

# ارزیابی شوری خاک سطحی باروش پیکسل مینا بر اساس داده‌های سنجنده TM (مطالعه موردی: اراضی شرق شهرستان خوی - استان آذربایجان غربی)

محمد زینالی<sup>۱</sup>

علی اصغر جعفرزاده<sup>۲</sup>

فرزین شهبازی<sup>۳</sup>

شاهین اوستان<sup>۴</sup>

خلیل ولی‌زاده کامران<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۲۰

\*\*\*\*\*

## چکیده

شوری خاک و شور شدن اراضی به عنوان یکی از مشکلات فراروی کشاورزی، از اهمیت بالایی برخوردار بوده که بایستی با شناخت صحیح از پیشروی آن جلوگیری شود. اولین گام در این راه شناسایی مناطق شور و تهیه نقشه شوری این خاک‌ها می‌باشد. این تحقیق با هدف مقایسه نقشه‌های شوری تهیه شده با انواع الگوریتم‌های طبقه‌بندی (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی السطوح) تصویر توسط داده‌های ماهواره لندست ۵ با سنجنده TM در بخشی از اراضی شرق شهرستان خوی صورت گرفته است. لذا تعداد ۲۶۹ نمونه خاک با مختصات جغرافیایی مشخص تجزیه و نتایج حاصله بر روی تصویر TM پیاده گردید. برای شناسایی اولیه از نقشه توپوگرافی و نرم‌افزار ENVI 4.8 جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده و تصحیحات ژئومتریک با نقاط مشخص و با استفاده از GPS انجام گرفت. نمونه‌های آموزشی و آزمایشی با پراکنش مناسب بر روی تصویر مورد نظر پیاده شده و کلاس‌های شوری از یک تا نه تهیه تعیین شدند. نمونه‌های مربوط به هر کلاس شوری با دقت کامل و به اندازه تک پیکسل، به علت اینکه دارای مختصات بودند، در هر تصویر بر روی پیکسل مربوطه قرار گرفته و با فرمت ROI ذخیره گردیدند. نتایج حاکی از وجود همبستگی بین باندهای ۱، ۴ و ۵ تصویر TM با داده‌های شوری بوده و از میان الگوریتم‌های طبقه‌بندی در روش پیکسل مینا، بالاترین میزان دقت نقشه مربوط به حداکثر احتمال می‌باشد. به منظور ارزیابی صحت، شاخص‌هایی مانند ماتریس خطا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر، صحت کلی و شاخص کاپا استخراج گردید. همچنین مطابقت طبقات مختلف شوری خاک این نقشه با مشاهدات صحرایی و میزان شوری اندازه‌گیری شده بیانگر دقت بالای این الگوریتم در تهیه نقشه شوری خاک سطحی است. هدف تحقیق حاضر مقایسه نقشه‌های شوری تهیه شده با این روش‌ها در منطقه مورد نظر با نتایج سایر محققین می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم طبقه‌بندی، پیکسل مینا، سنجنده TM، شوری، لندست ۵، خوی.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) mohamad\_1383@yahoo.com

۲- استاد، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز jaafarzadeh@tabrizu.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز shahbazi@tabrizu.ac.ir

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز oustan@hotmail.com

۵- استادیار دانشکده جغرافیا دانشگاه تبریز tabrizgis@gmail.com

## مقدمه

از الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی و براساس بهترین ترکیب باندی و همچنین استفاده از آنالیزهای آماری پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که ترکیب باندهای ۱، ۳، ۴ و ۷ مناسب‌ترین ترکیب را برای تهیه تصاویر رنگی کاذب و طبقه‌بندی خاک‌های متأثر از شوری دارند.

عابدی نام (۱۳۸۳) با مطالعه‌ای در دشت قزوین نشان داد که همبستگی قوی بین اعداد رقومی باند ۷ تصویر حاصل از داده‌های ماهواره‌ای لندست و مقادیر متناظر عددی شوری خاک وجود دارد. کالرا و جوشی (۱۹۹۶) در تحقیقی برای تعیین قابلیت تصاویر حاصل از داده‌های ماهواره‌ای لندست، اسپات و منابع زمینی هند در تشخیص خاک‌های شور نشان دادند که قدرت تفکیک سنجنده‌ها و فصل جمع‌آوری داده‌ها ارتباط مستقیمی در تعیین کلاس‌های شوری خاک‌ها دارند.

الحسون (۲۰۱۲) در قسمت شمالی عربستان در نواحی زراعی اطراف شهر سکاکا با استفاده از سنجنده‌ها از دور و به کمک تصاویر سنجنده TM به روش نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال، نقشه شوری محدوده مورد مطالعه را تهیه نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های سنجنده TM می‌تواند برای تمایز و بررسی شوری خاک استفاده شود. وی همچنین نشان داد اکثر اراضی کشت شده در محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح مختلف شوری می‌باشند که به منظور بررسی‌های زمینی، استفاده از داده‌های دورسنجی می‌تواند تا حد زیادی نقشه گسترش شوری خاک را بهتر نمایش دهد.

رخا و همکاران (۲۰۱۱) در جنوب منطقه ناگاپاتینام در کشور هند، با استفاده از باندهای سنجنده TM به بررسی شوری خاک پرداختند. در این تحقیق با استفاده از پیش‌پردازش‌های لازم به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های نظارت‌شده و نظارت نشده پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از داده‌های دورسنجی همراه با داده‌های زمینی برای شناسایی نواحی شور ابزار قدرتمندی می‌باشند و اکثر نواحی شور که با استفاده از داده‌های دورسنجی مشخص شده‌اند متناسب با همان مواردی هستند

خاک‌های شور سطح وسیعی از کشور را فرا گرفته و در مساحت‌های کوچک در نقاط مختلف کشور پراکنده بوده و اراضی مجاور خود را نیز مورد تهدید قرار می‌دهند. تهیه نقشه شوری خاک یکی از گام‌های اولیه در جهت شناسایی اراضی شور است و روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد که هر یک از آنها با توجه به امکانات موجود قابل توجه می‌باشند. اخیراً با توسعه فناوری دورسنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان روشی کارآمد در این زمینه معرفی شده است (چیت ساز، ۱۳۷۸: ۱۵).

