



ستاد احیای دریاچه ارومیه



دانشگاه صنعتی شریف
مرکز تحقیقات سنجش از دور

برآورد مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸

تهیه کنندگان

امیرحسین احراری

احسان مهدی پور

مریم عمادزاده

بهمن ۱۳۹۵



شناسه سند	
عنوان سند	برآورد مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵
نوع سند	<input type="checkbox"/> گزارش فنی
	<input type="checkbox"/> پروپوزال
کد سند	<input checked="" type="checkbox"/> یادداشت فنی
	<input type="checkbox"/> مقاله
شماره قرارداد	RN-95-33
تاریخ قرارداد	۱۳۹۵
کارفرما	ستاد احیای دریاچه ارومیه
گروه فنی	دکتر حمید طاهری شهرآیینی
مدیر فنی طرح	امیرحسین احراری
کارشناسان فنی طرح	امیرحسین احراری، احسان مهدی پور، مریم عمادزاده
تاریخ انتشار	تیرماه ۱۳۹۵
ویرایش	ششم

پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفا شدن برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعبیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

چکیده

دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین پهنه‌های آبی داخلی ایران است که در دو دهه اخیر میزان مساحت سطحی و همچنین سطح تراز آن نوسانات زیادی داشته است. در این گزارش مساحت سطحی دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی به صورت ماهیانه و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده شده است. جهت محاسبه مساحت سطحی دریاچه برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵، الگوریتم مرکب از باند قرمز با مادون قرمز نزدیک در شناسایی و محاسبه مساحت محدوده آبی دریاچه ارومیه به عنوان بهینه‌ترین روش در میان روش‌های مورد استفاده شناخته شد. با وجود آنکه نتایج به دست آمده از روش‌های مورد استفاده از همبستگی بسیار بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند، با این حال استفاده از باند قرمز در مقایسه با باند سبز، از لحاظ میزان دقت در جداسازی آب، میزان کانتراست بصری و همچنین قابلیت جداسازی آب از نواحی مرطوب، خصوصاً شوره‌زارهای مرطوب اطراف دریاچه، به عنوان روش بهینه برای تخمین مساحت سطحی دریاچه ارومیه شناسایی گردید. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر سنجنده مادیس^۱ نیز پیاده‌سازی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم مورد نظر برای تصاویر سنجنده مادیس نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. همچنین مقایسه سطح دریاچه ارومیه بدست آمده از مطالعه حاضر با اطلاعات سطح دریاچه، استخراج شده از روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو نشان‌دهنده قابلیت روش اخذ شده در تخمین سطح دریاچه می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: دریاچه ارومیه، مساحت سطحی، ماهواره لندست ۸، الگوریتم‌های شناسایی آب و رطوبت، سنجنده مادیس.

فهرست مطالب

۱-مقدمه	۱
۱-۱- ضرورت تحقیق	۲
۲-۱- اهداف تحقیق	۳
۲-مروری بر ادبیات موضوع	۴
۳-مواد و روشها	۵
۳-۱- استفاده از عملگرهای ریاضیاتی در تبدیلات تصاویر ماهواره‌های	۵
۳-۱-۱- تقسیم تصاویر ماهواره‌های	۶
۳-۲- روش شناسی	۸
۳-۲-۱- گردآوری و آماده‌سازی تصاویر	۸
• ماهواره لندست	۸
• سنجنده مادیس	۱۱
• داده های تراز دریاچه ارومیه	۱۴
۳-۲-۲- انتخاب باندها	۱۴
۳-۲-۳- ساختارهای محاسباتی	۱۴
۳-۲-۴- استخراج مساحت سطحی	۱۶
۳-۲-۵- ارزیابی قابلیت سنجنده مادیس برای محاسبه مساحت سطحی	۱۶
۳-۲-۶- محاسبه مساحت با استفاده از روابط بسیمتری	۱۷
۴- نتایج	۱۷
۴-۱- نتایج بدست آمده از سنجنده مادیس	۱۷
۴-۲- اعتبار سنجی نتایج مساحت سطحی بدست آمده از ماهواره لندست	۱۹
۴-۳- دلایل احتمالی اختلاف بین سطح دریاچه در مطالعه حاضر با مقادیر متناظر سطح بسیمتری	۲۴
۵- جمع بندی و نتیجه گیری	۲۵
۶-مراجع	۲۷
۷- پیوست	۲۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱- تغییرات سطح تراز دریاچه ارومیه، بر اساس داده‌های راداری ماهواره‌های TPEX, JASON, POSEIDON ۳
- شکل ۲- رفتار طیفی پوشش‌های غالب سطح سیاره زمین ۶
- شکل ۳- تعدیل اثر توپوگرافی به وسیله روش نسبت گیری ۷
- شکل ۴- رابطه رگرسیون خطی مساحت به دست آمده از ماهواره لندست و مادیس (برحسب کیلومتر مربع) ۱۷
- شکل ۵- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی توسط این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ۲۰
- شکل ۶- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۲ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ۲۱
- شکل ۷- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ۲۱
- شکل ۸- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه‌های سرد (مهر تا فروردین) ۲۱
- شکل ۹- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و به دست آمده از روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ۲۲
- شکل ۱۰- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و به دست آمده از روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه‌های گرم اردیبهشت تا شهریور ۲۳
- شکل ۱۱- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و روند به دست آمده از روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه‌های سرد مهر تا فروردین ۲۴
- شکل ۱۲- روند تغییرات تراز دریاچه ارومیه وزارت نیرو طبق رابطه بسیمتری موسسه تحقیقات آب (خط هاشور روند کلی تغییرات را نشان می‌دهد) ۲۴
- شکل ۱۳- تغییرات مساحت دریاچه بر اساس روش اتخاذ شده در این مطالعه (خط هاشور روند کلی تغییرات سطح دریاچه در مطالعه حاضر را نشان می‌دهد) ۲۴
- شکل ۱۴- تغییرات ماهیانه مساحت سطحی دریاچه ارومیه نسبت به مساحت حداکثری برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی بدست آمده توسط ماهواره لندست ۸ ۲۹
- شکل ۱۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۳ (تیر ماه سال ۱۳۹۲) ۳۰
- شکل ۱۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اوت سال ۲۰۱۳ (مرداد ماه سال ۱۳۹۲) ۳۰
- شکل ۱۷- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۳ (شهریور ماه ۱۳۹۲) ۳۱
- شکل ۱۸- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۳ (مهر ماه ۱۳۹۲) ۳۱
- شکل ۱۹- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه نوامبر سال ۲۰۱۳ (آبان ماه ۱۳۹۲) ۳۲
- شکل ۲۰- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه می سال ۲۰۱۴ (اردیبهشت ماه ۱۳۹۳) ۳۲
- شکل ۲۱- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژوئن سال ۲۰۱۴ (خرداد ماه ۱۳۹۳) ۳۳
- شکل ۲۲- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۴ (تیر ماه ۱۳۹۳) ۳۳
- شکل ۲۳- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اوت سال ۲۰۱۴ (مرداد ماه ۱۳۹۳) ۳۴

- شکل ۲۴- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۴ (شهریور ماه ۱۳۹۳)..... ۳۴
- شکل ۲۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۴ (آبان ماه ۱۳۹۳)..... ۳۵
- شکل ۲۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه نوامبر سال ۲۰۱۴ (آبان ماه ۱۳۹۳)..... ۳۵
- شکل ۲۷- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژانویه سال ۲۰۱۵ (دی ماه ۱۳۹۳)..... ۳۶
- شکل ۲۸- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه فوریه سال ۲۰۱۵ (بهمن ماه ۱۳۹۳)..... ۳۶
- شکل ۲۹- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه آوریل سال ۲۰۱۵ (فروردین ماه ۱۳۹۴)..... ۳۷
- شکل ۳۰- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه می سال ۲۰۱۵ (اردیبهشت ماه ۱۳۹۴)..... ۳۷
- شکل ۳۱- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژوئن سال ۲۰۱۵ (خرداد ماه ۱۳۹۴)..... ۳۸
- شکل ۳۲- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۵ (تیر ماه ۱۳۹۴)..... ۳۸
- شکل ۳۳- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اوت سال ۲۰۱۵ (مرداد ماه ۱۳۹۴)..... ۳۹
- شکل ۳۴- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ (شهریور ماه ۱۳۹۴)..... ۳۹
- شکل ۳۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۵ (آبان ماه ۱۳۹۴)..... ۴۰
- شکل ۳۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه، ماه نوامبر سال ۲۰۱۵ (آبان ماه ۱۳۹۴)..... ۴۰
- شکل ۳۷- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه آوریل سال ۲۰۱۵ (فروردین ۱۳۹۴)..... ۴۱
- شکل ۳۸- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه می سال ۲۰۱۵ (اردیبهشت سال ۱۳۹۴)..... ۴۱
- شکل ۳۹- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۵ (تیر ماه سال ۱۳۹۴)..... ۴۲
- شکل ۴۰- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه اوت سال ۲۰۱۵ (مرداد ماه ۱۳۹۴)..... ۴۲
- شکل ۴۱- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ (شهریور ماه ۱۳۹۴)..... ۴۳
- شکل ۴۲- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۵ (مهر ماه ۱۳۹۴)..... ۴۳
- شکل ۴۳- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه ژانویه سال ۲۰۱۶ (بهمن ماه ۱۳۹۴)..... ۴۴
- شکل ۴۴- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه فوریه سال ۲۰۱۶ (بهمن ۱۳۹۴)..... ۴۴
- شکل ۴۵- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه مارس سال ۲۰۱۶ (اسفند ۱۳۹۴)..... ۴۵
- شکل ۴۶- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه آوریل سال ۲۰۱۶ (فروردین ۱۳۹۵)..... ۴۵
- شکل ۴۷- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه می سال ۲۰۱۶ (اردیبهشت ۱۳۹۵)..... ۴۶
- شکل ۴۸- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ (خرداد ۱۳۹۵)..... ۴۶
- شکل ۴۹- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه ژولای سال ۲۰۱۶ (تیر ماه ۱۳۹۵)..... ۴۷
- شکل ۵۰- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۶ (تیر ۱۳۹۵)..... ۴۷
- شکل ۵۱- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۶ (مهر ماه ۱۳۹۵)..... ۴۸
- شکل ۵۲- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه نوامبر سال ۲۰۱۶ (آبان ماه ۱۳۹۵)..... ۴۸

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- باندهای طیفی ماهواره لندست ۸..... ۹
- جدول ۲- تاریخ تصاویر اخذشده از ماهواره لندست ۸..... ۱۰
- جدول ۳- مشخصات طیفی باندهای سنجنده مادیس..... ۱۲
- جدول ۴- تصاویر تاریخ‌های متناظر ماهواره لندست و سنجنده مادیس..... ۱۳
- جدول ۵- مقادیر مساحت محاسبه‌شده برای تصاویر ماهواره لندست و سنجنده مادیس..... ۱۸
- جدول ۶- مقایسه مساحت‌های به‌دست‌آمده از طریق تصاویر ماهواره لندست با داده‌های زمینی ستاد احیای دریاچه ارومیه. ۲۱

۱- مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه در شمال غربی جمهوری اسلامی ایران، یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های دائمی فوق‌شور در جهان و بزرگ‌ترین دریاچه از این نوع در خاورمیانه است. حداکثر سطح دریاچه در دوران پرآبی در حدود ۶۱۰۰ کیلومتر مربع ارزیابی شده است؛ با این حال، از سال ۱۹۹۵ میلادی وسعت دریاچه کاهش داشته و مطابق اطلاعات به دست آمده از تحلیل داده‌های ماهواره‌ی لندست، در اوت سال ۲۰۱۱ میلادی به ۲۳۶۶ کیلومتر مربع رسیده است (Pengra, 2012). بدنه‌ی آبی دریاچه نسبتاً کم عمق بوده (عمق متوسط ۵/۴ متر) و طول دریاچه از ۱۳۰ تا ۱۴۵ کیلومتر در راستای شمالی- جنوبی متغیر است؛ حداکثر عرض گزارش شده برای دریاچه معادل ۵۸ کیلومتر می‌باشد. میزان نوسانات سطح آب در سال‌های کم‌آب و پرآب در حدود ۶ متر است (برنامه‌ی مدیریت جامع دریاچه ارومیه، ۱۳۸۹).

مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز در گرو دانش عمیق از اطلاعات پایه حوضه و از جمله سطح روزانه و دقیق پیکره‌های آبی حوضه می‌باشد. تا کنون تلاش‌های بسیاری جهت احیای دریاچه ارومیه و بازگشت آب به آن صورت گرفته و یکی از بهترین شاخص‌ها برای بررسی برآیند تاثیرات اقدامات اجرایی در طول زمان، بررسی تغییرات مساحت دریاچه می‌باشد.

تعیین سطح پیکره‌های آبی به روش‌های گوناگون نظیر روش نقشه برداری زمینی، برآورد از طریق بررسی روابط بسیمتری، استفاده از فن‌های سنجش از دور و ... صورت می‌پذیرد؛ در بین فن‌های فوق روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم، آرشو زمانی غنی تصاویر ماهواره‌ای و سهولت روش‌های تعیین مساحت فراوانی در مطالعات آبخیزداری داشته است.

فناوری سنجش از دور امروزه این امکان را برای محققین علوم زمین فراهم آورده تا بتوانند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش‌هایی که بر روی این تصاویر صورت می‌گیرد، اطلاعات لازم را در ارتباط با شناخت بیشتر و آشکارسازی تغییرات در محیط پیرامون انسان‌ها در سیاره زمین را شناسایی نمایند. یکی از حوزه‌هایی که برنامه EOS سازمان NASA^۱ بر روی آن تمرکز نموده، پایش پهنه‌های آبی در جهان است. علاوه بر ماهواره‌های اپتیکال، امروزه از ماهواره‌های راداری نیز در ارتباط با پایش سطح تراز این نوع از پهنه‌ها نیز استفاده می‌شود. به عنوان مثال ماهواره‌های راداری TOPEX/POSEIDON و همچنین OSTM^۲ از جمله نمونه فعالیت‌هایی هستند که در آن از سنجنده‌های راداری برای مطالعات مربوط به حوزه‌های آب شناسی استفاده شده

^۱ National Aeronautic And Space Administration

^۲ Ocean Surface Topography Mission

است. با استفاده از فناوری سنجش از دور اپتیکال می‌توان به مطالعه و ارزیابی پیکره‌های آبی پرداخت. مطالعات سنجش‌ازدوری که می‌توان با استفاده از آن به مطالعه در این زمینه پرداخت شامل مطالعات مربوط به آب‌های سطح زمین و همچنین مطالعات آب‌های زیرزمینی را شامل می‌شود. مطالعات مربوط به آب‌های سطحی با استفاده از سنجش‌ازدور اپتیکال از ابعاد گوناگونی می‌تواند مورد توجه قرار بگیرد. با این حال امروزه آب‌های زیرسطحی با استفاده از نسل جدیدی از ماهواره‌های سنجش‌ازدور (ماهواره^۱ GRACE) که مستقل از امواج طیف الکترومغناطیسی است مورد مطالعه قرار گرفته است.

همچنین سری ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۷۲ تا کنون به صورت پیوسته از سطح سیاره زمین با توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه تصویربرداری نموده‌اند؛ و هم‌اکنون نیز آخرین سری از این ماهواره (لندست ۸) در حال تصویربرداری از سطح سیاره زمین است. توان تفکیک مکانی (۳۰ متری) ماهواره‌های سری لندست برای اولین بار این امکان را برای محققین علوم زمین فراهم آورد تا بتوانند با جزئیات مکانی بیشتر در هر تصویر، سیاره زمین را مورد مطالعه قرار دهند.

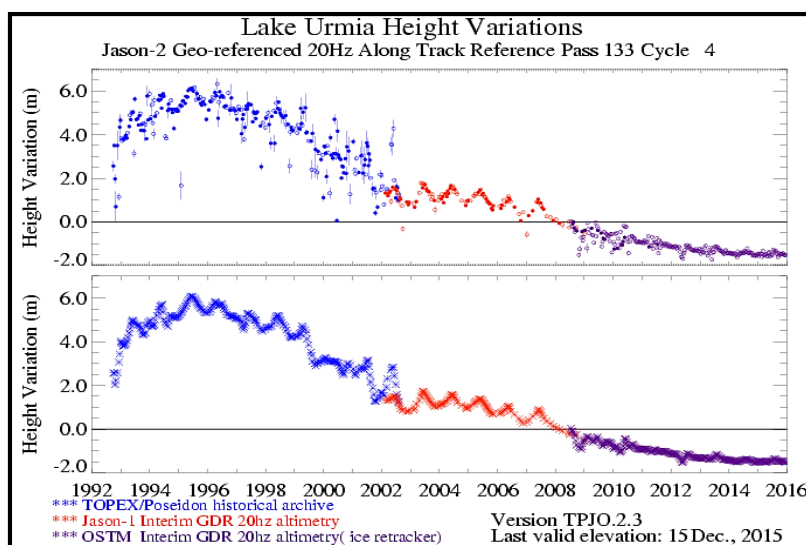
لذا با توجه به مزایای روش سنجش‌ازدور و اهمیت تعیین سطح دریاچه، مطالعه حاضر به بررسی سطوح دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و روش‌های مبتنی به فن‌آوری سنجش از دور می‌پردازد.

۱-۱- ضرورت تحقیق

محدوده مورد مطالعه در این پروژه پهنه آبی دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران است. مشاهده تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های به‌دست آمده از آن نشان‌دهنده تغییرات بسیار زیاد در ارتباط با سطح و تراز آب این دریاچه در طول دهه اخیر است (شکل ۱). از همین رو در سال‌های اخیر فعالیت‌ها و اقدامات مختلفی از سوی نهادهای مربوطه صورت گرفته تا بتوانند از سرعت روند کاهش میزان آب دریاچه ارومیه کاسته و مجدداً آن را احیا نمایند. برآورد مساحت سطحی آب دریاچه ارومیه می‌تواند اطلاعات مناسبی را در ارتباط با میزان افزایش و کاهش میزان آب دریاچه در بازه‌های زمانی مختلف در اختیار کاربران قرار دهد. در حقیقت روش ماهواره‌ای برآورد مساحت سطحی دریاچه در ارتباط با ارزیابی شرایط موجود و اثر فعالیت‌های مختلف بر روی آب دریاچه، مؤثر و کاربردی است. همچنین روش‌های تحقیقاتی مبتنی بر سنجش‌ازدور، عموماً روش‌هایی هستند که با هزینه اندک اطلاعات زیادی را در اختیار کاربران قرار دهند. برای مثال داده‌های راداری مانند

^۱ Gravity Recovery and Climate Experiment

TOPEX/POSEIDON و همچنین OSTM به خوبی تغییرات سطح تراز آب دریاچه ارومیه را از دهه ۹۰ میلادی تاکنون (شکل ۱) نشان می دهند.



شکل ۱- تغییرات سطح تراز دریاچه ارومیه، بر اساس داده‌های راداری ماهواره‌های TPEX, JASON, POSEIDON

۱-۲- اهداف تحقیق

برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های دستگاه‌های اجرایی در سال‌های اخیر در راستای تثبیت و احیای وضعیت دریاچه ارومیه بوده است. در همین راستا یکی از روش‌های موثر در ارزیابی تغییرات میزان آب دریاچه ارومیه، استناد به تغییرات مساحت سطحی آن است. به همین منظور در این مطالعه در گام اول تغییرات ایجاد شده در مساحت سطحی آب دریاچه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره لندست) به صورت ماهیانه طی سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و نیمی از سال ۱۳۹۵ آشکارسازی و سپس ارزیابی می‌گردد. همچنین در این مطالعه از تصاویر سنجنده مادیس نیز جهت تخمین سطح دریاچه استفاده شده است. پس از محاسبه روند تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه در طی دوره مذکور، نتایج با تغییرات سطح تراز آبی دریاچه، به دست آمده توسط منحنی تراز-سطح وزارت نیرو مقایسه و روش تحلیل ماهواره‌ای مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهد گرفت. بنابراین اهداف اصلی تحقیق به طور خلاصه شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱. برآورد مساحت سطحی دریاچه ارومیه طی سالهای ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی بطور ماهیانه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنجنده MODIS
۲. بررسی دقت نتایج سطح حاصل از تصاویر سنجنده MODIS در مقایسه با نتایج Landsat
۳. مقایسه نتایج سطح دریاچه در مطالعه حاضر با نتایج سطح موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

۲- مروری بر ادبیات موضوع

یکی از روش‌های مورد استفاده در سنجش از دور برای شناسایی پدیده‌ها استفاده از شاخص‌های طیفی است. مطالعات و تحقیقات بسیاری در گذشته صورت گرفته که پهنه آبی از سایر پدیده‌ها تفکیک و جداسازی گردیده است.

شاخص NDWI^۱ که از آن به عنوان شاخص آب نیز یاد می‌شود، برای اولین بار توسط گائو در سال ۱۹۹۵ میلادی ارائه شد. این شاخص (رابطه ۱) از ساختار ریاضیاتی نرمال سازی شده و ترکیب دو باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی شکل گرفته است.

$$NDWI_{0.86\&1.24} = \frac{\rho_{0.86} - \rho_{1.24}}{\rho_{0.86} + \rho_{1.24}} \quad (1)$$

بعدها شاخص مبتنی بر رابطه (۱) در سال ۲۰۰۵ توسط دنیسون و همکاران برای بررسی میزان رطوبت گیاه^۲ نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Dennison et al. 2005).

یک سال بعد مک فیترز (۱۹۹۶) در مطالعه دیگری در ارتباط با تفکیک و تشخیص پهنه‌های آبی، NDWI را به صورت رابطه (۲) ارائه نمود که ترکیبی از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد (McFeeters, S.K., 1996). تا کنون از این شاخص توسط محققین مختلف در زمینه‌های بررسی مقدار رطوبت گیاه، شناسایی تالاب‌ها، شناسایی تغییرات زیست محیطی، جداسازی پدیده‌های مختلف از یکدیگر در تصاویر ماهواره‌ای، استخراج پهنه‌های آبی و مطالعات ارزیابی ماندآبی استفاده شده است (Chen et al. 2003; Haibo et al. 2011; Li et al. 2011; Lu et al. 2011; McFeeters 1996; Ouma and Tateishi 2006; Xu 2006; Zhao et al. 2009).

