دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران (مهندسی و مدیریت منابع آب)

پایش تغییرات مکانی–زمانی آلبدوی سطح آب در دریاچه‌های شور و تحلیل ارتباط آن با متغیرهای کیفیت آب (مطالعه موردی دریاچه ارومیه)

دانشجو

امیر درزی

استاد راهنما

دکتر سمیه سیما

اسفند ۱۳۹۹

همیشه بیاد خواهم داشت که اگر با آرامش و امنیتی دلنشین در

کانون گرم خانواده روزها را سپری می‌سازم، همه را مدیون خون سرخ

شما هستم که بر این خاک مقدس جاری گشت و سرخی اش را لاله

ها تا ابدیت به یادگار خواهند داشت

تقدیم به تمام شهدای ایران زمین ...

تشکر و قدردانی

هر کس به خدا توکل کند، خداوند هزینه او را کفایت می‌کند و از جایی که گمان نمی‌برد به او روزی می دهد.
(حضرت محمد (ص))

اکنون که این پژوهش به پایان رسیده است، از خداوند بزرگ و مهربان برای تمامی الطاف و نعمات‌هایش در تمام لحظات عمرم تشکر می‌کنم و امیدوارم این بنده کمترین را عاقبت به خیر کند.

انجام این مطالعه بدون لطف و کمک استاد گرانقدر سرکار خانم دکتر سمیه سیما امکان‌پذیر نبود. از ایشان به خاطر تمام کمک‌ها، مشاوره‌ها و سعه صدرشان در مدت زمان انجام این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از اساتید بزرگوار دکتر سید علی اکبر صالحی، دکتر مسعود قدسیان و دکتر فرزین نصیری که در مدت تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد از رهنمودها و دانش ایشان استفاده بردم تشکر و قدردانی می‌کنم. از تمامی دوستان و همکلاسی‌هایم که در مدت تحصیل و تدوین پایان‌نامه با کمک‌های دلسوزانه باعث دلگرمی من بودند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

و در پایان این پژوهش را به **پدر و مادر عزیز و مهربانم** که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند، تقدیم می‌کنم و از زحماتشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

"این پایان‌نامه با حمایت ستاد احیای دریاچه ارومیه انجام گرفته است"

چکیده

آلبدوی طول موج کوتاه سطح یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی بیلان انرژی دریاچه‌ها است و بر روی میزان تبخیر از سطح و ظرفیت نگهداشت حرارتی دریاچه اثرگذار می‌باشد که این امر اکوسیستم دریاچه و اقلیم محلی منطقه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات زمانی ـمکانی آلبدوی طول موج کوتاه در محدوده‌های پهنه آبی، نمکی و سواحل بایر دریاچه ارومیه و ارتباط آلبدوی طول موج کوتاه سطح آب با تراز دریاچه و متغیرهای کیفیت انجام شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های ماهانه تصاویر Landsat و شاخص‌های اختلاف نرمال شده آب (NDWI) و شوری (SI) مرز پهنه‌های آبی، نمکی و نواحی بایر استخراج شده و سپس سری زمانی ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ با استفاده از محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (MCD43A3 V006) بررسی شده است. نتایج اعتبارسنجی محصول طول موج کوتاه سنجنده MODIS با داده‌های روزانه آلبدوی طول موج کوتاه اندازه‌گیری شده سطح آب در دو ایستگاه ناحیه شمال و محدوده میانگذر دریاچه ارومیه نشان داد که به طور کلی داده‌های MODIS، آلبدوی طول موج کوتاه را دست کم برآورد می‌کند. این اختلاف در ماه‌های نوامبر تا ژانویه بیشترین و در ماه‌های می تا سپتامبر به کمترین می‌رسد. نتایج تحلیل روند سری زمانی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه نشان می‌دهد که با کاهش تراز دریاچه، مقدار آلبدوی طول موج کوتاه سطح افزایش یافته است (از ۰,۰۰۸ در سال ۲۰۰۱ تا ۰,۱۳ در سال ۲۰۱۷). همچنین متوسط آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب در کل دوره برابر ۰,۰۵۱ است. برای بررسی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب و تحلیل روند، سه دوره سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۷ (بدون روند)، ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ (روند صعودی) و ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۰ (بدون روند) مورد بررسی قرار گرفت. ازین رو، افزایش ۴ برابری آلبدوی طول موج کوتاه در مرز اکولوژیک طی سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۳ دریاچه عمدتا ناشی از افزایش آلبدوی سطح پهنه آب است. آلبدوی طول موج کوتاه کل تابع آلبدوی طول موج کوتاه بخش جنوبی است. همچنین، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Landsat 8، به توسعه رابطه خطی برای آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه بر مبنای مقادیر بازتاب سطحی لایه‌ها پرداخته شد. نتایج اعتبارسنجی حاکی از دقت مناسب (RMSE=۰,۰۱۸، R^2=۰,۶۹) مدل توسعه داده شده در مقیاس ظهر محلی می‌باشد. بررسی همبستگی آلبدوی طول موج کوتاه (محصول سنجنده MODIS و رابطه حاصل از تصاویر Landsat 8) سطح آب دریاچه ارومیه با متغیرهای کیفیت آب نظیر TSS و TDS و دمای آب نشان داد که رابطه معنادار معکوسی با TDS و دما و رابطه مستقیم با TSS وجود دارد. ازین رو با افزایش آلبدوی سطح دریاچه، دمای سطح، تبخیر و ظرفیت نگهداشت حرارتی دریاچه کاهش پیدا کرده و دریاچه نمی‌تواند نقش خود در تعدیل و تنظیم اقلیم منطقه را به درستی ایفا کند. نتایج این پژوهش حاکی از عدم کارایی داده‌های محصول آلبدوی طول موج کوتاه سطح MODIS برای پایش آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه ارومیه (به علت عمق کم و

