دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ژرفاسنجی و برآورد حجم آب مخازن با استفاده از تصاویر حس‌گر OLI

حسن حبیبی خاوه[۱]، محمد علی غلامی سفیدکوهی[۲] و علیرضا عمادی[۳]

۱- دانشجو دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، (نویسنده مسوول: ma.gholami@sanru.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی، آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۰
صفحه ۴۶ تا ۵۷

چکیده

به‌کارگیری روش‌های میدانی ژرفاسنجی به‌منظور برآورد ژرفا و حجم آب در مخازن، مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است. در همین راستا روش‌های متعدد سنجش از دور مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش روشی بر پایه مدل تابش و بازتابش برای برآورد ژرفا و حجم آب با استفاده از تصاویر باندهای حس‌گر OLI معرفی شد. ابتدا در ۲۷ اردیبهشت ۹۴ با استفاده از قایق و ژرفاسنج صوتی، ژرفای آب آب‌بندان‌های مهدشت، سوربن و دشت‌ناز با فواصل ۵۰ متری اندازه‌گیری و سپس در روزهای ۵ خرداد و ۱۴مرداد ۹۴ و همچنین ۸ خرداد، ۹ تیر و ۲ شهریور ۹۵ مقدار اشل ثبت و ژرفا و حجم‌های دقیق آب تعیین شد. سپس ضریب تبیین مقادیرسلولی تصاویر و ژرفای اندازه‌گیری‌شده محاسبه شد. متوسط مقدار ضریب تبیین برای باندهای ۲،۳،۴،۵ و ۶ به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۴۳، ۰/۴۸، ۰/۶ و ۰/۶ بود. باتوجه به نتایج فوق باندهای ۲ و ۳ حذف و برای بهبود همبستگی به‌کمک باندهای ۴، ۵ و ۶ شاخص‌های نسبت‌باندی و تفاضل‌نرمال تولید و در ادامه ضریب تبیین ژرفای اندازه‌گیری‌شده و شاخص‌های مذکور محاسبه شد و شاخص IV (تفاضل‌نرمال باند ۴ و ۶) با مقدار ۶۲درصد به‌عنوان شاخص منتخب معرفی شد. در مجموع ضرایب همبستگی به‌گونه‌ای نبود که بتوان از روش سنجش از دور برای تعیین دقیق ژرفای آب در هرکدام از پیکسل‌ها بهره برد. سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی ژرفایی حجم آب آب‌بندان‌ها با استفاده از باندهای مذکور و شاخص منتخب تخمین و در نهایت مقدار ضریب تبیین و خطای‌نسبی میان حجم برآوردشده و واقعی محاسبه شد. میانگین ضرایب‌همبستگی حجم حاصل از تصاویر باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۳، ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۸ با میانگین خطای‌نسبی ۹/۳، ۸/۱، ۸/۳، ۸/۸ و ۹/۹ درصد محاسبه شد. متوسط مقدار همبستگی‌خطی و خطای‌نسبی حاصل از شاخص IV به‌ترتیب ۰/۹۶ و ۷/۷ درصد به‌دست آمد. به‌این‌ترتیب برآورد حجم آب مخازن با روش طبقه‌بندی ژرفایی شاخص منتخب می‌تواند با خطای کمی جایگزین اندازه‌گیری میدانی شود.

واژه‌های کلیدی: سنجش‌ازدور، آب‌بندان، ژرفاسنج‌صوتی، طبقه‌بندی‌ژرفایی، مدل تابش و بازتابش