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} \quad (2)$$

در سال ۲۰۰۳ میلادی چن و همکاران در مطالعه‌ای مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه، شاخص جدیدی را ارائه نمودند که ترکیبی از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه است (رابطه ۳) (Chen et al. 2003). از این شاخص تا کنون در مطالعات مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه در مناطق خشک، پایش چرخه فنولوژیکی گیاه، تهیه نقشه کاربری اراضی، مدلسازی اقلیمی و استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است (Delbart et al. 2005; Estallo et al. 2012; Hüttich et al. 2006; Liu 2012).

$$NDWI_{NIR,SWIR} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (3)$$

^۱ Normalized Difference Water Index

^۲ Live fuel moisture

در سال ۲۰۰۶ نیز ژو با کمی تغییر نسبت به الگوریتم‌های پیشین باند مادون قرمز میانی را جایگزین باند مادون قرمز نزدیک در رابطه ۲ نموده و رابطه (۴) را ارائه داد (Xu, H., 2006). شاخص تصحیح شده NDWI که توسط ژو ارائه شد در مطالعات گوناگون تنها در زمینه شناسایی و استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است (Singh et al. 2015; Subramaniam et al. 2011)

$$MNDWI_{Green,MIR} = \frac{\rho_{Green} - \rho_{MIR}}{\rho_{Green} + \rho_{MIR}} \quad (۴)$$

عموم الگوریتم‌هایی که در این بخش به آن‌ها اشاره شد، از ساختار نرمال سازی برخوردار بوده و همچنین ترکیبی از باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی هستند. در مطالعه دیگری که توسط ولف در سال ۲۰۱۲ صورت گرفته است (رابطه ۵)، از باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک به منظور شناسایی خط ساحل استفاده شده است (Wolf, 2012).

$$NDWI = \frac{\rho_{Coastal} - \rho_{NIR2}}{\rho_{Coastal} + \rho_{NIR2}} \quad (۵)$$

با توجه به مطالعات و تحقیقات صورت گرفته، ترکیب باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی می‌تواند در شناسایی آب، رطوبت و استخراج پهنه‌های آبی موثر باشد. به همین منظور در این مطالعه از شاخص مبتنی بر باند قرمز (بعنوان باند مرئی) و مادون قرمز نزدیک برای جداسازی و استخراج پهنه آبی در محدوده دریاچه ارومیه استفاده می‌گردد. با وجود آنکه در مطالعات صورت گرفته تا کنون از چنین ترکیبی استفاده نشده است، اما نمونه‌های بدست آمده از این ترکیب در این مطالعه نتایج مناسبی را بدست داده‌اند. در بخش‌های بعدی جزئیات بیشتری در ارتباط با شاخص مورد نظر ارائه خواهد شد.

۳- مواد و روش‌ها

در این بخش پایه و منطق علمی روش مورداستفاده در این گزارش از دیدگاه سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای موردبررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۱- استفاده از عملگرهای ریاضیاتی در تبدیلات تصاویر ماهواره‌ای

برای انجام محاسبات ریاضیاتی با استفاده از عملگرها نیاز به دو یا تعداد بیشتری از تصاویر ماهواره‌ای است. همچنین تصاویر مورداستفاده باید نسبت به یکدیگر از لحاظ هندسی و مختصاتی مشابه باشند، در غیر این صورت نمی‌توان از آن‌ها به صورت ترکیبی در محاسبات بین تصاویر استفاده نمود. به علاوه تصاویری که

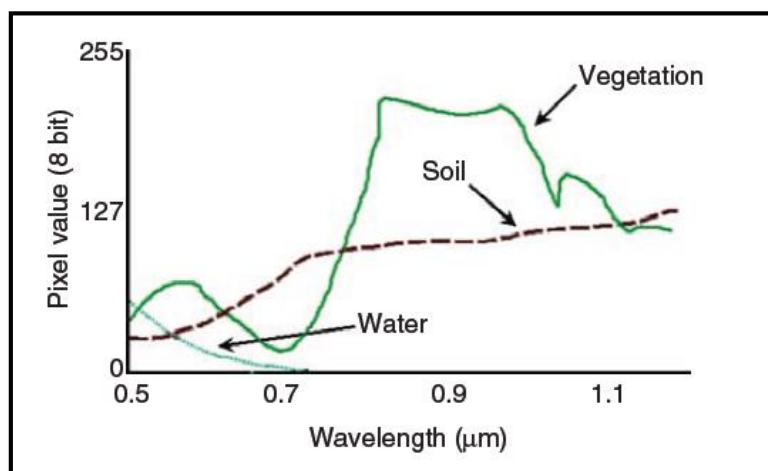
مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توانند ترکیبی از باندهای جداگانه و یا باندهای موجود در یک مجموعه داده باشند.

الگوریتم پیشنهاد شده در این مطالعه بر اساس ساختار محاسبه نرمال سازی تصاویر است که در آن مقادیر بین ۱- تا ۱+ محدوده بندی شده است. در چنین ساختار محاسباتی بصورت ترکیبی از عبارات های جمع، تفریق و همچنین تقسیم در تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. با استفاده از فرایند تفریق تصاویر می‌توان اختلاف بین دو تصویر به دست آمده از دو تاریخ و یا دو باند طیفی مختلف را آشکار سازی نمود.

با این حال تقسیم یا نسبت گیری طیفی به شکل بسیار گسترده‌ای در ارتباط با تصاویر ماهواره‌ای در طیف وسیعی از کاربردها از جمله در حوزه های زمین شناسی، محیط زیست و کاربردهای کشاورزی سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آن می‌توان نسبت به شناسایی شدت اختلاف و تغییر نیز پی برد. به عنوان مثال زمانی که در ارتباط با پوشش گیاهی نسبت دو باند مادون قرمز نزدیک و قرمز گرفته می‌شود، به نوعی اختلاف بین این دو باند می‌تواند در شناسایی یک پدیده (پوشش گیاهی) مؤثر واقع شده و مورد استفاده قرار بگیرد.

۳-۱-۱- تقسیم تصاویر ماهواره‌ای

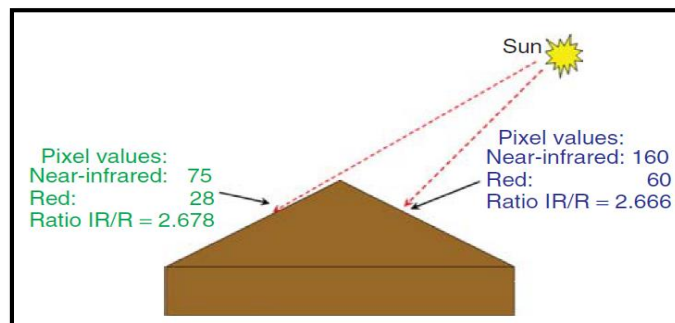
فرایند تقسیم پیکسل به پیکسل تصاویر ماهواره‌ای به عنوان فرایند نسبت گیری طیفی شناخته می‌شود. روش مذکور به عنوان یکی از مرسوم ترین و متداول ترین روش‌ها و عملیات ریاضیاتی است که بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال می‌شود. با استفاده از روش نسبت گیری طیفی می‌توان اثر ناهمواری ایجاد شده توسط پدیده‌های مختلف و شکل آن‌ها بر درجه روشنایی‌های ثبت شده را تا حد قابل توجهی کاهش داد. در شکل ۲ رفتار طیفی پوشش‌های غالب سطح زمین بر روی یک محور در ارتباط با یکدیگر نمایش داده شده است.



شکل ۲- رفتار طیفی پوشش‌های غالب سطح سیاره زمین

با توجه به رفتار طیفی پدیده‌ها (شکل ۲)، در صورتی که گرادیان طیفی هریک از آنها را در محدوده قرمز (۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) و مادون قرمز نزدیک (۷۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر) طیف الکترومغناطیس ارزیابی شود، اختلاف گرادیان طیفی پدیده‌ها بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این در حالی است که دو باند مذکور در ارتباط با پوشش آب از اختلاف گرادیان کمتری برخوردار هستند. البته در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در پوشش آب یک روند کاهشی وجود دارد؛ در حالی که در ارتباط با پوشش خاک در این محدوده یک روند افزایشی مشاهده می‌شود. در چنین حالتی اگر مقدار یک پیکسل در باند مادون قرمز نزدیک بر پیکسل متناظر آن در باند قرمز تقسیم شود، نتیجه عددی بزرگ‌تر از ۱ و مثبت خواهد بود. حال در صورتی که همین فرایند بر روی آب صورت بگیرد، قطعاً مقدار عددی به دست آمده از یک کمتر خواهد شد. در ارتباط با خاک نیز می‌تواند در برخی از حالات از یک تجاوز نماید. هرچقدر میزان اختلاف بین دو باند بیشتر باشد، میزان نسبت به دست آمده نیز بزرگ‌تر خواهد بود.

پیش‌تر به این موضوع اشاره شد که می‌توان با استفاده از رابطه نسبت گیری اثر توپوگرافی و تابش‌های ایجاد شده در اثر آن را به حد قابل توجهی کاهش داد. به عنوان مثال یک سطح ناهمواری را در نظر بگیرید که یک طرف آن کاملاً در مقابل تابش مستقیم خورشیدی است و طرف دیگر آن جهت خلاف بر تابش خورشیدی رسیده را دارا است. بر همین اساس در صورتی که فقط میزان تابش در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک را در آن‌ها مورد توجه قرار دهیم، میزان انرژی رسیده به طرف مقابل به تابش خورشید دو برابر ناحیه پشت به تابش خورشید است. اما در صورتی که نسبت باند مادون قرمز نزدیک (۷۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر) به باند قرمز (۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) برای هر دو طرف سطح مذکور لحاظ گردد، عدد به دست آمده بسیار نزدیک به هم خواهد بود. در این شرایط اثر ناهمواری به شکل قابل توجهی در تصویر از بین خواهد رفت (شکل ۳).



شکل ۳- تعدیل اثر توپوگرافی به وسیله روش نسبت گیری

نکته قابل توجه در ارتباط با نسبت گیری طیفی آن است که باندهایی که از اختلاف گرادیان متفاوت طیفی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند می توانند در این نوع رابطه ریاضیاتی بسیار مفید و مؤثر باشند. به عنوان مثال در ارتباط با پوشش گیاهی معمولاً در فرایندهای نسبت گیری طیفی از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می شود؛ چراکه در این محدوده اختلاف بازتاب بسیار زیادی در رفتار طیفی پوشش گیاهی مشاهده می شود. بر همین اساس است که زمانی که از این نسبت در ارتباط با پوشش گیاهی استفاده می شود می توان در آن به خوبی پوشش گیاهی را بارز سازی نمود.

تاکنون عمدتاً در ارتباط با استفاده از عملگرهای ریاضیاتی به صورت جداگانه در تصاویر ماهواره ای صحبت شد. استفاده از این دست از عملگرها به صورت ترکیبی در ارتباط با یکدیگر می تواند در آشکار سازی و شناسایی هر چه بهتر پدیده های مختلف کمک کننده باشد. برای مثال ترکیب محاسباتی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در ارتباط با پوشش گیاهی، در قالب تفریق، جمع و نسبت گیری (رابطه ۶) می تواند در شناسایی هر چه بهتر و دقیق تر این پدیده به صورت نرمال شده کمک کننده باشد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (۶)$$

۳-۲- روش شناسی

در این بخش مراحل تولید نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به صورت خلاصه معرفی شده است.

۳-۲-۱ گردآوری و آماده سازی تصاویر

چگونگی فرایند جمع آوری داده ها و همچنین مشخصات مربوط به اطلاعات زمانی آن ها به همراه اطلاعات سنجنده ها در ادامه آورده شده است.

• ماهواره لندست

در سال ۲۰۱۳ میلادی جدیدترین ماهواره از سری ماهواره های لندست به فضا پرتاب شد. این ماهواره که به نام ماهواره لندست ۸ معروف شده، تفاوت های مهم و قابل توجهی را نسبت به سایر ماهواره های لندست دارا است. نخست آنکه این ماهواره از دو سنجنده تصویر بردار برخوردار است. یکی سنجنده OLI^۱ و دیگری سنجنده TIRS^۲. سنجنده OLI از ۹ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز بازتابی برخوردار است (جدول

^۱ Operational Land Imager

^۲ Thermal Infrared Radiometer Scanner

۱). همچنین سنجنده TIRS نیز از دو باند حرارتی برخوردار است. به علاوه این ماهواره از توان تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیت نیز برخوردار بوده و درجه روشنایی‌های تصویر آن می‌تواند در یک بازه بین ۰ تا ۶۵۵۳۵ مقدار توزیع شوند. افزایش توان تفکیک رادیومتریکی در تصاویر ماهواره ممکن است که به لحاظ بصری اثر آن برای چشم انسان به صورت کامل قابل رؤیت نباشد، اما باین حال ارتقای توان تفکیک رادیومتریکی آن باعث ارتقای دقت محاسباتی در تصویر ماهواره‌ای نیز می‌گردد.

جدول ۱- باندهای طیفی ماهواره لندست ۸

شماره باند	نام باند	محدوده طیفی	توان تفکیک مکانی
۱	آئروسل ساحلی	۰/۴۳ تا ۰/۴۵	۳۰
۲	آبی	۰/۴۵ تا ۰/۵۱	۳۰
۳	سبز	۰/۵۳ تا ۰/۵۹	۳۰
۴	قرمز	۰/۶۴ تا ۰/۶۷	۳۰
۵	مادون قرمز نزدیک	۰/۸۵ تا ۰/۸۸	۳۰
۶	مادون قرمز طول موج کوتاه ۱	۱/۵۷ تا ۱/۶۵	۳۰
۷	مادون قرمز طول موج کوتاه ۲	۲/۱۱ تا ۲/۲۹	۳۰
۸	پانکروماتیک	۰/۵۰ تا ۰/۶۸	۱۵
۹	سیروس	۱/۳۶ تا ۱/۳۸	۳۰
۱۰	مادون قرمز حرارتی ۱	۱۰/۶۰ تا ۱۱/۱۹	(۳۰)۱۰۰
۱۱	مادون قرمز حرارتی ۲	۱۱/۵۰ تا ۱۲/۵۱	(۳۰)۱۰۰

با توجه به اینکه بازه زمانی مورد نظر برای ارزیابی تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی است، لذا از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای محاسبه مساحت سطحی در این رابطه استفاده گردید. لازم به ذکر است که برای تخمین ماهانه مساحت سطحی دریاچه ارومیه بایستی از تصاویر بدون ابر استفاده نمود. با توجه به موارد مذکور از هر ماه تنها یک تصویر انتخاب گردید که فاقد ابر در محدوده دریاچه باشند. سایر تصاویری که به نوعی در بردارنده ابر بودند و بر روی دقت و صحت نتایج اثر داشتند، حذف شده و در فرایند محاسبه مورد استفاده قرار نگرفتند.

به منظور اخذ داده‌های ماهواره لندست از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۱ (www.Earthexplorer.usgs.gov) استفاده گردید. همان‌گونه که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد تصاویری در این

^۱ USGS

رابطه اخذ شدند که فاقد وجود ابر باشند تا بتوان از آن‌ها برای برآورد مساحت سطحی با دقت بالا استفاده نمود
(جدول ۲).

جدول ۲- تاریخ تصاویر اخذشده از ماهواره لندست ۸

سال	ماه	روز
۱۳۹۲	تیر	۲۶
	مرداد	۲۷
	شهریور	۲۸
	مهر	۲۹
	آبان	۱۵
۱۳۹۳	اردیبهشت	۲۷
	خرداد	۲۸
	تیر	۲۹
	مرداد	۳۰
	شهریور	۳۱
	آبان	۲
	آبان	۱۸
۱۳۹۴	فروردین	۳۰
	اردیبهشت	۳۱
	تیر	۱
	مرداد	۲
	شهریور	۳
	مهر	۴
	مهر	۱۹
	آذر	۸
	بهمن	۱۱
	بهمن	۲۷
	اسفند	۲۹
۱۳۹۵	اردیبهشت	۱
	خرداد	۲
	تیر	۳
	تیر	۱۹
	مهر	۶
	مهر	۲۲
	آبان	۲۴

• سنجنده مادیس

سنجنده مادیس به عنوان سنجنده‌ای که می‌تواند برای مطالعات جامع در زمینه هواشناسی و اقلیم (خشکی و اقیانوس‌ها) مورد استفاده قرار بگیرد، طراحی شده است. سنجنده مادیس بر روی ماهواره‌های TERRA و AQUA نصب شده است. نخستین بار این سنجنده بر روی ماهواره ترا نصب و در سال ۱۹۹۹ میلادی مأموریت خود را آغاز نمود. پس از آن در سال ۲۰۰۲ میلادی نمونه دیگری از این سنجنده با مشخصات مشابه بر روی ماهواره ترا نصب و عملیات خود را آغاز نمود. تا به امروز با استفاده از سنجنده‌های مادیس داده‌هایی برای مدت‌زمانی بیش از ۱۵ سال از سیاره زمین فراهم شده است. با توجه به اینکه داده‌های به‌دست آمده از این سنجنده از توان تفکیک زمانی روزانه برخوردار است، لذا برای بررسی و تجزیه و تحلیل تغییراتی که در فواصل زمانی کوتاه مدت اتفاق افتاده، بسیار باارزش و کاربردی است.

سنجنده مادیس به کاربرده شده در این دو ماهواره از مشخصه‌های یکسانی از لحاظ طیفی، رادیومتریکی، زمانی و مکانی برخوردار است. در حقیقت تنها تفاوتی که در ارتباط با داده‌های این سنجنده برای دو ماهواره مذکور وجود دارد، ساعت تصویربرداری است. این سنجنده از ۳۶ باند طیفی در محدوده ۴۱۰ نانومتر تا ۱۴۴۰۰ نانومتر برخوردار است (جدول ۳). همچنین توان تفکیک مکانی این سنجنده از ۲۵۰ متر تا ۱ کیلومتر در نقطه دید نادیر^۱ است. از لحاظ کارایی، دقت مطلق رادیومتریکی این سنجنده در حد ۵ درصد است. به علاوه از دقت ۲ درصد در ارتباط با باندهای بازتابی و ثبت بازتاب خورشیدی رسیده برخوردار است.

سنجنده مادیس از لحاظ مکانی دارای توان تفکیک مکانی نامطلوبی است. با این حال از طرف دیگر از لحاظ طیفی از توان تفکیک مناسبی برخوردار است. بالا بودن توان تفکیک طیفی این ماهواره (۳۶ باند) به همراه بالا بودن توان تفکیک زمانی آن شرایط بسیار مناسبی را فراهم آورده تا بتوان تحلیل‌های طیفی دقیقی را با استفاده از آن انجام داد. خصوصاً برای مطالعاتی که در ارتباط با تغییرات کوتاه مدت در پدیده‌های مختلف سطح زمین است، استفاده از این نوع داده‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد. در پروژه EOS^۲ که از سال‌ها پیش سازمان ناسا آن را آغاز نموده، تاکنون ماهواره‌های سنجنش از دور متعددی در ارتباط با آن به فضا پرتاب شده است. ماهواره‌های سنجنش از دور از توان تفکیک مکانی، طیفی رادیومتری و زمانی متفاوتی برخوردار هستند. با این حال هیچ‌یک از ماهواره‌های سنجنش از دوری که در این زمینه طراحی شده‌اند، به صورت هم‌زمان از توان‌های تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریکی بسیار بالایی برخوردار نبوده‌اند؛ چراکه در بسیاری از کاربردها و پژوهش‌هایی که در

^۱ Nadir View

^۲ Earth Observation Systems

مقیاس منطقه‌ای صورت می‌گیرد جزییات بسیار زیاد در تصاویر موردنیاز نیست، بر همین اساس نیازی به توان تفکیک مکانی بسیار بالا ندارند. در صورتی که ماهواره‌ها بخواهند تمامی توان‌های تفکیک را در حد ایده آل خود داشته باشند، در این شرایط حجم داده‌ها بسیار افزایش پیدا کرده و هزینه تولید داده‌ها و سرعت پردازش آن‌ها کاهش پیدا می‌نماید.

جدول ۳- مشخصات طیفی باندهای سنجنده مادیس

باند	طول موج	کاربرد
۱	۶۷۰-۶۲۰	مرز ابر/ زمین
۲	۸۷۶-۸۴۱	
۳	۴۷۹-۴۵۹	ویژگی های ابر / زمین
۴	۵۶۵-۵۴۵	
۵	۱۲۵۰-۱۲۳۰	
۶	۱۶۵۲-۱۶۲۸	
۷	۲۱۵۵-۲۱۰۵	
۸	۴۲۰-۴۰۵	فیتوپلانکتون، رنگ آب اقیانوس ها و مطالعات بیوشیمیایی
۹	۴۴۸-۴۳۸	
۱۰	۴۹۳-۴۸۳	
۱۱	۵۳۶-۵۲۶	
۱۲	۵۵۶-۵۴۶	
۱۳	۶۷۲-۶۶۲	
۱۴	۶۸۳-۶۷۳	فیتوپلانکتون، رنگ آب اقیانوس ها و مطالعات بیوشیمیایی
۱۵	۷۵۳-۷۴۳	
۱۶	۸۷۷-۸۶۲	
۱۷	۹۲۰-۸۹۰	بخار آب موجود در جو
۱۸	۹۴۱-۹۳۱	
۱۹	۹۶۵-۹۱۵	
۲۰	۳۸۴۰-۳۶۶۰	حرارت سطح زمین و ابر
۲۱	۳۹۸۹-۳۹۲۹	
۲۲	۳۹۸۹-۳۹۲۹	
۲۳	۴۰۸۰-۴۰۲۰	

ادامه جدول ۳- مشخصات طیفی باندهای سنجنده مادیس

باند	طول موج	کاربرد
۲۴	۴۴۳۳-۴۴۹۸	حرارت اتمسفری
۲۵	۴۴۸۲-۴۵۴۹	
۲۶	۱۳۶۰-۱۳۹۰	ابره‌های سیروس
۲۷	۶۵۳۵-۶۸۹۵	بخار آب
۲۸	۷۱۷۵-۷۴۷۵	
۲۹	۸۴۰۰-۸۷۰۰	
۳۰	۹۵۸۰-۹۸۸۰	ازن
۳۱	۱۰۷۸۰-۱۱۲۸۰	حرارت سطح زمین و ابر
۳۲	۱۱۷۷۰-۱۲۲۷۰	
۳۳	۱۳۱۸۵-۱۳۴۸۵	ارتفاع بالای ابر
۳۴	۱۳۴۸۵-۱۳۷۸۵	
۳۵	۱۳۷۸۵-۱۴۰۸۵	
۳۶	۱۴۰۸۵-۱۴۳۸۵	

از سوی دیگر در این مطالعه از تصاویر سنجنده مادیس نیز استفاده شده و نتایج برای سنجنده مادیس نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهد گرفت. برای آنکه بتوان به صورت مقایسه‌ای محاسبه مساحت سطحی دریاچه ارومیه را بین ماهواره لندست و سنجنده مادیس مقایسه نمود، بایستی تصاویر هم‌زمان مورد استفاده قرار بگیرند، به گونه‌ای که از کمترین تأخیر زمانی نسبت به یکدیگر برخوردار باشند. برای اخذ داده‌های سنجنده مادیس نیز از وبسایت www.reverb.echo.nasa.gov استفاده گردید (جدول ۴).

جدول ۴- تصاویر تاریخ‌های متناظر ماهواره لندست و سنجنده مادیس

تاریخ تصاویر لندست و مادیس			
روز (لندست)	روز (مادیس)	ماه	سال
۱۸	۲۱	ژوئن	۲۰۱۴
۲۰	۱۸	ژوئیه	۲۰۱۴
۲۱	۲۷	اوت	۲۰۱۴
۲۲	۱۸	سپتامبر	۲۰۱۴
۹	۳	نوامبر	۲۰۱۴
۱۸	۱۷	آوریل	۲۰۱۵
۲۳	۱۰	ژوئیه	۲۰۱۵
۲۵	۹	سپتامبر	۲۰۱۵

• داده‌های تراز دریاچه ارومیه

داده‌های تراز ارتفاعی دریاچه ارومیه و روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ از ستاد احیای دریاچه ارومیه اخذ گردید. معتبرترین نقشه بسیمتری که تاکنون از بستر دریاچه ارومیه استخراج گردیده، توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو تهیه شده است. این موسسه ابتدا با عملیات زمینی در چهار مسیر اقدام به ترازبایی کف دریاچه نموده، سپس با برقراری رابطه رگرسیونی بین باندهای سنجنده لندست با داده‌های عمق اقدام به تولید نقشه بسیمتری دریاچه نموده است.