انعکاس رسوبات بستر) است. نتایج این پژوهش می‌تواند در بهبود اعتبارسنجی و عملکرد محصولات آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS (MCD43A3) در نسخه‌های بعدی کمک کند. همچنین، با توجه به اثرگذاری مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه ارومیه بر روی نرخ تبخیر، بررسی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه می‌تواند در تحلیل بهتر تبخیر از سطح دریاچه مؤثر باشد.

کلید واژه‌ها: تابش طول موج کوتاه، دریاچه شور، اعتبارسنجی، تراز آب، TDS، TSS.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱ ..... ۱
مقدمه و کلیات
۱-۱ ضرورت مطالعه ۱
۱-۲ اهداف اصلی تحقیق ۲
۱-۳ اهداف فرعی تحقیق ۲
۱-۴ سوالات تحقیق ۲
۱-۵ فرضیه‌های تحقیق ۳
۱-۶ ساختار پایان نامه ۳
فصل ۲ ..... ۴
مرور ادبیات فنی
۲-۱ استخراج پهنه آب ۴
۲-۲ استخراج پهنه نمکی ۹
۲-۳ آلبدو ۱۰
۲-۳-۱ روش‌های برآورد آلبدوی طول موج کوتاه سطح ۱۰
۲-۳-۱-۱ اندازه‌گیری میدانی ۱۰
۲-۳-۱-۲ داده‌های ماهواره‌ای (سنجش از دور) ۱۱
۲-۳-۲ عوامل مؤثر در آلبدوی طول موج کوتاه ۱۲
۲-۳-۳ پایش آلبدوی طول موج کوتاه ۱۳
۲-۳-۴ بررسی کیفیت کیفیت تصاویر آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS ۱۳
۲-۳-۵ مرور ادبیات پایش آلبدوی طول موج کوتاه ۱۴
۲-۳-۵-۱ آلبدوی طول موج کوتاه سطح زمین ۱۴
۲-۳-۵-۲ پایش آلبدوی طول موج کوتاه دریاچه‌های شور ۱۷
۲-۳-۵-۳ پایش آلبدوی طول موج کوتاه دریاچه ارومیه ۱۸
۲-۳-۶ اعتبارسنجی آلبدوی طول موج کوتاه ۱۹
۲-۴ اثر متغیرهای کیفیت آب بر رفتار طیفی ۱۹
۲-۴-۱ اثر غلظت کلروفیل بر رفتار طیفی آب ۱۹
۲-۴-۲ اثر غلظت TSS بر رفتار طیفی آب ۲۰

۳-۴-۲ اثر غلظت TDS بر رفتار طیفی آب ۲۱
فصل ۳ ..... ۲۳
منطقه مورد مطالعه
۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ بسیمتری و روابط تراز-سطح-حجم ۲۵
۳-۳ ایستگاه‌های برداشت داده‌های کیفیت آب ۲۷
۳-۴ سری زمانی داده‌های کیفیت موجود ۲۷
فصل ۴ ..... ۳۰
روش کار
۴-۱ چارچوب و رویکرد حل مسئله ۳۰
۴-۲ شناسایی و جداسازی پهنه آب ۳۱
۴-۲-۱ انتخاب شاخص و حدآستانه مطلوب ۳۱
۴-۲-۲ تهیه تصاویر Landsat و محاسبه شاخص NDWI ۳۳
۴-۳ شناسایی و جداسازی پهنه نمکی ۳۴
۴-۴ شناسایی و جداسازی پهنه خاکی ۳۴
۴-۵ پایش آلبدوی طول موج کوتاه دریاچه ۳۴
۴-۵-۱ داده‌های ماهواره‌ای MODIS ۳۴
۴-۵-۲ داده‌های ماهواره‌ای Landsat 8 ..... ۳۵
۴-۵-۳ داده‌های زمینی آلبدوی طول موج کوتاه ۳۵
۴-۶ فرآیند اعتبارسنجی آلبدوی طول موج کوتاه ۳۶
۴-۶-۱ پیش پردازش داده‌های زمینی ۳۷
۴-۶-۲ محاسبه آلبدوی روزانه با استفاده از آلبدوی لحظه‌ای داده‌های زمینی ۳۷
۴-۶-۳ پیش پردازش و تهیه تصاویر MODIS برای انجام اعتبارسنجی ۳۸
۴-۷ محاسبه آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه با استفاده از تصاویر Landsat ۳۹
۴-۸ آلبدوی طول موج کوتاه محدوده اکولوژیک دریاچه ارومیه با استفاده از محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS ۴۱
۴-۹ فرآیند اعتبارسنجی محصول دمای سطح MODIS (MOD11A1) ۴۱
۴-۱۰ حذف اثر میانگذر ۴۲
۴-۱۱ نرم افزارهای مورد استفاده ۴۲
فصل ۵ ..... ۴۳
نتایج
۵-۱ استخراج مساحت پهنه آب دریاچه ارومیه ۴۳
۵-۱-۱ انتخاب حدآستانه ۴۳
۵-۱-۲ پایش سطح آب با استفاده از شاخص NDWI ۴۶
۵-۱-۲-۱ اعتبارسنجی مساحت پهنه آب دریاچه ارومیه با مطالعات پیشین ۵۱