مقدمه

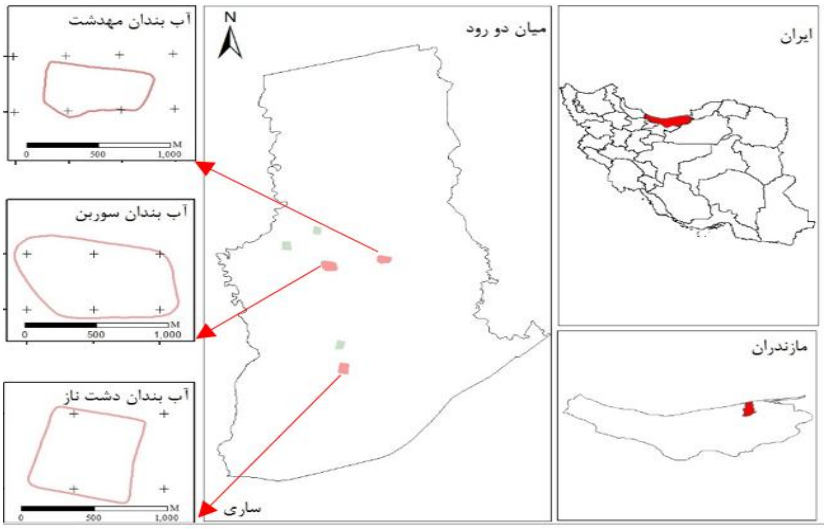
سنجش از دور در موارد متعددی در مدیریت حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸،۱). یکی از این موارد پایش مکانی و زمانی میزان ژرفا و حجم آب ذخیره شده در مخازن است (۲۴). در نواحی مرطوب و پربارش، آب‌بندان به‌عنوان یک منبع با اهمیت تأمین آب کشاورزی محسوب می‌شود و از دیرباز برای تأمین آب موردنیاز مراکز شهری، کشت‌وصنعت و پرورش ماهی استفاده شده است (۱۹). روش‌های مرسوم ژرفاسنجی با استفاده از ژرفاسنج صوتی و قایق مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است (۱۰،۲). در سال‌های اخیر این تکنیک همراه با افزایش وضوح تصاویر ماهواره‌ای، به یک فناوری قابل‌اطمینان در پایش طرح‌های مدیریت منابع آبی تبدیل شده است (۲۳). از سنجش از دور برای تهیه مدل بازتاب برای آب‌های کم‌ژرفا به منظور شبیه‌سازی رایانه‌ای و جایگزینی با اندازه‌گیری‌های میدانی توسط پژوهش‌گران استفاده شده است (۱۷،۱۴،۱۵). در این فرآیند، طیف تابشی یا بازتابشی پس از جذب، پراکندگی و بازتاب از بستر، به حس‌گر رسیده و مدل ژرفای پیکره‌های آبی تعیین می‌شود (۱۲). پژوهش‌هایی در مورد استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور برای برآورد ژرفای آب در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است (۳). عمده پژوهش‌ها برای مخازن کم‌ژرفا و با استفاده از تصاویر گرفته شده در فصل تابستان و با طول موج بازتاب شده از تابش خورشیدی انجام شده است (۲۲،۷). استفاده توام از تصاویر حس‌گرهای مختلف مورد توجه پژوهش‌گران بوده است (۲۵). ژنگیودنگ و همکاران (۶) از تصاویر چند طیفی کوئیک‌برد و حس‌گر ETM+ لندست ۷ در زمان‌های متفاوت به‌منظور تعیین ژرفای آب مخزن بیلون‌استاری چین استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد تصاویر باندهای فروسرخ نزدیک دو حس‌گر برای به‌دست آوردن خط جزر و مدی آب زمانی که داده‌های قابل مشاهده وجود ندارد قابل استفاده است. همچنین مدل بهبود یافته چندطیفی استامف و همکاران (۲۰) برای برآورد ژرفای آب زمانی‌که اطلاعات محلی وجود ندارد مناسب است. ازکلیک و همکاران (۱۶) به منظور استخراج نقشه‌های ژرفاسنجی آب‌های کم‌ژرف از تصاویر سنجش از دور به‌جای اندازه‌گیری میدانی ژرفا با روش شبکه عصبی مصنوعی در سواحل غربی فوکای ازمیر ترکیه مطالعاتی را انجام دادند. نتایج نشان داد ساختار این روش نسبت به روش‌های مرسوم در برآورد ژرفا قابل اعتمادتر است و روش ارائه شده می‌تواند زمان اندازه‌گیری ژرفای مورد نیاز را در نقشه‌برداری ژرفاسنجی به‌ویژه برای برنامه مهندسی مقدماتی کاهش دهد. مجوزی و همکاران (۱۱) با به‌کارگیری روش سنجش از دور و با استفاده از داده‌های حس‌گر مریس، ژرفای آب‌های کم‌ژرف دریاچه نایواشای کشور کنیا را برآورد نمودند. حس‌گر مریس بر روی ماهواره Envisat اروپا با تفکیک مکانی ۳۰۰ متر در سال ۲۰۱۲ در مدار قرار گرفت. روش آنها استفاده از الگوریتم شبکه‌عصبی و الگوریتم بهینه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