۳-۲-۲- انتخاب باندها

مهم‌ترین نکته‌ای که در ارتباط با انتخاب باندها در این زمینه موردتوجه قرار گرفت، رفتارهای طیفی به‌دست‌آمده از شوره‌زارهای اطراف دریاچه و محدوده آبی آن است. بر اساس این رفتارهای طیفی مشاهده می‌شود که در باند قرمز طیف الکترومغناطیسی برای شوره‌زار میزان بازتاب بسیار بالایی مشاهده می‌شود، این در حالی است که در همین محدوده طیفی برای آب جذب بالایی وجود دارد. برای باند مادون‌قرمز نزدیک هم‌چنین ویژگی مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه افزایش و کاهش بازتاب امواج در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک برای پدیده‌های آب و شوره‌زار عکس یکدیگر است، بر همین اساس می‌توان از تفاوت ایجادشده به‌منظور شناسایی هرچه بهتر پهنه آبی و جداسازی آن از شوره‌زار مرطوب استفاده نمود. بر همین اساس انتخاب باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به‌عنوان بهترین باندها برای این کاربرد بخصوص در نظر گرفته شدند. باوجود آنکه استفاده از سایر باندهای مرئی مانند باندهای سبز و آبی نیز از خروجی‌هایی مشابه با باند قرمز برخوردار هستند، اما درعین حال از میزان بازتاب کمتری در محدوده شوره‌زار نسبت به باند قرمز برخوردار می‌باشد. بنابراین استفاده از باندهای قرمز نسبت به سایر باندهای مرئی ترجیح داده شد.

۳-۲-۳- ساختارهای محاسباتی

به‌منظور شناسایی و تشخیص پهنه آبی محدوده مورد مطالعه (دریاچه ارومیه) و جداسازی آن از شوره‌زارهای مرطوب اطراف دریاچه از روش تجزیه و تحلیل‌های طیفی بین محدوده‌های جذبی و بازتابی رفتار طیفی آب و شوره‌زار اطراف دریاچه ارومیه استفاده گردید. پس از مشخص شدن محدوده‌های جذبی و همچنین پیک‌های بازتابی در رفتارهای طیفی به‌دست‌آمده، از روش‌های مبتنی بر محاسبات ریاضیاتی باندها به‌منظور شناسایی هرچه بهتر پدیده هدف (محدوده آبی دریاچه ارومیه) استفاده گردید. به همین منظور از روش‌های مختلف محاسباتی همچون تفریق و نسبت‌گیری طیفی استفاده خواهد شد. همچنین شاخص‌هایی که پیش‌تر در سایر

مراجع معتبر نیز به کار برده شده‌اند و از آن‌ها با عنوان شاخص NDWI ذکر می‌گردد نیز استفاده شد. با توجه به اینکه محدوده دریاچه ارومیه از شرایط خاص و متفاوتی از لحاظ شوره‌زار مرطوب اطراف آن برخوردار است، شاخص‌های طیفی از پیش تعریف شده نتوانستند در جداسازی آب از شوره‌زار اطراف آن مؤثر عمل نمایند. بنابراین، از ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک (معادل با باندهای ۴ و ۵ ماهواره لندست ۸) استفاده گردید (رابطه ۷).

$$NDWI_{RSRC} = (\rho_{RED} - \rho_{NIR}) / (\rho_{RED} + \rho_{NIR}) \quad (۷)$$

پس از اینکه باندهای مورد نظر انتخاب شدند، چگونگی انجام محاسبه برای آشکارسازی پهنه آبی و جداسازی آن از شوره‌زار مورد توجه قرار گرفت. روش‌ها و شیوه‌های محاسباتی مختلفی در این رابطه می‌توانست صورت بگیرد به گونه‌ای که بتوان با استفاده از آن به خوبی آب را از شوره‌زار تفکیک نمود. به عنوان مثال روش تفریق باندی و یا نسبت گیری طیفی به عنوان روش‌های مناسبی هستند که اختلافات و تفاوت پدیده‌ها را بخوبی بارز مینماید. اما باین حال استفاده از روش‌های ساده تفریق باند و یا نسبت گیری طیفی به تنهایی برای تصاویر چند زمانه مناسب نیستند. دلیل این امر آن است که با استفاده از این روش‌ها در تصاویر چند زمانه، مقادیر حد آستانه برای جداسازی آب از غیر آب به شدت دچار نوسان می‌شود. به همین منظور لازم است که از روش محاسباتی استفاده شود که بتواند مقادیر محاسبه شده را در یک بازه مشخص و معین نرمال سازی نماید. مزیت روش‌های نرمال سازی نسبت به سایر روش‌ها در این است که مقادیر خروجی را در بازه ۱- تا ۱+ محدود بندی می‌نماید؛ به گونه‌ای که بتوان هر یک از پدیده‌های مورد نظر را با استفاده از یک حد آستانه نسبتاً ثابت از یکدیگر تفکیک نمود. در همین راستا با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده می‌توان حد آستانه را به گونه‌ای تعریف کرد که پوشش آب از محدوده شوره‌زار مرطوب اطراف دریاچه به خوبی تفکیک و جداسازی گردد. بنابراین، علاوه بر شاخص مورد استفاده، از شاخص تصحیح شده NDWI نیز که توسط ژو ارائه شده و ترکیبی از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد (Singh et al. 2015; Subramaniam et al. 2011) در استخراج سطح پهنه آبی دریاچه استفاده شده است که می‌تواند محدوده مرطوب اطراف را نیز شامل شود.

$$MNDWI_{Green,MIR} = \frac{\rho_{Green} - \rho_{MIR}}{\rho_{Green} + \rho_{MIR}} \quad (۸)$$

۳-۲-۴- استخراج مساحت سطحی

پس از اینکه شاخص طیفی پیشنهادی بر روی تصاویر ماهواره‌ای پیاده‌سازی شد، با استفاده از حد آستانه تعیین شده (اعداد بزرگ‌تر از صفر) می‌توان نسبت به استخراج محدوده آبی از تصویر اقدام نمود. تصاویر مورد استفاده از ماهواره لندست با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که اگر توان تفکیک مکانی تصویر به ۱۵ متر افزایش پیدا نماید، دقت نقشه تولید شده می‌تواند افزایش نماید.

با استفاده از روش‌های ساده طبقه‌بندی مانند روش Density Slice و یا روش تصمیم‌گیری درختی^۱ می‌توان نسبت به جداسازی پوشش آب از تصویر اقدام و سپس کلاس آب تعیین شده را به یک لایه وکتوری تبدیل نموده و در نهایت نسبت به محاسبه میزان مساحت آب دریاچه ارومیه به صورت ماهیانه اقدام کرد. نقشه‌های به‌دست آمده از مساحت سطحی برای هر ماه در پیوست این گزارش آورده شده است.

۳-۲-۵- ارزیابی قابلیت سنجنده مادیس برای محاسبه مساحت سطحی

همان‌گونه که پیش‌تر در ارتباط با قابلیت‌های سنجنده مادیس صحبت شد، این سنجنده از توان تفکیک زمانی روزانه برخوردار است. به عبارت دیگر علاوه بر توان تفکیک طیفی از لحاظ توان تفکیک زمانی نیز نسبت به ماهواره لندست ۸ (۱۶ روزه) در وضعیت بسیار بهتری قرار دارد. بر همین اساس در صورتی که بتوان از روش ذکر شده برای استخراج مساحت سطحی دریاچه ارومیه برای سنجنده مادیس با توان تفکیک زمانی بالاتر استفاده نمود، این امکان فراهم خواهد شد که بتوان تغییرات مساحت سطحی دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه‌تر پایش نمود. همچنین با استفاده از این روش می‌توان اثر برخی از فرایندهای کوتاه‌مدت بر پدیده هدف را در تصاویر ماهواره‌ای بهتر مورد ارزیابی قرارداد.

برای آنکه بتوان قابلیت و توانایی سنجنده مادیس را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرارداد، لازم است تا از تصاویری استفاده شود که از لحاظ زمانی به تصاویر ماهواره لندست بیشترین نزدیکی و انطباق را داشته باشند. باین حال ابری بودن آسمان در برخی از تاریخ‌ها به عنوان یک محدودیت مهم در ارتباط با اخذ اطلاعات محسوب می‌شود.

در ارتباط با پیش‌پردازش تصاویر سنجنده مادیس نیز لازم به ذکر است که پیش‌تر تصحیحات رادیومتریکی بر روی مجموعه داده‌های درجه یک B این سنجنده در ایستگاه‌های دریافت ماهواره‌ای صورت گرفته است. باین حال این داده‌ها از لحاظ هندسی تصحیح نشده هستند. به همین منظور لازم است تا فرایند

^۱ Decision Tree

تصحیح هندسی با استفاده از نقاط کنترل بر روی تصاویر صورت بگیرد. پس از انجام تصحیحات هندسی بر روی تصاویر سنجنده مادیس، الگوریتم شاخص آب نرمال شده (پیشنهادی توسط مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف)، مرکب از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک اجرا گردید. نتایج بدست آمده از مقایسه نتایج ماهواره لندست و سنجنده مادیس در بخش نتایج آورده شده است.

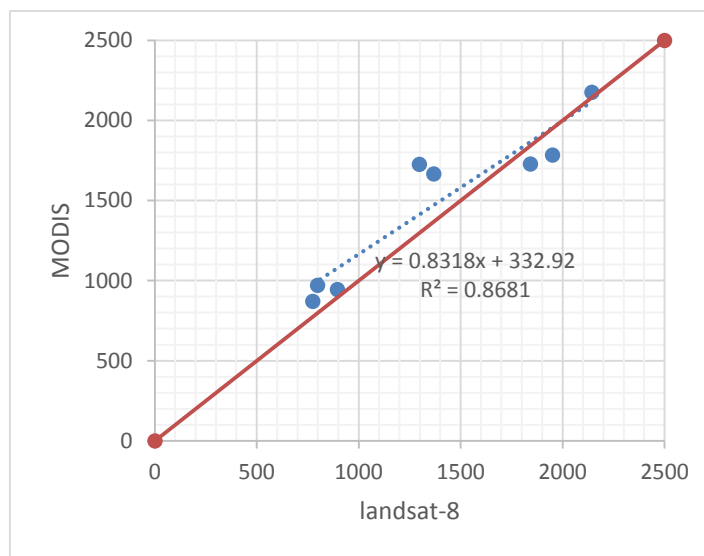
۳-۲-۶- محاسبه مساحت با استفاده از روابط بسیمتری

در این مرحله با استفاده از داده‌های تراز دریاچه ارومیه و روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مساحت دریاچه بر اساس روابط بسیمتری سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ تخمین و در ادامه با نتایج مطالعه حاضر مقایسه گردید.

۴- نتایج

۴-۱- نتایج بدست آمده از سنجنده مادیس

نتایج به دست آمده از سنجنده مادیس (۵ ماه از سال ۲۰۱۴ میلادی و ۳ ماه از سال ۲۰۱۵) در برآورد مساحت سطحی از همبستگی قابل توجهی با داده‌های ماهواره لندست ۸ برخوردار است (شکل ۴).



شکل ۴- رابطه رگرسیون خطی مساحت به دست آمده از ماهواره لندست و مادیس (برحسب کیلومتر مربع)

از میان داده‌های موجود ۵ تصویر برای سال ۲۰۱۴ میلادی و ۳ تصویر برای سال ۲۰۱۵ میلادی با تصاویر لندست مورد استفاده در این پروژه از لحاظ زمانی تطابق داشتند. نتایج به دست آمده از مقایسه نتایج این دو نوع سنجنده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- مقادیر مساحت محاسبه شده برای تصاویر ماهواره لندست و سنجنده مادیس

مساحت (بر حسب کیلومتر مربع)				تاریخ			
درصد خطا (%)	ΔS	مادیس	لندست	سال	ماه	روز (مادیس)	روز (لندست)
-۸	-۱۶۴/۹	۱۷۸۵	۱۹۴۹/۹	۲۰۱۴	ژوئن	۲۱	۱۸
۲۲	۲۹۹/۱	۱۶۶۶/۷	۱۳۶۷/۶	۲۰۱۴	ژوئیه	۱۸	۲۰
۶	۴۹/۷	۹۴۴/۹	۸۹۵/۲	۲۰۱۴	اوت	۲۷	۲۱
۱۲	۹۶/۵	۸۷۱/۳	۷۷۴/۸	۲۰۱۴	سپتامبر	۱۸	۲۲
-۶	-۱۱۲/۹	۱۷۲۸/۷	۱۸۴۱/۶	۲۰۱۴	نوامبر	۳	۹
۱	۳۱/۲	۲۱۷۵/۲	۲۱۴۴	۲۰۱۵	آوریل	۱۷	۱۸
۳۳	۴۲۸/۸	۱۷۲۶/۱	۱۲۹۷/۳	۲۰۱۵	ژوئیه	۱۰	۲۳
۲۲	۱۷۳/۹	۹۷۱/۸	۷۹۷/۹	۲۰۱۵	سپتامبر	۹	۲۵

از آن جا که ماهواره لندست از توان تفکیک مکانی بالاتری نسبت به سنجنده مادیس برخوردار است، لذا نتایج به دست آمده از آن (در این زمینه مطالعاتی) از دقت و صحت به مراتب بالاتری برخوردار هستند، بنابراین نتایج سطح حاصل از آن می تواند برای ارزیابی میزان صحت و دقت نتایج به دست آمده از سنجنده مادیس مورد استفاده قرار بگیرد.

توجه به شیب و عرض از مبدا خط رگرسیون می تواند نشان دهد که داده های سطح حاصل از لندست و مادیس تا چه اندازه ای تشابه دارند. شیب ۰٫۸ رابطه نسبی بین مقادیر سطح دریاچه حاصل از دو تصویر را نشان می دهد و عرض از مبدا بدست آمده نیز نشانگر آن است که مقادیر مادیس دارای تقدیمی ۳۳۳ کیلومتری نسبت به مقادیر لندست هستند. لازم به ذکر است که شیب ۱ و عرض از مبدا صفر، تطابق کامل بین دو سری داده را نشان می دهند. ضریب تعیین به دست آمده (R^2) در ارتباط با مقادیر به دست آمده از ماه های متناظر سنجنده مادیس و ماهواره لندست (۰/۸۷) نشان دهنده آن است که نتایج سطح حاصل از دو سنجنده از همبستگی مناسبی برخوردار است. میزان شاخص خطای RMSE استاندارد شده^۱ مقادیر سطح حاصل از مادیس در مقایسه با مقادیر لندست محاسبه گردید که مقدار ۰٫۲ بدست آمد. این مقدار هر چه به صفر نزدیک تر باشد قابلیت شبیه سازی بالاتری را برای مدل نشان می دهد.

بنابراین طبق مشاهدات فوق، خطای مقادیر مادیس نسبت به لندست از دقت قابل قبولی برخوردار است. بر همین اساس با توجه به اینکه سنجنده مادیس از توان تفکیک زمانی بسیار بالاتری برخوردار است، لذا

^۱ Root Mean Squared Standard deviation ratio (RSR)

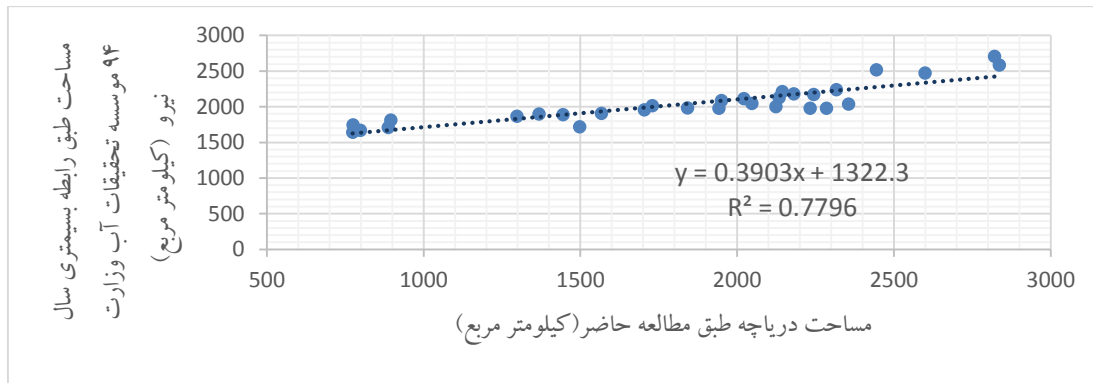
می توان با استفاده از آن مساحت سطحی دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه تری مورد مطالعه و بررسی قرارداد. با وجود آنکه ماهواره لندست از دقت بالاتری برخوردار است، اما محدودیت توان تفکیک زمانی آن (۱۶ روزه)، این امکان را فراهم می آورد که تنها بتوان در هر ماه حداکثر با دو تصویر تغییرات مساحت را بررسی نمود، در حالی که با استفاده از سنجنده مادیس می توان در فواصل زمانی روزانه (در صورتی که محدوده مورد مطالعه پوشیده از ابر نباشد) مورد پایش قرارداد.

۴-۲- اعتبار سنجی نتایج مساحت سطحی بدست آمده از ماهواره لندست

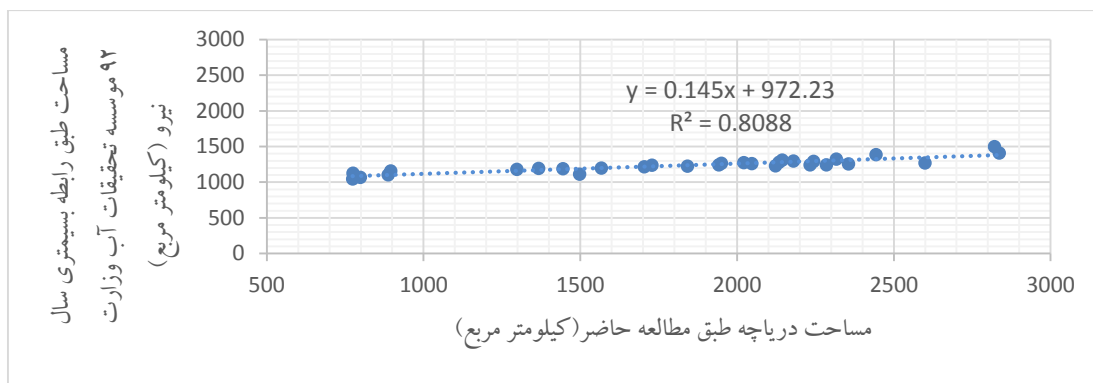
نتایج تخمینی از مساحت دریاچه با استفاده از تصاویر لندست و دو شاخص مختلف (باند سبز و قرمز) در مقایسه با نتایج سطح محاسبه شده توسط موسسه تحقیقات آب، در جدول ۶ ارائه شده است. شاخص دوم (ترکیب باند سبز و مادون قرمز نزدیک) در اکثر تاریخها مقادیر بیشتری را نسبت به شاخص اول (ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک) نشان داده اند که می تواند بعلت در نظر گرفتن محدوده های مرطوب بعنوان بخشی از سطح دریاچه باشد.

مقایسه مساحت های محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (شاخص اول) با مساحت های به دست آمده از روابط بسیمتری سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ مربوط به موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، نشان دهنده همبستگی مناسبی بین داده های مذکور است (شکل ۵ و ۶ و جدول ۶). رابطه خطی برقرار شده بین مساحت های محاسبه شده در مطالعه حاضر با مقادیر متناظر از روابط بسیمتری سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ به ترتیب دارای ضریب تعیین (R^2) معادل ۰/۸۰ و ۰/۷۸ می باشند. بررسی رابطه خطی بین مساحت مطالعه حاضر با مساحت محاسبه شده توسط روابط بسیمتری سال ۱۳۹۴ به صورت تفکیک شده در ماه های گرم و سرد سال، نشان دهنده ضریب تعیین (R^2) به ترتیب معادل ۰/۹۷ و ۰/۸۶ می باشد (شکل های ۷ و ۸)؛ که در هر دو دوره از دقت قابل قبولی برخوردار است.

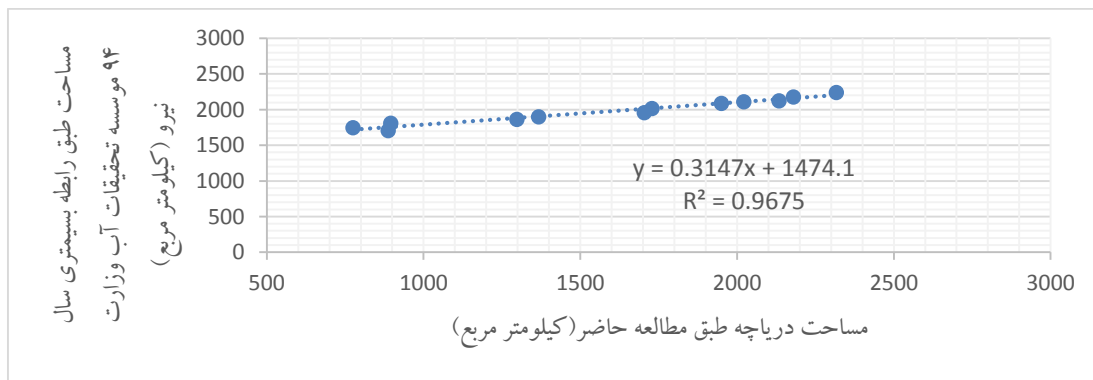
نتایج مقایسه متناظر مساحت های دریاچه در مطالعه حاضر با مساحت های مبتنی بر روابط بسیمتری نشان می دهد که علی رغم ترکیب توام روش های سنجش از دوری و برداشت های متعدد زمینی در روش بسیمتری، داده های سطح دریاچه در مطالعه حاضر، ضمن سادگی و سرعت روش محاسبه، با تقریب نسبتا خوبی مساحت دریاچه را برآورد می کند. شکل ۹ روند تغییرات سطح دریاچه را بر اساس سه روش مورد بحث نشان می دهد. بررسی نتایج نشان می دهد که رابطه سال ۹۲ در اکثر تاریخ ها، مقادیر سطح را بسیار کمتر از نتایج رابطه ۹۴ و نتایج مطالعه حاضر برآورد نموده است.



