



شاپا چاپی: ۲۴۸۰-۲۲۵۱  
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

سال یازدهم

شماره دو

زمستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۰۶/۰۶

صفحات: ۹۷-۱۱۱

## مدل سازی نیتروژن خاک با استفاده از سنجش از دور و مدل های رگرسیون و جنگل تصادفی

محبوبه صادقی<sup>۱</sup> و مؤگان احمدی ندوشن<sup>۲\*</sup>

(۱) دانشجوی کارشناس ارشد آلودگی، گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.  
(۲) استادیار، گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: [m.ahmadi@khuisf.ac.ir](mailto:m.ahmadi@khuisf.ac.ir)

### چکیده:

**زمینه و هدف:** خاک از منابع طبیعی هر کشور است که در حفظ محیط و تولید غذا نقش مهمی دارد. افزایش و کاهش مقدار نیتروژن کل خاک در اثر شیوه های مختلف کشاورزی، ورود پساب صنعتی به آب و عوامل دیگر، منجر به آلودگی میکروبی خاک، کاهش پوشش گیاهی و نقصان در محصولات کشاورزی مورد نیاز انسان می شود. نقش برداری پراکنش مواد مغذی خاک به تصمیم گیری های مدیران کمک می کند. از آنجا که تحلیل آزمایشگاهی این متغیرها، وقت گیر و در مقیاس های وسیع هزینه بر است، تلاش هایی برای مطالعه نیتروژن خاک با استفاده از سنجش از دور انجام گرفته است. مطالعه حاضر به بررسی روش سنجش از دور و مدل های رگرسیون و جنگل تصادفی در پیش بینی نیتروژن کل خاک در شرق شهرستان لنجان پرداخته است.

**روش پژوهش:** نقاط مرجع نیتروژن ۵۰ نمونه خاک از لایه ۰-۲۰ سانتی متری خاک سطحی بود که از منطقه مورد مطالعه به روش تصادفی نمونه برداری شد. نیتروژن نمونه ها پس از خشک شدن در دمای ۲۵ درجه، عبور از مش ۲ و انتقال به آزمایشگاه، به منظور مقایسه نتایج نهایی به دست آمده، حاصل از ارزیابی زمینی و سنجش از دور، به روش کلدال اندازه گیری شد. تصویر ماهواره ای سال ۲۰۱۹ با تصحیح هندسی و رادیومتریک از باندهای طیفی ۲ تا ۷ سنجنده ی OLI لندست ۸ (ردیف و گذر ۱۶۴ و ۳۷) آبان ۱۳۹۸ تهیه شد. پوشش ابر برای تصاویر تهیه شده کمتر از ۱۰٪ در نظر گرفته شد. برای کاهش اثر پراکندگی اتمسفر بر کیفیت این تصاویر، تصحیح تابش و تصحیح اتمسفر با استفاده از مدل فلش انجام شد. شاخص های ماهواره ای شامل NDVI، DVI، SAVI، MS-AVI، EVI، NDWI، RVI، SAVI، SBI و SI3، SI2، SI1 از تصویر ماهواره ای استخراج شد و به همراه سه شاخص توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) به مدل رگرسیون خطی چندگانه و جنگل تصادفی معرفی شد.

**یافته ها:** نقشه رقمی ارتفاعی منطقه مقادیری بین ۱۱۰۰ تا ۲۰۵۰ متر را در بر گرفت. شیب منطقه، در محدوده های با شیب کم و پایین تر از هشت درصد قرار دارد. مقادیر عددی شاخص TWI در نزدیکی مجاری آبی ۰/۷۷ به دست آمد. مقادیر شاخص DVI و EVI با افزایش پوشش گیاهی افزایش داشت. شاخص NDVI مقادیر بالاتر از ۰/۳ و شاخص NDWI به عنوان یک شاخص آبی، مقدار حداکثری ۰/۷۷ را در مناطق غرقاب نشان داد. شاخص SAVI تفکیک پذیری بالایی از نواحی بدون پوشش تا پوشش تنک و نواحی با پوشش گیاهی قوی را ارائه داد. شاخص SBI و شاخص های سه گانه شوری SI تغییرپذیری بسیار بالایی از جنبه پارامترهای خاک در نواحی بدون پوشش نشان داد. مدل رگرسیون نیتروژن خاک با سه شاخص RVI، DVI و TWI با مقدار معناداری آماری (p-value) برابر با ۰/۰۴ تولید شد. در مدل جنگل تصادفی، شاخص های گیاهی و خاک نقش تعیین کننده ای در ساخت مدل داشتند و مقدار ضریب تعیین (R2) برابر با ۰/۴۴ به دست آمد.

**نتایج:** نیتروژن کل خاک نیز در پارامترهای خاک با چگالی و با شن و رس از بافت خاک و در پارامترهای توپوگرافی با ارتفاع و در شاخص های طیفی با EVI، NDVI، NDWI، SAVI، RVI، DVI در سطح ۰/۰۱ و با SI3 از شاخص های شوری در سطح ۰/۰۵ همبستگی دارد. در پارامترهای خاک نیز سیلت با شن و رس در سطح ۰/۰۵ و شن با رس همچنین چگالی با رس در سطح ۰/۰۱ همبستگی دارند. نتایج نشان داد که وضعیت توپوگرافی منطقه به همراه شاخص های بر پایه مادون قرمز نزدیک و قرمز نقش بسزایی در پیش بینی نیتروژن دارد. همچنین مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی زمینی و سنجش از دور نشان داد که در پیش بینی نیتروژن کل خاک، اختلاف معنی داری بین دو مدل و ارزیابی میدانی وجود ندارد و هر دو مدل نتایج نزدیکی به ارزیابی میدانی داشتند.

**کلید واژه ها:** شاخص طیفی، مدل سازی، تصویر ماهواره ای لندست-۸، داده های زمینی



## مقدمه

خاک در تولید غذا و حفظ و نگهداری محیط نقش مهمی دارد. افزایش و کاهش مقدار نیتروژن در خاک در اثر شیوه‌های مختلف کشاورزی، منجر به آلودگی میکروبی خاک، کاهش شدید بهره‌وری و سلامت خاک و نقصان در محصولات کشاورزی مورد نیاز انسان می‌شود. با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی و سلامتی و نقش اساسی خاک و کیفیت آن در سلامت بوم‌سازگان، آگاهی از میزان نیتروژن کل به‌عنوان شاخص مهمی در کیفیت خاک و محصولات کشاورزی ضروری است (نوروزی و همکاران، ۱۳۸۹).

در حال حاضر و در مقایسه با روش‌های مرسوم، فن‌آوری سنسجش از راه دور دارای مزایای زیادی در مشاهدات و بررسی‌های میدانی، مقیاس‌ها و تحلیل‌های کوتاه مدت و بلند مدت مکانی و زمانی است و بنابراین می‌تواند اطلاعات طیفی از شور شدن خاک و نیتروژن کل خاک را بارها و بارها با فواصل زمانی کوتاه ارائه دهد. در واقع داده‌های سنسجش از راه دور با استفاده از فن‌آوری‌های نقشه‌برداری دیجیتالی خاک و مدل‌های پیش‌بینی کننده آن فرصت‌های جدیدی برای نظارت بر ویژگی‌های خاک مثل شوری و نیتروژن و بررسی چگونگی توزیع آن‌ها از فضا فراهم می‌کند (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014; Jiang et al., 2018; Peng et al., 2019). در طول چند سال گذشته تجهیزات جدیدی برای تولید تصاویر ماهواره‌ای ساخته شده‌اند که می‌توانند تصاویری مانند تصاویر OLI (۳۰ متر) و تصاویر MSI (۱۰ متر)، با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالاتر تولید کنند. این داده‌های سنسجش از راه دور با ارائه‌ی اطلاعات و چشم‌انداز دقیق، به‌راحتی در دسترس هستند، شفافیت بالایی دارند و در بهبود فن‌آوری نقشه‌برداری دیجیتالی در طیف وسیعی از مقیاس‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند (Zhang et al., 2019).