تصحیح اتمسفری تصاویر مریس بوده است. نتایج نشان داد، داده‌های مریس برای نظارت بر ژرفا و سایر پارامترهای کیفیت آب پیکره‌های آبی کم‌ژرف مناسب است. چنگیولی و همکاران (۴) از ترکیب باند فروسرخ گرمایی و باندهای مرئی حس‌گر TM و +ETM ماهواره لندست ۵ و ۷ مبتنی‌بر مدل بازیابی و آنالیز سه بعدی جهت تعیین ژرفای آب دریاچه هولون چین استفاده کردند. آنان به‌منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های دریاچه از مدلی برای ادغام گروه بازتاب نور خورشید با گروه تابش فروسرخ‌گرمایی استفاده نمودند. تجزیه و تحلیل صحت مدل و خطا نشان‌دهنده ساختار مدل بهینه لگاریتمی بود. نتایج نشان داد که مدل نتایج خوبی در بازتولید ژرفاهای مشاهداتی داشته است و دقت پیش‌بینی ژرفا در تاریخ ۲۴ سپتامبر ۲۰۰۷ بالا بوده و از مدل مذکور می‌توان به‌طور قابل اطمینانی در منطقه سرد و خشک استفاده نمود. سپس نتایج مدل به‌منظور تولید یک شبکه نامنظم مثلثی که به نوبه خود برای محاسبه روابط کاربردی بین ژرفا، مساحت و حجم آب به‌کار می‌رود، مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور می‌توان معادله رگرسیون را برای برآورد حجم، پس از برآورد ژرفای آب، توسعه داد. جگلینگام و همکاران (۹) نیز با استفاده از الگوریتم نسبت تبدیل باند آبی و سبز تصاویر ماهواره ای لندست ۸ به نقشه برداری ژرفاسنجی ساحل جنوب غربی هند پرداختند. آنها شاخص‌های آماری R^2، RMSE و MAE را میان الگوریتم حاصل از مقدار و نمودار هیدروگرافی واقعی محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که همبستگی مناسبی میان مقدار به دست آمده از الگوریتم و نمودار هیدروگرافی واقعی وجود دارد. حیدریان و همکاران (۸) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر دریافتی حس‌گر OLI ماهواره لندست ۸، تغییرات عمق، درجه حرارت و مرز پهنه آبی تالاب بین‌المللی زریوار ایران را بررسی نمودند. آنها ابتدا ۲۰۰ نقطه از تالاب مذکور را ژرفاسنجی و سپس مختصات جغرافیایی محل را همزمان با عبور ماهواره مذکور در چهار دوره زمانی شامل تابستان و پائیز سال ۲۰۱۳ و بهار و تابستان سال ۲۰۱۴ ثبت نمودند. نتایج نشان داد که از بین باندهای آبی، سبز، قرمز و فروسرخ، بازتاب طیفی باند قرمز (باند ۴) با R^2=۰/۸۲ و RMSE=۰/۰۲۶۹ در برآورد با استفاده از داده کلی (۳ ماهه) و R^2=۰/۹۵ و RMSE=۰/۰۲۳۰ در برآورد با استفاده از داده یک‌ماهه در مرحله تست بیشترین همبستگی را با میزان ژرفای آب داشت. در پژوهش حاضر با توجه به مزایای جایگزینی روش سنجش‌ازدور به‌جای اندازه‌گیری میدانی ژرفا و حجم آب در پیکره‌های آبی از جمله هزینه اقتصادی کمتر، پوشش مکانی وسیع، زمان پردازش کوتاه و تکرارپذیری در فواصل زمانی کم، امکان استفاده از تصاویر حس‌گر OLI ماهواره لندست ۸ به منظور ژرفاسنجی مخازن کم‌ژرفا و همچنین ارائه روشی برای برآورد حجم آب مخازن مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آب‌بندان‌های شرکت کشت و صنعت مهدشت به مساحت ۲۶/۵۷ هکتار با بیشینه ژرفای ۶/۵ متر و حجم ۱/۵ میلیون مترمکعب، روستای سوربن به مساحت ۴۸/۹۸ هکتار با بیشینه ژرفای ۵ متر و حجم ۲ میلیون مترمکعب و شرکت دشت‌ناز به مساحت ۴۳ هکتار با بیشینه ژرفای ۸/۵ متر و حجم ۳ میلیون مترمکعب در دشت میان‌دورود در شمال‌شرقی شهر ساری در استان مازندران واقع شده‌اند. میان‌دورود از شمال به دریای خزر، از جنوب به جاده ساری- نکا، از شرق به نکارود و از غرب به رودخانه تجن محدود و بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آمار سازمان هواشناسی کشور، میانگین بارش سالانه منطقه ۶۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۵ درجه سلسیوس و اقلیم منطقه نیز براساس طبقه‌بندی هانسن معتدل گرم است.



شکل ۱- نقشه جانمایی آب‌بندان‌ها در دشت میان‌دورود
Figure 1. The study area and general layout of the pools

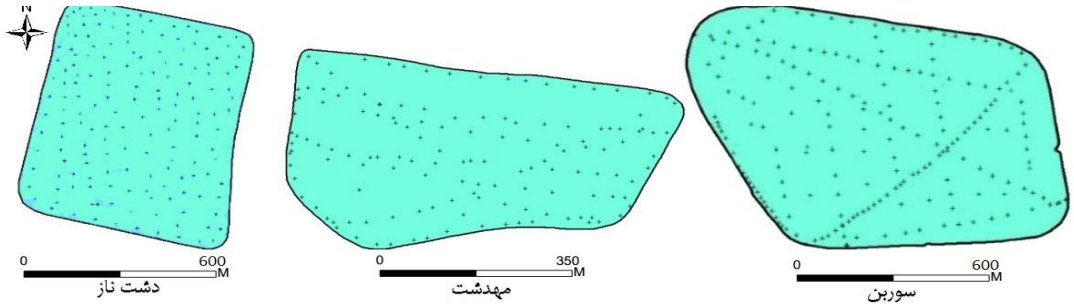
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

اساس فیزیکی مورد استفاده در این پژوهش، معادله تابش و بازتابش است. از کل نور تابیده شده توسط خورشید بر سطوح پیکره‌های آبی؛ یک بخش توسط سطح آب بازتابش یافته، بخشی توسط آب جذب و باقی‌مانده نیز از آب عبور نموده و به بستر پیکره آبی تابیده می‌شود. این دسته‌پرتوها توسط بستر، بازتابش و قسمتی از آن نیز مجدداً توسط آب جذب و باقیمانده آن از جو عبور نموده و توسط حس‌گرهای ماهواره‌ای دریافت می‌شود. میزان بازتابش نور از بستر پیکره‌های آبی می‌بایست به اندازه‌ای بالا باشد تا حس‌گر قادر به دریافت آنها باشد که‌این‌امر در آب‌های زلال و کم‌ژرف محقق می‌شود. زیرا با افزایش ژرفای پیکره‌های آبی میزان نور بیشتری توسط آب جذب می‌شود. می‌توان گفت بین ژرفای آب و میزان نور دریافت شده توسط حس‌گر یک رابطه معکوس برقرار است. سیوکو و همکاران (۵) به‌منظور برآورد ژرفای آب از میزان نور دریافت شده توسط حس‌گر رابطه ریاضی ذیل را پیشنهاد دادند:

$$Z = -\frac{1}{K}\ln\left(1-\frac{L_i - B}{A}\right) \qquad (۱)$$

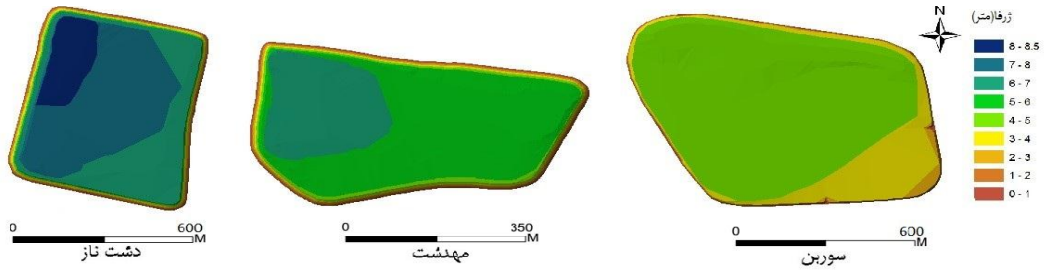
که در این رابطه:

Z: ژرفای آب (متر)، k: ضریب میرایی موج، L_i: بازتابش رسیده باند i: به حس‌گر (وات بر مترمربع بر میکرون) و A و B: ضرایبی که بر اساس ژرفاهای مشاهداتی و بازتابش باند i: مشخص می‌شود. این مدل نیاز به دو یا چند باند مختلف طیفی و فرض یک سپیدایی[1] ثابت در بستر دارد که این فرض در عمل امکان‌پذیر نیست و موجب ایجاد خطا در برآورد دقیق ژرفا می‌شود. لذا با وجود رابطه معکوس بین ژرفا و بازتابش رسیده به حس‌گر، برآورد دقیق ژرفا در نقاط مختلف این‌گونه مخازن با خطا همراه است. البته با استفاده از تصحیحاتی می‌توان با سرشکن کردن خطای برآورد در بعضی از متغیرها به دقت مطلوب دست یافت. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی دقیق رابطه میان ژرفای اندازه‌گیری‌شده و برآورد شده و همچنین حجم اندازه‌گیری شده و برآورد شده در آب‌بندان‌های مهدشت، سوربن و دشت‌ناز در دو سال متوالی ۹۴ و ۹۵ داده‌برداری میدانی انجام شد. ابتدا در ۲۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ با استفاده از قایق و ژرفاسنج‌صوتی ژرفای آب ۱۱۰، ۱۹۰ و ۱۵۰ نقطه به‌ترتیب آب‌بندان‌های مهدشت، سوربن و دشت‌ناز با فواصل ۵۰ متری اندازه‌گیری و به کمک دستگاه موقعیت‌یاب گارمینcsx60 با دقت مکانی ۳ متر، موقعیت مکانی آنها نیز مشخص شد. پس از پایان اندازه‌گیری‌ها در پهنه هر آب‌بندان یک اشل نصب و در روزهای ۵ خرداد و ۱۴ مرداد ۹۴ و همچنین ۸ خرداد، ۹ تیر و ۲ شهریور ۹۵ مقدار روی اشل ثبت و براساس آن، ژرفاهای جدید تعیین شد. سپس ژرفای نقاط اندازه‌گیری‌شده در نرم‌افزار ARC GIS وارد شد (شکل ۲). دلیل انتخاب این نرم‌افزار، امکانات مناسب و گستردگی استفاده از آن در پژوهش‌های سنجش از دور بود. در ادامه به‌کمک مدل نامنظم مثلثی توپوگرافی بستر آب‌بندان‌ها نیز ترسیم (شکل ۳) و سپس براساس توپوگرافی حاصل، حجم دقیق آب در آب‌بندان‌های مهدشت، سوربن و دشت‌ناز در روزهای مذکور به‌دست آمد



شکل ۲- پراکندگی نقاط داده‌برداری میدانی در آب‌بندان مهدشت و سوربن و دشت‌ناز

Figure 2. Distribution of ground-based data points in Mahdasht, Sorbon and Dashtenaz pools



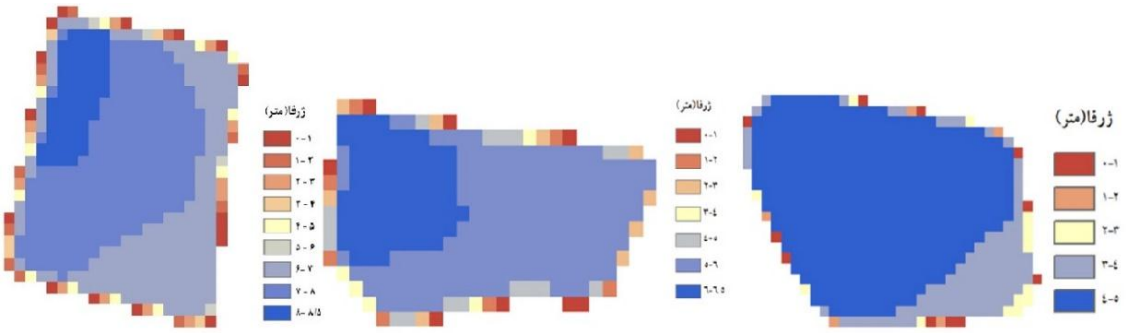
شکل۳- نقشه TIN ژرفای اندازه‌گیری‌شده آب‌بندان‌های مهدشت و سوربن و دشت‌ناز

Figure 3. TIN map of measured depth of Mahdasht, Sorbon and Dashtenaz pools

1- Albedo

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

در ادامه، باتوجه به تفکیک مکانی ۳۰ متری تصاویر اخذ شده از ماهواره لندست ۸، شبکه مثلثی‌نامنظم ایجاد شده در بستر آب‌بندان‌ها به مدل رقوم ارتفاعی با تفکیک مکانی ۳۰ متری تبدیل شد (شکل ۴).