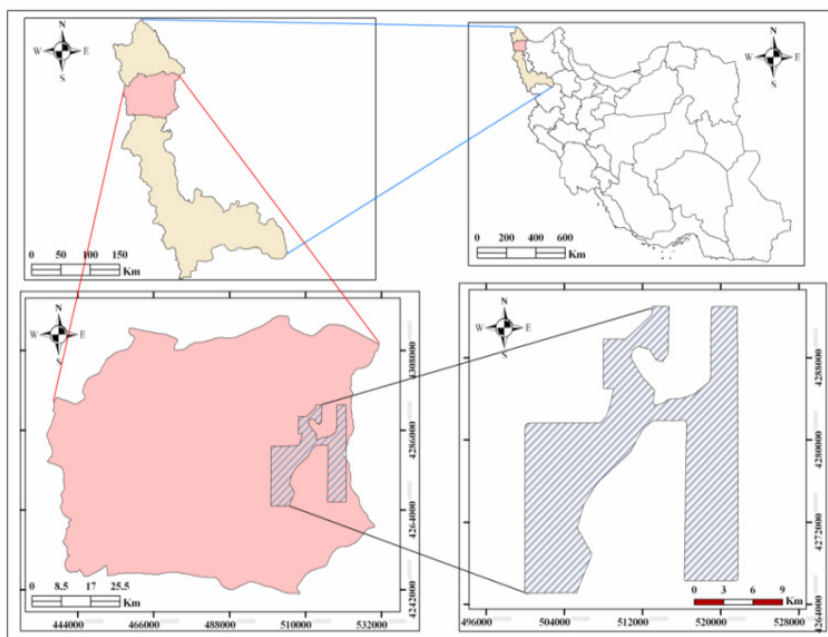
نایج نوری (۱۳۸۰) در مطالعه خود امکان تفکیک اراضی شور و گچی منطقه دشت کاشان را با استفاده از داده‌های ماهواره TM مورد بررسی قرار داده و نشان داد بین اعداد رقومی<sup>۱</sup> حاصل از نقشه‌های رستری مربوط به نقاط نمونه‌برداری و پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک حداکثر همبستگی وجود دارد. همچنین تصاویر حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵ و ۶ برای تعیین مقادیر شوری خاک سطحی و ترکیب باندهای ۳، ۵، ۶ و ۷ برای تعیین تغییرات گچ خاک سطحی به عنوان بهترین تصویر معرفی شدند. دقت کلی نقشه‌های شوری و گچ تهیه شده به ترتیب معادل ۷۷/۲۷٪ و ۵۸/۱۶٪ بدست آمد.

دشتکیان و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و از طریق نمونه برداری‌های میدانی، عملیات آموزشی و الگوریتم حداکثر احتمال نقشه شوری خاک منطقه مروس استان یزد را تهیه نمودند. نتایج نشان داد که روش میانگین رگرسیون‌ها با ترکیب باندهای استاندارد شده ۱، ۲ و ۳ دارای حداکثر دقت در تهیه نقشه شوری خاک می‌باشد.

ثنایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه نیشابور با استفاده از ۲۷۹ نمونه خاک سطحی (به صورت تصادفی) قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست<sup>۲</sup> ETM+ را ارزیابی نموده و به طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف شوری خاک با استفاده

1- Digital Number

2- Enhanced Thematic Mapper



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی  
 محدوده مورد مطالعه

شده است. وسعت کل منطقه ۲۹۹۳۱ هکتار بوده و ارتفاع آن از سطح دریا از ۹۱۶ متر در شمال شرقی تا ۱۴۳۱ متر در غرب محدوده متغیر می‌باشد. (نگاره ۱)

### نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماه‌های گرم سال و نمونه‌برداری از خاک سطحی در این زمان با توجه به تراکم حداکثر املاح در سطح، در تهیه نقشه شوری خاک مؤثرتر خواهد بود. لذا در این تحقیق نمونه‌برداری در اواخر شهریورماه صورت گرفت تا علاوه بر اینکه اصل فوق رعایت شده باشد با داده‌های ماهواره‌ای مربوط به ماه سپتامبر (شهریورماه) نیز همزمانی داشته باشند.

در این تحقیق، تعداد ۲۶۹ نمونه از محل تقاطع شبکه‌های منظم با قطع‌بندی ۱×۱ کیلومتر و از عمق ۵-۰ سانتیمتری سطح خاک لخت تهیه و به منظور آماده‌سازی برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

در نمونه‌های آماده خاک (پس از هواخشک شدن و غربال از الک ۲ میلیمتری)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌ها (رودز، ۱۹۸۲: ۱۷۹-۱۶۷) اندازه‌گیری شد.

که بر اساس مشاهدات زمینی تعیین می‌شوند.

مقایسه نتایج تحقیقات محققین مختلف در این زمینه با نتایج تحقیق انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به روز و به هنگام می‌تواند به عنوان روشی قابل اطمینان در شناسایی خاک‌های شور و غیر شور و حتی طبقه‌بندی سطوح مختلف شوری خاک به حساب آید.