فن‌آوری سنسجش از دور برای مطالعه و بررسی خاک نسبت به روش‌های اندازه‌گیری میدانی مرسوم روش مؤثرتری است (DengWei et al., 2009). بخشی از امواج

الکترومغناطیس تصاویر ماهواره‌ای، امواج مرئی و مادون قرمز هستند که برای تعیین ویژگی‌های کیفی و کمی متغیرهای مربوط به گیاه، خاک و آب استفاده می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۷). خصوصیات بازتابی خاک با رنگ خاک، مقدار خاک بدون پوشش، مقدار مواد آلی، مقدار رطوبت سطحی، کانی‌شناسی و ترکیب مواد شیمیایی مختلف خاک، توزیع اندازه ذرات، ساختمان خاک، شرایط زهکشی، ناهمواری سطح خاک و رسوبات بر جای مانده بر سطح خاک تغییر می‌کند. در سنسجش از دور از سطح زمین، اعداد رقومی ارسالی از ماهواره در برخی از قسمت‌های طیف الکترومغناطیس با بازتاب‌های سطحی خاک دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت ارتباط بسیار نزدیکی دارد (دیانی و همکاران، ۱۳۸۹). باندهای طیفی جدید فرصتی برای ارزیابی باندهای طیفی لبه قرمز و شاخص‌های مربوط به لبه قرمز را فراهم می‌کنند. چندین شاخص برگرفته از لبه قرمز برای پیش‌بینی جذب نیتروژن گیاه حاصل شده است، اما عملکرد آن‌ها در پیش‌بینی نیتروژن کل خاک نامشخص است. مبنای نظری پایش از طریق سنسجش از دور، بر اساس خصوصیات طیفی خاک‌های شور، استوار است. انعکاس خاک با افزایش شور شدن خاک در باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه از مادون قرمز قابل مشاهده است (Sidike et al., 2014; Elharti et al., 2016). خاک به‌طور مستقیم با چندین عامل محیطی فوق و آب و هوا و شیب مرتبط است که پیش‌بینی کننده‌های مهمی برای ویژگی‌های مکانی و زمانی خواص خاک در مقیاس‌های بزرگ (منطقه‌ای، ملی و جهانی) هستند، به همین دلیل این عوامل باید در روش‌های فن‌آوری نقشه‌برداری دیجیتالی ادغام شوند (Camera et al., 2017). روش‌های مختلف در فن‌آوری نقشه‌برداری دیجیتالی از جمله رگرسیون چندگانه خطی (Wang et al., 2017)، کریجینگ (Xu et al., 2018) و مدل جنگل تصادفی (Hengl et al., 2015) برای تخمین ویژگی‌های خاک استفاده شده است. مدل جنگل تصادفی یک فن یادگیری محبوب است که در

پیش‌بینی کننده اصلی هنگام نقشه‌برداری نیتروژن کل خاک در مناطق جنگلی و مناطق دیگر با پوشش گیاهی مشابه استفاده شود. Belgiu & Dragut (۲۰۱۶) استفاده از مدل جنگل تصادفی در سنجش از دور را بررسی کردند. طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی، با استفاده از یک زیرمجموعه که به‌طور تصادفی از نمونه‌های آموزشی و متغیرها انتخاب شده است، طبقاتی را با دقت بالا در سنجش از دور طبقه‌بندی و تولید می‌کند. هدف کلی مطالعه آنها، بررسی استفاده از طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی در سنجش‌از‌دور بود. این بررسی نشان داد که جنگل تصادفی می‌تواند مقادیر بالای داده‌ها را با سرعت و با موفقیت طبقه‌بندی کند. با این وجود به‌دقت نمونه‌های آموزشی ایجادشده، حساس است. اندازه‌گیری متغیر شاخص پوشش گیاهی در طبقه‌بندی با جنگل تصادفی مهم بوده و به‌طور گسترده در موارد مختلف استفاده شده است. Xu و همکاران (۲۰۱۸) نیتروژن کل خاک را در مزارع کوچک با استفاده از شاخص‌های طیف‌سنجی و کریجینگ رگرسیون برآورد نمودند. هدف از این تحقیق، تجزیه و تحلیل اثرات وضوح مکانی تصاویر مختلف سنجش‌از‌دور بر روی مدل‌های پیش‌بینی نیتروژن کل خاک در دو روستای کوچک کوتاپالی و ماسوتی در جنوب هند بود. کریجینگ رگرسیون برای توصیف الگوی مکانی نیتروژن کل خاک (در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) در ترکیب با شاخص‌های طیفی با وضوح مکانی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از قدرت تفکیک‌های مکانی بسیار بالا در نقشه‌برداری دیجیتال خاک می‌تواند عملکرد مدل خاک و خصوصیات مکانی را بهبود بخشد. نتایج همچنین نشان داد مدل‌های پیش‌بینی خاک مبتنی بر سنجش‌از‌دور از پتانسیل بالایی برای استفاده در مدیریت خاک مزارع کوچک برخوردار هستند.

Zhou و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود بررسی توانایی داده‌های چند زمانه سنتینل-۱ در پیش‌بینی کربن آلی خاک را با مقایسه عملکرد پیش‌بینی کننده جنگل تصادفی و تقویت مدل رگرسیون درختی در حوضه

تحلیل سنجش از دور به کار می‌رود. این مدل پایدارتر از مدل‌های سنتی تک درخت است و می‌تواند عملکرد را با کاهش پدیده‌های بیش از حد دانشی و بیش از حد مناسب تقویت کند (Zhang et al., 2019).

در سال‌های اخیر مطالعاتی با استفاده از سنجش از دور و مدل جنگل تصادفی به‌منظور مدل‌سازی نیتروژن خاک انجام گرفته است. Zhang و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای از مقادیر نیتروژن کل خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مقایسه‌ی مدل‌های جنگل تصادفی با پیش‌بینی کننده‌های مختلف) نقشه توزیع مکانی تهیه نمودند. نمونه‌برداری زمینی را از خاک سطحی در مکان ۱۰۴ مکان نمونه‌برداری از زمین‌های کشاورزی منطقه خاک سیاه در شمال شرقی چین جمع‌آوری و تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی سنتینل A۲ را نیز تهیه کردند. سپس، ۲۱ پیش‌بینی کننده از جمله باندهای اصلی، شاخص‌های طیفی طبیعی، شاخص‌های لبه قرمز و متغیرهای محیطی را برای تخمین توزیع فضایی نیتروژن کل خاک با استفاده از مدل جنگل تصادفی، استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که روش سنجش‌از‌دور مبتنی بر مدل جنگل تصادفی قادر به ضبط دقیق تغییرات در نیتروژن کل خاک بوده و عملکرد مدل پیش‌بینی را می‌توان با ارائه انواع کافی از پیش‌بینی کننده‌های مناسب بهبود بخشید. Wang و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای به‌منظور نقشه‌برداری از نیتروژن کل خاک شهر لوشون در شمال شرقی استان لیائونینگ چین انجام دادند. در این مطالعه از سه مدل جنگل تصادفی و سه مدل رگرسیون گام به گام چندگانه، ۱۱۵ نمونه از سطح خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر)، ۱۲ متغیر (از جمله توپوگرافی، آب و هوا و تصاویر سنجش‌از‌دور) و سپس از یک مجموعه اعتبارسنجی استفاده شد. ارزیابی دقیق نشان داد ابتدا مدل جنگل تصادفی، همراه با تمام متغیرهای محیطی، بهترین عملکرد پیش‌بینی را دارد، سپس استفاده به‌تنهایی از سنجش‌از‌دور و در آخر مدلی که فقط از متغیرهای توپوگرافی و اقلیمی استفاده می‌کرد. سنجش‌از‌دور و متغیرهای محیطی حاصل باید به‌عنوان

هوای خشک با فصول نامنظم است. از این رو از نظر پوشش گیاهی مانند سایر نقاط شهرستان تحت تأثیر این آب و هوا بسیار فقیر بوده و گیاهان خودرو در این منطقه شامل رویش انواع شیرمال می‌شود. به طور متوسط درجه حرارت سالیانه  $14^{\circ}\text{C}$  درجه‌ی سانتی‌گراد و متوسط میزان بارندگی سالیانه آن ۱۱۵ میلی‌متر است. میزان فشار هوا نیز  $470$  میلی‌بار می‌باشد. عمدتاً بادهای این منطقه جهت جنوب و جنوب‌غربی دارند. در اشکال ۱ و ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست نشان داده شده است.