۵-۲-۱-۲ اعتبارسنجی با روابط تراز-سطح-حجم و نقشه بسیمتری ۵۲
۵-۲ استخراج مساحت پهنه نمکی دریاچه ارومیه ۵۲
۵-۲-۱ اعتبارسنجی مساحت پهنه نمکی دریاچه ارومیه ۵۴
۵-۳ استخراج مساحت پهنه خاکی دریاچه ارومیه ۵۵
۵-۴ اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS ۵۹
۵-۴-۱ تغییرات ساعتی آلبدوی زمینی ۵۹
۵-۴-۲ ارزیابی نتایج اعتبارسنجی ۶۰
۵-۵ سری زمانی آلبدوی طول موج کوتاه محصول سنجنده MODIS ۶۷
۵-۵-۱ تحلیل روند و الگوی مکانی تغییرات آلبدوی ماهانه دریاچه ارومیه ۶۷
۵-۵-۲ محاسبه آلبدوی طول موج کوتاه پهنه نمکی و خاک بایر سواحل خشکیده دریاچه ارومیه ۷۳
۵-۵-۳ تغییرات زمانی آلبدوی طول موج کوتاه محدوده اکولوژیک دریاچه ارومیه ۷۴
۵-۶ آلبدوی طول موج کوتاه تصاویر Landsat ۷۵
۵-۶-۱ محاسبه آلبدوی طول موج کوتاه ۷۵
۵-۶-۲ سری زمانی آلبدوی طول موج کوتاه Landsat ۷۸
۵-۷ مقایسه آلبدوی طول موج کوتاه MODIS و Landsat ۸۲
۵-۸ اعتبارسنجی محصول دمای سطح سنجنده MODIS ۸۳
۵-۹ بررسی ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه (MODIS) و متغیرهای کیفیت آب ۸۵
۵-۱۰ بررسی ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه (Landsat) و متغیرهای کیفیت آب ۸۸
۵-۱۱ تحلیل نتایج ۹۱
۵-۱۲ محدودیت‌های پژوهش ۹۳
فصل ۶ ..... ۹۴
جمع‌بندی و پیشنهادات
۶-۱ جمع‌بندی ۹۴
۶-۲ نتایج ۹۴
۶-۳ پیشنهادها ۹۷
مراجع ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱) آلبدوسنج ۱۱
شکل (۲-۲) ارتباط بین بازتاب و طول موج برای غلظت‌های مختلف کلروفیل ۲۰
شکل (۳-۱) موقعیت مکانی دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های پایش ۲۴
شکل (۳-۲) نقشه بسیمتری دریاچه ارومیه ۲۶
شکل (۳-۳) نمودار تراز-حجم و تراز-سطح دریاچه ارومیه بر اساس نقشه بسیمتری ۲۶
شکل (۳-۴) سری زمانی ماهانه تغییرات TDS دریاچه ارومیه در ایستگاه مرکزی نمونه‌برداری شرکت آب منطقه آذربایجان شرقی طی سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۷ ۲۸
شکل (۳-۵) سری زمانی تغییرات متغیرهای کیفیت آب دریاچه ارومیه در سال ۹۵-۱۳۹۴ ۲۹
شکل (۴-۱) مراحل اصلی انجام تحقیق ۳۱
شکل (۴-۲) هیستوگرام شاخص NDWI در محدوده مرز اکولوژیک دریاچه ارومیه در ماه ژوئن ۳۲
شکل (۴-۳) هیستوگرام شاخص NDVI در محدوده مرز اکولوژیک دریاچه ارومیه در ماه ژوئن ۳۳
شکل (۴-۴) موقعیت میانگذر و ایستگاه‌های دریاچه ارومیه a) ایستگاه DWP، b) ایستگاه SWP، c) پیرانومتر (Kipp & Zonen) ۳۶
شکل (۴-۵) سری زمانی مقادیر زاویه زنیت خورشید تصاویر سنجنده MODIS در ایستگاه‌های پایش برخط دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ ۳۹
شکل (۵-۱) مقایسه پهنه آب استخراج شده دریاچه ارومیه به وسیله حد آستانه‌گذاری شاخص‌های NDWI، NDVI، نقشه بسیمتری و طبقه‌بندی بر اساس روش بیشترین شباهت ۴۴
شکل (۵-۲) مقایسه پهنه آب استخراج شده به وسیله شاخص‌های NDWI (با حدآستانه ۰,۲)، NDVI (با حد آستانه صفر) و تصاویر ترکیب رنگ کاذب Landsat (R G B: ۵ ۶ ۴) ۴۵
شکل (۵-۳) مقایسه پهنه آب استخراج شده به وسیله شاخص‌های NDWI (با حدآستانه ۰,۲) و NDVI (با حد آستانه صفر) ۴۶
شکل (۵-۴) سری زمانی تغییرات ماهانه مساحت حاصل از شاخص NDWI و تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ۴۸
شکل (۵-۵) ارتباط بین مساحت بدست آمده از شاخص NDWI و تراز سطح ۴۹
شکل (۵-۶) سری زمانی تغییرات ماهانه مساحت دریاچه ارومیه در بخش‌های شمالی، جنوبی و کل دریاچه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ۵۰
شکل (۵-۷) ارتباط بین مقادیر مساحت (km^2) بدست آمده از روش NDWI و مساحت گزارش شده در مطالعات پیشین ۵۱
شکل (۵-۸) ارتباط بین مقادیر مساحت بدست آمده از روش NDWI و مساحت حاصل از روابط بسیمتری ۵۲
شکل (۵-۹) سری زمانی تغییرات ماهانه مساحت پهنه نمکی و تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ .. ۵۳