با توجه به اینکه محققان زیادی در زمینه علوم خاک با اهداف مختلف از تصاویر ماهواره‌ای استفاده نموده‌اند (گولد شلجر و همکاران ۲۰۰۴، ساکسانا و همکاران ۲۰۰۳ و فریفته و فرشاد ۲۰۰۲)، لذا این پژوهش نیز با هدف ارزیابی وضعیت شوری خاک سطحی بخشی از اراضی شرق شهرستان خوی با انواع الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصویر (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح) توسط داده‌های ماهواره لندست با سنجنده TM انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در قسمت شرقی شهرستان خوی، شمال استان آذربایجان غربی، در طول شرقی ۵۹° ۴۴' تا ۳° ۱۵' ۴۵° و عرض شمالی ۲° ۰۲' ۳۸° تا ۸° ۴۷' ۳۸° واقع

## داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های رقومی چند طیفی سنجنده TM مربوط به ماه سپتامبر سال ۲۰۰۳ میلادی برابر با شهریورماه ۱۳۸۲ شمسی بود. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برای شناسایی اولیه منطقه مورد مطالعه و نرم افزار ENVI جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

## طبقه‌بندی پیکسل-مبنا

روش‌های طبقه‌بندی پیکسل-مبنا فرایند اصلی پردازش تصویر را تشکیل می‌دهند. در واقع هدف اصلی از روش‌های طبقه‌بندی کلاسیک، رده‌بندی اتوماتیک همه پیکسل‌های تصویر در درون کلاس‌های کاربری‌های خاص می‌باشد. آنالیز تصویری پیکسل-مبنا همان الگوی طبقه‌بندی کلاسیک تصویر می‌باشد که تصاویر سنجنش از دور را بر اساس اطلاعات طیفی طبقه‌بندی می‌کند و روش طبقه‌بندی آن به صورت پیکسل به پیکسل می‌باشد. از میان روش‌های طبقه‌بندی پیکسل مبنا، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش ذکر شده است. روش حداکثر احتمال، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند.

## پردازش اطلاعات ماهواره‌ای

پردازش اطلاعات ماهواره‌ای بر روی تصویر TM شامل تصحیح هندسی می‌باشد که به کمک نقاط کنترل زمینی بر روی تصاویر اعمال شدند.

با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه در دو فریم از تصویر TM قرار گرفته بود لذا برای افزایش دقت در این تصویر، تصحیحات ژئومتریک با نقاط مشخص و با استفاده از GPS انجام گرفت. سایر عملیات پردازش تصویر شامل جداسازی منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای و بارسازی تصویر نیز انجام گرفت.

## تعیین همبستگی بین باندها

یکی از راه‌های انتخاب باندهای مناسب برای طبقه‌بندی، مقایسه ضریب همبستگی آنهاست. این ضرائب نشان می‌دهند که پارامتر شوری خاک با کدام یک از باندهای تصویر مورد بررسی دارای رابطه همبستگی بالاتری بوده که از آن برای طبقه‌بندی تصویر استفاده می‌شود. هر چه مقدار ضریب همبستگی بالاتر باشد نشان می‌دهد که داده‌های داخل باندهای تصویری مورد نظر بیشتر شبیه هم هستند (عبدی و حاجی قادری، ۵:۱۳۱۴). بنابراین باندهایی را می‌توان برای طبقه‌بندی انتخاب کرد که دارای ضریب همبستگی کمتری باشند. بررسی همبستگی بین باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای کمک بسیار مؤثری در تشخیص باندهای قابل استفاده در ترکیب رنگی کاذب به منظور جداسازی طبقات مختلف شوری از یکدیگر می‌کند. با سنجنده TM به دلیل داشتن ۷ باند تصاویر کاذب زیادی را می‌توان ایجاد کرد.

## انتخاب نمونه‌های آموزشی و آزمایشی

هدف کلی از انتخاب نمونه‌های آموزشی آن است که به یک مجموعه آماری، که بیانگر الگوی طیفی پوشش زمینی موجود در تصویر باشد دست یافت. حداقل تعداد پیکسل مورد نیاز برای هر کلاس N+1 است، که در آن N به معنای تعداد باندهای مورد استفاده در عملیات طبقه‌بندی می‌باشد (رسولی و محمودزاده، ۳۱:۱۳۱۹).

برای طبقه‌بندی شوری خاک سطحی، جمعاً ۲۶۹ نمونه از سطح محدوده مورد مطالعه برداشت گردید. نمونه‌های آموزشی انتخاب شده باید از پراکنش مناسبی در سطح تصویر برخوردار باشند. بنابراین در تحقیق حاضر، کلاس‌های شوری از یک تا نه تهیه و تعداد کل نمونه‌های برداشت شده برای هر کلاس تعیین شد.

از تعداد نمونه‌های برداشت شده برای هر کلاس، ۸۰٪ به عنوان نمونه آموزشی و ۲۰٪ به عنوان نمونه‌های آزمایشی در نظر گرفته شدند (جدول ۱).

جدول ۱: نمونه‌های آموزشی و آزمایشی به تفکیک هر کلاس

مقدار شوری (dS/m)	تعداد کل نمونه برداشت شده	تعداد نمونه آموزشی	تعداد نمونه آزمایشی	شماره کلاس
۰-۱	۵۲	۴۲	۱۰	۱
۱-۲	۴۱	۳۲	۹	۲
۲-۳	۱۴	۱۱	۳	۳
۳-۴	۱۱	۹	۲	۴
۴-۵	۱۷	۱۳	۴	۵
۵-۶	۳۸	۳۰	۸	۶
۶-۷	۴۶	۳۷	۹	۷
۷-۸	۱۳	۱۰	۳	۸
>۸	۳۷	۳۰	۷	۹
-----	۲۶۹	۲۱۴	۵۵	جمع

استفاده شده و پس از انتخاب نمونه‌های آموزشی، تصویر محدودۀ مورد مطالعه در نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی گردید. بعد از طبقه‌بندی کلاس‌ها برای تصویر مورد نظر، دقت طبقه‌بندی در قالب ارزیابی صحت با استفاده از نمونه‌های آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت.

### ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای کسب اطمینان از صحت نقشه تهیه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بایستی دقت آن که بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده می‌باشد مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور از شاخص‌هایی مانند ماتریس خطا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر، صحت کلی و شاخص کاپا استفاده می‌شود. ماتریس خطا یک جدول توافقی از مقایسۀ اطلاعات منابع زمینی با اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی است که ارزش آن بر حسب درصد بیان می‌شود. عناصر قطری ماتریس خطا تعداد یا نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده و عناصر غیر قطری پیکسل‌های خطا را نشان می‌دهد (علوی پناه، ۱۳۸۵: ۳۳۱) و اطلاعات مربوط به کلاس‌های شرکت کننده در طبقه‌بندی، به صورت کمی در این جداول ارائه می‌گردد (جعفری گرزین، ۱۳۸۱: ۱۰۰). در ماتریس خطا، ستون نشان دهنده داده‌های مرجع و ردیف‌ها، نشان دهنده

### جاگذاری نمونه‌های آموزشی بر روی تصویر ماهواره‌ای

از آنجا که نمونه‌های برداشت شده در محیط ArcGIS 9.3 به صورت لایه‌های برداری با فرمت Shapefile ذخیره شده بودند، ۸۰٪ از نمونه‌ها (نمونه‌های آموزشی) در ۹ کلاس شوری، از محیط ArcMap به منظور طبقه‌بندی پیکسل مبنا وارد محیط نرم افزار ENVI شدند و نمونه‌های مربوط به هر کلاس شوری با دقت کامل و به اندازه تک پیکسل، چون دارای مختصات بودند، در هر تصویر بر روی پیکسل مربوطه قرار گرفته و با فرمت ROI ذخیره گردیدند.

### تفکیک‌پذیری طیفی نمونه‌های آموزشی در باندهای منتخب

هرچه تفکیک‌پذیری طیفی پدیده‌ها از نظر کمی به میزان حداکثر نزدیک‌تر باشد، گویای مناسب‌تر بودن باندهای استفاده شده بوده و طبقه‌بندی از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود. با جابجایی و تغییر باندهای طیفی مورد استفاده در روش فوق و آزمون گزارش مربوط به تفکیک‌پذیری طیفی، می‌توان بهترین حالت را ایجاد و سپس اقدام به طبقه‌بندی نمود (زبیری و مجد، ۱۳۸۲: ۲۴۵). در فرایند طبقه‌بندی از باندهای منتخب تصویر سنجنده TM

جدول ۲: ضریب همبستگی باندهای سنجنده TM

باند	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
باند ۱	۱						
باند ۲	۰/۹۴	۱					
باند ۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۱				
باند ۴	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۱			
باند ۵	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۸۸	۱		
باند ۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۹	۱	
باند ۷	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۹	۱

جدول ۳: تفکیک پذیری طیفی نمونه‌های آموزشی در باندهای ۱۴۵ سنجنده TM

کلاس شوری	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵	کلاس ۶	کلاس ۷	کلاس ۸
کلاس ۱								
کلاس ۲	۰/۱۷							
کلاس ۳	۰/۳۳	۰/۲						
کلاس ۴	۰/۴۲	۰/۴	۰/۴۱					
کلاس ۵	۰/۵۴	۰/۲۴	۰/۲	۰/۷۴				
کلاس ۶	۰/۵۱	۰/۲۰۹	۰/۲۴	۰/۶۲	۰/۲۳			
کلاس ۷	۰/۹۶	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۸۲	۰/۴۳	۰/۲۸		
کلاس ۸	۱/۴۱	۱/۳۴	۱/۳۹	۱/۳۲	۱/۵۳	۱/۴۲	۱/۰۹	
کلاس ۹	۱/۷۲	۱/۵۲	۱/۵۴	۱/۵۸	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۱	۱/۳۲

مربوط به آن درصد از پیکسل‌هایی است که در واقع مربوط به کلاس مورد نظر بوده ولی جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده و صحت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که بر اساس داده‌های ماتریس خطا محاسبه می‌شود. برای محاسبه صحت کلی هر چه عدد حاصله به ۱۰۰ نزدیکتر باشد، صحت طبقه‌بندی بالاتر و تطابق اطلاعات بهتر خواهد بود.

صحت کلی عبارت است از نسبت پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه. صحت کلی که به درصد بیان می‌گردد، میزان توافق و همخوانی تصویر حاصل از طبقه‌بندی با واقعیت زمینی را نشان می‌دهد. نهایتاً شاخص کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی تصادفی محاسبه می‌کند (محمودزاده، ۱۳۸۳: ۳۷).

طبقه‌بندی تولید شده از روی داده‌های دورسنجی می‌باشد (مخدوم و همکاران ۱۳۸۶: ۱۱۹، کونگالتون و گرین ۲۰۰۹: ۵۷). اما صحت تولیدکننده از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه به درستی طبقه‌بندی شده‌اند (قطر اصلی) بر تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان واقعیات زمینی (نمونه‌های آموزشی) برای آن طبقه (جمع ستون) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به دست می‌آید. همچنین صحت کاربر از تقسیم تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده (بر روی قطر اصلی) بر تعداد کل پیکسل‌های آن طبقه (جمع ردیف) به دست می‌آید و خطای گماشته شده معادل آن دسته از پیکسل‌هایی است که در واقع متعلق به کلاس مورد نظر نبوده ولی طبقه‌بندی کننده آنها جز آن کلاس خاص در نظر گرفته است. خطای حذف شده

جدول ۴: ماتریس خطای تصویر TM به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال

کلاس شوری	۱-۰	۲-۱	۳-۲	۴-۳	۵-۴	۶-۵	۷-۶	۸-۷	>۸	جمع
۰-۱	۸	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۰	۰	۱۷
۱-۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲-۳	۰	۴	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۵
۳-۴	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۵
۴-۵	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱
۵-۶	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲
۶-۷	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۴	۱	۰	۸
۷-۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲
>۸	۰	۰	۱	۰	۰	۲	۴	۲	۶	۱۵
جمع	۱۰	۹	۳	۲	۴	۸	۹	۳	۷	۵۵