شکل۴- نقشه (DEM) ۳۰ مهدشت، سوربن متری ژرفای آب در آب‌بندان و دشت ناز
Figure 4. 30 meter DEM map of measured depth of Mahdasht, Sorbon and Dashtenaz pools

ازطرف‌دیگر در روزهای موردنظر، تصاویر باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ حس‌گر OLI ماهواره لندست ۸ دریافت و در نرم‌افزار ARC GIS ذخیره شد. OLI یک حس‌گر عملیاتی تصویرساز سرزمین است که اطلاعات تصویر برای نه باند موج کوتاه را جمع‌آوری می‌کند. ابزار تصویرساز عملیاتی زمین OLI در ماهواره لندست ۸ حس‌گرهای مورد استفاده در لندست‌های گذشته را بهبود می‌بخشد. OLI از ابزار سنجش پیش‌رونده استفاده می‌کند. بیش از ۷۰۰۰ آشکارساز در هر باند طیفی، باعث حساسیت بیشتر و بهبود اطلاعات مربوط به سطح زمین می‌شود. مقدار خطای دایره‌ای حس‌گر OLI ۱۲ متر با سطح اطمینان ۹۰ درصد می‌باشد. این تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده به نشانی http://earthexplorer.usgs.gov بارگذاری شد. محدوده طیفی باندهای مذکور در جدول (۱) و همچنین مشخصات تصاویر به‌کار برده شده در این پژوهش به‌همراه تاریخ آن و ژرفای قرائت اشل در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات باندهای حس‌گر OLI
Table 1. OLI Sensor Bands Specifications

باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	نام طیف	وضوح (m)	ویژگی‌ها
۲	۰/۴۵ –۰/۵۱۵	آبی	۳۰	حداکثر نفوذ آب
۳	۰/۵۲۵–۰/۶	سبز	۳۰	اندازه‌گیری توان گیاه
۴	۰/۶۳–۰/۶۸	قرمز	۳۰	تفاوت پوشش گیاهی
۵	۰/۴۵۸–۰/۸۸۵	فروسرخ نزدیک	۳۰	نمایش پوشش گیاهی سطح زمین
۶	۱/۵۶–۱/۶۶	فروسرخ طول موج کوتاه	۳۰	تمایز و تشخیص زمین‌های مرطوب از خشک

جدول ۲- تاریخ و شماره تصاویر دریافتی از ماهواره لندست ۸ و ژرفای قرائت شده اشل آب بندان‌ها
Table 2. The date and number of images received from Landsat 8 and the depths read in the Pools

شماره	تاریخ تصویر برداری	شماره تصویر	ژرفای قرائت اشل (متر)		
			دشت‌ناز	سوربن	مهدشت
۱	۲۷ اردیبهشت۹۴	LC81640342015137	۸/۵	۵	۶/۵
۲	۵ خرداد۹۴	LC81630352015146	۷/۹	۴/۵	۶/۱
۳	۱۴ مرداد۹۴	LC81640342015217	۴/۵	۳	۳/۵
۴	۸ خرداد۹۵	LC81630352016149	۷/۹	۴/۷	۵/۹
۵	۹ تیر۹۵	LC81630352016181	۷/۴	۴/۳	۵/۶
۶	۲ شهریور۹۵	LC81640342016236	۴/۱	۲/۹	۳/۱

هرچند به‌نظر می‌رسد تفکیک مکانی ۳۰ متر برای بررسی آب‌بندان‌ها زیاد باشد اما به‌دلیل رایگان بودن، سهولت دسترسی و تفکیک‌طیفی مناسب، از تصاویر این حس‌گر استفاده شد. سپس محدوده آب‌بندان مهدشت، سوربن و دشت‌ناز از تصاویر دریافتی برش داده شد (شکل ۵). هر چند تصاویر حس‌گر OLI زمین‌مرجع[1] است، با این وجود با توجه به اندازه ۳۰ متری هر سلول، خطای‌هندسی با استفاده از محیط برداشت شده هر آب‌بندان توسط مکان‌یاب، مورد ارزیابی قرار گرفت که با تصاویر منطبق بود. از آنجایی که تصاویر مربوط به زمان‌های مختلف با بلندای خورشیدی متفاوت بود، بنابراین تصحیحات رادیومتریک و جوی تصاویر با استفاده از روابط زیر انجام شد:

$$R = \frac{L}{\sin(\theta_{SE})} \qquad (۲)$$

که در این رابطه، R: مقادیر طیفی اصلاح شده، L: مقادیر طیفی اولیه تصویر، θ_{SE}: زاویه بلندای خورشید است. یکی دیگر از تصحیحات، تبدیل ارزش‌های رقومی به بازتابش