شکل (۵-۱۰) ارتباط بین مقادیر مساحت بدست آمده از شاخص شوری و مساحت بدست آمده از مطالعه Ghale و همکاران (۲۰۱۴) ۵۵
شکل (۵-۱۱) ارتباط بین مساحت پهنه خاک و تراز دریاچه ارومیه ۵۶
شکل (۵-۱۲) سری زمانی تغییرات ماهانه مساحت پهنه خاکی و تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ۵۷
شکل (۵-۱۳) ارتباط بین مساحت پهنه‌های آب، خاک و نمک طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۵۸
شکل (۵-۱۴) سری زمانی سهم مساحت پهنه نمک و خاک در سواحل خشک شده دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۵۸
شکل (۵-۱۵) تغییرات روزانه تابش ورودی، خالص و آلبدو بر اساس داده‌های زمینی ۵۹
شکل (۵-۱۶) سری زمانی آلبدوی طول موج کوتاه روزانه MODIS و آلبدوی ظهر محلی داده‌های زمینی در ایستگاه مرکزی دریاچه ارومیه (SWP) طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ ..... ۶۲
شکل (۵-۱۷) سری زمانی آلبدوی طول موج کوتاه روزانه MODIS و آلبدوی ظهر محلی داده‌های زمینی در ایستگاه شمالی دریاچه ارومیه (DWP) طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ ..... ۶۳
شکل (۵-۱۸) سری زمانی متوسط آلبدوی طول موج کوتاه ماهانه بخش شمالی، جنوبی و پهنه آب دریاچه ارومیه به همراه تراز آب طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۷۰
شکل (۵-۱۹) ارتباط بین متوسط ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه و تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۷۱
شکل (۵-۲۰) تغییرات مکانی ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۸ ..... ۷۱
شکل (۵-۲۱) تغییرات مکانی ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۷ ..... ۷۲
شکل (۵-۲۲) سری زمانی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه و تراز در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر ۷۲
شکل (۵-۲۳) سری زمانی تغییرات متوسط ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه MODIS و مساحت پهنه نمک طی سال های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۷۳
شکل (۵-۲۴) سری زمانی تغییرات متوسط ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه MODIS و مساحت پهنه خاک طی سال های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ ..... ۷۴
شکل (۵-۲۵) سری زمانی متوسط تغییرات ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه در محدوده مرز اکولوژیک دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ با استفاده از محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS ۷۵
شکل (۵-۲۶) اعتبارسنجی رابطه آلبدوی حاصل از داده‌های روزانه با داده‌های آلبدوی طول موج کوتاه اندازه‌گیری شده در هر دو ایستگاه پایش برخط ۷۶
شکل (۵-۲۷) اعتبارسنجی رابطه آلبدوی حاصل از داده‌های ظهر محلی با داده‌های آلبدوی طول موج کوتاه اندازه‌گیری شده در هر دو ایستگاه پایش برخط ۷۷
شکل (۵-۲۸) اعتبارسنجی رابطه آلبدوی حاصل از داده‌های زمانگذر ماهواره با داده‌های آلبدوی طول موج کوتاه اندازه گیری شده در هر دو ایستگاه پایش برخط ۷۷
شکل (۵-۲۹) سری زمانی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه بر اساس تصاویر Landsat طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۰ و بر اساس رابطه روزانه ۷۹
شکل (۵-۳۰) سری زمانی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه بر اساس تصاویر Landsat طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۰ و بر اساس رابطه ظهر محلی ۸۰
شکل (۵-۳۱) تغییرات زمانی-مکانی ماهانه آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر Landsat ۸۱