**نمونه‌برداری، آماده‌سازی و اندازه‌گیری نیتروژن خاک**

برای انجام این پژوهش ابتدا بازدید و بررسی منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. نقاط نمونه‌برداری با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر رنگی، نقشه‌ها و اطلاعات آماري از منطقه‌ی مورد مطالعه، انتخاب شد. نمونه‌برداری از خاک به صورت تصادفی در ۱۵ تا ۱۷ آبان ماه ۱۳۹۸ در منطقه‌ی زرین‌شهر بود. با توجه به اینکه مساحت منطقه مورد مطالعه زیاد نبود، در مجموع ۵۰ نمونه خاک از لایه‌ی ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک با استفاده از بیل و بیلچه جمع‌آوری شد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲). نمونه‌های خاک در هر ایستگاه از پنج نقطه، یکی در مرکز و چهار نقطه‌ی دیگر به‌طور مساوی در فاصله ۰/۵ متری از مرکز و حدود ۷۰ سانتی‌متری از یکدیگر جمع‌آوری و سپس ترکیب شدند. موقعیت هریک از نقاط توسط دستگاه GPS ثبت شد. خاک هر نقطه در کیسه مجزا و شماره‌گذاری شده، برای خشک‌کردن به محل مناسب، منتقل شدند. نمونه‌ها با درب باز و زیر و رو شدن و خرد شدن روزانه در دمای اتاق ( $25^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد) خشک شدند. سپس از الک با مش ۲ میلی‌متر عبور داده شد و به آزمایشگاه منتقل شدند.

میزان نیتروژن کل خاک با روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد (Bremmer & Mulvaney, 1982؛ تفضلی و همکاران، ۱۳۹۶).

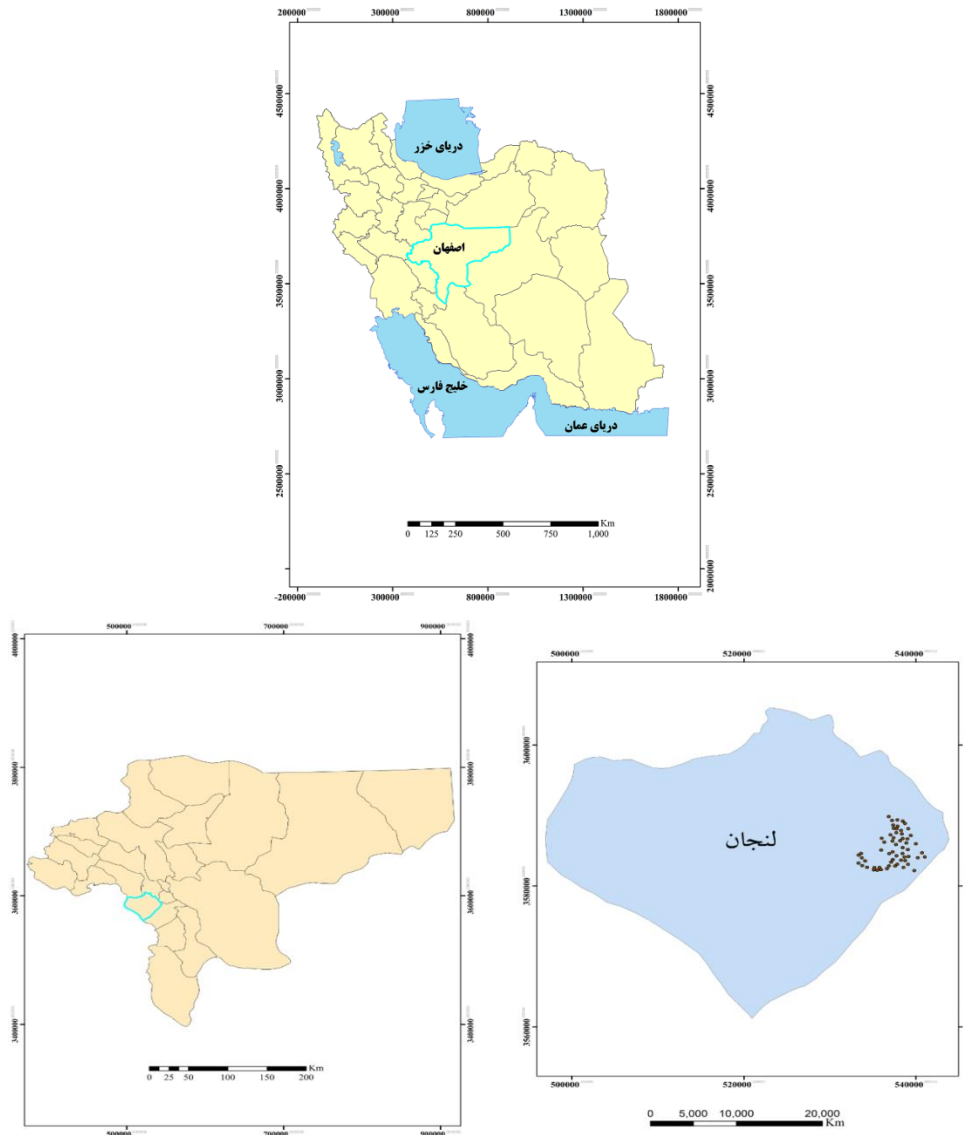
رودخانه شمال غربی چین انجام دادند. نتایج نشان داد که داده‌های سنتینل-۱ در نقشه‌برداری کربن آلی خاک سودمند بودند. Mircholi و همکاران (۲۰۲۰)، بررسی تخمین کربن آلی خاک را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برخی از متغیرهای میدانی برای آبخیز شازند ایران انجام دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور از پتانسیل کافی برای تولید برنامه‌های مدیریتی برای حوزه آبخیز برخوردار نیستند، بنابراین می‌توان مطالعات بیشتری را برای یافتن مدل‌های پیش‌بینی معتبر برای کربن آلی خاک انجام داد.

صنعت پروتئین کشاورزی با شیوه‌های مختلف آن در زرین‌شهر می‌تواند موجب تغییر میزان مواد مغذی از جمله نیتروژن کل خاک و در نتیجه کمبود نیتروژن یا آلودگی میکروبی خاک زمین‌های کشاورزی این منطقه شود و به این ترتیب می‌تواند با تأثیر بر کیفیت خاک کشاورزی بر محصولات غذایی این منطقه مؤثر باشد. با توجه به تمامی موارد ذکر شده، هدف از این پژوهش استفاده از سنجش از دور در تخمین نیتروژن کل و استفاده از مدل جنگل تصادفی و مدل رگرسیون و همبستگی برای بررسی رابطه بین نیتروژن کل و باندهای تصاویر ماهواره‌ای و همچنین مقایسه‌ی نتایج حاصل با ارزیابی زمینی است.

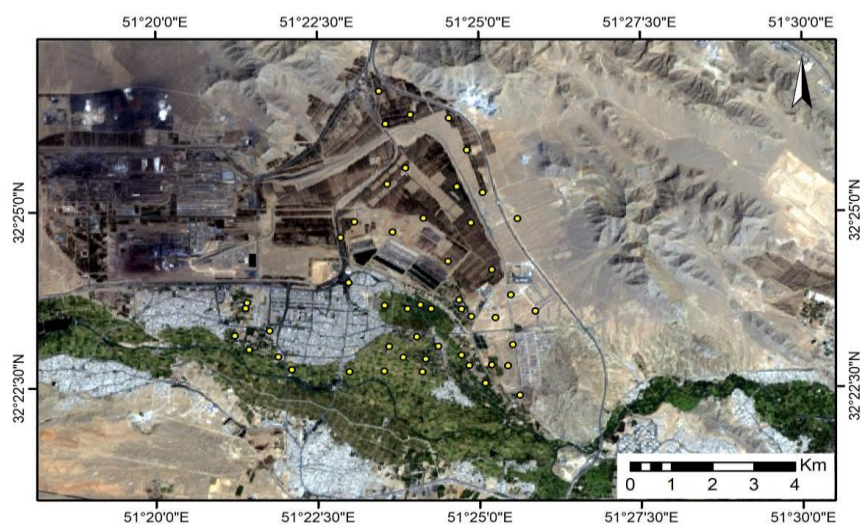
## مواد و روش‌ها

### روش دسته‌بندی گروهی داده‌ها

زرین‌شهر مرکز شهرستان لنجان، در بخش مرکزی شهرستان واقع در ۴۱ کیلومتری جنوب غربی استان اصفهان بوده و یکی از قطب‌های توسعه‌ی استان اصفهان در نظر گرفته شده است. زرین‌شهر در  $32^{\circ}$  درجه و  $24^{\circ}$  دقیقه عرض شمالی خط استوا و  $51^{\circ}$  درجه و  $22^{\circ}$  دقیقه طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ واقع می‌باشد. ارتفاع آن از سطح دریا  $1550$  متر و مساحت آن  $90$  کیلومتر مربع است. بلندترین قله آن با ارتفاع  $2400$  متر از سطح دریا با نام زرد مطبخ در قسمت شمال واقع است. زرین‌شهر به دلیل آنکه در فلات مرکزی قرار گرفته است دارای آب و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری



شکل ۲. پراکنندگی نقاط نمونه برداری بر روی تصویر ماهواره ای لندست

جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی نیتروژن خاک

مرجع	رابطه	شاخص	نوع
Sulistyo et al., 2017	$NIR - R$	DVI	گیاهی
	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	NDVI	
	$\frac{2.5 \times (NIR - R)}{NIR + 6 \times R - 7.5 \times B + 1}$	EVI	
	$\frac{2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - R)}}{2}$	MSAVI	
	$\frac{NIR - R}{(NIR + R + 0.5) \times 1.5}$	SAVI	
	$\frac{R}{NIR}$	RVI	
Xu, 2018	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	NDWI	آب
Luca, 2011	$\ln\left(\frac{a}{\tan b}\right)$	TWI	توپوگرافی
Khan & Abbas, 2007	$G \times R$	SI1	خاک
	$(G^2 + R^2 + NIR^2)^{0.5}$	SI2	
	$(G^2 + R^2)^{0.5}$	SI3	
	$(R^2 + NIR^2)^{0.5}$	SBI	

(عبارت R, G, B و NIR به ترتیب نشان‌دهنده‌ی باندهای قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک و a و b نشان‌دهنده‌ی شیب بالا دست و شیب محلی است)

#### محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای و توپوگرافی

لندست است. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شیب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تولید شد. جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی شاخص‌های مورد استفاده و معادله آن‌ها می‌باشد.

#### مدل‌سازی پراکنش نیتروژن با استفاده از مدل‌های رگرسیون و جنگل تصادفی

به‌منظور اجرای مدل رگرسیون، ابتدا توزیع نرمال پارامترها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک در نرم‌افزار SPSS 22 مورد بررسی قرار گرفت (Hanusz et al., 2016). سپس از آزمون همبستگی اسپیرمن برای شاخص‌های غیر نرمال و آزمون پیرسون برای شاخص‌های نرمال استفاده شد تا موارد دارای همبستگی بالای ۰/۸ از فرآیند مدل‌سازی به روش رگرسیون خطی چندگانه کنار گذاشته شوند (Islam & Toor, 2019). در نهایت با انتخاب روش stepwise در ورود لایه‌های اطلاعاتی به مدل رگرسیونی خطی چندگانه، فرآیند مدل‌سازی در نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). میزان معنی‌داری پارامترها و مدل تولید شده با استفاده از آزمون t در سطح ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت. همچنین میزان تورم

در این مطالعه، از شاخص‌های طیفی و توپوگرافی برای تولید ورودی مدل‌های تخمینی نیتروژن کل خاک استفاده شد. شاخص‌های طیفی بر اساس هدفی که برای آن طراحی شده‌اند به شاخص‌های گیاهی، آبی، خاک تقسیم می‌شوند. شاخص‌های طیفی موردنظر تولید و در فرآیند مدل‌سازی استفاده شد. برای نیتروژن کل خاک، تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹ همزمان با برداشتن نمونه‌های زمینی با تصحیح هندسی و رادیومتریک از باندهای طیفی ۲ تا ۷ سنجنده‌ی OLI ماهواره لندست از سامانه متن باز با حافظه ابری گوگل ارث انجین تهیه شد. با انجام مرور منابع و همچنین لزوم بهره‌گیری از مجموعه‌ای از شاخص‌های ماهواره‌ای، تعداد ۶ شاخص گیاهی، یک شاخص آب و ۴ شاخص خاک انتخاب شدند. علاوه بر شاخص‌های ماهواره‌ای، سه پارامتر شیب، شاخص مدل رقومی ارتفاعی و شاخص رطوبت توپوگرافی نیز تولید و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌ی ارتفاع بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده توسط ماهواره استر تولید شد. در این لایه، اندازه سلول‌ها برابر ۳۰ متر و منطبق بر سلول‌های تصاویر ماهواره

بی‌ثباتی در الگوریتم‌های تصمیم‌گیری می‌گردد (Nitze *et al.*, 2012) برای اجرای این مدل از افزونه RF در نرم‌افزار QuantumGIS استفاده شد. برای اجرای این دستور، میزان اهمیت پارامترهای ورودی به همراه ضریب تعیین به‌عنوان معیاری از صحت مدل تولید شد. برای اعتبارسنجی روش با داده‌های میدانی، به مقایسه نتایج آن‌ها با مقادیر به دست آمده در آزمایشگاه پرداخته شد.

#### ارزیابی صحت مدل

با توجه به موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۸۰ درصد از داده‌ها مربوط به موقعیت‌های معین، به‌عنوان داده‌های آموزشی و به‌منظور ایجاد مدل و ۲۰ درصد دیگر داده‌ها، به‌طور کامل، مستقل از داده‌های آموزشی و متعلق به مناطق جدید به‌منظور داده‌های آزمون و ارزیابی اعتبار مدل‌های تولید شده، به کار رفت (Kisi *et al.*, 2006). برای مقایسه‌ی عملکرد مدل جنگل تصادفی از اهمیت نسبی پارامترها و شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا که از معادله‌ی ۱ محاسبه می‌گردد و ضریب تعیین استفاده شد. در معادله‌ی ۱،  $j$  برابر تعداد کل مشاهدات،  $Q_i$  برابر با مقدار مشاهده‌ای هر داده،  $P_i$  برابر با مقدار پیش‌بینی شده برای داده مورد نظر است. مقادیر RMSE منفی نیستند و از صفر تا بی‌نهایت متغیر می‌باشند. مقادیر کم RMSE نشانه‌ی دقت بالای مدل است.

(۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (O_i - P_i)^2}{j}}$$

#### نتایج و بحث

هدف از این پژوهش استفاده از سنجش از دور در تخمین نیتروژن کل و استفاده از مدل جنگل تصادفی و مدل رگرسیون و همبستگی برای بررسی رابطه بین نیتروژن کل و باندهای تصاویر ماهواره‌ای و همچنین مقایسه‌ی نتایج حاصل با ارزیابی زمینی بود. نقشه‌های شاخص‌های ماهواره‌ای و توپوگرافی در شکل ۳ نمایش داده شده است. مدل رقومی ارتفاعی منطقه مقادیری بین

واریانس (VIF) بین ۰/۲ تا ۱۰ به‌عنوان معیاری از وجود هم‌خطی بین پارامترها در نظر گرفته شد. جنگل تصادفی، یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم پارامترهای مورد نظر، فراهم می‌کند. برای اجرای مدل جنگل تصادفی نیز از افزونه مدل جنگل تصادفی در نرم‌افزار Quantum GIS استفاده شد (Santos Silva *et al.*, 2020). تحلیل خروجی‌های این مدل بر اساس اهمیت نسبی پارامترها و دو شاخص ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میانگین مربع خطاها (RMSE) ارزیابی شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه بر موارد ذکر شده، پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده با نقاط واقعی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه مقایسه شد تا دید بهتری از توان دو مدل مورد استفاده در پیش‌بینی مقادیر نیتروژن به دست آید.

جنگل تصادفی، یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم پارامترهای مورد نظر، فراهم می‌کند. هم برای دسته‌بندی و هم رگرسیون قابل استفاده می‌باشد و جنگلی را به‌صورت تصادفی می‌سازد که گروهی از درخت‌های تصمیم هستند. از تعداد زیادی درخت‌های تصمیم‌گیری برای رسیدن به نتیجه نهایی استفاده می‌کند. هر درخت با استفاده از یک نمونه تصادفی انتخاب می‌شود. یک زیرمجموعه تصادفی از پیش‌بینی‌های ورودی در هر مجموعه از درخت برای تقسیم کردن به یک گروه جدید ایجاد می‌شود (Amini Khoei and Abdollahpouri 2017). اگر در این روش هر نمونه  $X$  را به‌صورت جداگانه در نظر بگیریم، هر درخت یک پیش‌بینی را برای رده نمونه  $X$  ارائه می‌دهد و در نهایت با بیشترین تعداد رای درختان، روی ورودی  $X$  به‌عنوان رده نمونه انتخاب می‌گردد. بنابراین هر درخت به‌صورت جداگانه یک پیش‌بینی کلاس را نشان می‌دهد و به این صورت کلاسی که دارای بیشترین تعداد باشد پیش‌بینی مدل مورد نظر را انجام می‌دهد. از این رو این روش یکی از روش‌های سازگار با تغییرات بوده و سبب از بین رفتن

نتایج مشاهدات میدانی و اندازه‌گیری آزمایشگاهی نیتروژن خاک نشان داد مقادیر به دست آمده از نیتروژن به‌طور متوسط برابر با ۰/۱۲ بود که با توجه به مقادیر حداقل و حداکثر و همچنین انحراف معیار بالای به دست آمده از آن این‌طور می‌توان استنباط کرد که مقادیر نیتروژن خاک از تغییرپذیری بسیار بالایی در نقاط نمونه‌برداری برخوردار است. در جدول ۲ نتایج حاصل از نمونه‌برداری و پیش‌بینی مدل‌سازی رگرسیون و جنگل تصادفی نیتروژن نشان داده شده است.