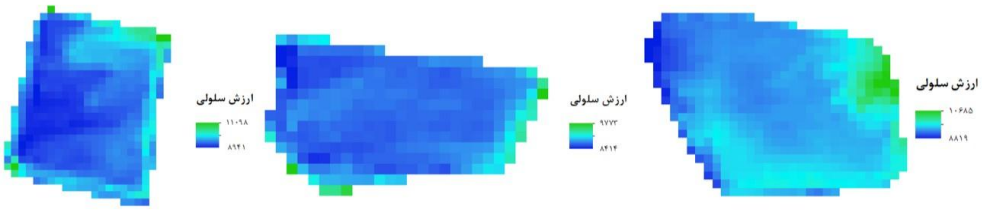
1- Geo reference

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

طیفی بالای جو است که این عمل با استفاده از ضرایب کالیبراسیون حس‌گر و با رابطه زیر صورت گرفت:

$$L = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (۳)$$

که در این رابطه، L: تابش طیفی (وات بر مترمربع)، Q_{cal}: ارزش رقومی سلول، M_L و A_L: ضرایب کالیبراسیون حس‌گر در بسته ابرداده دریافت شده از سایت می‌باشد. پس از انجام اندازه‌گیری‌های میدانی ژرفای آب و همچنین تصحیحات تصاویر دریافتی باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ حس‌گر OLI، همبستگی مستقیم میان ژرفاهای اندازه‌گیری‌شده و ارزش سلولی تصاویر دریافتی باندهای مذکور مربوط به آب‌بندان‌های مهدشت، سورین و دشت ناز محاسبه شد. سپس به‌منظور بهبود مقدار همبستگی‌های به‌دست آمده، ۴ شاخص از نوع نسبت‌باندی و تفاضل نرمال تعریف شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های مذکور از ۳ باند که بالاترین مقدار همبستگی را کسب نموده‌اند انتخاب شدند.



شکل ۵- تصویر ماهواره‌ای باند ۴ برش داده شده آب‌بندان مهدشت، سورین و دشت ناز؛ ۲۷ اردیبهشت ۹۴
Figure 5. Satellite image of Band 4 subjected to Mahdasht, Sorbon and Dashtenaz pools; May 17, 2015

در ادامه با استفاده از روش طبقه‌بندی ژرفایی مقادیر حجم آب آب‌بندان‌ها در روزهای تصویربرداری به‌دست آمد. در روش طبقه‌بندی ژرفایی که برای اولین بار در این پژوهش ارائه شده است به کمک نرم‌افزار ARC GIS، مقادیر سلولی تصاویر باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ دریافتی حس‌گر OLI، به تعداد ۲ برابر بیشینه ژرفا در روزهای مذکور، با دامنه مساوی کلاس‌بندی شد (هرکلاس معرف نیم متر ژرفا). به‌عنوان مثال بیشینه ژرفای آب در روز ۲۷ اردیبهشت‌ماه ۹۴ در آب‌بندان‌های مهدشت ۶/۵، سورین ۵ و دشت‌ناز ۸/۵ متر اندازه‌گیری شده است و براساس توضیحات بالا آب‌بندان‌های مذکور به‌ترتیب در ۱۳، ۱۰ و ۱۷ رده مساوی، کلاس‌بندی شدند. با توجه به مقادیر سلولی، تعداد سلول‌ها در هر کلاس مشخص شد. همچنین با توجه به‌تفکیک مکانی ۳۰ متری تصاویر دریافتی از حس‌گر، مساحت هر سلول تصویر ۹۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد. سپس با کمک معادله (۴) حجم کلی آب‌بندان‌ها برآورد شد.

$$V = \sum_{i=1}^{m} (\bar{d}_i \times n_i \times A) \quad (۴)$$

که در این رابطه، V: حجم آب برآورد شده (مترمکعب)، m: تعداد کلاس تصویر (دو برابر بیشترین ژرفا)، $\bar{d}$: متوسط ژرفا در هر کلاس (متر)، n: تعداد سلول در هر کلاس، A: مساحت هر سلول (مترمربع). در نهایت حجم واقعی آب اندازه‌گیری‌شده در روزهای داده‌برداری و حجم برآوردشده حاصل از تصاویر دریافتی باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ آب‌بندان‌های مهدشت، سورین و دشت‌ناز با یکدیگر مقایسه و خطای‌نسبی یکایک حجم‌های برآوردشده باندهای مذکور محاسبه شد. به‌عنوان نمونه برآورد حجم آب آب‌بندان سورین در روز ۸ خرداد ۹۵ با استفاده از تصویر باند آبی در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳- برآورد حجم آب آب‌بندان سورین در روز ۸ خرداد سال ۹۵ با استفاده از تصویر باند ۲
Table 3. Estimated volume of water of the Sorbon pool on May 28, 2016 using band 2 image