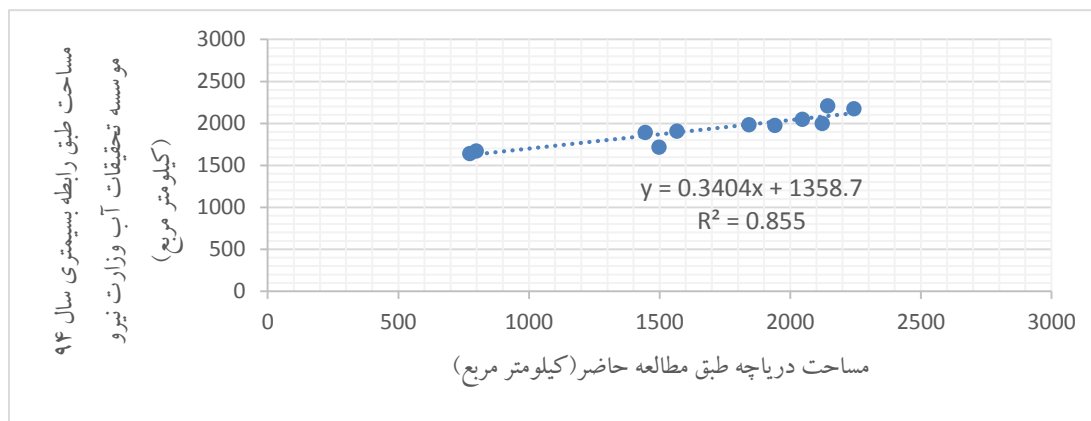
شکل ۵- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی توسط این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو



شکل ۶- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۲ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو



شکل ۷- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه‌های گرم (اردبیل، گیلان، مازندران)



شکل ۸- مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه و رابطه بسیمتری سال ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات

آب وزارت نیرو در ماه‌های سرد (مهر تا فروردین)

جدول ۶- مقایسه مساحت‌های بدست آمده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست با رابطه بسیمتری موسسه تحقیقات آب

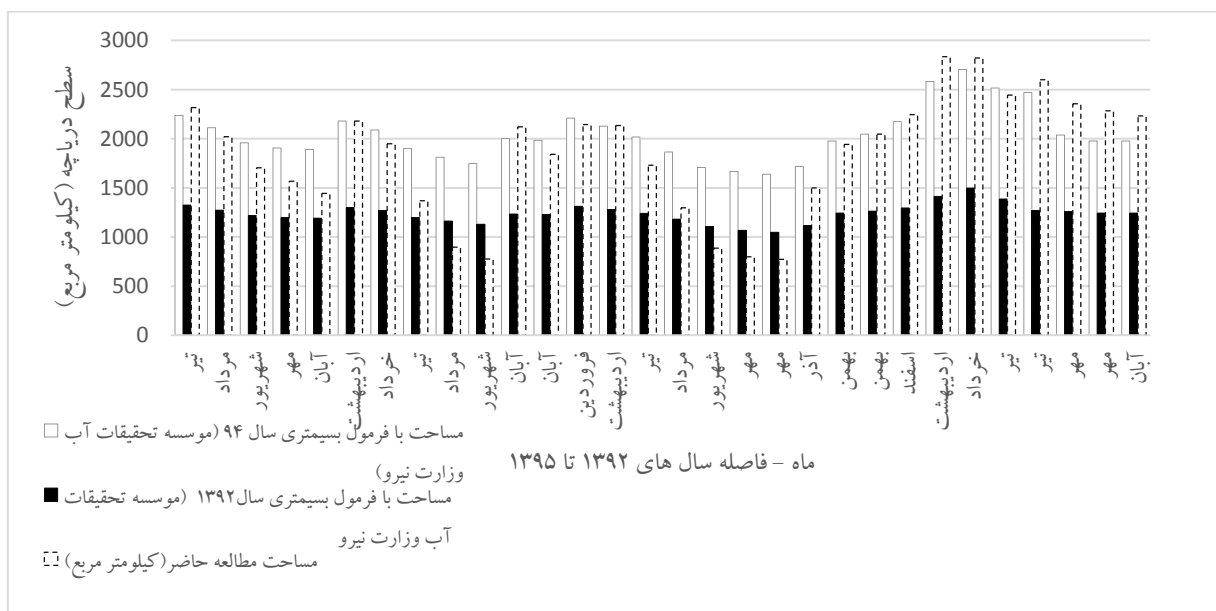
(کیلومتر مربع)

روز	ماه	سال	سطح تراز (متر)	مساحت طبق فرمول بسیمتری سال ۹۴ (موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو)	مساحت طبق فرمول بسیمتری سال ۱۳۹۲ (موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو)	مساحت طبق مطالعه حاضر (باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک)	مساحت طبق مطالعه حاضر (باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک)
۲۶	تیر	۱۳۹۲	۱۲۷۰/۷۵	۲۲۴۰	۱۳۲۳	۲۳۱۶	۲۴۲۰
۲۷	مرداد	۱۳۹۲	۱۲۷۰/۵۸	۲۱۱۱	۱۲۷۴	۲۰۲۱	
۲۸	شهریور	۱۳۹۲	۱۲۷۰/۳۸	۱۹۵۸	۱۲۱۷	۱۷۰۴	
۲۹	مهر	۱۳۹۲	۱۲۷۰/۳۳	۱۹۰۷	۱۱۹۸	۱۵۶۷	
۱۵	آبان	۱۳۹۲	۱۲۷۰/۳۱	۱۸۹۰	۱۱۹۲	۱۴۴۴	۱۶۷۴
۲۷	اردیبهشت	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۶۷	۲۱۸۰	۱۲۹۹	۲۱۸۰	۲۲۱۹
۲۸	خرداد	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۵۵	۲۰۸۸	۱۲۶۵	۱۹۵۰	
۲۹	تیر	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۳۲	۱۸۹۹	۱۱۹۶	۱۳۶۸	
۳۰	مرداد	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۲۲	۱۸۱۱	۱۱۶۰	۸۹۵	
۳۱	شهریور	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۱۵	۱۷۴۶	۱۱۲۹	۷۷۵	۸۲۶
۲	آبان	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۴۴	۲۰۰۰	۱۲۳۳	۲۱۲۳	
۱۸	آبان	۱۳۹۳	۱۲۷۰/۴۲	۱۹۸۳	۱۲۲۶	۱۸۴۲	
۳۰	فروردین	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۷۱	۲۲۱۰	۱۳۱۲	۲۱۴۴	
۳۱	اردیبهشت	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۶	۲۱۲۷	۱۲۸۰	۲۱۳۴	
۱	تیر	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۴۶	۲۰۱۶	۱۲۳۹	۱۷۲۹	
۲	مرداد	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۲۸	۱۸۶۴	۱۱۸۲	۱۲۹۷	
۳	شهریور	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۱۱	۱۷۰۸	۱۱۰۶	۸۸۷	
۴	مهر	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۰۷	۱۶۷۰	۱۰۶۸	۷۹۸	

ادامه جدول ۶- مقایسه مساحت‌های بدست آمده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست با رابطه بسیمتری موسسه تحقیقات

آب (کیلومتر مربع)

روز	ماه	سال	سطح تراز (متر)	مساحت طبق فرمول بسیمتری سال ۹۴ (موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو)	مساحت طبق فرمول بسیمتری سال ۱۳۹۲ (موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو)	مساحت طبق مطالعه حاضر (باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک)	مساحت طبق مطالعه حاضر (باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک)
۱۹	مهر	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۰۴	۱۶۴۰	۱۰۴۸	۷۷۴	۸۹۵
۸	آذر	۱۳۹۴	۱۲۷۰/۱۲	۱۷۱۸	۱۱۱۳	۱۴۹۸	
۱۱	بهمن	۱۳۹۴	۱۲۷۰,۴۸	۱۹۷۷	۱۲۴۵	۱۹۴۲	
۲۷	بهمن	۱۳۹۴	۱۲۷۰,۵۴	۲۰۴۸	۱۲۶۲	۲۰۴۷	
۲۹	اسفند	۱۳۹۴	۱۲۷۰,۶۵	۲۱۷۴	۱۲۹۴	۲۲۴۵	
۱	اردیبهشت	۱۳۹۵	۱۲۷۱,۰۱	۲۵۸۳	۱۴۱۲	۲۸۳۷	۳۰۰۶
۲	خرداد	۱۳۹۵	۱۲۷۱,۱۵	۲۷۰۶	۱۴۹۸	۲۸۲۱	
۳	تیر	۱۳۹۵	۱۲۷۰,۹۵	۲۵۱۷	۱۳۸۸	۲۴۴۴	
۱۹	تیر	۱۳۹۵	۱۲۷۰,۹۱	۲۴۷۲	۱۲۷۱	۲۶۰۰	
۶	مهر	۱۳۹۵	۱۲۷۰,۵۳	۲۰۳۶	۱۲۵۹	۲۳۵۶	
۲۲	مهر	۱۳۹۵	۱۲۷۰,۴۸	۱۹۷۷	۱۲۴۵	۲۲۸۵	
۲۴	آبان	۱۳۹۵	۱۲۷۰,۴۸	۱۹۷۷,۳۸	۱۲۴۴,۶۱	۲۲۳۲,۸	۲۰۵۱,۰۸



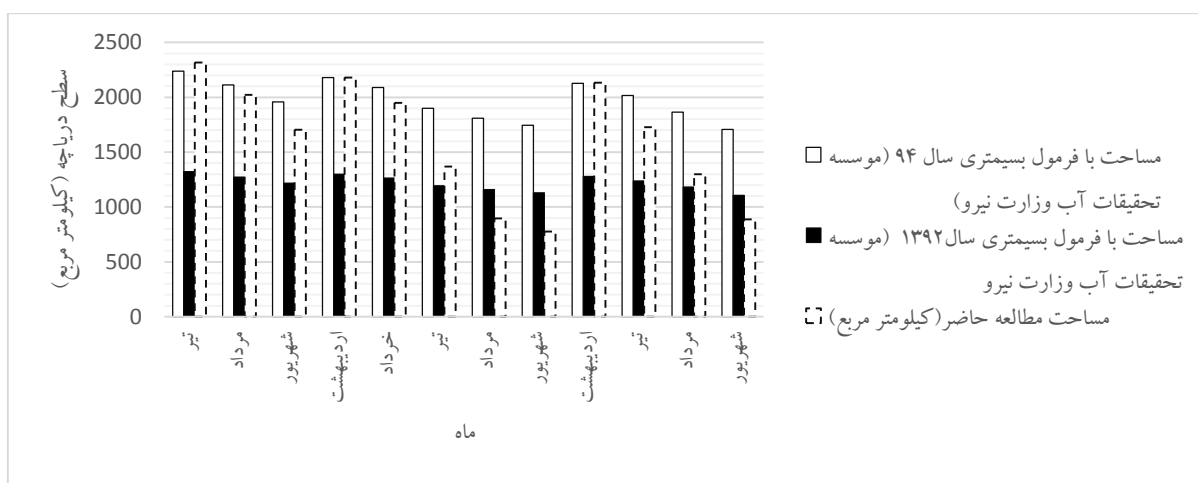
شکل ۹- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و به دست آمده از روابط بسیمتری سال های

۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

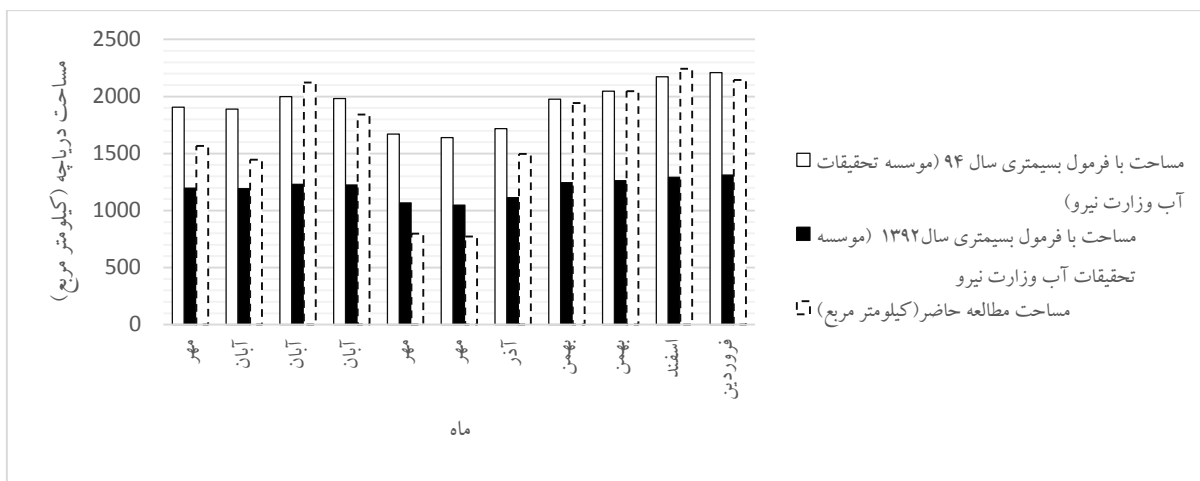
شکل های ۱۰ و ۱۱ به مقایسه روند محاسبات انجام شده توسط این مطالعه و مقادیر به دست آمده از روابط بسیمتری سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه های گرم و سرد پرداخته است. بر اساس این دو شکل، هم در فصول گرم و هم در فصول سرد، واریانس داده های مساحت در مطالعه حاضر بیش از مقادیر سطح بسیمتری بوده که یکی از دلایل احتمالی آن حساسیت داده های سطح در مطالعه حاضر به تغییرات فصلی بارش می باشد. میانگین داده های سطح طی بازه زمانی مورد بررسی در مطالعه حاضر معادل ۱۸۴۱، در روش بسیمتری سال ۹۲ معادل ۱۲۳۹ و در روش بسیمتری سال ۹۴ معادل ۲۰۴۱ کیلومتر مربع می باشد. مقایسه میانگین ها نشان می دهد که متوسط سطح محاسبه شده در مطالعه حاضر از نظر کمی بین عدد سطح در دو روش دیگر قرار می گیرد.

همچنین بررسی روند تغییرات سطح در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان می دهد که روند تغییرات منحنی سطح بسیمتری سال ۱۳۹۴ با مطالعه حاضر شباهت زیادی دارد؛ اما در اغلب موارد مطالعه حاضر مقدار عددی کمتری را نسبت به مقدار متناظر سطح بسیمتری سال ۹۴ نشان می دهد.

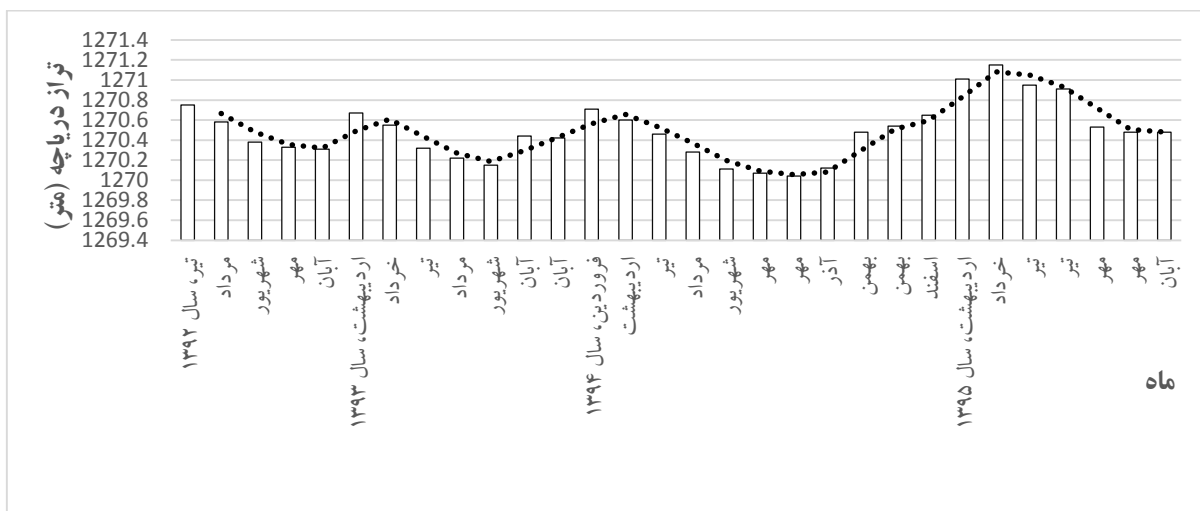
در شکل های ۱۲ و ۱۳ تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه (باتوجه به روابط بسیمتری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، سال ۱۳۹۴) و تغییرات سطح دریاچه در مطالعه حاضر نشان داده شده است. همانطور که شکل ۱۳ نشان می دهد، روند تغییرات صعودی و نزولی مساحت تخمین زده شده توسط مطالعه حاضر شباهت زیادی به تغییرات تراز آب دارد.



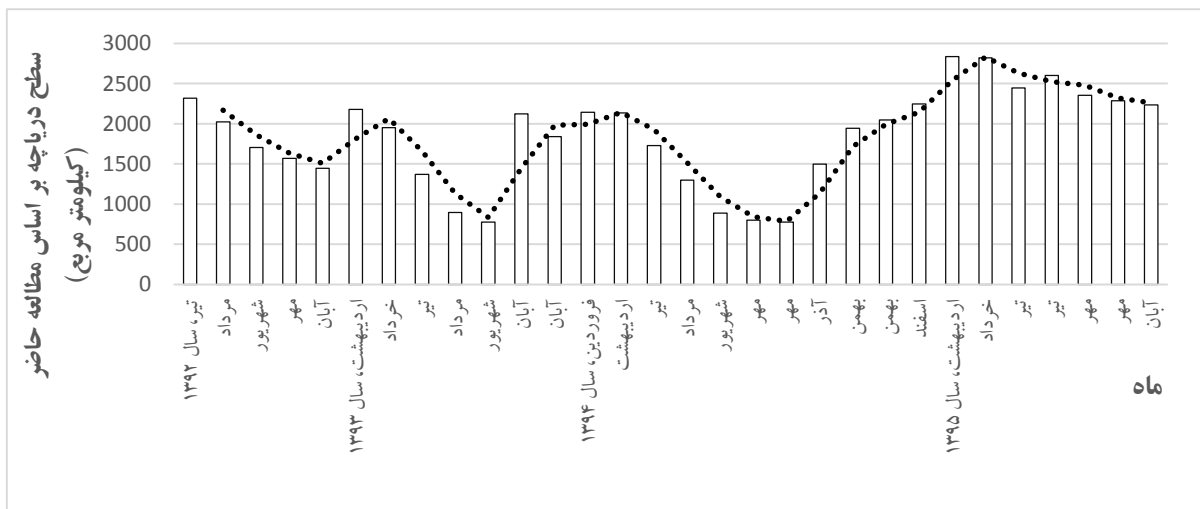
شکل ۱۰- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و به دست آمده از روابط بسیمتری سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه های گرم اردیبهشت تا شهریور



شکل ۱۱- مقایسه تخمین مساحت دریاچه ارومیه انجام شده توسط این مطالعه و روند به دست آمده از روابط بسیمتر سال-های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ماه های سرد مهر تا فروردین



شکل ۱۲- روند تغییرات تراز دریاچه ارومیه وزارت نیرو طبق رابطه بسیمتری موسسه تحقیقات آب



شکل ۱۳- تغییرات مساحت دریاچه بر اساس روش اتخاذ شده در این مطالعه

۴-۳- دلایل احتمالی اختلاف بین سطح دریاچه در مطالعه حاضر با مقادیر متناظر سطح

بسیمتری

بر اساس دلایل زیر پیش‌بینی می‌شود که فناوری سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای اطلاعات نسبتاً صحیح‌تری را در ارتباط با تغییرات مساحت سطحی ارائه می‌دهند:

- در نتایج موسسه، داده‌های زمینی تراز تنها در یک یا چند زمان مشخص و ثابت برداشت می‌شوند و رابطه همبستگی آنها با نتایج سطح حاصل از تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده و سپس رابطه فوق در کلیه تاریخ-های آتی و بدون لحاظ نمودن شرایط خاص مرتبط با هر تاریخ استفاده می‌گردد، بنابراین از لحاظ زمانی نمی‌توانند پویایی کاربرد تصاویر ماهواره‌ای به‌روز را داشته باشند.
- از لحاظ مکانی، داده‌های زمینی استخراج شده به‌صورت گسسته و پراکنده هستند و نمی‌توان از تمامی قسمت‌های دریاچه (با توجه به وسعت آن) به‌صورت جزئی در ارتباط با وجود یا عدم وجود آب نمونه-برداری نمود. با این حال تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی تمام وسعت دریاچه را پوشش می‌دهند و می‌توان بر تمامی پیکره سطحی دریاچه احاطه داشته و در ارتباط با وجود و عدم وجود آب قضاوت نمود. در حقیقت در فرایند تخمین سطح از تصاویر ماهواره‌ای، از روش‌های مبتنی بر درون‌یابی و قواعد خودهمبستگی مکانی برای رسیدن به مقادیر مجهول با استفاده از مقادیر معلوم استفاده نمی‌گردد.
- در تصاویر ماهواره‌ای می‌توان اثر فرایندهای زیست‌محیطی قابل پیش‌بینی و غیرقابل پیش‌بینی مانند بارش را بر روی پدیده مورد مطالعه مورد بررسی قرارداد. این در حالی است که در روش استفاده از داده‌های زمینی تنها در یک‌زمان واحد نمونه‌ها برداشت شده و آنچه که در آینده ممکن است اتفاق بیفتد از روی روابط و فرمول‌های استخراج شده از داده‌های موجود پیش‌بینی می‌شود.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه آشکارسازی تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ شمسی صورت گرفته و نتایج حاکی از آن است که استفاده از شاخص‌های مبتنی بر آب و رطوبت در تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت نسبتاً بالایی در ارتباط با جداسازی و استخراج پهنه آبی دریاچه برخوردار است. براساس فرضیاتی که در ارتباط با رفتارهای طیفی آب و شوره‌زار و همچنین کنش محدوده‌های امواج الکترومغناطیسی در نظر گرفته شد، استفاده از ترکیب بانندی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به‌عنوان ترکیب بانندی مناسب برای جداسازی پهنه آبی دریاچه و شوره‌زار تشخیص داده شده است.

الگوریتم پیشنهادی برای داده‌های سنجنده مادیس نیز به کار برده شد و نتایج مناسب و قابل قبولی در این رابطه استخراج گردید. با توجه به اینکه سنجنده مادیس از توان تفکیک زمانی بالاتری برخوردار است، می‌توان از آن برای پایش تغییرات مساحت سطحی دریاچه ارومیه به صورت روزانه اقدام نموده و اثر تغییرات هواشناسی و اقلیمی بر روی میزان آب دریاچه را در فواصل زمانی کوتاه‌تری مورد ارزیابی قرارداد.

نتایج به دست آمده از مقایسه مقادیر سطح دریاچه محاسبه شده توسط مطالعه حاضر با مقادیر متناظر سطح بسیمتری وزارت نیرو نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً بالا بین آن‌ها می‌باشد.

هر چند روند تغییرات مساحت در مطالعه حاضر با روند تغییرات مساحت در روش بسیمتری، تغییرات بارش و تغییرات تراز دریاچه بسیار شبیه است؛ اما این مساحت نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۹۲ دارای تخمین دست بالا و نسبت به ارقام سطح بسیمتری سال ۹۴ داری تخمین دست پایین می‌باشد.

مساحت سطحی برآورد شده برای سه سال مذکور از فصول مختلف، بیانگر یک چرخه تقریباً منظم در افزایش و کاهش مساحت سطحی آب دریاچه است. به این صورت که در فصول سرد سال افزایش و در فصول گرم سال کاهش میزان آب موجود در دریاچه مشاهده می‌شود. مقدار مساحت دریاچه در طول سال متغیر و تحت تاثیر متغیرهای زیادی مانند مقدار بارندگی می‌باشد. در همین راستا عموماً کمترین میزان مساحت سطحی ثبت شده برای ماه‌های مربوط به فصول گرم سال است که در آن‌ها میزان بارش کم و میزان تبخیر نیز بالاتر بوده است. از طرف دیگر میزان این نوسانات و تغییرات نیز در نیمه جنوبی دریاچه به دلیل عمق کمتر آن، بسیار بیشتر از نیمه شمالی است. در کنار تغییرات فصلی اما روند کلی تغییرات سطح دریاچه در فاصله سال‌های ۱۳۹۲ تا نیمه سال ۱۳۹۵ بر اساس مطالعه حاضر صعودی می‌باشد.

برنامه‌ی مدیریت جامع دریاچه ارومیه «حفظ تالاب‌ها، برای مردم، برای طبیعت». (۱۳۸۹). تهیه شده با همکاری سازمان‌های دولتی، تشکل‌های زیست‌محیطی و جوامع محلی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه.

Chen, D., Jackson Li, F., Cosh, M., Walthall, C., & Anderson, M. (2003). Estimation of vegetation water content, T.t for corn and soybeans with a normalized difference water index (NDWI) using Landsat Thematic Mapper data. In, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International* (pp. 2853-2856): IEEE.