از آنجا که بررسی میزان همبستگی بین کلیه پارامترها نیازمند آگاهی از توزیع نرمال و غیر نرمال آن‌ها و در نتیجه انتخاب آزمون همبستگی مناسب با آن است، آزمون توزیع نرمال با استفاده از دو شاخص کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک محاسبه گردید. آزمون شاپیرو-ویلک (جدول ۳) نشان داد که غیر از RVI و MSAVI و دو شاخص توپوگرافی DEM و TWI، سایر پارامترهای مورد بررسی دارای توزیع نرمال بودند. بر اساس آزمون همبستگی، بالاترین همبستگی بین باندهای ماهواره‌ای ۲ تا ۷ به دست آمد، به صورتی که باندهای ماهواره‌ای نه تنها با یکدیگر بلکه با بسیاری از شاخص‌های محاسبه‌شده، مانند RVI و NDVI، همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان دادند. از این‌رو، تنها باند ۶ ماهواره‌ای لندست برای اجرای مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. نتایج همبستگی پارامترها نشان می‌دهد نیتروژن کل خاک نیز در پارامترهای خاک با چگالی و با شن و رس از بافت خاک و در پارامترهای توپوگرافی با ارتفاع و در شاخص‌های طیفی با EVI, RVI, NDWI, NDVI, SAVI و DVI در سطح ۰/۰۱ و با SI3 از شاخص‌های شوری در سطح ۰/۰۵ همبستگی دارد.

۱۱۰۰ تا ۲۰۵۰ متر را در بر گرفته است. قسمت‌های مرتفع منطقه بیشتر در قسمت‌های شمالی و شرقی واقع شده است و نقاط نمونه‌برداری در این تحقیق در دامنه جنوبی این قسمت‌های مرتفع در حاشیه رودخانه زاینده‌رود پراکنده شده است. شیب منطقه در محدوده‌های پایین‌تر از هشت درصد قرار دارد. به‌طور کلی نواحی نمونه‌برداری در این منطقه را می‌توان در محدوده‌هایی با شیب کم و به اصطلاح مناطق دشتی متصور شد. با این حال برای تعیین اثر مجاری و راه آب‌ها که بر رطوبت خاک نیز اثرگذار است، شاخص TWI محاسبه و برای استفاده در این تحقیق استفاده شد. نواحی با مقدار عددی بالا در این نقشه نشان‌دهنده نواحی هستند که به دلیل نگهداری آب (عمل به‌صورت راه آب‌های کوچک) از توان بالاتری برای جذب و نگهداری رطوبت برخوردار هستند. مقادیر عددی این شاخص در نزدیکی مجاری آبی به ۰/۷۷ و کمترین مقدار آن در نواحی کوهستانی و تحت سنگی که از توان بسیار پایینی برای نگهداشت آب برخوردار هستند با مقدار حدودی برابر با ۰/۱۴ به دست آمد. با افزایش مقدار گیاهی در منطقه، مقادیر کلیه شاخص‌های گیاهی افزایش یافت. به‌طور مثال، شاخص DVI مقادیر بیشتر از ۱۲ را در نواحی که از تراکم پوشش گیاهی بالایی برخوردار هستند از خود نشان داد. شاخص RVI تفکیک دو ناحیه با پوشش گیاهی قوی و پوشش گیاهی ضعیف را به‌خوبی به تصویر کشید. شاخص EVI با افزایش زیست توده سبز و حضور پوشش گیاهی افزایش چشمگیری را از خود نشان داد به‌طوری که با عبور از مناطق بدون پوشش شرقی به سمت جنگل‌های دست کاشت و سپس اراضی کشاورزی جنوبی به تدریج بر مقادیر این شاخص اضافه شد.

جدول ۲. مقایسه نتایج حاصل از نمونه‌برداری و پیش‌بینی مدل‌سازی نیتروژن (برحسب درصد)

مقدار کمیته	مقدار بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۵۱
۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۵۴
۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۵۹



جدول ۳. نتایج آزمون نرمالیته شاپیرو-ویلک بر روی لایه های ورودی به مدل رگرسیون

شاپیرو-ویلک			شاخص	گروه شاخص	
سطح معنی داری	درجه آزادی	آماره			
۰/۰۲۶	۵۰	۰/۹۴۷	باند ۲	باند ماهواره ای	
۰/۲	۵۰	۰/۹۶۸	باند ۳		
۰/۲۹۶	۵۰	۰/۹۷۳	باند ۴		
۰/۶۳۷	۵۰	۰/۹۸۲	باند ۵		
۰/۱۹۲	۵۰	۰/۹۶۸	باند ۶		
۰/۱۶۵	۵۰	۰/۹۶۶	باند ۷		
۰/۰۵۸	۵۰	۰/۹۵۶	EVI		شاخص ماهواره ای
۰/۰	۵۰	۰/۸۹۳	RVI		
۰/۰۱۳	۵۰	۰/۹۳۹	SAVI		
۰/۲۴۷	۵۰	۰/۹۷۱	SBI		
۰/۰۰۴	۵۰	۰/۹۲۶	SI1		
۰/۸۴	۵۰	۰/۹۸۷	SI2		
۰/۸۳۶	۵۰	۰/۹۸۷	SI3		
۰/۰۰۶	۵۰	۰/۹۳۱	NDWI		
۰/۰۵۸	۵۰	۰/۹۵۶	NDVI		
۰/۰	۵۰	۰/۳۱۱	MSAVI		
۰/۰۰۴	۵۰	۰/۹۲۶	DVI		
۰/۰	۵۰	۰/۸۹۸	DEM	شاخص توپوگرافی	
۰/۰۰۵	۵۰	۰/۹۲۹	Slope		
۰/۰	۵۰	۰/۸۰۶	TWI		

خطی چندگانه پارامتری که با بقیه پارامترها همخطی دارد، رگرسیون آن را از مدل خارج نموده و فقط پارامترهای معنی دار را نگه می‌دارد. بدین ترتیب در مدل نیتروژن، دو شاخص گیاهی با یک شاخص توپوگرافی به عنوان پارامتر اساسی پیش‌بینی کننده مورد استفاده قرار گرفتند.