جدول ۵: ماتریس خطای تصویر TM به روش طبقه‌بندی حداکثر فاصله از میانگین

کلاس شوری	۱-۰	۲-۱	۳-۲	۴-۳	۵-۴	۶-۵	۷-۶	۸-۷	>۸	جمع
۰-۱	۹	۴	۲	۱	۱	۲	۱	۰	۰	۲۰
۱-۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲-۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۳-۴	۰	۲	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۴
۴-۵	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۵-۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱
۶-۷	۱	۱	۰	۰	۲	۳	۴	۱	۰	۱۲
۷-۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۱	۴
>۸	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۲	۲	۶	۱۲
جمع	۱۰	۹	۳	۲	۴	۸	۹	۳	۷	۵۵

کلاس‌های مختلف متناسب با بازتاب‌های طیفی صورت گرفت تا میزان دقت طبقه‌بندی افزایش پیدا کند. طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف شوری خاک در تحقیقات مختلف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مقایسه با روش طبقه‌بندی صحت طبقه‌بندی انجام شده را مورد تأیید قرار داده است.

### نتایج و بحث

پس از اندازه‌گیری مقادیر شوری نمونه‌های خاک و انجام پردازش‌های لازم بر روی تصویر مورد مطالعه، ابتدا ضرایب همبستگی بین باندهای مختلف در تصویر محاسبه

در محاسبه شاخص کاپا علاوه بر پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده، پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند دخالت داده می‌شوند، از این رو معیار مناسبی برای مقایسه نتایج طبقه‌بندی‌های مختلف می‌باشند (مخدوم و همکاران، ۱۳۸۷:۱۱۹). مقدار شاخص کاپا بین صفر تا یک تغییر می‌کند که هر چه به یک نزدیکتر باشد میزان درستی نقشه حاصل از طبقه‌بندی به واقعیت نزدیکتر است. با تشکیل جدول ماتریس خطا، کل منطقه به اراضی کشاورزی و غیرکشاورزی و یا اراضی بدون شوری و شور تقسیم گردید. در مرحله طبقه‌بندی و تهیه نقشه شوری، جداسازی



جدول ۶: ماتریس خطای تصویر TM به روش طبقه‌بندی متوازی‌السطوح

کلاس شوری	۱-۰	۲-۱	۳-۲	۴-۳	۵-۴	۶-۵	۷-۶	۸-۷	>۸	جمع
۰-۱	۱۰	۹	۳	۲	۴	۸	۶	۳	۶	۵۱
۱-۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۲
۲-۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳-۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴-۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵-۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶-۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
>۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
طبقه بندی نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۲
جمع	۱۰	۹	۳	۲	۴	۸	۹	۳	۷	۵۵

سه نقشه برای شوری خاک سطحی با استفاده از روش‌های مورد مطالعه به دست آمد. با توجه به اینکه یکی از مهمترین اهداف تحقیق حاضر تعیین مقادیر شوری خاک سطحی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد، لذا نمونه‌های آموزشی طوری برداشت شدند که از پراکنش مناسبی برخوردار باشند تا الگوهای طیفی کلاس‌ها به خوبی منعکس گردد. جهت اطمینان از تفکیک‌پذیری کلاس‌ها، با استفاده از نمونه‌های آموزشی تعریف شده برای هر کلاس، تفکیک‌پذیری طیفی تمامی کلاس‌ها استخراج گردید.

ارزیابی دقت نتایج آخرین بخش از مراحل یک فرآیند طبقه‌بندی است (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴: ۱۹۱). هدف از ارزیابی کمی اندازه‌گیری خطاهای نقشه می‌باشد (کونگالتون و گرین، ۲۰۰۹: ۲). در واقع صحت طبقه‌بندی مشخص نمودن تطابق بین عناصر انتخاب شده مرجع و داده‌های طبقه‌بندی شده می‌باشد، برای سنجش میزان صحت طبقه‌بندی‌های انجام شده نمونه‌های آزمایشی یکسانی به عنوان نمونه‌های مرجع برای روش طبقه‌بندی پیکسل مبنا استفاده و صحت تصاویر طبقه‌بندی شده با انتخاب نمونه‌های آزمایشی بر اساس اطلاعات زمینی به صورت ماتریس خطا استخراج گردید (جدول ۴ تا ۶). صحت تولیدکننده، صحت کاربر، خطای

گردید تا بهترین ترکیب بانندی برای ایجاد تصویر شناسایی شوند. بدین منظور باندهایی که پایین‌ترین میزان همبستگی را از نظر طیفی با یکدیگر دارند انتخاب شدند (جدول ۲). در این تصویر باندهای ۱، ۴ و ۵ به عنوان باندهای مطلوب شناسایی شده و از مجموعه این باندها برای تهیه ترکیب رنگی کاذب<sup>۱</sup> به منظور تفکیک و تشخیص طبقات مختلف شوری خاک با توجه به بازتاب‌های مختلف بر اساس روش طبقه‌بندی پیکسل مبنا به منظور اعمال دقت لازم برای مطابقت آن با مشاهدات صحرائی و تهیه نقشه شوری خاک سطحی اقدام شد.