شماره کلاس	متوسط ژرفا در هر کلاس	تعداد سلولهای کلاس	حجم آب برآورد شده هر کلاس
m	$\bar{d}$	n	V
۱	۰/۲۵	۱	۲۲۵=(۱x۰/۲۵x۹۰۰)
۲	۰/۷۵	۲	۱.۳۵۰
۳	۱/۲۵	۲	۲.۲۵۰
۴	۱/۷۵	۸	۱۲.۶۰۰
۵	۲/۲۵	۸	۱۶.۲۰۰
۶	۲/۷۵	۱۶	۳۹.۶۰۰
۷	۳/۲۵	۳۶	۱۰۵.۳۰۰
۸	۳/۷۵	۱۴۷	۴۹۶.۱۲۵
۹	۴/۲۵	۲۰۳	۷۷۶.۴۷۵
۱۰	۴/۷۵	۱۱۸	۵۰۴.۴۵۰
جمع کل (متر مکعب (m^3))			۱.۹۵۴.۵۷۵

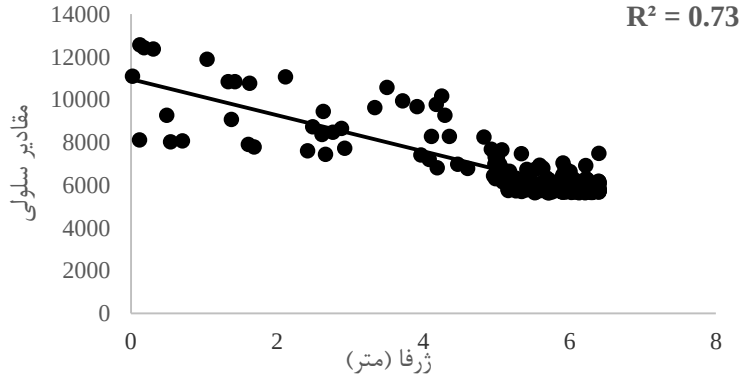
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

نتایج و بحث

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی توانایی حس‌گر OLI در تخمین ژرفای آب مخازن، ابتدا همبستگی سلول‌های رستر واقعی آب‌بندان‌های دشت‌ناز، مهدشت و سوربن با سلول‌های تصاویر هر یک از باندهای حس‌گر و نیز شاخص‌ها مقایسه شدند. در ادامه با استفاده از روش طبقه‌بندی ژرفایی حجم آب آب‌بندان‌های مذکور با استفاده از هر یک از باندها و نیز شاخص منتخب تخمین و با حجم‌های واقعی مقایسه گردید.

ژرفاسنجی با استفاده از تک باند

ابتدا همبستگی‌خطی مقادیر سلولی باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ تصاویر دریافتی حس‌گر OLI ماهواره لندست ۸ با مقادیر سلولی رستر ژرفای اندازه‌گیری شده در شش تاریخ و برای سه آب‌بندان محاسبه شد. به‌عنوان نمونه نمودار مقادیر سلولی تصویر باند ۶ در مقابل مقادیرسلولی رستر ژرفای اندازه‌گیری شده مربوط به تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۴ آب‌بندان مهدشت به‌همراه ضریب تبیین در شکل (۶) قابل مشاهده است. بدین ترتیب ۹۰ ضریب تبیین محاسبه‌شده برای سه آب‌بندان، شش تاریخ و پنج باند در جدول (۴) گردآوری شد. متوسط مقدار ضریب تبیین برای باندهای ۵،۴،۳،۲ و۶ به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۴۳، ۰/۴۸، ۰/۶ و ۰/۶ بود.



شکل ۶- نمودار ضریب تبیین مقادیر سلولی با ژرفای اندازه‌گیری شده آب‌بندان مهدشت در روز ۲۷اردیبهشت ۹۴
Figure 6. The coefficient of correlation cell values with measured depths of, Mahdasht pool in 17 May 2015

جدول ۴- ضریب تبیین ژرفای واقعی با مقادیر سلولی تصاویر دریافتی
Table 4. Correlation Coefficient actual depth with pixel values of received images

تاریخ تصویر	۲۷ اردیبهشت ۹۴					۵ خرداد ۹۴					۱۴ مرداد ۹۴				
آب‌بندان	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶
مهدشت	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۷۰	۰/۶۶
سوربن	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۰
دشت‌ناز	۰/۶۱	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۶۶

تاریخ تصویر	۸ خرداد ۹۵					۹ تیر ۹۵					۲ شهریور ۹۵				
آب‌بندان	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶
مهدشت	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۶۷	۰/۶۴
سوربن	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۳۳	۰/۵۰
دشت‌ناز	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۶۵	۰/۶۳

ژرفاسنجی با استفاده از شاخص

با توجه به ضرایب‌همبستگی مشاهده شده در جدول (۴)، باندهای ۲ و ۳ کمترین و باندهای ۴، ۵ و ۶ بیشترین مقدار همبستگی‌خطی با ژرفای واقعی را داشته است. لذا باندهای ۲ و ۳ حذف و با استفاده از ۳ باند باقی‌مانده، ۴ شاخص به صورت نسبت باندی و تفاضل نرمال تعریف و مورد ارزیابی قرار گرفت:

$$I: \frac{B4}{B5} \quad (۴)$$

$$II: \frac{B4}{B6} \quad (۶)$$

$$III: \frac{B4-B5}{B4+B5} \quad (۷)$$

$$IV: \frac{B4-B6}{B4+B6} \quad (۵)$$

که در این روابط: B_4، B_5و B_6 به‌ترتیب ارزش‌های سلولی تصحیح‌شده تصاویردریافتی باندهای ۵، ۴ و۶ هستند. در ادامه مقادیر شاخص‌های مذکور برای هر یک از سلول‌های تصاویر، محاسبه و ضریب تبیین میان آنها با ژرفای واقعی به‌دست آمد (جدول ۵).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