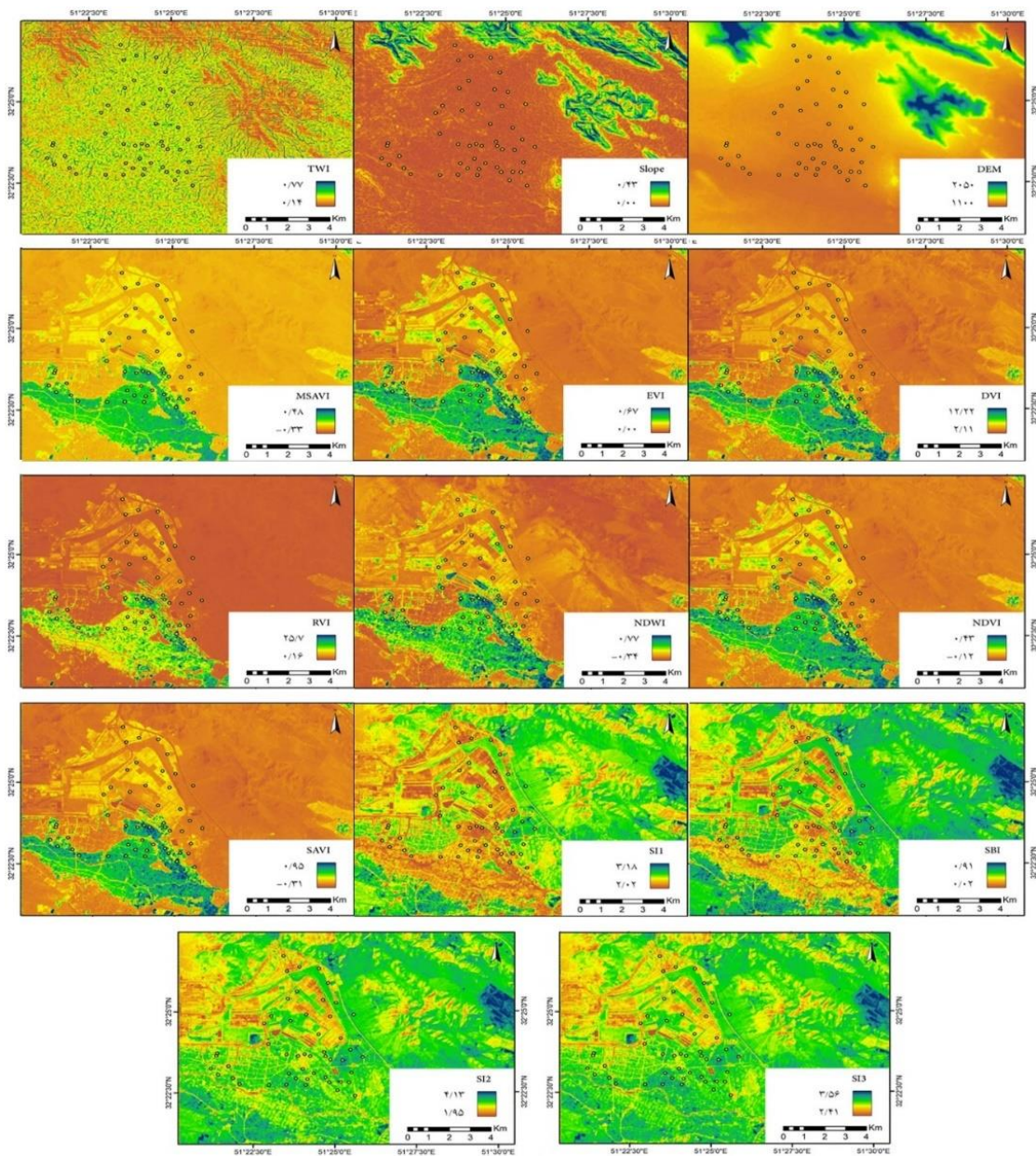
نتایج حاصل از اجرای مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی میزان نیتروژن خاک در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در مدل جنگل تصادفی تولید شده برای نیتروژن شاخص‌های DVI، RVI، SI3 و MSAVI، از بالاترین دقت در توصیف پراکندگی نیتروژن برخوردار بودند؛ حال آنکه پارامترهای ارتفاعی و باندهای ماهواره‌ای کمترین میزان اهمیت در مدل ساخته شده را داشتند. با توجه به اهمیت پارامترهای ورودی، مدل جنگل تصادفی با مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۴۴ به تولید نقشه پیش‌بینی پراکندگی نیتروژن در منطقه پرداخت.

مدل نیتروژن خاک با سه شاخص RVI، DVI و TWI ایجاد شد. هر سه شاخص به همراه مقدار ثابت تولید شده از معنی داری بسیار بالایی برخوردار بودند (p-value کمتر از ۰/۰۵). میزان هم خطی پارامترهای استفاده شده در مدل نیز در محدوده مناسب قرار دارد. مقدار p-value به دست آمده برای مدل نیتروژن برابر با ۰/۰۰ است که نشان دهنده توان بسیار بالای مدل ایجاد شده برای تخمین نیتروژن در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از مدل رگرسیونی خطی چندگانه تولید شده برای پیش‌بینی میزان نیتروژن خاک در جدول ۴ نشان داده شده است.

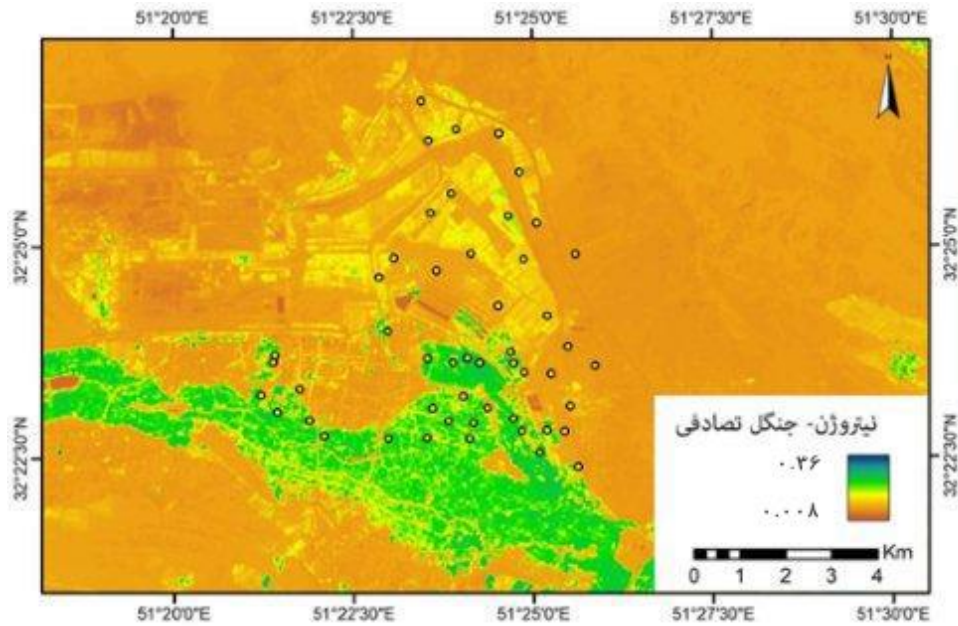
به طور کلی می‌توان بیان کرد که مدل رگرسیون خطی چندگانه از توان بسیار بالایی برای پیش‌بینی میزان نیتروژن با به کارگیری تعداد پارامترهای کم برخوردار است. با توجه به آنکه در مدل رگرسیونی خطی چندگانه همه پارامترها وارد می‌شوند ولی فقط پارامترهای معنی دار باقی می‌مانند و بقیه حذف می‌شوند، با تشخیص رگرسیون

جدول ۴. نتایج مدل رگرسیون خطی چندگانه تولید شده برای نیتروژن

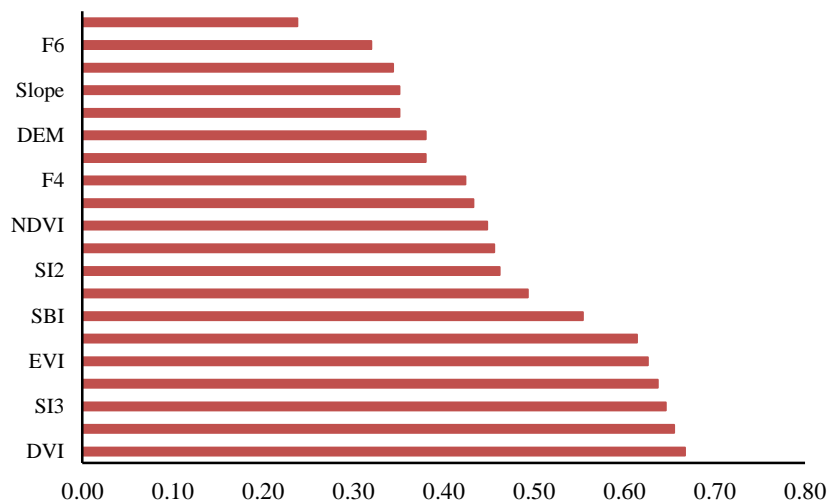
هم خطی	حد	VIF	ضرایب غیراستاندارد			ضرایب استاندارد				
			سطح معنی داری	t	Std. Error	B	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	
			۰/۰۴۴	۱/۳۶۲	۰/۰۳۰	۴۰/۰				مقدار ثابت
۱۰/۰۰۱	۰/۴۵۲		۰/۰۰۰	۷/۲۱۵	۱/۶۴۶	۰/۲۰۹	۱/۵۰۹			DVI
۸/۲۶۸	۰/۲۵۴		۰/۰۰۰	۴/۳۴۲-	۰/۹۰۹-	۰/۰۲۲	۰/۰۹۶-			RVI
۷/۴۲۲	۰/۳۴۵		۰/۰۰۲	۰/۳۴۷	۰/۲۷۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰			TWI
			Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات			رگرسیون
			۰/۰۰۰	۳۵/۵۸۷	۰/۰۴۲	۳	۰/۱۲۹			باقیمانده
					۰/۰۰۱	۴۶	۰/۰۵۶			کل
						۴۹	۱۸۵/۰			