پس از تعیین ضریب همبستگی بین باندها، نمونه‌های آموزشی به منظور تعیین تفکیک‌پذیری طیفی کلاس‌ها بر روی تصویر مورد مطالعه جایگذاری شدند. تفکیک‌پذیری طیفی نمونه‌های آموزشی برای تصویر TM در جدول ۳ تنظیم شده است. نتایج نشان می‌دهد در تصویر TM کلاس شوری ۱ با ۹ دارای تفکیک‌پذیری بیشتری بوده که علت آن را می‌توان به بازتاب بیشتر اراضی دارای شوری زیاد نسبت داد. در طبقه‌بندی پیکسل مبنا تعداد ۹ کلاس مربوط به شوری خاک سطحی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصویر سنجنده TM طبقه‌بندی شد که در نهایت تعداد



جدول ۷: صحت تولیدکننده و کاربر، خطای حذف شده و خطای گماشته شده طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال، تصویر TM

کلاس شوری	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر (%)	خطای گماشته شده (%)	خطای حذف شده (%)
۰-۱	۸۰	۴۷/۰۶	۵۲/۹۴	۲۰
۱-۲	۰	۰	۰	۱۰۰
۲-۳	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۳-۴	۵۰	۲۰	۸۰	۵۰
۴-۵	۲۵	۱۰۰	۰	۷۵
۵-۶	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۶-۷	۴۴	۵۰	۵۰	۵۵/۵۶
۷-۸	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
>۸	۸۵/۷۱	۴۰	۶۰	۱۴/۲۹

جدول ۸: صحت تولیدکننده و کاربر، خطای حذف شده و گماشته شده طبقه‌بندی کننده حداقل فاصله از میانگین، تصویر TM

کلاس شوری	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر (%)	خطای گماشته شده (%)	خطای حذف شده (%)
۰-۱	۹۰	۴۵	۵۵	۱۰
۱-۲	۰	۰	۰	۱۰۰
۲-۳	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۳-۴	۵۰	۲۵	۷۵	۵۰
۴-۵	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۵-۶	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۶-۷	۴۴/۴۴	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۵۵/۵۶
۷-۸	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
>۸	۸۵/۷۱	۵۰	۵۰	۱۴/۲۹

با قدرت تفکیک بالاتر همراه با نمونه‌برداری با فواصل کمتر که بتواند شوری را با دقت بیشتری برآورد نماید می‌تواند محور مطالعات آتی باشد. همچنین می‌توان گفت که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به هنگام یا به عبارتی دیگر همزمانی ثبت اطلاعات ماهواره‌ای و عملیات میدانی می‌تواند بازگوکننده خصوصیات طیفی واقعی پدیده در موقع ثبت اطلاعات و ارائه نتایج دقیق‌تر شود. همچنین با نگاهی به شاخص کاپای به دست آمده می‌توان دریافت که همبستگی بین صحت کلی و این شاخص مثبت می‌باشد، چراکه با افزایش صحت کلی، شاخص کاپای نیز آهنگ افزایشی دارد. روش طبقه‌بندی متوازی السطوح دارای ضریب کاپای پایینی می‌باشد که نشان دهنده ضعف این روش در

حذف شده، خطای گماشته شده (جداول ۷ تا ۹) و همچنین صحت کلی و شاخص کاپای با روش‌های طبقه‌بندی کننده بر روی باندهای تصاویر ماهواره‌ای منتخب نشان داده شده‌اند (جدول ۱۰).

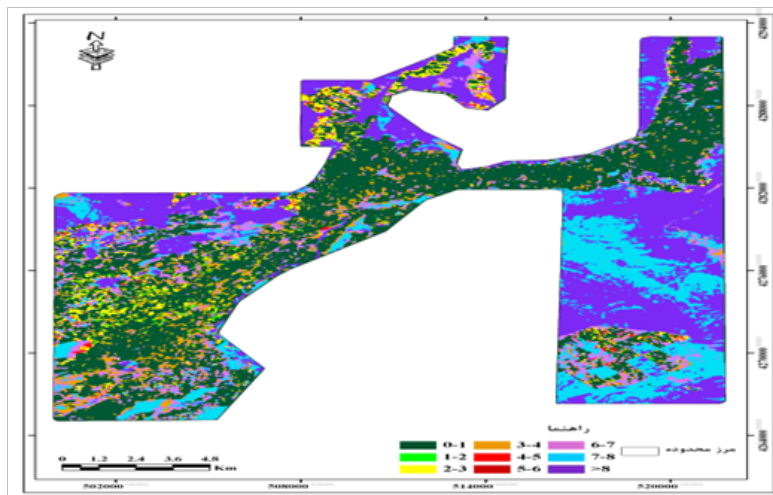
با توجه به نتایج به دست آمده از صحت روش‌های طبقه‌بندی ملاحظه می‌شود که در هر ۳ روش طبقه‌بندی به استثنای روش طبقه‌بندی متوازی السطوح، تصویر سنجنده TM دارای مقدار صحت کلی بالایی می‌باشد به طوریکه مقدار صحت کلی در روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (۳۶/۳۶٪) می‌باشد. استفاده از داده‌های دورسنجی TM تنها توانسته است ۳۶/۳۶٪ از طبقات شوری سطحی خاک را توجیه نماید. بنابراین، استفاده از داده‌های سنجنده‌های دیگر

جدول ۹: صحت تولیدکننده و کاربر، خطای حذف شده و گماشته شده طبقه‌بندی کننده متوازی السطوح، تصویر TM

کلاس شوری	صحت تولید کننده (%)	صحت کاربر (%)	خطای گماشته شده (%)	خطای حذف شده (%)
۰-۱	۱۰۰	۱۹/۶۱	۸۰/۳۹	۰
۱-۲	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
۲-۳	۰	۰	۰	۱۰۰
۳-۴	۰	۰	۰	۱۰۰
۴-۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۵-۶	۰	۰	۰	۱۰۰
۶-۷	۰	۰	۰	۱۰۰
۷-۸	۰	۰	۰	۱۰۰
>۸	۰	۰	۰	۱۰۰

جدول ۱۰: صحت کلی و شاخص کاپای روش‌های طبقه‌بندی

تصویر	ترکیبات باندهی RGB	روش طبقه‌بندی	صحت کلی (%)	شاخص کاپا
TM	۱۴۵	حداکثر احتمال	۳۶/۳۶	۰/۲۶
		حداقل فاصله از میانگین	۳۶/۳۶	۰/۲۵
		متوازی السطوح	۱۸/۱۸	۰/۰۰۸