Delbart, N., Kergoat, L., Le Toan, T., Lhermitte, J., & Picard, G. (2005). Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index. *Remote Sensing of Environment, 97*, 26-38.

Dennison, P.E., Roberts, D., Peterson, S., & Rechel, J. (2005). Use of normalized difference water index for monitoring live fuel moisture. *International Journal of Remote Sensing, 26*, 1035-1042.

Estallo, E.L., Ludueña-Almeida, F.F., Visintin, A.M., Scavuzzo, C.M., Lamfri, M.A., Introini, M.V., Zaidenberg, M., & Almirón, W.R. (2012). Effectiveness of normalized difference water index in modelling Aedes aegypti house index. *International Journal of Remote Sensing, 33*, 4254-4265.

Gao, B.-C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58*, 257-266.

Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling, Z., & Yu, G. (2011). Water body extraction methods study based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences, 10*, 2619-2624.

Hüttich, C., Herold, M., Schmullius, C., Egorov, V., & Bartalev, S. (2006). SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998–2005 as indicators of recent land cover change processes in northern Eurasia. In, *2nd workshop of the EARSeL SIG on land use and land cover, Bonn* (pp. 336-344).

Li, M., Xu, L., & Tang, M. (2011). An extraction method for water body of remote sensing image based on oscillatory network. *Journal of Multimedia, 6*, 252-260.

Liu, Y. (2012). Why NDWI threshold varies in delineating water body from multitemporal images? In, *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4375-4378): IEEE.

Lu, S., Wu, B., Yan, N., & Wang, H. (2011). Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13*, 428-434.

McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing, 17*, 1425-1432

Ouma, Y.O., & Tateishi, R. (2006). A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3153-3181.

Pengra, B. (2012). The Drying of Iran's Lake Urmia and its Environmental Consequences. Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS). *Environmental Development* 2, 128-137.

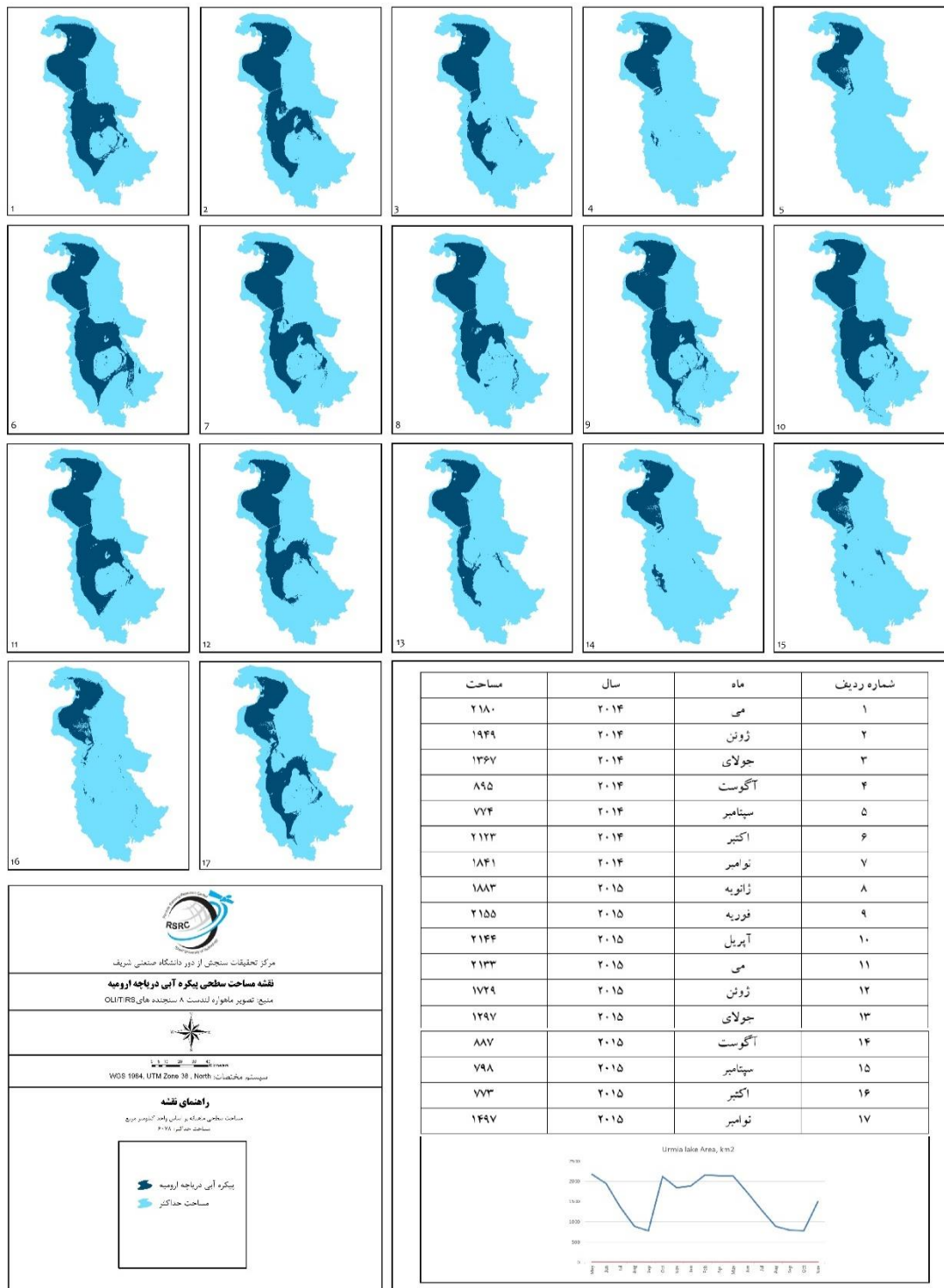
Singh, K.V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., & Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 30, 650-661.

Subramaniam, S., Babu, A.S., & Roy, P.S. (2011). Automated water spread mapping using ResourceSat-1 AWiFS data for water bodies information system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4, 205-215.

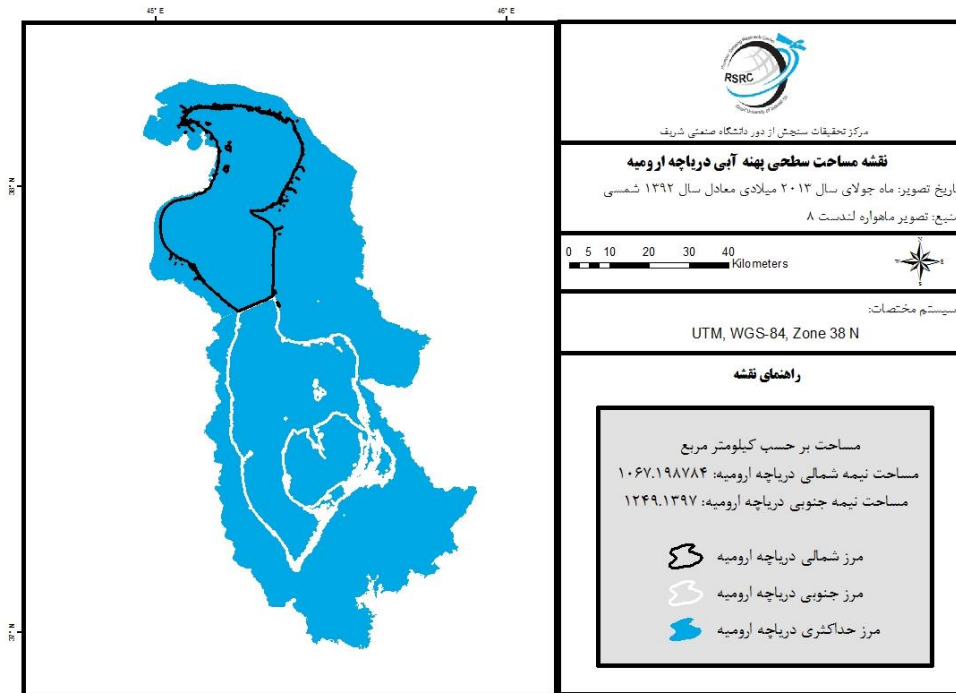
Wolf, A.F. (2012). Using Worldview-2 Vis-NIR multispectral imagery to support land mapping and feature extraction using normalized difference index ratios. In, *SPIE Defense, Security, and Sensing* (pp. 83900N-83900N-83908): International Society for Optics and Photonics.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025-3033.

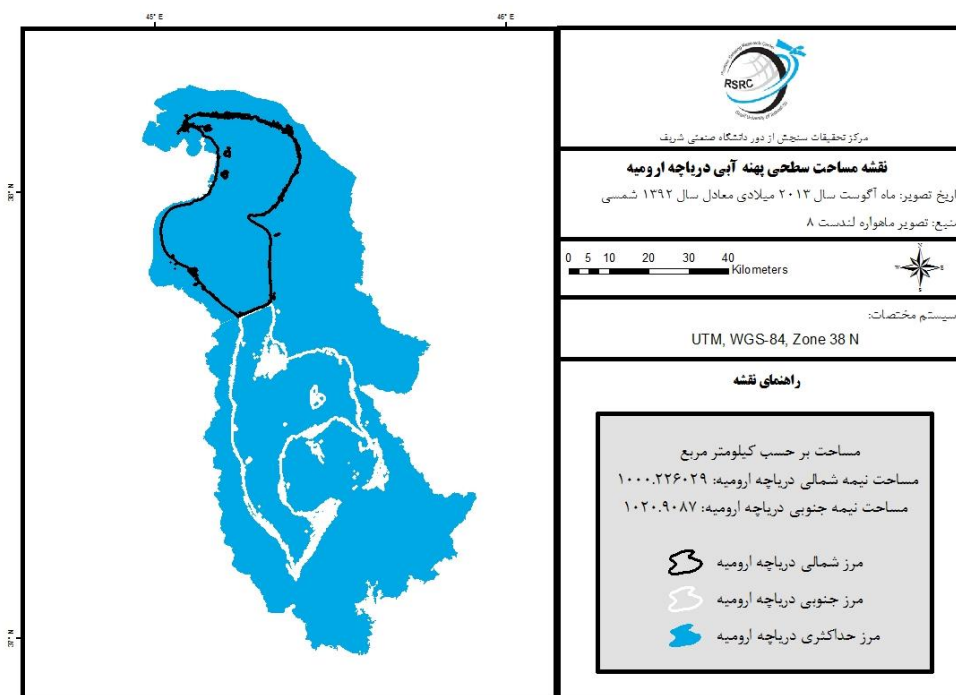
Zhao, L., Yu, H., & Zhang, L. (2009). Water body extraction in urban region from high resolution satellite imagery with Near-Infrared Spectral Analysis. In, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009* (pp. 73833I-73833I-73836): International Society for Optics and Photonics.



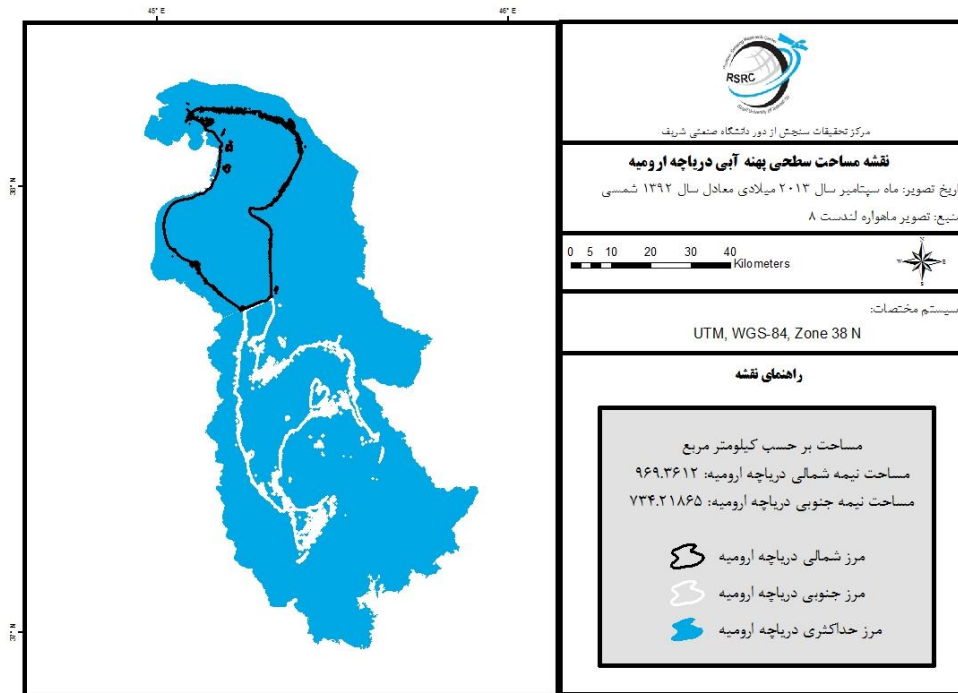
شکل ۱۴- تغییرات ماهیانه مساحت سطحی دریاچه ارومیه نسبت به مساحت حداکثری برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی بدست آمده توسط ماهواره لندست ۸



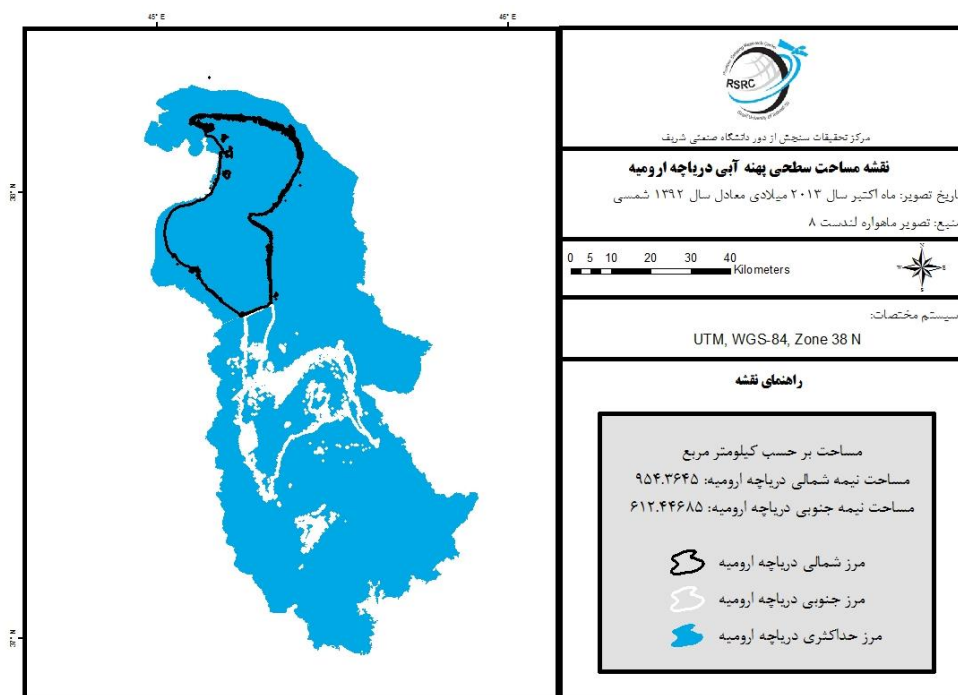
شکل ۱۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۳ (تیر ماه سال ۱۳۹۲)



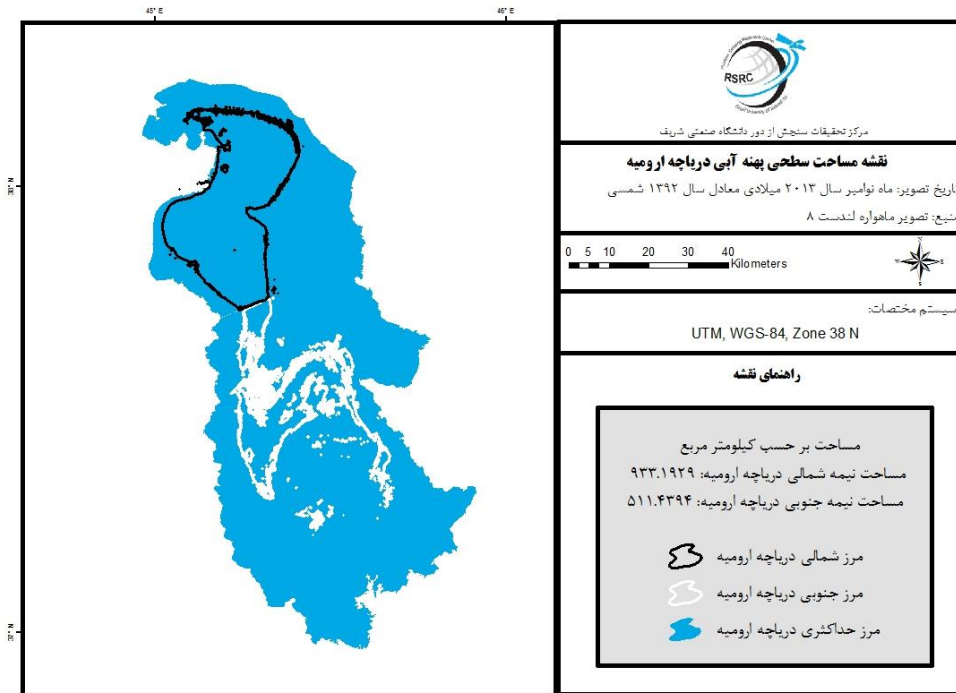
شکل ۱۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اوت سال ۲۰۱۳ (مرداد ماه سال ۱۳۹۲)



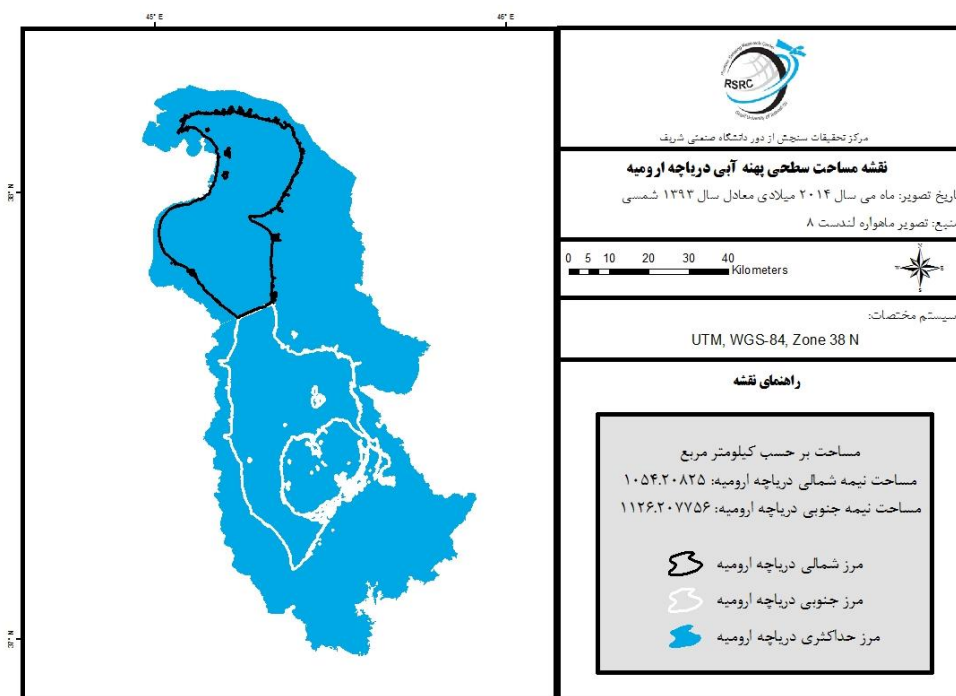
شکل ۱۷- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۳ (شهریور ماه ۱۳۹۲)



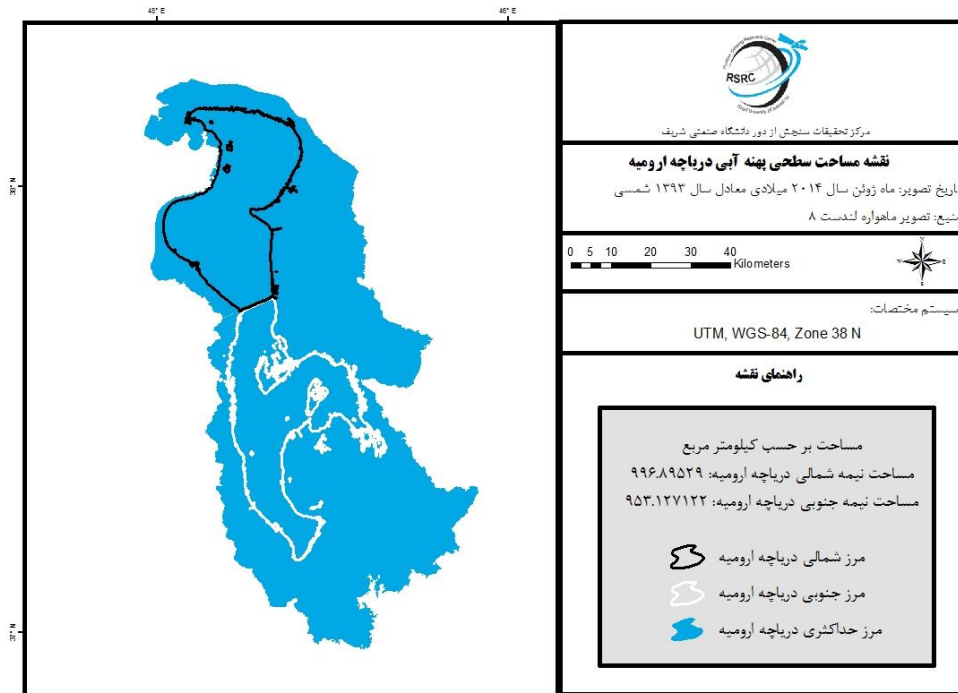
شکل ۱۸- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اکتبر سال ۲۰۱۳ (مهر ماه ۱۳۹۲)



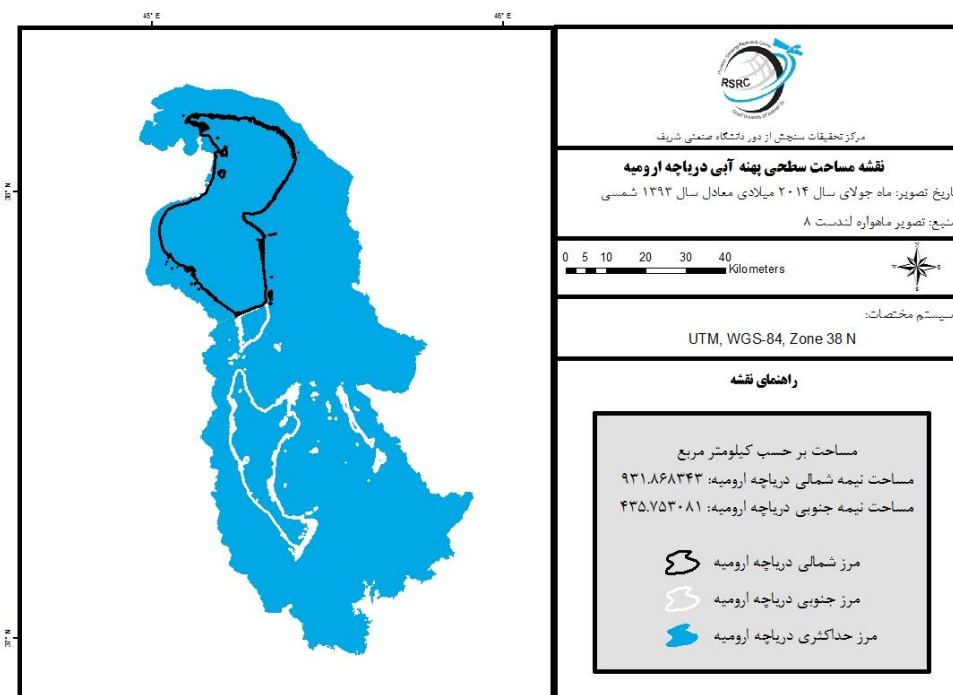
شکل ۱۹- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه نوامبر سال ۲۰۱۳ (آبان ماه ۱۳۹۲)