شکل ۳. نقشه‌های شاخص‌های ماهواره‌ای و توپوگرافی



شکل ۴. نقشه پراکندگی نیتروژن کل خاک با استفاده از جنگل تصادفی



شکل ۵. نمودار میزان اهمیت پارامترهای ورودی و صحت مدل جنگل تصادفی ایجاد شده برای نیتروژن کل خاک

### نتیجه گیری

هدف این مطالعه این بود تا توان سنجش از دور به همراه برخی از داده‌هایی که در تعیین پارامترهای خاک اثرگذار هستند (خصوصاً پارامترهای توپوگرافی) برای ایجاد مدل پیش‌بینی کننده پارامتر نیتروژن مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که مدل رگرسیونی با استفاده از بخشی از لایه‌های بدون همخطی و جنگل تصادفی با استفاده از کلیه لایه‌های ورودی می‌تواند برای پیش‌بینی مقادیر نیتروژن مورد استفاده قرار

گیرند. نتایج به دست آمده در این تحقیق همسو با نتایج به دست آمده در مطالعات (Elhag & Bahrawi, 2017; Alexakis *et al.*, Periasamy & Shanmugam, 2017) نشان داد که ترکیب باندهای ماهواره‌ای، شاخص‌های مستخرج از آن‌ها و برخی پارامترهای توپوگرافی مانند شیب، ارتفاع و وضعیت آبراه‌ها (که میزان رطوبت خاک را تعیین می‌کند) می‌تواند به تخمینی نزدیک به صحیح از پراکندگی مقدار نیتروژن خاک نائل شود. اگرچه شاخص‌های بر پایه مادون قرمز نزدیک و قرمز بیشتر در

پور و رحمتی (۲۰۱۹) نشان دادند که ترکیب این پارامترها می‌تواند به تولید نتایج دقیق‌تر از نیتروژن در خاک منجر شود.

به‌طور کلی، این‌طور می‌توان استنباط کرد که شرایط فیزیکی و شیمیایی منطقه نقش مؤثرتری در ساخت مدل برای تخمین نیتروژن کل ایفا می‌کند. به عبارت دیگر، آگاهی از شرایط خاک در یک منطقه مورد مطالعه باعث می‌شود تا پارامترهای دخیل در مدل به بهترین شیوه انتخاب شوند و در نتیجه به مدل دقیق‌تری دست یافت. در این مطالعه، تمرکز اصلی بر تعاملات بین باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز گمارده شد. از آنجا که این دو محدوده طیف الکترومغناطیس از توان بیشتری برای تعیین پارامترهای گیاهی برخوردار هستند انتظار می‌رود تا انتخاب محدوده‌هایی از طول موج مادون قرمز با طول موج کوتاه و تولید شاخص‌هایی که بر پایه این معیارها هستند به نتایج دقیق‌تری از نیتروژن کل خاک منجر شود. از نتایج بسیار متفاوت از مدل‌ها و داده‌های ورودی متنوع در مناطق مختلف، این‌طور استنباط می‌شود که با جمع‌آوری حجم بسیاری از داده‌ها به‌شرط عدم وجود هم‌خطی بین آن‌ها می‌توان در نهایت به مدل‌های دقیق‌تری از پارامترهای خاک دست یافت. این امر را می‌توان در زمینه به‌کارگیری مدل‌هایی که بر پایه ماشین یادگیری هستند به خوبی مشاهده کرد.

زمینه بررسی تغییرات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Robinson *et al.*, 2017)، اما نتایج حاصل از این مطالعه همسو با نتایج مطالعاتی از قبیل رحمتی و حمزه پور؛ آسفیو و همکاران نشان دادند که بازتاب‌های زمینی برداشته‌شده در این دو طول موج، علاوه بر پوشش گیاهی نقش مهمی در تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک دارند (Hamzhepour, 2017 & Rahmati; 2018). به‌طور مثال ژانگ و همکاران؛ (2018 Asfaw *et al* 2018). پنگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که هر دو مجموعه از شاخص‌های گیاهی (شاخص‌های مبتنی بر باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز مانند RVI و NDVI و همچنین شاخص‌های مبتنی بر خط خاک مانند MSAVI) از توان بسیار بالایی برای تعیین تغییرپذیری نیتروژن خاک برخوردار هستند (Peng *et al.*; Zhang *et al.* 2019). در مدل‌سازی نیتروژن کل، اختلاف ناچیزی بین دو مدل مشاهده شد و هر دو مدل نتایج نزدیکی به اندازه‌گیری زمینی داشتند. این نتایج را می‌توان همسو با نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)؛ فتحی زاده و همکاران (۲۰۱۹) و وانگ (۲۰۲۰) در نظر گرفت که در آن نشان دادند ترکیب باندها و شاخص‌های ماهواره‌ای به همراه شاخص‌های توپوگرافی از توان بالاتری برای تخمین نیتروژن نسبت به سایر پارامترها برخوردار هستند (Zhang *et al.* 2019; Fathizad *et al.* 2019; Wang *et al.* 2020). مطالعه‌ای از قبیل پنگ و همکاران (۲۰۱۹) و حمزه

## References:

- Abbasi, Y., Mirzaei, F., and Sohrabi, T. (2018). Distribution of heavy metals Pb, Cu and Ni in irrigated fields by wastewater of Tehran city, Iran, using Sentinel2 image. *Water and Irrigation Management*, 8(1): 113-129. [in Persian]
- Alexakis, D.I., Daliakopoulos, I., and Tsanis, P. (2018). Assessing soil salinity using WorldView-2 multispectral images in Timpaki, Crete, Greece. *Geocarto International*, 33(4): 321-338.
- Amini Khoei, Z., Abdollahpouri, A. (2017). Classification of network traffic using enhanced random forest algorithm. *Computing Science Journal*, 16: 2-17. [in Persian]
- Asfaw, E.K., Suryabagavan, M., and Argaw, M. (2018). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3): 250-258.
- Aslani, A. (2012). Analysis and study of severe glaciations in Zayandehrood basin. Master thesis, Faculty of Geography, Yazd University, Faculty of Geography, 8: 2-24. [in Persian]
- Belgiu, M., Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114: 24-31.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982). Total nitrogen. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR, (eds.). *Method of Soil Analysis. Part II. Aragon Monogr*, 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. 599-622.

- Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J.S., Zissimos, A., Christoforou, I.C., and Bruggeman, A. (2017). A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization. *Geoderma*, 285: 35-49.
- Dayani, M., Naderi, M., Mohammadi, J. (2010). Mapping Concentrations of Pb, Zn and Cd in Soils Using Landsat ETM+ Data in Southern Isfahan. *Journal of Water and Soil*, 24(2): 286-296. [in Persian]
- DengWei, W., YunZhao, W. and HongRui, M.A. (2009). Review on remote sensing monitoring on contaminated plant. *Remote Sens. Technol. Appl.*, 2:238-245.
- Desavathu, R.N., Nadipena, A.R., Peddada, J.R. (2018). Assessment of soil fertility status in Paderu Mandal, Visakhapatnam district of Andhra Pradesh through Geospatial techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1): 73-81.
- Elhag, M. and Bahrawi, J. (2017). Soil salinity mapping and hydrological drought indices assessment in arid environments based on remote sensing techniques. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 6(1): 149-158.
- Elharti, A., Lhissou, R., Chokmani, K., Ouzemou, J., Hassouna, M., Bachaoui, E.M. and El Ghmari, A. (2016). Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadra Plain (Morocco) using satellite spectral indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50: 64-73.
- Fathizad, M., Ardakani, H., Sodaiezhadeh R., Kerry, R., and Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2020). Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central desert of Iran. *Geoderma*, 365: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114233>.
- Hanusz, Z., Tarasinska, J., and Zielinski, W. (2016). Shapiro-Wilk test with known mean. *REVSTAT-Statistical Journal*, 14: 89-100.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B., Kempen, B., Leenaars, J.G., Walsh, M.G., Shepherd, K.D. and Tamene, L. (2015). Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution, Random forests significantly improve current predictions. *PloS one*, 10(6): 1-26.
- Islam, T., and Toor, E. (2019). Power Comparison of Autocorrelation Tests in Dynamic Models. *International Econometric Review, Econometric Research Association*, 11(2): 58-69.
- Jiang, Y., Rao, L., Sun, K., Han, Y., and Guo, X. (2018). Spatio-temporal distribution of soil nitrogen in Poyang lake ecological economic zone (South-China). *Science of the Total Environment*, 626: 235-243.
- Khan, S. and Abbas, A. (2007). Using remote sensing techniques for appraisal of irrigated soil salinity. *Int. Congr. Model. Simul.-MODSIM, Model. Simul. Soc. Aust. New Zealand*, Bright-January, 2632-2638.
- Kisi, O., Karahan, M., and Sen, Z. (2006). River suspended sediment modeling using fuzzy logic approach. *Hydrol Process*, 20(2): 4351-4362.
- Lucà, F., Conforti, M., and Robustelli, G. (2011). Comparison of GISbased gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, 134 : 297-308.
- Mirchooli, F., Kiani-Harchegani, M., Khaledi Darvishan, A., Falahatkar, S., and Sadeghi, H. (2020). Spatial distribution dependency of soil organic carbon content to important environmental variables. *Ecological Indicators*, 116: 1-10.
- Mohammadi, A., Majnoon Hoseini, N., Moghadam, H., Oveisi, M. (2020). Alfalfa yield prediction by some vegetative indices and environmental variables in Southern Khorasan: Case study of Sarayan. *Iranian Journal of field crop science*, 51(1): 137-148. [in Persian]
- Nitze, I., Schulthess, U., Asche, H. (2012). Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, 79: 35-40.
- Norouzi, E., Bahramifar, N., Ghasempouri, M. (2010). Determination Concentration of Lead in Breast in Lactating Women in Region Industrial Zarinshahr and Effect on Infant. *Journal of Isfahan Medical School*, 28(112): 640-646. [in Persian]
- Peng, J., Biswas, A., Jiang, Q., Zhao, R., Hu, J., Hu, B. and Shi, Z. (2019). Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in southern Xinjiang Province, China. *Geoderma*, 337: 1309-1319.
- Periasamy, S. and Shanmugam, R.S. (2017). Multispectral and microwave remote sensing models to survey soil moisture and salinity. *Land Degradation & Development*, 28(4): 1412-1425.
- Rahmati, M. and Hamzehpour, N. (2017). Quantitative remote sensing of soil electrical conductivity using ETM+ and ground measured data. *International Journal of Remote Sensing*, 38(1): 123-140.
- Robinson, W., Allred, M., Jones, A., Moreno, J.S., Kimball, D.E., Naugle, T.A., and Richardson, E. (2017). A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8): 863.
- Santos Silva, F., dos Santos Verçosa, J., and Falcão Tavares, A. (2020). Evaluating methods to classify sugarcane planting using convolutional neural network and random forest algorithms. *International Journal of Development Research*, 10(12): 42807-42811.

- Sidike, A., Zhao, S. and Wen, Y. (2014). Estimating soil salinity in Pingluo County of China using QuickBird data and soil reflectance spectra. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26: 156-175.
- Sulistyo, B.T., Gunawan, P., Danoedoro, N. and Listyaningrum, N. (2017). Absolute Accuracy of the Erosion Model of DEM-NDVI and its Modification. *International Journal of Geoinformatics*, 13(2): 13-20.
- Tafazoli, M., Jalilvand, H., Hojjati, S., Lamersdorf, N. (2017). The effect of simulated nitrogen deposition on soil chemical properties in maple plantation stand. *Environmental Sciences*, 15(2): 39-54. [in Persian]
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F., and Malone, B. (2014). Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*, 213: 15-28.
- Wang, C., Wang, S. Fu, B., Li, Z., Wu, X., and Tang, Q. (2017). Precipitation gradient determines the tradeoff between soil moisture and soil organic carbon, total nitrogen, and species richness in the Loess Plateau, China. *Science of the Total Environment*, 575: 1538-1545.
- Xu, Y., Smith, S.E., Grunwald, S. Abd-Elrahman, A., Wani, S.P. and Nair, V.D. (2018). Estimating soil total nitrogen in smallholder farm settings using remote sensing spectral indices and regression kriging. *Catena*, 163: 111-122.
- Zhang, Y., Sui, B., Shen, H., and Ouyang, L. (2019). Mapping stocks of soil total nitrogen using remote sensing data, A comparison of random forest models with different predictors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160: 23-30.
- Zhang, W.J., Li, X.K., Chen, F., and Liu, J.W. (2012). Accumulation and distribution characteristics for nitrogen, phosphorus and potassium in different cultivars of *Petunia hybrida* Vlim. *Sci Hortic*, 141: 83-90.
- Zhou, T., Geng, Y., Chen, J., Liu, M., Haase, D., and Lausch, A. (2020). Mapping soil organic carbon content using multi-source remote sensing variables in the Heihe River Basin in China. *Ecol. Indic.*, 114, 106288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106288>.



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 11**  
**No. 2**  
**Winter 2022**

**Received:**  
2021-05-07

**Accepted:**  
2021-08-28

**Pages: 97-111**

## Modeling Soil Nitrogen Using Remote Sensing, Regression and Random Forest Models

Mahboubeh Sadeghi<sup>1</sup> and Mozhgan Ahmadi Nadoushan<sup>2\*</sup>

1) MSc., Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2) Department of Environmental Sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

\*Corresponding author email: [m.ahmadi@khuif.ac.ir](mailto:m.ahmadi@khuif.ac.ir)

### Abstract

**Background and Aim:** Soil is one of the important natural resources of any country, which plays an important role in preserving the environment and producing food. Increasing and decreasing the amount of total soil nitrogen due to various agricultural methods, the entry of industrial wastewater into water and other factors, leads to microbial contamination of soil, reduced vegetation and deficiency in agricultural products needed by humans. Mapping soil nutrient distribution helps managers in decisions. Since laboratory analysis of these parameters is time consuming and costly across large scales, attempts have been made in recent years to study soil nitrogen based on remote sensing techniques. In this regard, the present study investigated the applicability of remote sensing predicting soil total nitrogen in the east of Lenjan city.

**Method:** Nitrogen reference points were identified by analyzing 50 randomly-selected surface soil samples from 0-20 cm depth. Nitrogen of soil samples was measured by Kjeldahl method after drying soil at 25 ° C, passing through a 2 mm mesh sieve and transferring to the laboratory, to compare the final results obtained from field sampling and remote sensing technology. Landsat 8 OLI Satellite Image of 2019 (Path 164/Row 37) was obtained and geometric and radiometric correction were applied. Cloud cover for image provided was less than 10%. To reduce the effect of atmospheric diffusion on the quality of image, radiation and atmospheric correction were performed using the FLASH model. the Landsat-8 satellite image (rows 164 and 37) taken on 15 Sep. 2019 and along with three topographic indices of elevation, slope and topographic wetness index (TWI) were introduced to the multiple linear regression and random forest models.

**Results:** The digital elevation map of the area showed elevation values between 1100 and 2050 meters. The slope of the study area was less than eight percent. Numerical values of TWI index near water bodies were found to be 0.77. DVI and EVI index values increased with increasing vegetation cover. NDVI index showed values higher than 0.3 and NDWI index as a water index showed a maximum value of 0.77. The SAVI index showed high differences from areas without cover to sparse cover and areas with strong vegetation. SBI index and SI salinity indices showed very high variability in terms of soil parameters in barren lands. Nitrogen regression model was built using three indices RVI, DVI and TWI with p-values of 0.049 and 0.00, respectively. In the nitrogen random forest model, however, plant and soil indices played a more important role in model construction with an of r2 value of 0.44.

**Conclusion:** Total soil nitrogen in soil parameters showed correlation with density and sand and clay from soil texture and in topographic parameters with elevation and spectral indices with EVI RVI, SAVI, NDWI, NDVI and DVI at the level of 0.01 and with SI3 of salinity indices at the 0.05 level. In soil parameters, silt is correlated with sand and clay at the level of 0.05 and sand with clay as well as density with clay are correlated at the level of 0.01. The results of this study showed that the topographic condition of the region along with red and near infrared-based indices had a significant role in predicting soil total nitrogen. Results also showed a slight difference was observed between the two models in predicting soil nitrogen.

**Keywords:** Spectral Index, Modeling, Landsat 8 satellite image, Terrain data