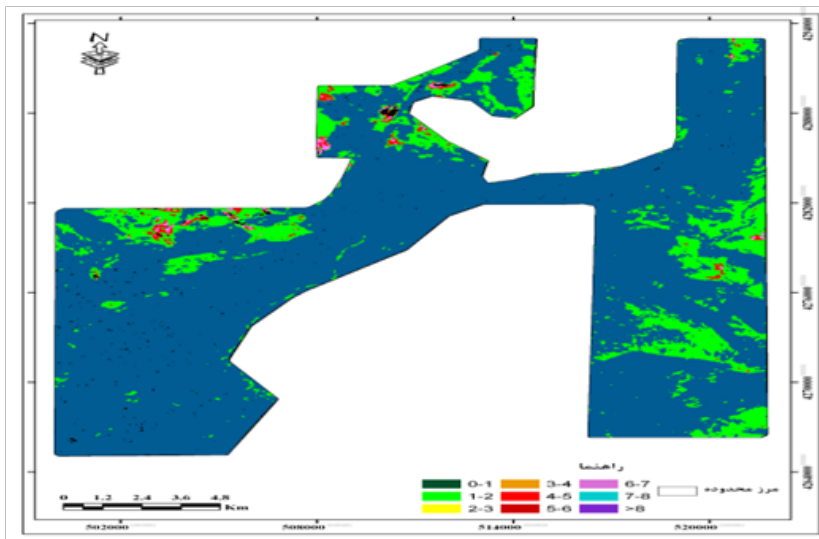


نگاره ۲: پراکنش شوری خاک سطحی به روش طبقه‌بندی متوازی السطوح

۲ الی ۴ نشان داده شده است که با توجه به شاخص کاپای محاسبه شده برای روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، نقشه مربوطه (نگاره ۴) به عنوان دقیق‌ترین نقشه شوری خاک منطقه ارائه می‌شود.

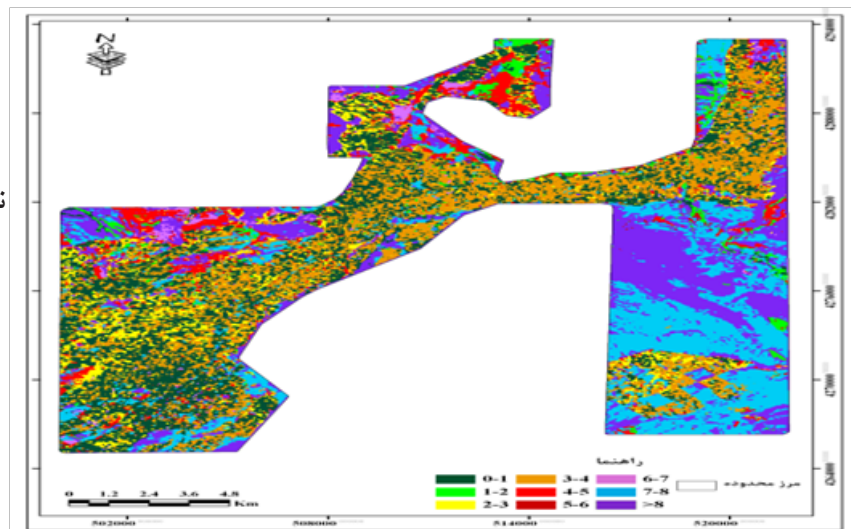
مقایسه نتایج حاصل از تصویر ماهواره‌ای با بررسی‌های میدانی نشان داد که مناطقی با شوری حداکثر دارای پوشش گیاهی بسیار پراکنده و عموماً گیاهان شورپسند هستند و

طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای است. همانطوری که در نقشه نمونه تولید شده مشاهده می‌شود قسمت‌های جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه دارای مشکل شدید شوری بوده و به خوبی از سایر مناطق جدا شده است. شاخص کاپا به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای ۲۶٪ بوده که بیانگر دقت بیشتر روش مزبور در مقایسه با دو روش دیگر می‌باشد. نقشه‌های تهیه شده با هر سه روش طبقه‌بندی در نگاره‌های



نگاره ۳: پراکنش شوری خاک سطحی به روش طبقه بندی حداقل فاصله از میانگین

نگاره ۴: پراکنش شوری خاک سطحی به روش طبقه بندی حداکثر احتمال



اقلیم، کاربری، میزان تغییرات شوری و زمین شناسی از یک سنجنده خاص، باندهای متفاوتی می توانند برای پیش بینی شوری خاک سطحی مناسب باشند. در واقع شرایط طبیعی گوناگونی که بر خاک های هر ناحیه ای حکم فرماست، باعث می گردد که ترکیب های مختلفی از نمک ها به وجود آید و چون هر نوع نمک، ویژگی طیفی مشخصی در طول طیف الکترومغناطیس و از جمله محدوده باندهای TM از خود نشان می دهد، بنابراین باندهای مشخصی را نیز تحت تأثیر قرار می دهد.

منطقه مورد مطالعه نیز از این قانون مستثنی نبوده و به لحاظ نوع و درصد نمکی که دارد، بر باندهای ۱۴۵ سنجنده TM بیشتر مؤثر بوده و ترکیبی از این باندها

در محدوده هایی که دارای حداقل شوری می باشند، پوشش گیاهی و کشت محصولات کشاورزی به صورت متراکم است. عبدالحمید (۱۹۹۲) در مطالعه خاک های شور نواحی بدون پوشش گیاهی شمال دلتای نیل نیز نشان داد که باندهای ۱ تا ۵ و ۷ سنجنده TM، همبستگی مثبت و بالایی با مقادیر شوری خاک ها دارد و این موضوع قبلاً توسط الحسون (۲۰۱۲) و رخا و همکاران (۲۰۱۱) نیز به اثبات رسیده است.

