت برنج می‌باشد که در فصل تابستان بیشترین میزان نیاز آبی به آب را دارد بررسی حاصل از نرخ فرونشست در گونه‌های کشت در بازه زمانی ۱ ساله نشان می‌دهد که برنج با ۱۰- سانتی متر نشست در سال بالاترین نرخ را به خود اختصاص می‌دهد در مرتبه بعدی صیفیجات، ۳- سانتی متر را به خود اختصاص داده‌اند. در این مناطق به سبب تامین نیازهای آبی جامعه سکونتگاهی شامل شهر نورآباد و مناطق اطراف و همچنین تامین نیازهای آبی بخش فعالیت‌های کشاورزی، دست‌اندازی به منابع آبی بیشتر بوده و استحصال آب‌های زیرزمینی بسیار بالاست به همین دلیل میزان افت بالا بوده است که این عوامل با دخالت اقلیم خشک این منطقه باعث استعداد بالای این مناطق در بحث فرونشست شده است و جزو مناطق بحرانی شهرستان در نقشه فرونشست شناسایی شده است. نتایج تداخل سنجی راداری نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه از سطح ذخایر زیرزمینی موجب فرونشینی بخش مرکزی آبخوان شده گونه‌های آب بر از جمله برنج صیفی و در سطح محدوده خطر نشست زمین را ۵ سانتی متر افزایش داده است. نتایج حاصل از الگو کشت و ارتباط آن با فرونشست زمین نشان از وجود همبستگی مثبت ضریب  $R^2$  برابر ۰/۹۰ و کمترین میزان خطا حدود 0.001 را به خود اختصاص داده است. در پایان پیشنهاد می‌شود با توجه به حوضه آبریز نورآباد که یکی از مناطق پر بارش غرب استان فارس محسوب می‌شود و میانگین بارش سالانه آن حدود ۵۵۰ میلی‌متر می‌باشد و یکی از مناطق قطب کشاورزی برنج استان می‌باشد با احداث طرح‌های آبخیزداری اعم از سیل بند در ابتدای مخروطه افکنه‌ها، بنه‌های انحرافی، حوضچه‌های آرامش از هدر رفت این منبع حیاتی جلوگیری به عمل آید و همچنین سبب نفوذ آب و تغذیه آبخوان‌های این منطقه گردد و از طرف دیگر حدود ۱۰ رشته قنات که شاه‌رگ حیاتی این دشت محسوب می‌شود نیاز به لایروبی کف کنی، و احیای دوباره دارد که این منبع آبی مفید در سطح حوضه مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع

- Abidin.H.Z, H.Aas, I.Gumilar, T.P.Sidiq, M.Gamal FIG Working Week(2015), Environmental Impact of Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia (7568) From the Wisdom of the AGes to the Challenges of the Modern World Sofia, Bulgaria, pp17-21.

- Bates, R. L., and Jackson, J. A., )1980(. "Glossary of Geology." American Geological Institute. Second edition, Falls Church, Virginia, 749 p.
- Akitaya, K., Aichi, M.(2022). Land subsidence caused by seasonal groundwater level fluctuations in Kawajima (Japan) and one-dimensional numerical modeling with an evolutionary algorithm. *Hydrogeol Journal*,
- Faunt, C, C; Sneed, M; Traum, J; Brandt, J, T. (2015). Water availability and Land Subsidence in the Central Valley, California, USA, *hydrogeol journal*, spring.
- Gambolati, g, Massimillano, F, Teatro, F.(2006) Anthropogenic Land Subsidence GROUNDWATER.. PP 2444-2457
- Khorrami M, Alizadeh B, Ghasemi Tousi E, Shakerian M, Maghsoudi M, Rahgozar P. (2019). How Groundwater Level Fluctuations and Geotechnical Properties Lead to Asymmetric Subsidence: A PSInSAR Analysis of Land Deformation over a Transit Corridor in the Los Angeles Metropolitan Area. *Remote Sensing journal*, 11(4):257-270.
- Kavzoglu, T. and Colkesen I. (2009). A kernel functions analysis for Support Vector Machines for land cover classification, *Int. J. Appl. Earth Obs.*, V.11, pp.352-359.
- Keuchel, J., Naumann, S., Heiler, M., and Siegmund, A. (2003). Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data, *Remote Sens. Environ.* V.86, pp.53–541
- Ku, C.-Y.; Liu, C.-Y.; Lu, H.-C. (2022). Spatial Variability in Land Subsidence and Its Relation to Groundwater Withdrawals in the Choshui Delta. *Appl. Sci.* , 12, 12464. <https://doi.org/10.3390/app122312464>
- Larson, K.J., Basaglu, H., Marino, M.A, 2001, Predication of optimal safe ground water yield and Land subsidence in Los Banos Kettleman city area, using a calibrated numerical simulation model, *journal Hydrology*, Vol 242, pp79-102
- Lin, B., Liming, J., Hansheng, W., Qishi, S. 2016, Spatiotemporal Characterization of Land Subsidence and Uplift (2009–2010) over Wuhan in Central China Revealed by TerraSAR-X InSAR Analysis.
- Minderhoud- P, Coumou L, Erban L.E. , Middelkoop H., Stouthamer E, E.. Addink A .(2018).The relation between land use and subsidence in the Vietnamese Mekong delta, *Science of the Total Environment* 634, pp 715–726
- Nasiri A, shafiei, N, Zandi, R. (2021) Spatial Analysis of Factors Influencing Land Subsidence Using the OLS Model (Case Study: Fahlian Aquifer), *earth science informatic*, 14: 2133–2144.
- Orhan, O.(2021). Monitoring of land subsidence due to excessive groundwater extraction using small baseline subset technique in Konya, Turkey. *Environ Monit Assess* 193, 174
- Putra, D.P.E. Setianto, A. Keokhampui, K. and Fukuoka, H, 2011, Land Subsidence Risk Assessment Case Study: Rongkop, Gunung Kidul, Yogyakarta-Indonesia. The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN "Past tragedies are the lessons for future mitigation". The Royal Paradise Hotel & Spa, Phuket, Thailand.
- Raspinia, F., Loupasakis., Constantinos; Rozosb, Dimitrios; Adamc, Nico; Moretti, Sandro, 2014. Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry, *ELSEVIER International Journal*, vol28, pp78-89.
- Stephen A. Nelson,(2016). Surface Subsidence and Collapse, *Natural Disasters*, on 03.PP1-10.
- Smith, R.G ; Knight, R ; Chen, J ; Reeves, J.A ; Zebker, H.A ; Farr, T and Liu , Z,(2017). Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern San Joaquin Valley, California, *Water Resources Research journal*, vol 53, pp 2133-214.

- Shirzaei, M., Freymueller, J., Törnqvist, T.E. et al. *Measuring, modelling and projecting coastal land subsidence*. (2021). *Nat Rev Earth Environ* 2, 40–58. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00115-x>
- Zebker, H. A., (2000). "Studying the earth with interferometric radar." *Computing in Science and Engineering*, Vol. 2(3), pp. 52-60.
- Zhao Yizhan ,Lv Zhou,Cheng Wang,Jiahao Li,Jie Qin,Haiquan Sheng 1,Liangke Huang 1ORCID andXin Li, *Analysis of the Spatial and Temporal Evolution of Land Subsidence in Wuhan, China from 2017 to 2021, Remote sensing*,14(13), 3142.