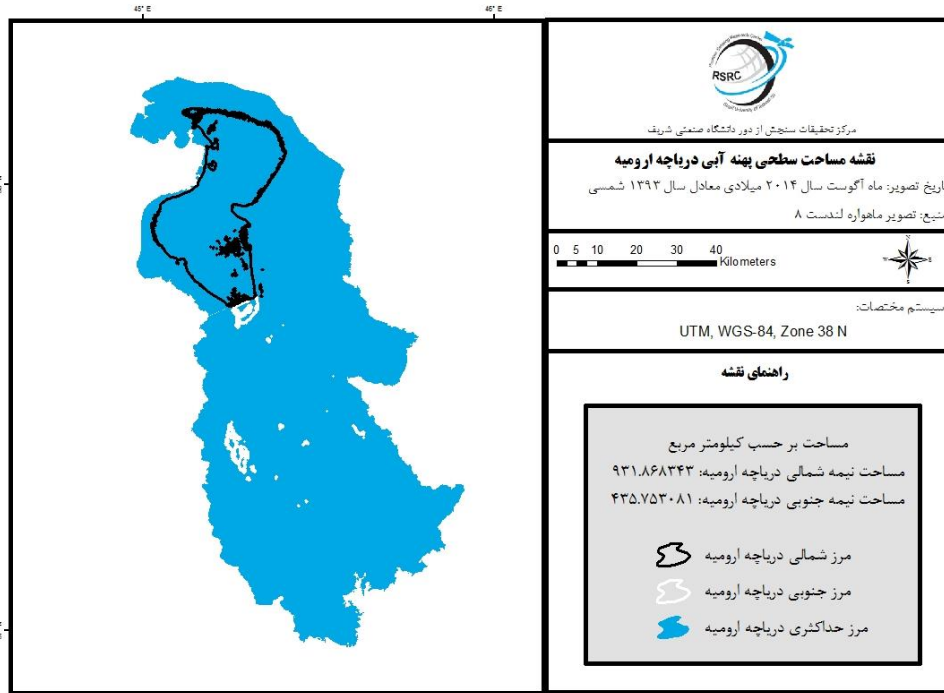
شکل ۲۰- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه می سال ۲۰۱۴ (اردیبهشت ماه ۱۳۹۳)



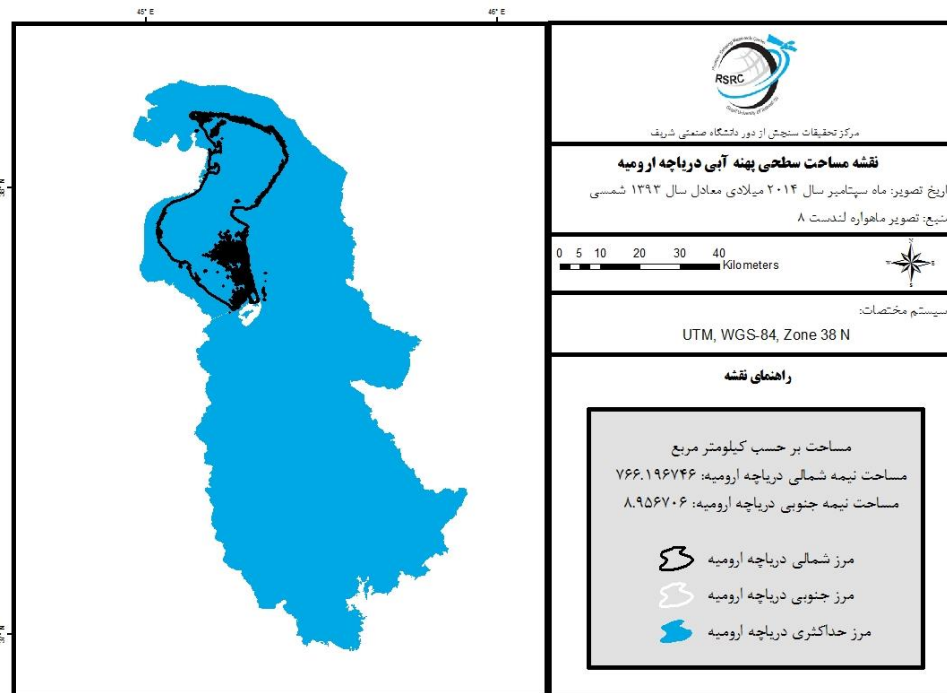
شکل ۲۱- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژوئن سال ۲۰۱۴ (خرداد ماه ۱۳۹۳)



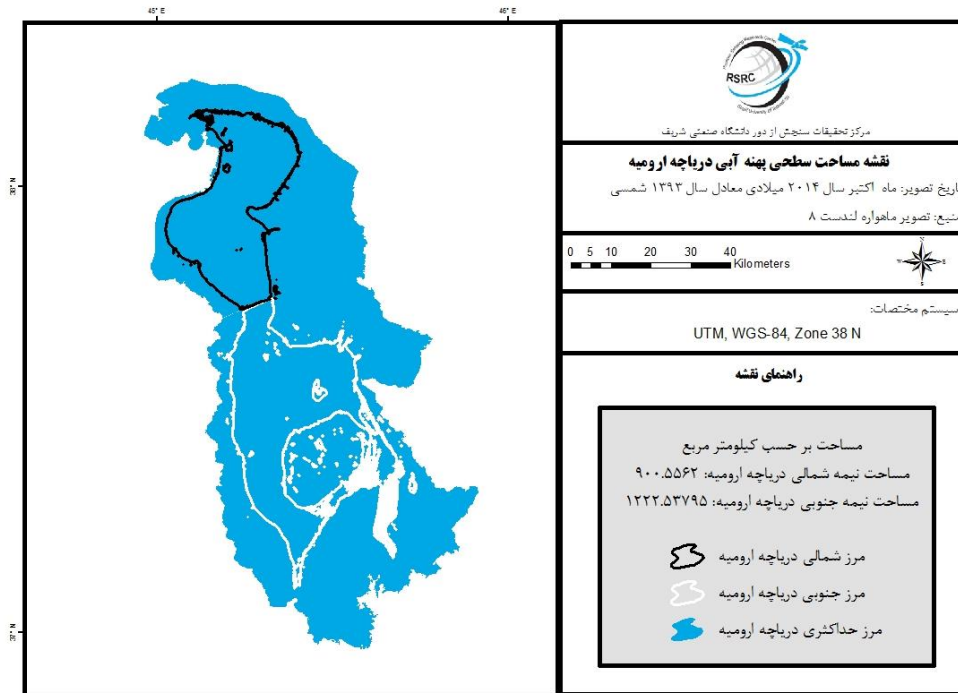
شکل ۲۲- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۴ (تیر ماه ۱۳۹۳)



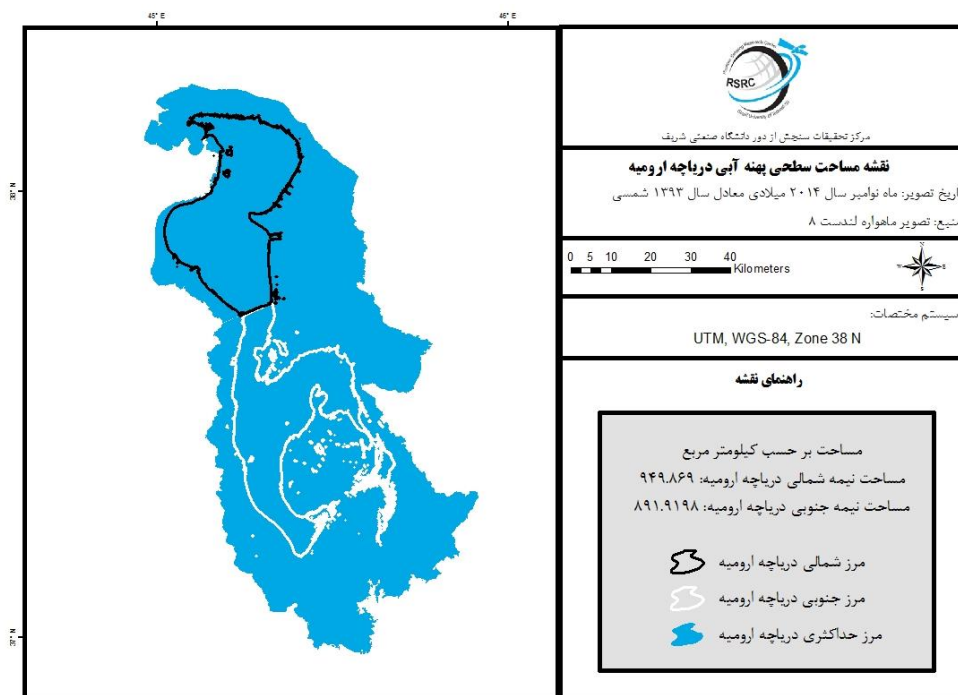
شکل ۲۳- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اوت سال ۲۰۱۴ (مرداد ماه ۱۳۹۳)



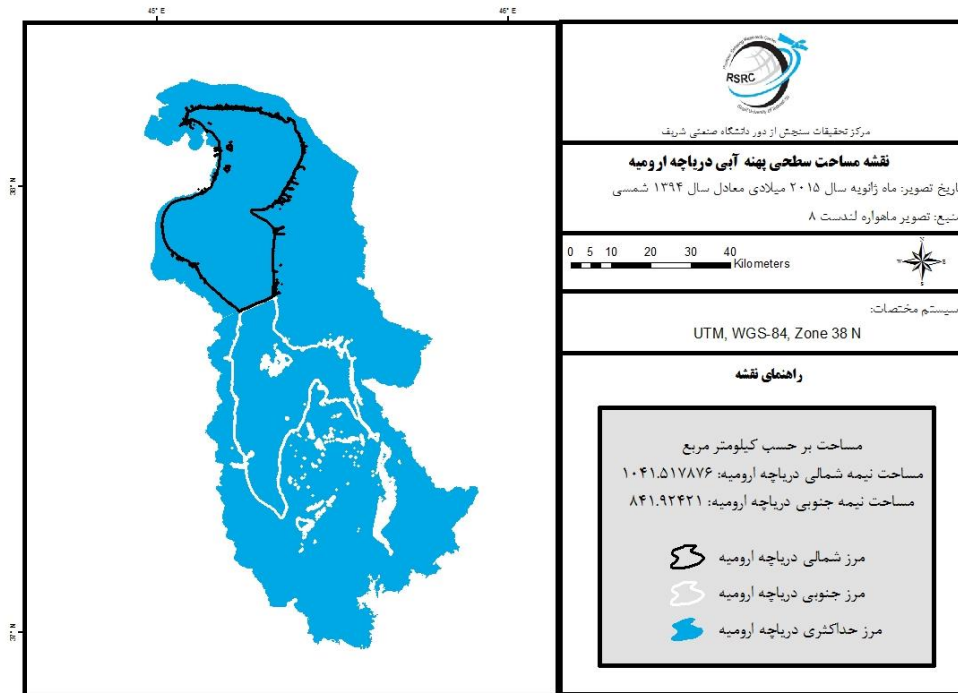
شکل ۲۴- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۴ (شهریور ماه ۱۳۹۳)



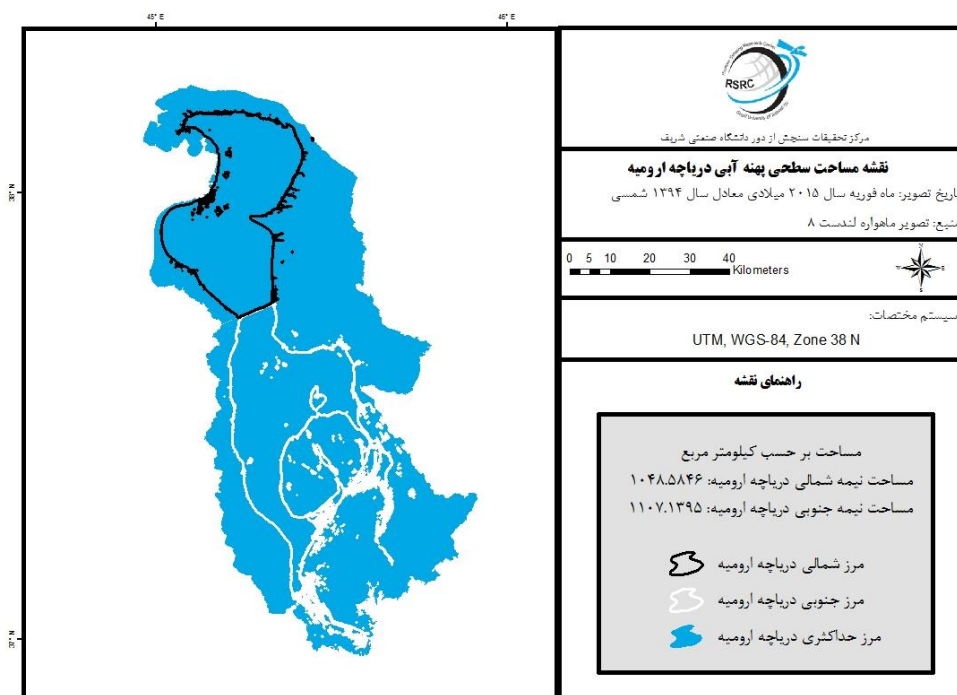
شکل ۲۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اکتبر سال ۲۰۱۴ (آبان ماه ۱۳۹۳)



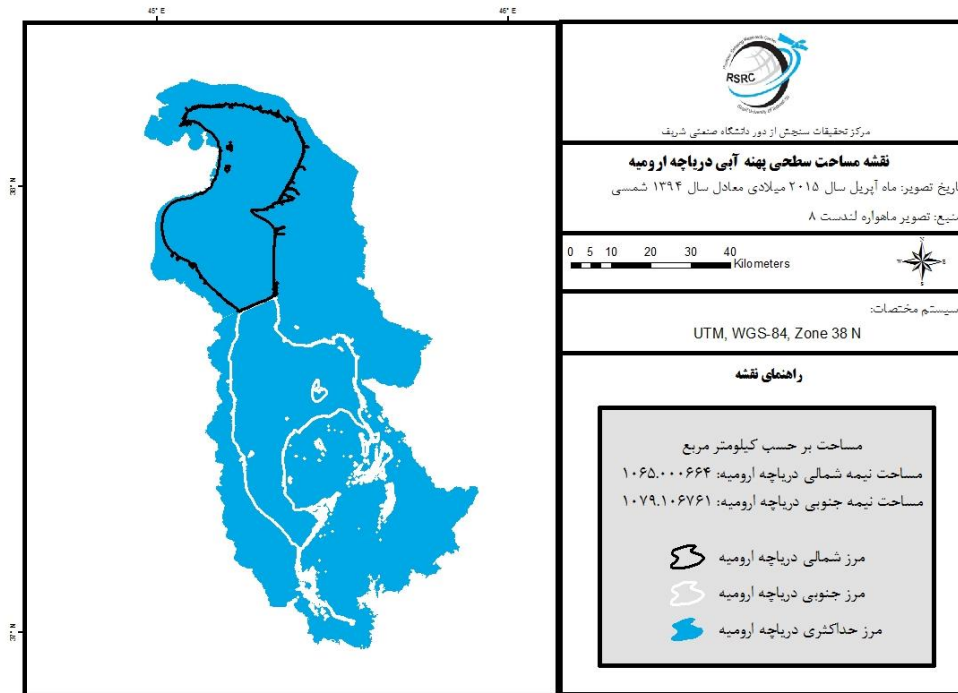
شکل ۲۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه نوامبر سال ۲۰۱۴ (آبان ماه ۱۳۹۳)



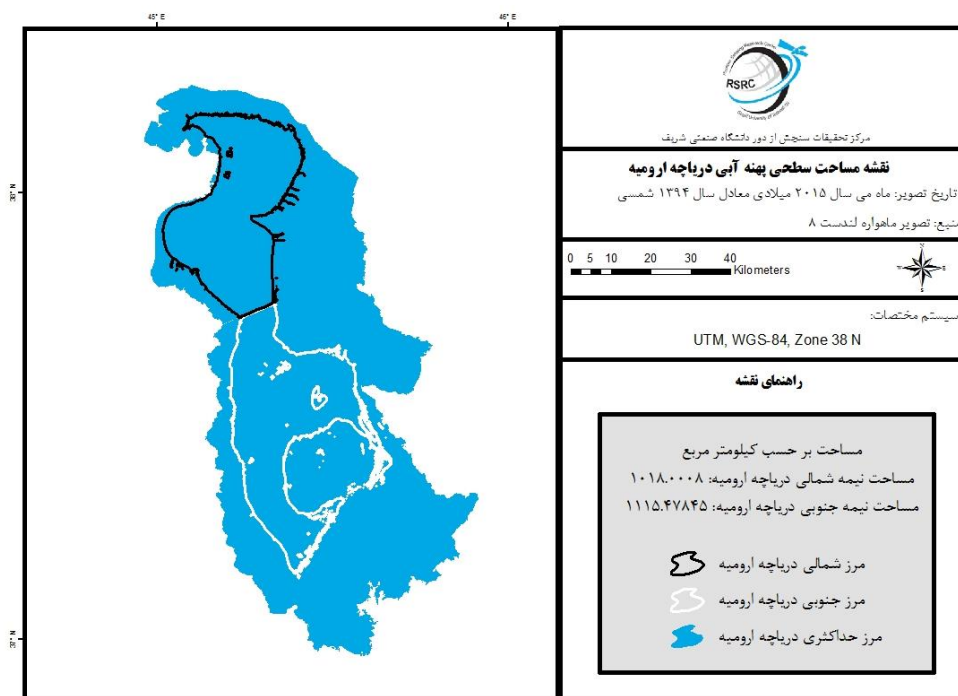
شکل ۲۷- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژانویه سال ۲۰۱۵ (دی ماه ۱۳۹۳)



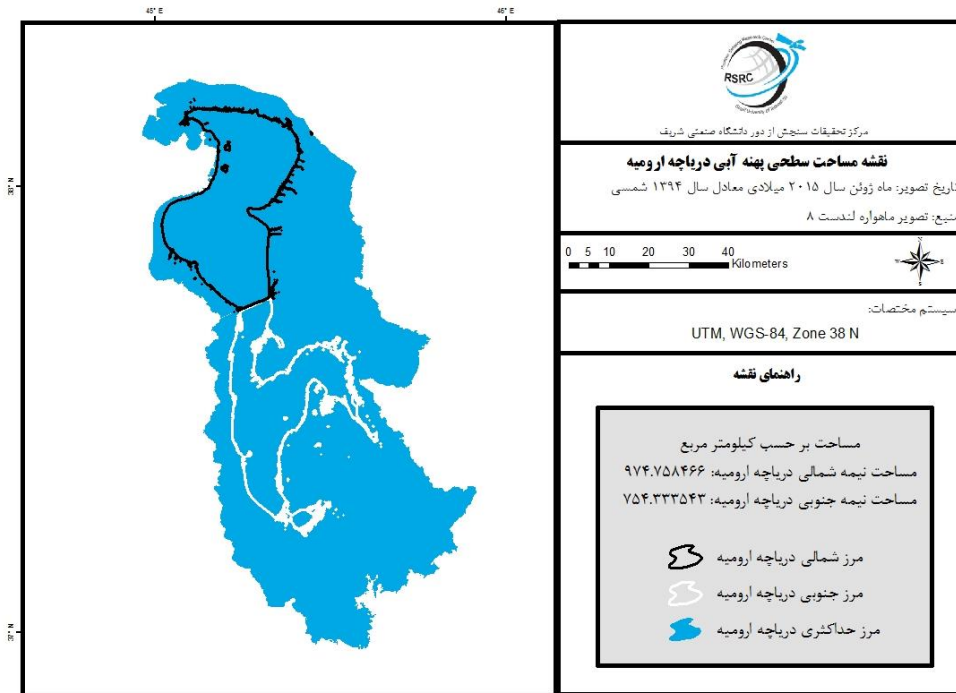
شکل ۲۸- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه فوریه سال ۲۰۱۵ (بهمن ماه ۱۳۹۳)



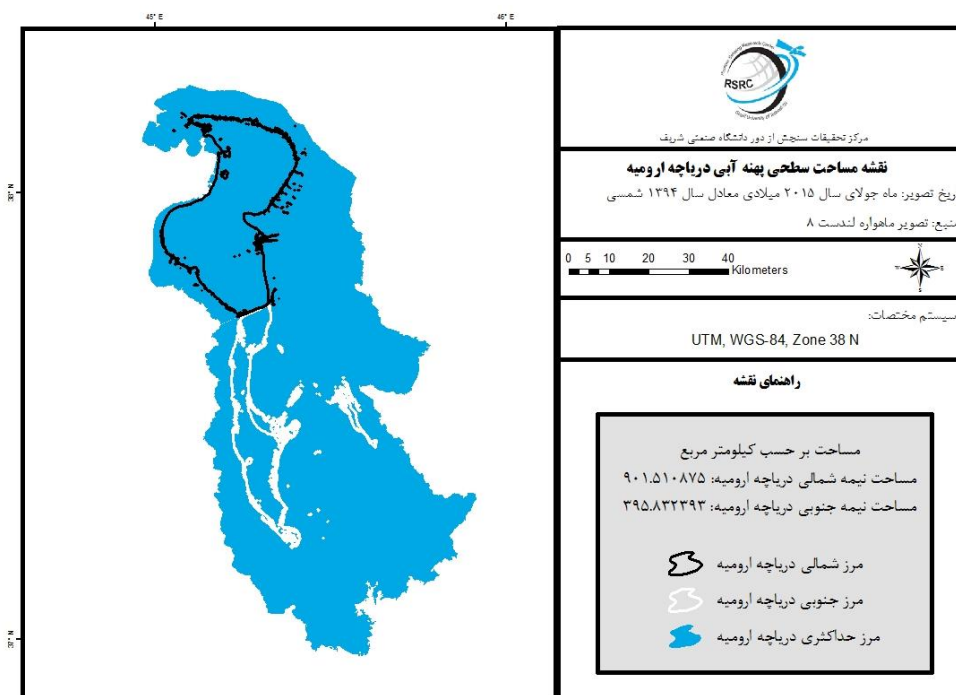
شکل ۲۹- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه آوریل سال ۲۰۱۵ (فروردین ماه ۱۳۹۴)