شکل (۵-۳۲) بررسی ارتباط بین مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه تصاویر Landsat و تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۰ ..... ۸۲
شکل (۵-۳۳) ارتباط بین مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آب دریاچه ارومیه ناشی از تصاویر Landsat و MODIS ۸۳
شکل (۵-۳۴) سری زمانی داده‌های دمای سطح سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در ایستگاه SWP طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ ..... ۸۴
شکل (۵-۳۵) سری زمانی داده‌های دمای سطح سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در ایستگاه DWP طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹ ..... ۸۴
شکل (۵-۳۶) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه و TSS در ایستگاه‌های U1 تا U4 طی سال‌های ۹۴-۹۵ ..... ۸۷
شکل (۵-۳۷) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه و TDS طی سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۷ ..... ۸۷
شکل (۵-۳۸) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه و دمای سطح دریاچه ارومیه در ایستگاه‌های U1 الی U4 ..... ۸۹
شکل (۵-۳۹) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه (حاصل از تصاویر Landsat) و دمای سطح دریاچه ارومیه (محصول سنجنده MODIS) در ایستگاه SWP طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۰ ..... ۹۰
شکل (۵-۴۰) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه (حاصل از تصاویر Landsat) و دمای سطح دریاچه ارومیه (محصول سنجنده MODIS) در ایستگاه DWP طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۰ ..... ۹۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه استخراج پهنه آب دریاچه‌ها..... ۶
جدول (۲-۲) لیست ماه‌های مورد بررسی در مطالعه Ghale و همکاران ۷
جدول (۲-۳) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه استخراج پهنه آب دریاچه ارومیه..... ۸
جدول (۲-۴) شاخص‌های تفکیک پهنه نمکی در مطالعات مختلف ۹
جدول (۲-۵) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در رابطه با پایش آلبدوی طول موج کوتاه سطح زمین ۱۶
جدول (۲-۶) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در رابطه با پایش آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه‌های شور.. ۱۷
جدول (۲-۷) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در رابطه با پایش آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه ارومیه ۱۸
جدول (۲-۸) خلاصه مطالعات صورت گرفته با استفاده از روش‌های سنجش از دور و آزمایشگاهی در رابطه با متغیرهای کیفیت TDS، کلروفیل و TSS..... ۲۲
جدول (۳-۱) لیست ایستگاه‌های پایش کیفیت دریاچه ارومیه به همراه علاوت اختصاری و مختصات جغرافیایی ۲۷
جدول (۴-۱) تعداد داده‌های زمینی و ماهواره‌ای موجود در هر ایستگاه..... ۴۰
جدول (۴-۲) روابط توسعه داده شده برای بدست آوردن آلبدوی طول موج کوتاه بر اساس مقادیر بازتاب در محدوده طول موج کوتاه..... ۴۱
جدول (۵-۱) نتایج تحلیل روند مساحت پهنه آب دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون غیرپارامتریک روش من-کندال ۴۹
جدول (۵-۲) خلاصه نتایج تحلیل روند مساحت پهنه نمکی اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون غیرپارامتریک روش من-کندال..... ۵۴
جدول (۵-۳) خلاصه نتایج تحلیل روند مساحت پهنه خاک بایر در سواحل خشکیده اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون غیرپارمتریک روش من-کندال..... ۵۶
جدول (۵-۴) خلاصه نتایج اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با داده‌های زمینی و مقادیر شاخص‌های خطا..... ۶۱
جدول (۵-۵) نتایج اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با مقادیر آلبدوی زمینی روزانه در ایستگاه SWP..... ۶۴
جدول (۵-۶) نتایج اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با داده‌های زمینی (ظهر محلی) ماهانه در ایستگاه‌های پایش بر خط..... ۶۵
جدول (۵-۷) اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با داده‌های زمینی (ظهر محلی) به صورت ماهانه در ایستگاه‌های پایش برخط طی سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۱۹..... ۶۶
جدول (۵-۸) وضعیت آماری داده‌های سری زمانی آلبدوی طول موج کوتاه پهنه آبی دریاچه ارومیه و بررسی روند در داده‌ها بر اساس روش من-کندال..... ۶۸
جدول (۵-۹) شاخص‌های خطا و میزان همبستگی آلبدوی طول موج کوتاه برآورد شده از روابط با داده‌های تست و اعتبارسنجی در دو ایستگاه پایش برخط..... ۷۶