### نتیجه گیری

مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج سایر مطالعات نشان می دهد که بسته به شرایط فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و

- توانسته‌اند شوری خاک‌های منطقه را تا حدودی برآورد نمایند. به منظور مقابله با شوری ثانویه و جلوگیری از روند شوری در محدوده مورد مطالعه، با مدیریت صحیح و تولید علمی محصولات کشاورزی مانند استفاده از شیوه‌های آبیاری نوین و عدم استفاده از آب‌های شور جهت آبیاری اراضی می‌توان شوری ثانویه را به طرز مؤثری کنترل کرد. در انتخاب تصاویر ماهواره‌ای و برداشت نمونه‌ها سعی شود گرم‌ترین ماه سال انتخاب، تا حداکثر تبخیر از سطح خاک وجود داشته باشد، که به دلیل تجمع بیش از حد املاح در سطح خاک، خاک‌های شور به طور واضح بر روی تصویر ماهواره‌ای قابل تفکیک از سایر خاک‌ها شوند. حتی‌الامکان سعی شود که زمان نمونه‌برداری مطابق با زمان تصویربرداری گردد، چرا که در غیر این صورت تغییر در زاویه تابش، تغییرات جوی و ... باعث ایجاد عدم تطابق بین پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای و مقادیر نمونه‌های برداشت شده می‌شود. تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای بایستی بر اساس اطلاعات عملیات میدانی یا بازدیدهای صحرائی به انجام برسد لذا توجه به این موضوع لازم است که عملیات میدانی باید دقیقاً با زمان تصاویر هماهنگ باشد، که این خود یکی از محدودیت‌های کاربرد تصاویر ماهواره‌ای است. نتایج دیگر محققین در زمینه مطالعات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره لندست بسیار کلی بوده و تقریباً تمام باندهای TM را برای این گونه مطالعات مناسب گزارش نموده‌اند.
- تبریز، ۱۹۲ صفحه.
۳. زبیری، مجد؛ محمود و علیرضا؛ (۱۳۸۲)؛ آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی (اطلاعات ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، فضایی)، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۰ صفحه.
۴. جعفری گرزین، بهنوش؛ (۱۳۸۱)؛ بررسی قابلیت استفاده از داده‌های رقومى ETM+ ماهواره لندست در تفکیک اراضی شور، مطالعه موردی: دشت گرگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر عادل سپهری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۵. چیت‌ساز، وحید؛ (۱۳۷۸)؛ بررسی امکان تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک در منطقه شرق اصفهان با استفاده از داده‌های رقومى TM، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر سید جمال الدین خواجه الدین، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. عابدی‌نام، عباس؛ (۱۳۸۳)؛ بررسی تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی.
۷. عبدی، حاجی قادری؛ پرویز و طه؛ (۱۳۸۴)؛ شناسایی و ارزیابی اراضی جنگلی با استفاده از RS-GIS در استان زنجان، همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
۸. علوی‌پناه، سیدکاظم؛ (۱۳۸۵)؛ کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه.
۹. فاطمی، رضایی؛ سیدباقر و یوسف؛ (۱۳۸۴)؛ مبانی سنجش از دور، چاپ اول، انتشارات آزاده، تهران، ۲۶۸ صفحه.
۱۰. محمودزاده، حسن؛ (۱۳۸۳)؛ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه در محیط GIS با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر علی اکبر رسولی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
۱۱. مخدوم، درویش‌صفت، جعفرزاده، مخدوم؛ مجید،

## منابع و مآخذ

۱. دشتکیان، پاک پرور، عبدلهی؛ کاظم، مجتبی و جلال؛ (۱۳۸۷)؛ بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، استان یزد، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران.
۲. رسولی، محمودزاده؛ علی اکبر و حسن؛ (۱۳۸۹)؛ مبانی سنجش از دور دانش پایه، چاپ اول، انتشارات علمیران،

21-Richards, J.A., 1995, Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction ,2nd , Springer.387-548.

22-Saxsena, R.K. Verma, K.S.R. Srivastava, J.Y. Patel, N.K. Nasre, R.A. Barthwal, A.K. Shiwalkar, A.A. and Londhe, S.L., 2003,Spectral reflectance properties of some dominant soils occurring on different altitudinal zones in Uttaranchal Himalayas. Agropedology, 13: 2. 35-43.

علی اصغر، هادی و علیرضا؛ (۱۳۸۶)؛ ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۰ صفحه.  
۱۲. نایی جنوری، روزبه؛ (۱۳۸۰)؛ بررسی امکان تشخیص مناطق شور و گچی دشت کاشان با استفاده از داده‌های TM، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

13-Abdel Hamid, M., 1992, Detection of saline soil with land sat TM multispectral data from bare and vegetated areas, Egyptian Journal of Soil Science, vol. 32.

14- Al-Hassoun, S.A., 2012, Remote Sensing of Soil Salinity in an Arid Areas in Saudi Arabia, International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 10(2): 11-20

15- Congalton, R.G. and Green, K., 2009, Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, p.183.

16- Farifteh, J. and Farshad, A., 2002, Remote sensing and modeling of topsoil properties, a clue for assessing land degrading, p 865 17th-World-Congress-of-Soil-Science-Bangkok-Thailand-14-20-August.

17- Goldshleger, N. Ben-Dor, E. Benyamini, Y. and Agassi, M., 2004, Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel. Soil Science, 169: 10. 677-687.

18- Kalara, N.K. and joshi, C.D., 1996, Potentially of land sat, spot and IRS satellite imagery for recognition of salt affected soils in Indian arid zone, INT. Remote-sensing, VOL. 17, NO.1 5,PP .3001-3014.

19- Rekha, S. Jenita, R. Mrunalini, B. Kannan, V. and Nethaji Mariappan, V.E., 2011, Development and Demonstration of Satellite Image Salinity Analyzer-A Tool for Salinity Mapping, International Journal on Applied Bioengineering, 5 (1): 25-29.

20- Roades, J.D., 1982, "Soluble salts", Pp: 167-179, In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Methodes, 2nd ed, Agron,Monogr, 9, ASA and SSSA, Madison, WI.