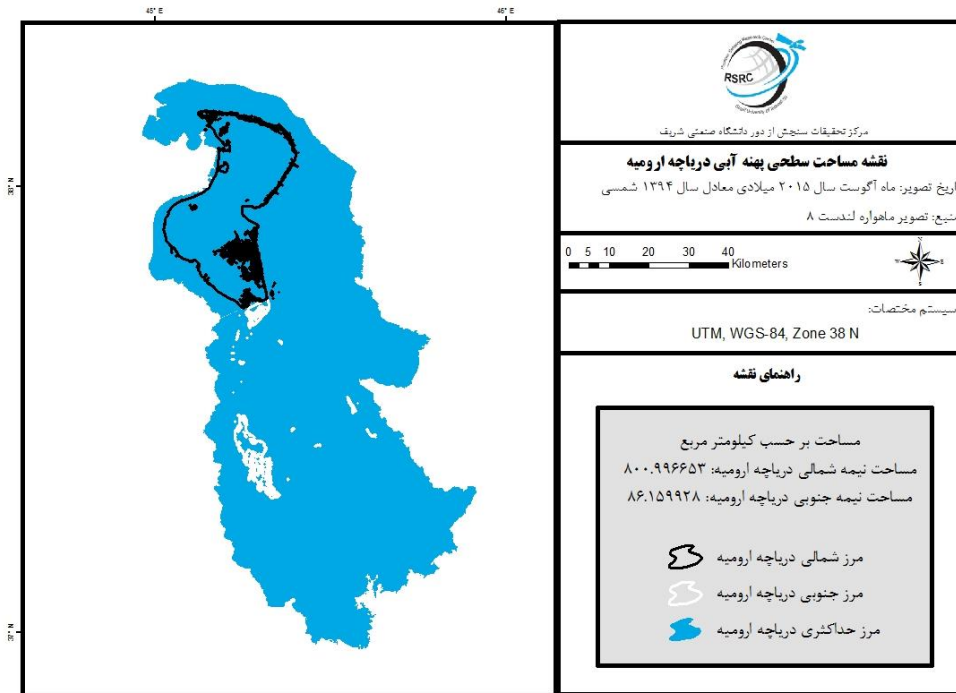
شکل ۳۰- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه می سال ۲۰۱۵ (اردیبهشت ماه ۱۳۹۴)



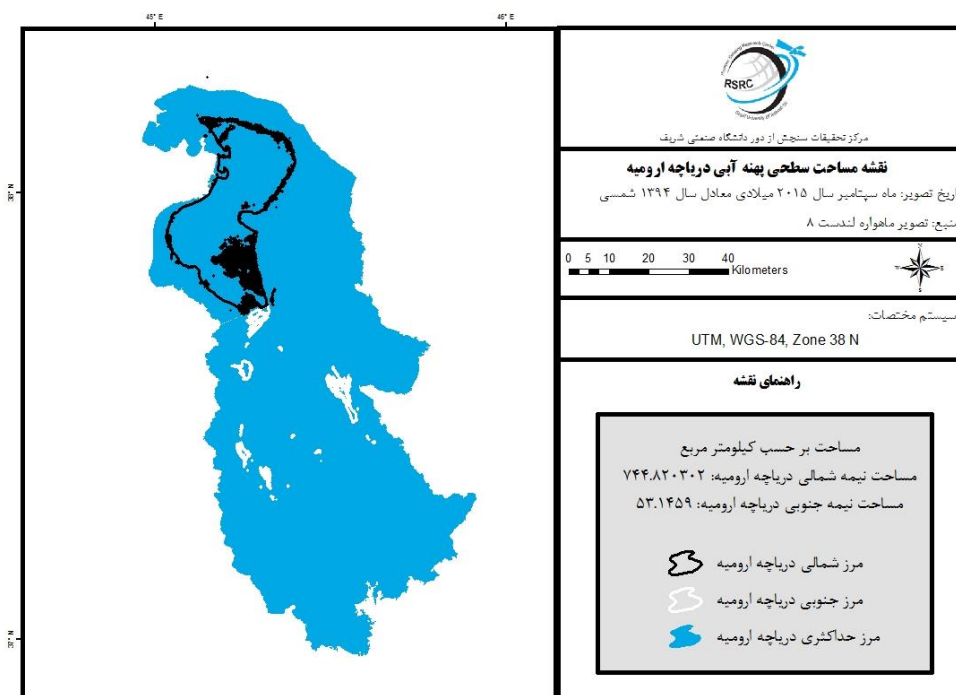
شکل ۳۱- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژوئن سال ۲۰۱۵ (خرداد ماه ۱۳۹۴)



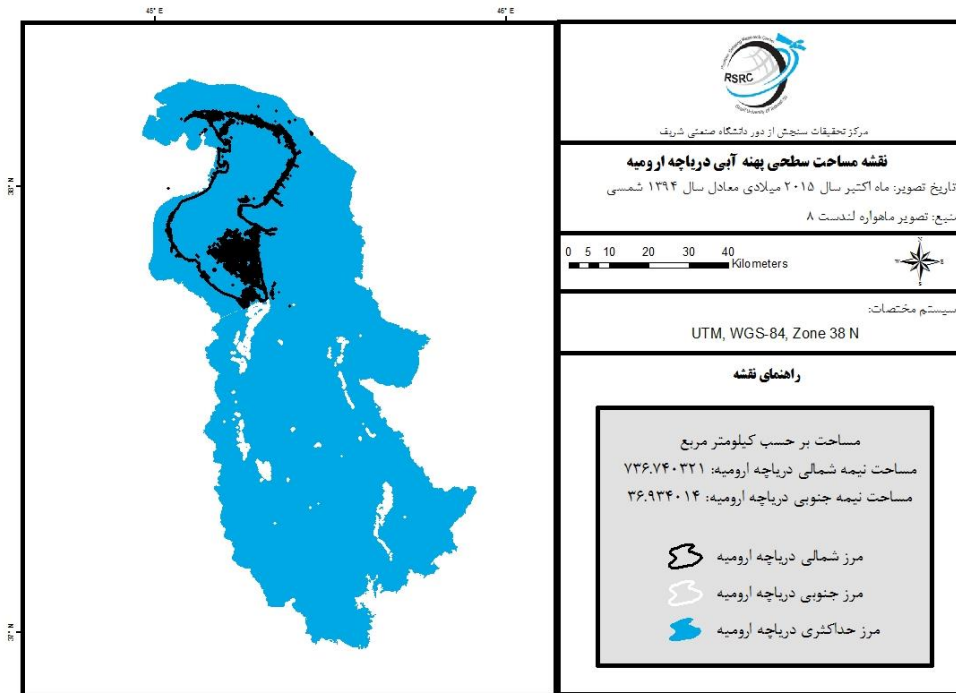
شکل ۳۲- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۵ (تیر ماه ۱۳۹۴)



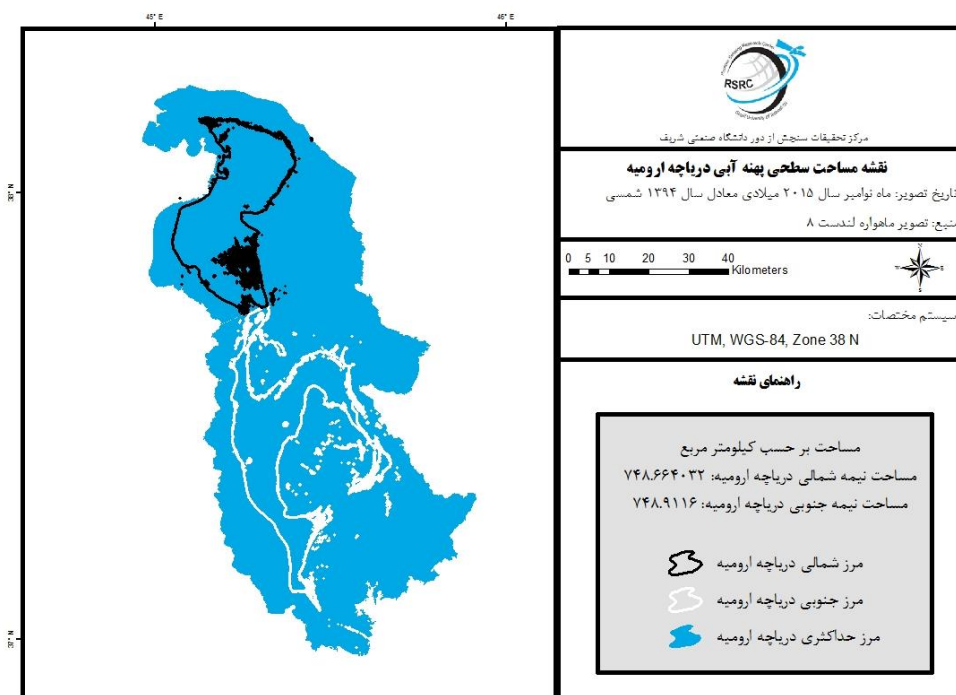
شکل ۳۳- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اوت سال ۲۰۱۵ (مرداد ماه ۱۳۹۴)



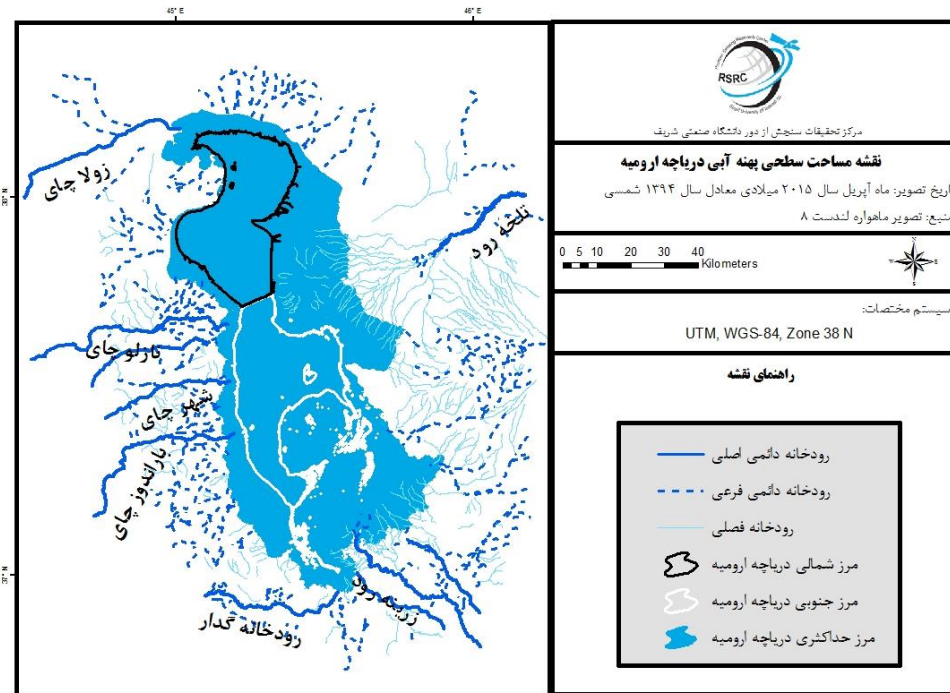
شکل ۳۴- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ (شهریور ماه ۱۳۹۴)



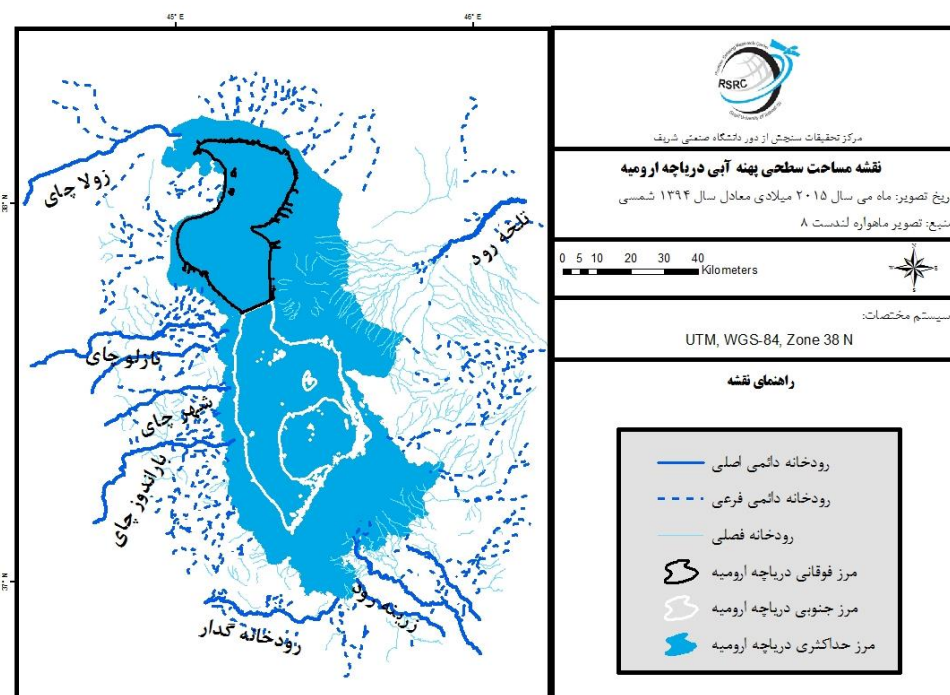
شکل ۳۵- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه اکتبر سال ۲۰۱۵ (آبان ماه ۱۳۹۴)



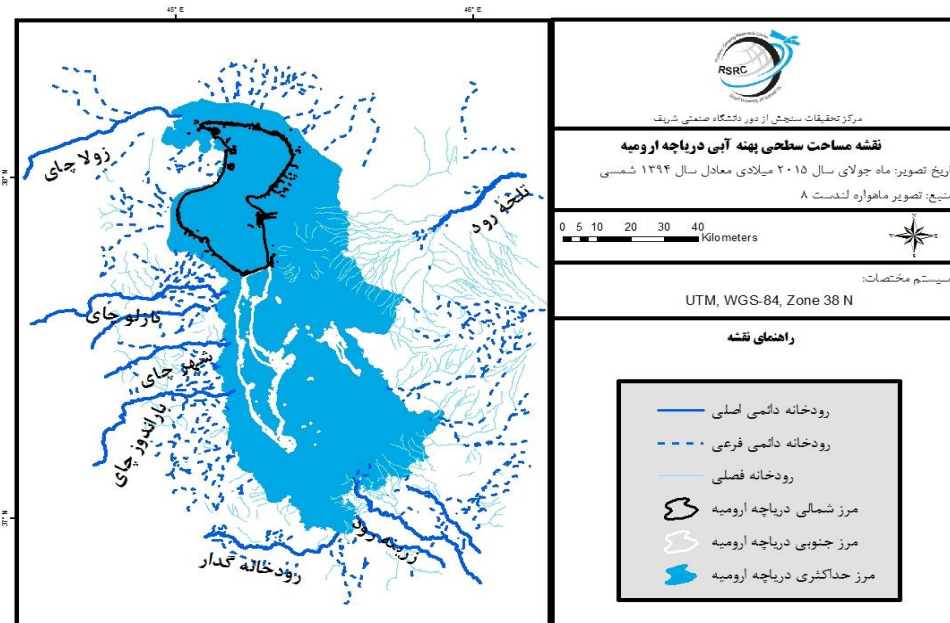
شکل ۳۶- نقشه مساحت سطحی دریاچه ارومیه ، ماه نوامبر سال ۲۰۱۵ (آبان ماه ۱۳۹۴)



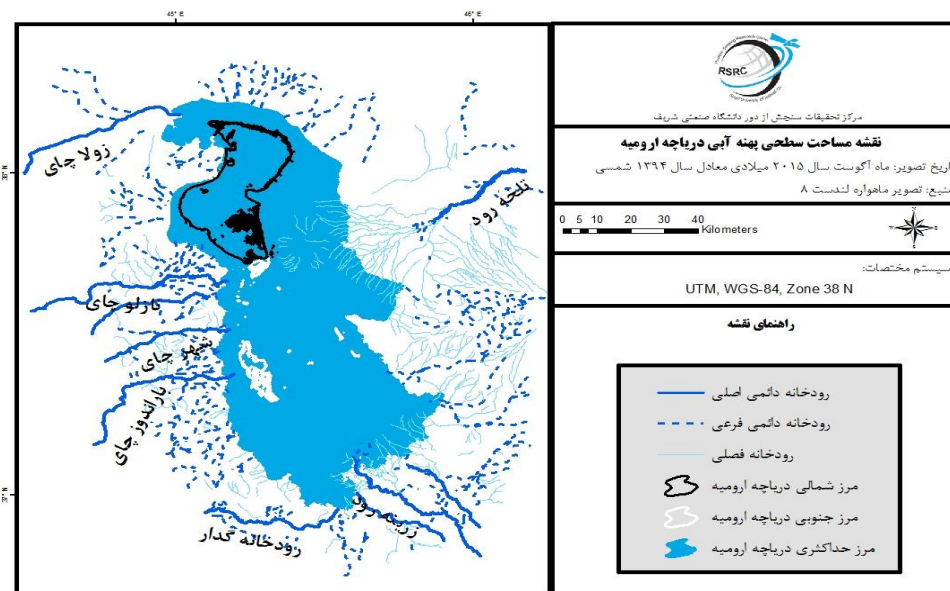
شکل ۳۷- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه آوریل سال ۲۰۱۵ (فروردین ۱۳۹۴)



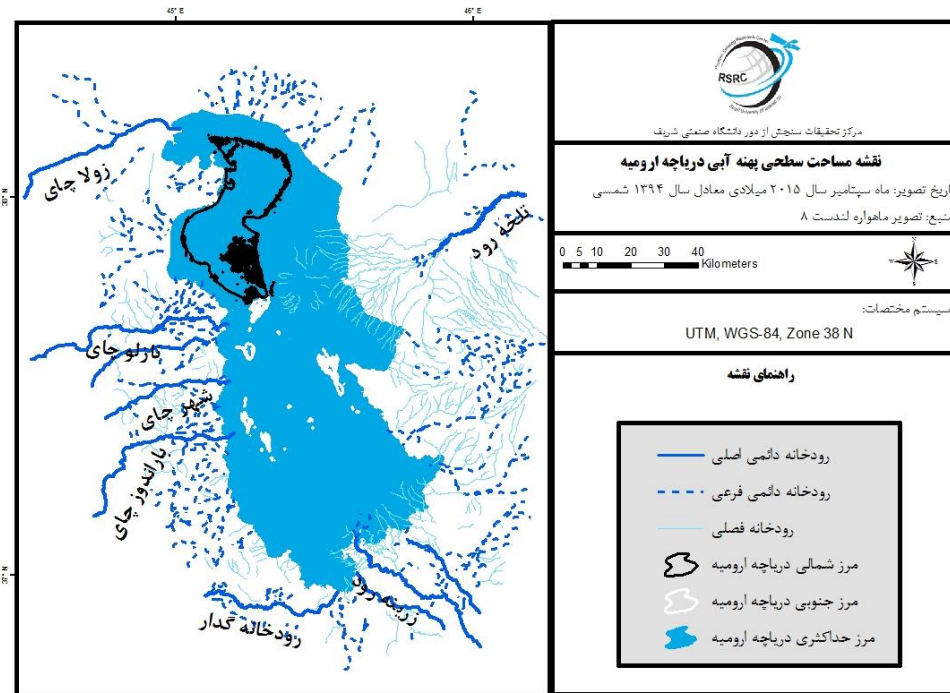
شکل ۳۸- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه می سال ۲۰۱۵ (اردیبهشت سال ۱۳۹۴)



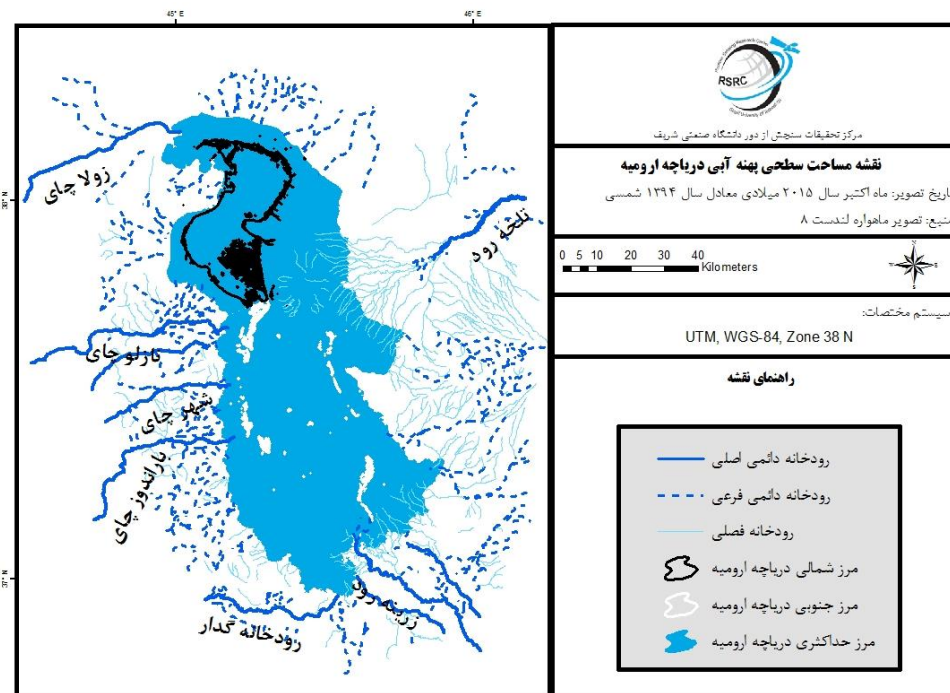
شکل ۳۹- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه ژوئیه سال ۲۰۱۵ (تیر ماه سال ۱۳۹۴)



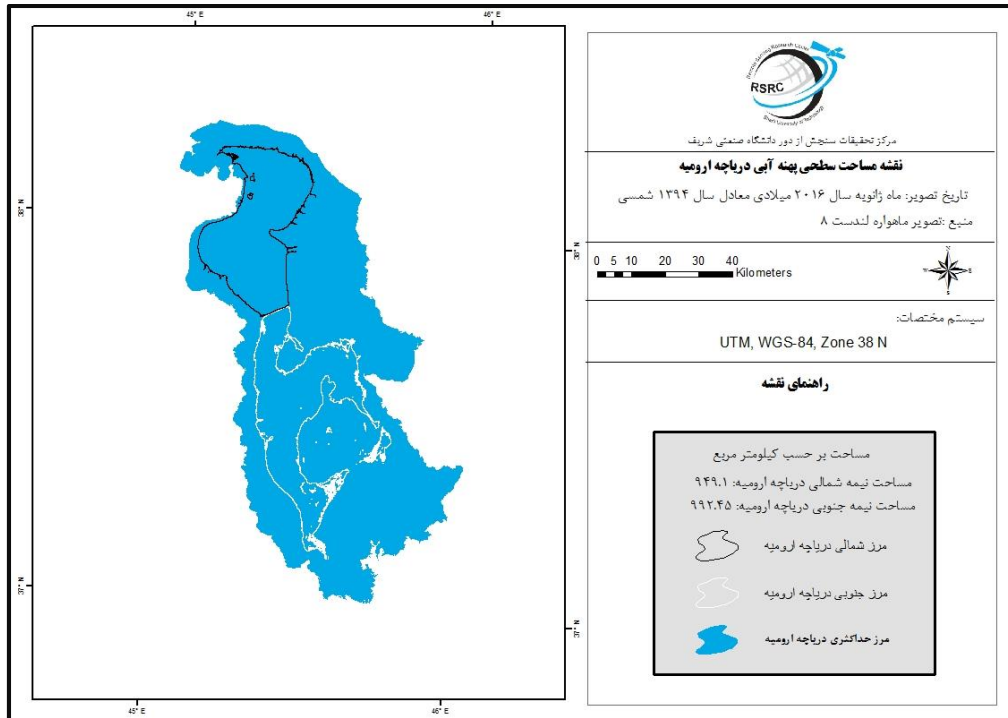
شکل ۴۰- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه اوت سال ۲۰۱۵ (مرداد ماه ۱۳۹۴)