جدول (۵-۱۰) نتایج تحلیل روند سری زمانی تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه ناشی از تصاویر Landsat بر اساس روابط ۱ و ۲ ..... ۷۸
جدول (۵-۱۱) نتایج اعتبارسنجی محصول دمای سطح سنجنده MODIS با مقادیر دمای سطح زمینی در ایستگاه‌های پایش برخط ۸۵
جدول (۵-۱۲) ماتریس همبستگی مکانی داده‌های ایستگاه‌های پایش کیفیت و داده‌های محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS در سال ۹۴-۹۵ (تعداد نقاط در هر ایستگاه = ۱۲) ۸۶
جدول (۵-۱۳) ماتریس همبستگی مکانی داده‌های تمام ایستگاه‌های پایش کیفیت و داده‌های محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS و ایستگاه‌های U1 تا U4 در سال ۹۴-۹۵ ..... ۸۶
جدول (۵-۱۴) ماتریس همبستگی مکانی متغیرهای کیفیت با مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه تصاویر Landsat ۸۸
جدول (۵-۱۵) ماتریس همبستگی مکانی متغیر دمای سطح دریاچه ارومیه با مقادیر آلبدوی طول موج کوتاه تصاویر Landsat ۸۹

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱ ضرورت مطالعه

زندگی موجودات زنده از جمله انسان، به محیط پیرامون پیوند خورده است. تغییر و تحولات محیط زیستی، اکولوژیکی و آب و هوایی بر زندگی و سلامت انسان‌ها، جانوران و گیاهان تاثیرگذار است. ارزیابی و کنترل این تغییرات در سطح منطقه‌ای و جهانی، از منظر پایش شرایط فعلی و امکان پیش بینی تغییرات آینده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات زیست محیطی و هواشناسی، مطالعات تغییرات جهانی، مطالعات انتقال تابشی و تعادل انرژی سطح، به دلیل اهمیت در زندگی بشر و حیات کره زمین همیشه از زمینه‌های مهم در تحقیقات علمی بوده‌اند. یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز در این مطالعات، آلبدوی طول موج کوتاه سطح زمین است (Maurer and Steffen, 2002).

مدلسازی انتقال انرژی تابشی در جو و درک بازخوردهای بین آب و هوا و سطح نیازمند دانش کافی از آلبدوی سطح در مقیاس جهانی است. این پارامتر با کنترل میزان انرژی جذب شده و بازتاب شده توسط زمین، بر آب و هوا تاثیر می‌گذارد. مولفه‌های مختلف سیستم‌های آب و هوایی به تغییرات این کمیت که ناشی از فعالیت‌های انسانی و فرایندهای طبیعی است، بسیار حساسند. آلبدوی کنترل توازن انرژی سطح را میسر کرده و بر دمای سطح تاثیرگذار است، به همین دلیل در پیش‌بینی عددی آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آلبدو را می‌توان به عنوان نسبت مقدار تابش بازتاب شده از سطح به کل تابش برخوردی به آن سطح بیان کرد (Salleh et al., 2014). آلبدو یک پارامتر بدون بعد بوده و محدوده آن از صفر (برای زمانیکه هیچ بازتابی صورت نگرفته و تمام تابش توسط سطح کاملا سیاه دریافت می‌شود) تا یک (برای زمانیکه تمام تابش موجود توسط یک سطح کاملا سفید بازتاب می‌شود) تغییر می‌کند.

در اغلب پهنه‌های آبی مقدار آلبدوی طول موج کوتاه تغییر چندانی نداشته و نوسانات آن محدود است، اما در برخی پهنه‌های آبی کم عمق از جمله دریاچه‌های شور، به دلیل تغییر در متغیرهای کیفیت آب، آلبدوی

طول موج کوتاه سطح دارای تغییرات بین‌سالی و فصلی است. در دریاچه‌های شور تغییر آلبدوی طول موج کوتاه منجر به تغییر دمای سطح دریاچه و ظرفیت نگهداشت حرارتی شده و بر روی میزان تبخیر از سطح و اقلیم منطقه اثرگذار می‌باشد (Wetzel and Likens, 2013).

تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه می‌تواند در دمای سطح آب دریاچه اثرگذار باشد و همچنین نرخ تبخیر، ظرفیت حرارتی و کیفیت آب پهنه آبی را تحت تأثیر قرار دهد. به عنوان مثال در مطالعه بر روی دریاچه ارومیه مشخص شد که افزایش ۱۰ درصدی آلبدوی طول موج کوتاه سطح آب دریاچه منجر به کاهش ۱,۵ درصدی نرخ تبخیر می‌شود (خرسند موقر، ۱۳۹۵). علاوه بر این، تغییر آلبدوی طول موج کوتاه می‌تواند ناشی از تغییر در کمیت آب و یا متغیرهای کیفیت آب از جمله شوری، رنگ، ذرات معلق و کدورت باشد.

بررسی پارامترهای کیفی آب و ارتباط آن با بازتاب و آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه‌های شور تنها در چند مورد انجام شده و بررسی‌ها در این زمینه ناقص است. علاوه بر این در محدود مطالعات صورت گرفته نیز تنها یک پارامتر کیفیت آب (به عنوان مثال شوری یا ذرات معلق) مورد بررسی قرار گرفته و دیگر پارامترها در نظر گرفته نشده است. از این رو بررسی آلبدوی طول موج کوتاه و دلایل تغییرات آن در دریاچه‌های شور موضوعی است که تاکنون به طور جامع مورد بررسی قرار نگرفته است و نتایج آن می‌تواند در درک بهتر ارتباط آلبدوی طول موج کوتاه و پارامترهای کیفی دریاچه‌های شور و تأثیر آن بر دمای سطح آب کمک قابل توجهی کند.

۱-۲ اهداف اصلی تحقیق

۱) پایش و تحلیل الگوهای زمانی (درون‌سالی و برون‌سالی) و مکانی آلبدوی طول موج کوتاه از سطح آب، پهنه نمکی و خاک بایر اطراف دریاچه ارومیه

۲) بررسی و تحلیل ارتباط تغییرات آلبدوی طول موج کوتاه با تراز و متغیرهای کیفیت آب دریاچه (TDS، TSS)

۱-۳ اهداف فرعی تحقیق

۱) اعتبارسنجی محصول آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS با استفاده از داده‌های زمینی

۲) ارزیابی تغییرات مساحت پهنه آب، نمک و خاک بایر در محدوده مرز اکولوژیک دریاچه ارومیه

۱-۴ سوالات تحقیق

۱) آیا داده‌های آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده MODIS برای پایش آلبدوی سطح دریاچه‌های شور نظیر دریاچه ارومیه مناسب است؟

۲) تغییرات زمانی - مکانی آلبدوی طول موج کوتاه در دریاچه‌های شور نظیر دریاچه ارومیه با نوسانات سطح آب، پهنه نمکی و خاک بایر اطراف آن تا چه حد قابل ملاحظه است ؟

۳) ارتباط بین آلبدوی طول موج کوتاه دریاچه و پارامترهای کیفیت آب (TDS، TSS) در دریاچه‌های شور نظیر دریاچه ارومیه به چه نحوی است؟

۱-۵ فرضیه‌های تحقیق

۱) تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، از دقت مناسبی در پایش آلبدوی طول موج کوتاه سطح دریاچه‌های شور برخوردار است.

۲) مقادیر بازتاب در محدوده باندهای NIR و Landsat 8 VIS از پتانسیل خوبی برای توسعه روابط منطقه‌ای آلبدوی طول موج کوتاه سطح برخوردار است.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل تهیه شده است. فصل اول شامل تعریف مسئله، اهداف، ضرورت و فرضیات مطالعه می‌باشد. در فصل دوم مروری بر مبانی پایه و ادبیات فنی استخراج پهنه آب، و پایش آلبدوی طول موج کوتاه انجام خواهد شد. در فصل سوم منطقه مورد مطالعه معرفی شده و داده‌های مرتبط تشریح می‌شود. در فصل چهارم روش انجام کار مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل پنجم نتایج بدست آمده ارائه شده و مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل ششم جمع‌بندی از این پژوهش، یافته های کلیدی به همراه پیشنهادهای حاصل از این پژوهش ارائه می‌گردد.

فصل ۲

مرور ادبیات فنی

۲-۱ استخراج پهنه آب

استخراج سطح پهنه‌های آب با استفاده از داده‌های سنجش از دور از دیرباز برای پایش‌های هیدرولوژیکی با استفاده از تکنیک‌های مختلف مطرح بوده است (Kaplan and Avdan, 2017). برای شناسایی و تفکیک پهنه آب و محاسبه مساحت سطح دریاچه‌ها و مخازن، روش‌های مختلفی بر مبنای داده‌های چند طیفی سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به طور کلی این روش‌ها را می‌توان در دو دسته مجزا به صورت زیرتقسیم‌بندی نمود: ۱) روش‌های حد آستانه‌گذاری بر روی شاخص‌های پایش کمی مربوطه (همچون شاخص NDWI[1] و NDVI[2])، ۲) روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل نظارت شده / نظارت نشده (مانند روش حداکثر تشابه)، (Xu, 2006).

شاخص اختلاف نرمال شده آب یکی از شاخص‌های سنجش از دوری است که حساس به تغییرات آب است. این شاخص با استفاده از انعکاسات لایه سبز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود (رابطه (۲-۱). دامنه‌ی تغییرات این شاخص نیز بین ۱- تا ۱+ است (Mcfeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{nir}}{\rho_{green} + \rho_{nir}} \qquad (۲-۱)$$

در رابطه (۲-۱) ρ_{green} و ρ_{nir} به ترتیب نشان دهنده میزان بازتاب در لایه‌های سبز و مادون قرمز نزدیک است. انتخاب این لایه‌ها برای محاسبه شاخص NDWI برای دست‌یابی به پارامترهای زیر است:

۱) به حداکثر رسیدن بازتاب در آب با استفاده از طول موج سبز؛

۲) به حداقل رسیدن بازتاب در آب با استفاده از لایه مادون قرمز نزدیک؛

۳) استفاده از مزیت بازتاب بالا خاک و گیاهان زمینی در لایه مادون قرمز نزدیک.