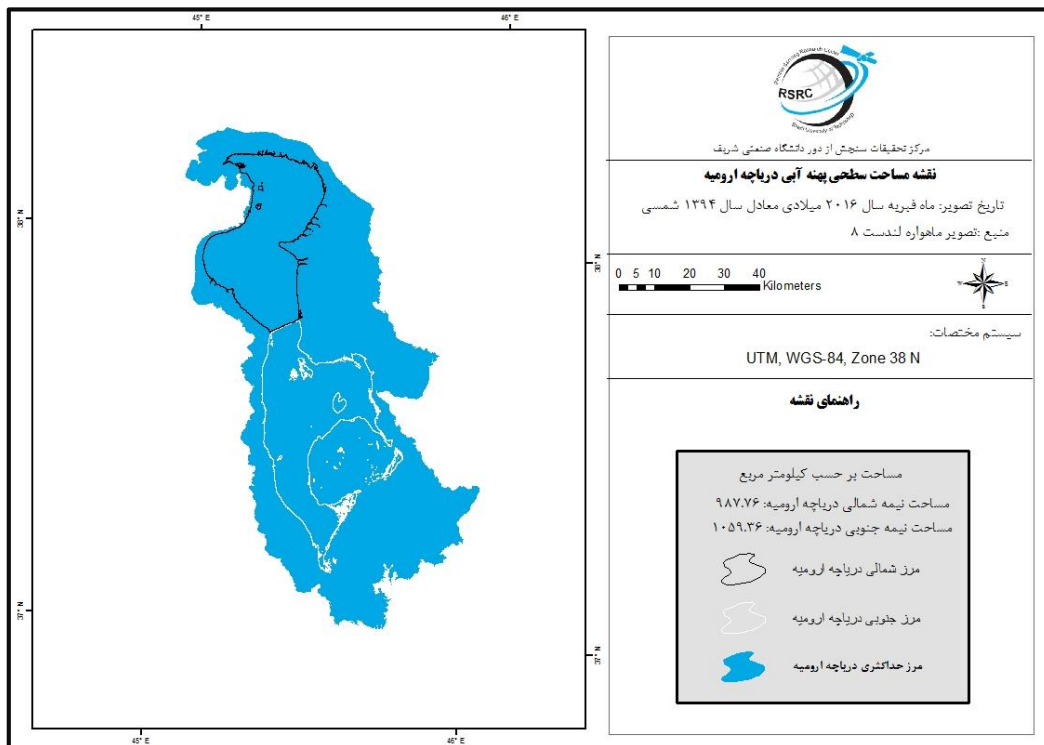
شکل ۴۱- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ (شهریور ماه ۱۳۹۴)



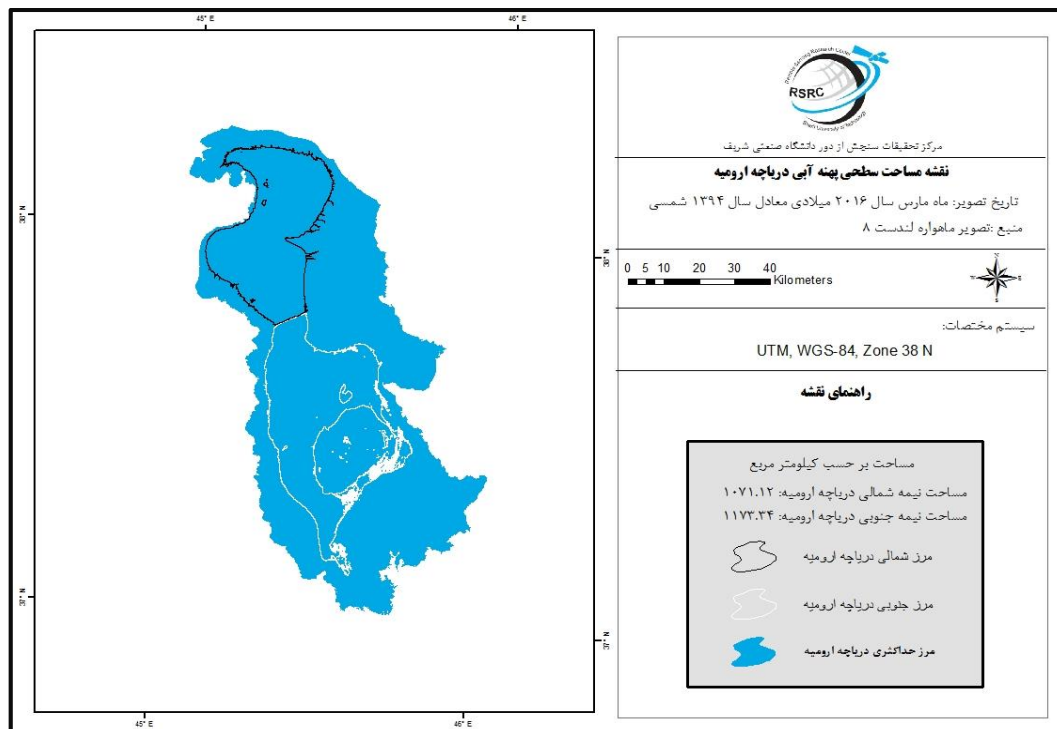
شکل ۴۲- نقشه مساحت سطحی و رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، ماه اکتبر سال ۲۰۱۵ (مهر ماه ۱۳۹۴)



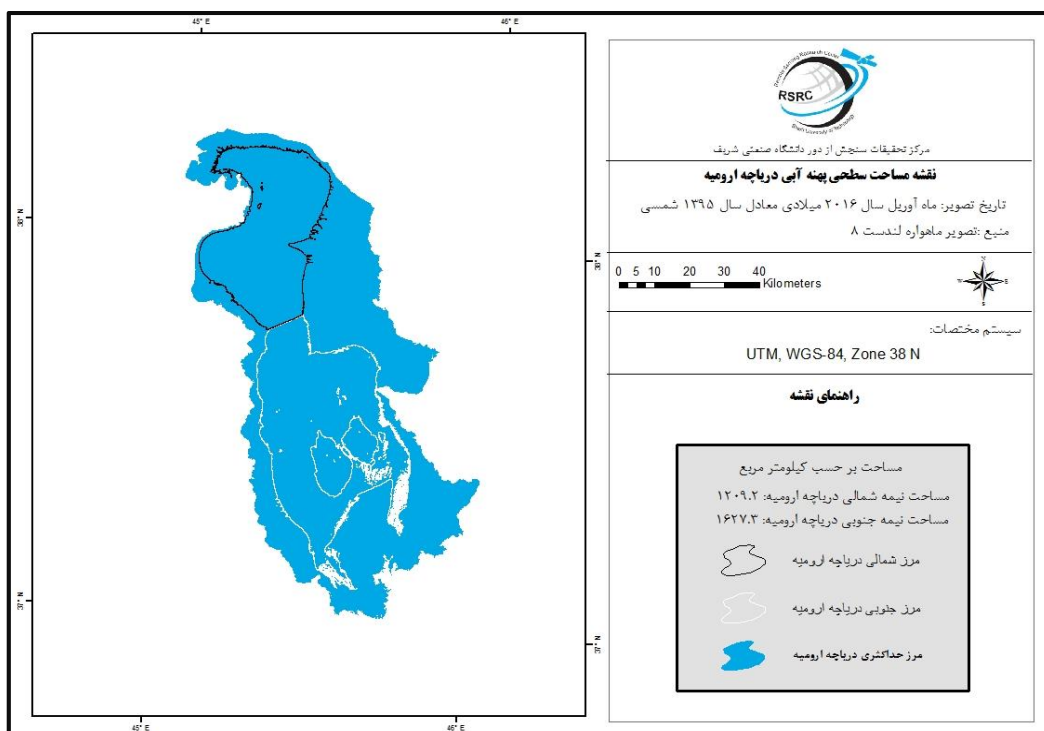
شکل ۴۳- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه ژانویه سال ۲۰۱۶ (بهمن ماه ۱۳۹۴)



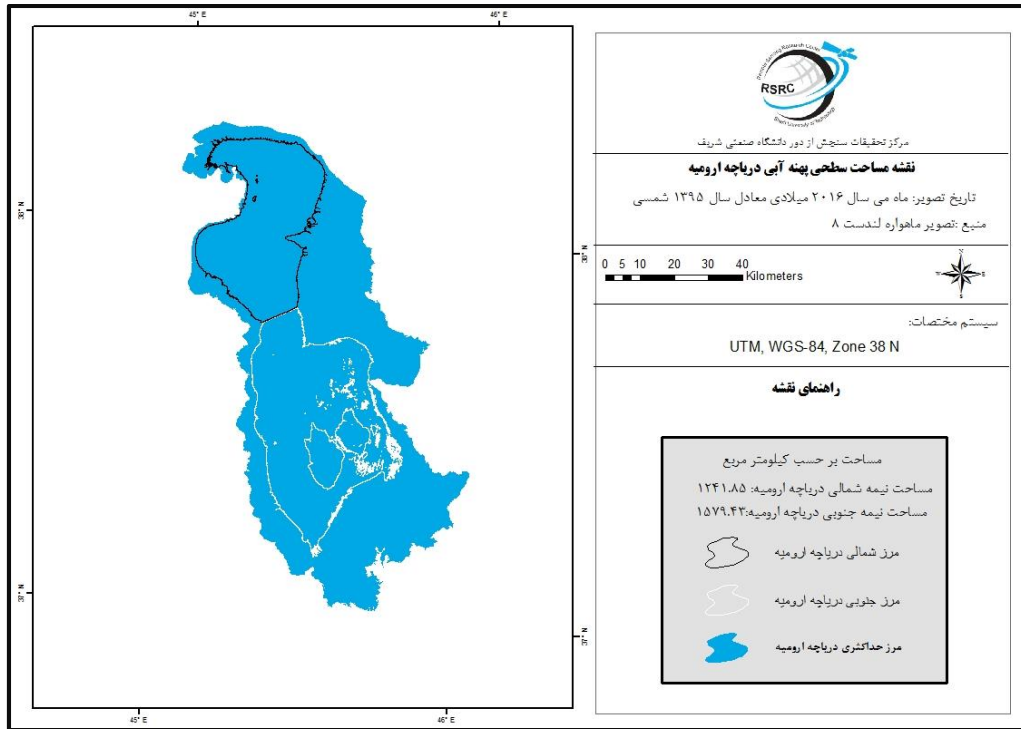
شکل ۴۴- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه فوریه سال ۲۰۱۶ (بهمن ۱۳۹۴)



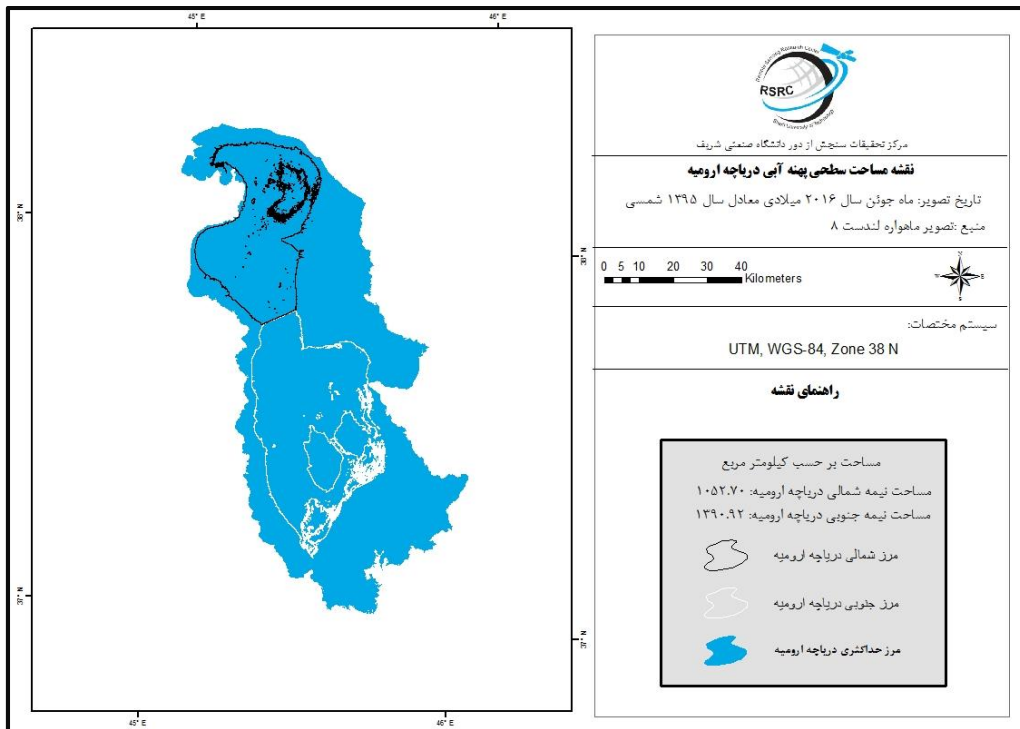
شکل ۴۵-- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه مارس سال ۲۰۱۶ (اسفند ۱۳۹۴)



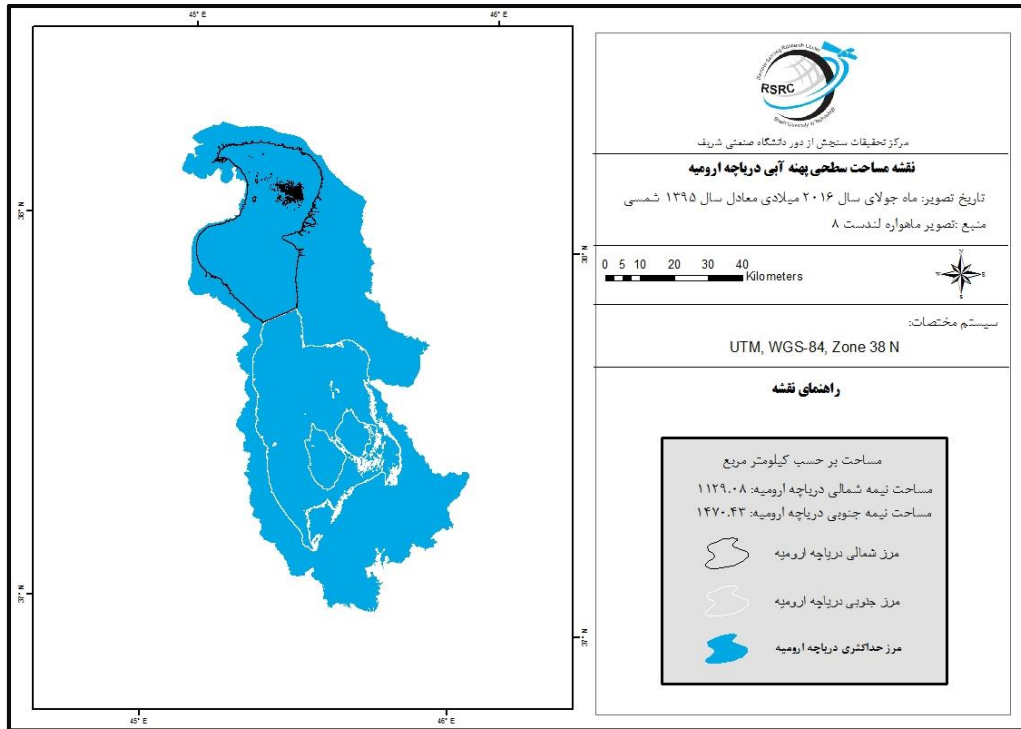
شکل ۴۶-- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه آوریل سال ۲۰۱۶ (فروردین ۱۳۹۵)



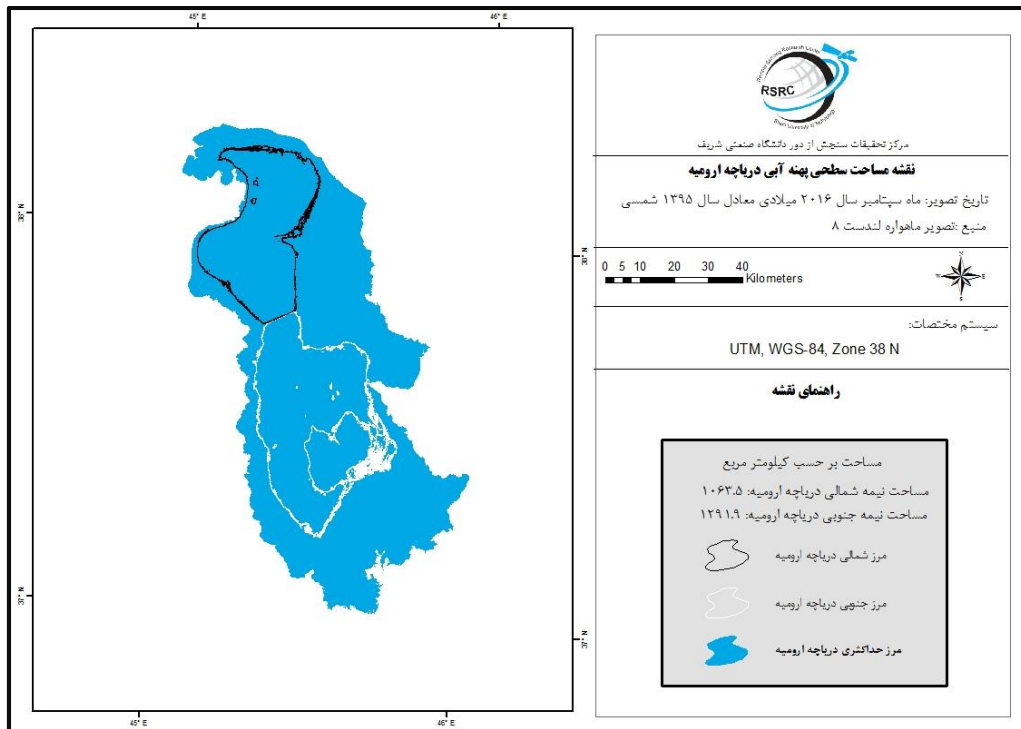
شکل ۴۷- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه می سال ۲۰۱۶ (اردیبهشت ۱۳۹۵)



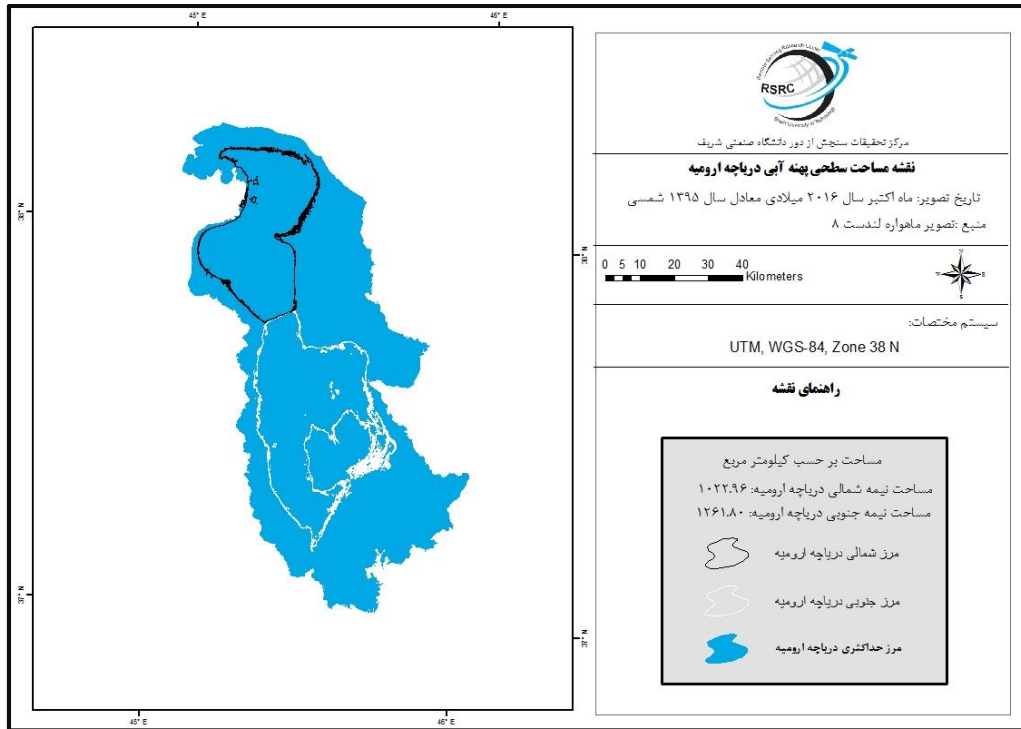
شکل ۴۸- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ (خرداد ۱۳۹۵)



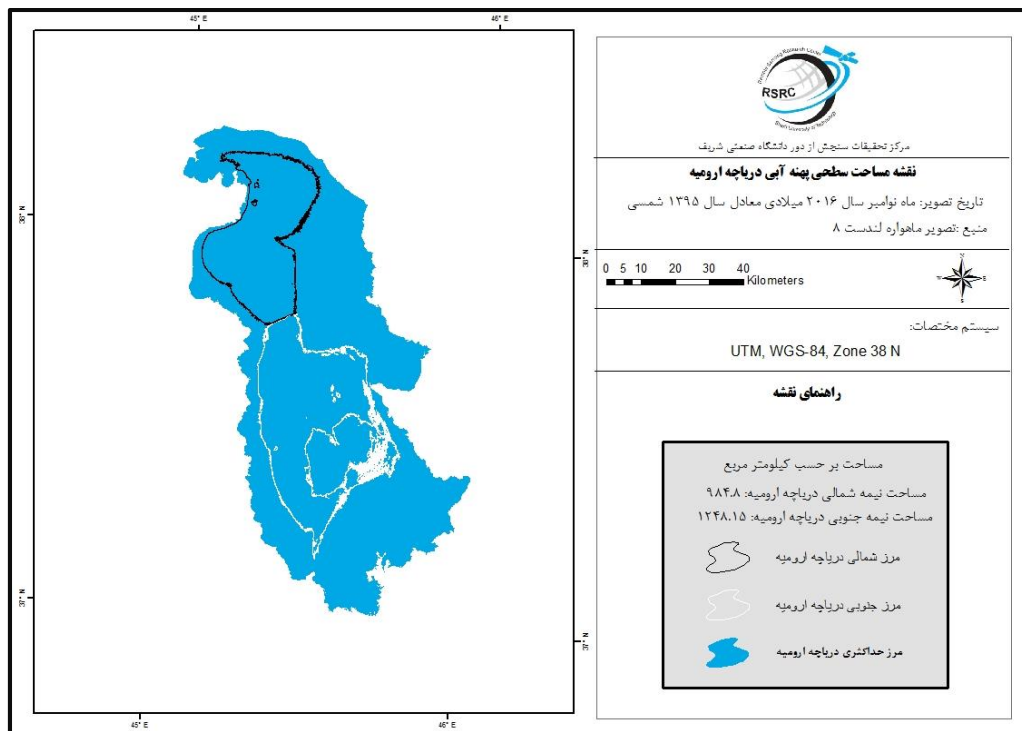
شکل ۴۹- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه ژولای سال ۲۰۱۶ (تیر ماه ۱۳۹۵)



شکل ۵۰- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۶ (تیر ۱۳۹۵)



شکل ۵۱- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه اکتبر سال ۲۰۱۶ (مهر ماه ۱۳۹۵)



شکل ۵۲- نقشه مساحت سطحی و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه ، ماه نوامبر سال ۲۰۱۶ (آبان ماه ۱۳۹۵)



**Sharif University of Technology
Remote Sensing Research Center**

Estimation of monthly variation of Urmia lake area during 2013-2015

By
Amirhossein Ahrari
Ehsan Medipoor
Maryam Emadzadeh

Summer 2016