---

[1] Normalized Difference Water Index

[2] Normalized Difference Vegetation Index

در این شاخص برای استخراج آب باید مقادیر مثبت را در نظر گرفت (Mcfeeters, 1996).

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، برحسب مقدار انرژی انعکاسی در دو لایه قرمز و مادون قرمز نزدیک تعریف می‌شود (رابطه ((۲-۲)) و دارای مقادیر بین ۱- و ۱+ است. در این شاخص، آب، برف و یخ دارای مقادیر منفی هستند.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \qquad (۲-۲)$$

در رابطه (۲-۲) ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب نشان دهنده میزان بازتاب در لایه‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک است (Townshend and Justice, 1986).

این روش‌ها بر مبنا بازتاب اندک آب در لایه مادون قرمز نزدیک و میانی ساخته شده‌اند. همچنین، روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده برای استخراج پهنه آب به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند که معروف‌ترین آن‌ها روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت است (Mouchot et al., 1991).

برای ارزیابی تغییرات سطح دریاچه‌ها مطالعات زیادی انجام شده است. در این رابطه، Zhou و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش حد آستانه‌گذاری با شاخص NDWI تغییرات مساحت ۱۲ دریاچه آب شور در حوضه آبریز Qaidam چین طی سال‌های ۱۹۷۳ الی ۲۰۱۴ را بررسی کردند (Zhou et al., 2016). به طور مشابه بررسی تغییرات زمانی مساحت دریاچه Burdur ترکیه طی دوره ۱۹۸۷ الی ۲۰۱۱ با استفاده از شاخص‌های NDWI، MNDWI[۱]، AWEI[۲] و روش طبقه‌بندی SVM[۳] نشان داد که به ترتیب روش‌های SVM، MNDWI، NDWI و AWEI از بیشترین دقت برخوردار هستند (Sarp and Ozcelik, 2017). همچنین در مطالعات مختلف از شاخص NDVI به عنوان شاخص مناسب برای پایش سطح آب یاد شده است (Acharya et al., 2018; Han and Niu, 2020). جدول (۲-۱) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه استخراج پهنه آب دریاچه‌ها را نشان می‌دهد.

مطالعات مختلفی در حوزه استخراج پهنه آب دریاچه ارومیه و محاسبه مساحت آن در بازه‌های محدود صورت گرفته است. در مطالعه‌ای بر روی دریاچه ارومیه، در ماه‌های خاص، مرز پهنه آب و اراضی اطراف آن شناسایی شده است (Ghale, 2014). در این مطالعه برای ارزیابی تغییرات دریاچه ارومیه و اراضی اطراف آن از شاخص‌های مختلفی شامل NDWI، NDVI، NDSI[۴]، SI[۵] و NDDI[۶] استفاده شده است. در مطالعه‌ای دیگر بر روی دریاچه ارومیه، طی بازه سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ مقادیر مساحت دریاچه با استفاده از تصاویر

---

[۱] Modified Normalized Difference Water Index

[۲] Automated Water Extraction Index

[۳] Support Vector Machine

[۴] Normalized Difference salinity index

[۵] salinity index

[۶] Normalized Difference drought index

ماهواره‌ای استخراج شده است. برای اینکار در هر سال طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر تصاویر تهیه و مساحت در این بازه محاسبه شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به کاهش ۹ متری تراز، سطح مؤثر دریاچه از مقدار ۶۰۵۹ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۵ به ۲۳۲۳ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ کاهش یافته است (Kabiri et al., 2012). مساحت پهنه آب دریاچه ارومیه در بازه ۳۰ سال (۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴) توسط Jeihouni و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار از تصاویر Landsat در ماه‌های گرم سال استفاده شده است. نتایج این مطالعه حاکی از کاهش چشمگیر مساحت دریاچه از سال ۱۹۹۸ (بیش‌ترین تراز) تا سال ۲۰۱۴ (کم‌ترین تراز) است (Jeihouni et al., 2017).

جدول (۲-۲) لیست ماه‌های مورد بررسی در این مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق به عنوان روش مبنا در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۲-۱) خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه استخراج پهنه آب دریاچه‌ها

مرجع	روش/ شاخص مورد استفاده	دوره زمانی مطالعه	داده های ماهواره‌ای مورد استفاده
(Lu et al., 2020)	NDWI، MNDWI، $AWEI_{sh}$ و MBWI[1]	2016-2019	Landsat 8
(Özelkan, 2020)	$NDWI_{(Green, NIR)}$, $NDWI_{(Green,SWIR1)}$, $NDWI_{(Green, SWIR2)}$	2013-2017[2]	Landsat 8
(Sarp and Ozcelik, 2017)	شاخص‌های NDWI، MNDWI، AWEI و روش طبقه‌بندی SVM	1987-2011	تصاویر Landsat ETM+، TM
(Zhou et al., 2016)	NDWI	1973-2014	تصاویر MSS، ETM+، Landsat TM و H J-1 A/1B
(Bai et al., 2011)	NDWI	1975, 1990, 1999, 2007	تصاویر Landsat MSS، TM و ETM+

[1] Multiband water index