جدول ۵- ضریب تبیین میان ژرفای واقعی و شاخص‌های نسبت باندی و تفاضل نرمال
Table 5. The correlation coefficient between real depth and bonding index and normal difference

تاریخ تصویر	۲۷ اردیبهشت ۹۴				۵ خرداد ۹۴				۱۴ مرداد ۹۴			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
آب‌بندان	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷	۰/۷
مهدشت	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸
سوربن	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۶۴

تاریخ تصویر	۸ خرداد ۹۵				۹ تیر ۹۵				۲ شهریور ۹۵			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
آب‌بندان	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۷	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷	۰/۷
مهدشت	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۴	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۵۶
سوربن	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۵

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۵) متوسط مقدار ضریب تبیین شاخص‌های I، II، III و IV به‌ترتیب ۰/۶۰، ۰/۶۰، ۰/۶۰ و ۰/۶۲ به دست آمد. بدین ترتیب شاخص IV در میان شاخص‌های موجود بعنوان شاخص منتخب معرفی شد. در مجموع، ضرایب همبستگی حتی پس از ارتقاء توسط شاخص‌ها به‌گونه‌ای نیست که بتوان از روش سنجش از دور برای تعیین دقیق ژرفای آب در هرکدام از پیکسل‌ها بهره برد. به‌خصوص در مورد آب‌بندان‌ها که تغییرات ژرفایی بسترشان به‌جز در دیواره‌های جانبی جزئی است. از سویی پرورش ماهی در آب‌بندان‌ها موجب افزایش چگالی ذرات معلق و نیز جلبکی می‌شود. این ذرات با پراکنده کردن نور بازتابش یافته به بستر موجب افزایش نویز امواج رسیده به حس‌گر ماهواره می‌شود. اختلاف همبستگی‌ها در روزهای مختلف نیز به این دلایل قابل توجیه است. با گذشت زمان از ابتدای فصل پرورش‌ماهی سپیدایی بستر نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین غذادهی در زمان‌های نزدیک به تصویربرداری ماهواره‌ای نیز موجب افزایش کدورت آب و افزایش خطا می‌شود. از سویی سطح آب آب‌بندان‌ها به‌دلیل ورود و مصرف آب در نوسان است. آب‌های ورودی ممکن است ناشی از سیل با کدورت بالا یا زلال باشد. نزدیکی زمان ورود آب به مخزن به زمان تصویربرداری و ته‌نشین نشدن ذرات معلق بر روی افزایش خطا مؤثر است. چنانچه پژوهشگر بخواهد برای استفاده از روش سنجش‌ازدور موارد بالا را از نزدیک مورد بررسی قرار دهد دیگر روش سنجش‌ازدور با روش‌های مرسوم میدانی تفاوتی نخواهد داشت. به‌همین‌دلیل در این پژوهش بجای تمرکز بر اندازه‌گیری دقیق ژرفا، اهداف ژرفاسنجی یعنی تعیین حجم مخزن و نیز ترسیم توپوگرافی بستر مورد توجه قرار گرفت. روش طبقه‌بندی ژرفایی که در بخش مواد و روش‌ها معرفی شد به‌نوعی پذیرفتن مقدار معینی خطا (در این پژوهش ۰/۵ متر) است. هدف، بررسی این مطلب است که اگر به دلایل ذکرشده این مقدار معین خطا پذیرفته شود برآورد حجم مخزن و نیز توپوگرافی بستر تا چه میزان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌بیان دیگر آیا می‌توان با استفاده از سنجش از دور حجم مخزن را با دقت قابل قبولی تخمین زد یا خیر. روش معرفی‌شده توسط سیوکو و همکاران (۵) که در بخش مرور منابع معرفی شد برای واسنجی میزان سپیدایی بستر و نیز کدورت آب نیاز به چندین داده ژرفایی دارد که خود مستلزم اندازه‌گیری‌های میدانی است. روش طبقه‌بندی ژرفایی به‌منظور واسنجی فقط نیاز به بیشترین ژرفای مخزن دارد که موجب کاهش داده‌برداری میدانی شده است. از داده بیشترین ژرفای مخزن برای تعیین تعداد کلاس‌ها (۲ برابر بیشترین ژرفا) استفاده می‌شود. لذا در ادامه تعیین حجم و ترسیم توپوگرافی بستر مخزن با استفاده از روش طبقه‌بندی ژرفایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

تخمین حجم آب مخزن با استفاده از تک باند

ابتدا با استفاده از مدل شبکه نامنظم مثلثی نرم‌افزار ARC GIS حجم واقعی آب آب‌بندان‌های دشت‌ناز، سوربن و مهدشت بر اساس ژرفاهای اندازه‌گیری شده در روزهای ۲۷ اردیبهشت، ۵ خرداد، ۱۴مرداد ۹۴، ۸ خرداد، ۹ تیر و ۲ شهریور ۹۵ محاسبه شد. سپس با استفاده از تصاویر دریافتی باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ حس‌گر OLI میزان حجم آب آب‌بندان‌های مذکور با استفاده از روش طبقه‌بندی ژرفایی که در قسمت مواد و روش‌ها آمده است، برآورد شد (جدول ۷). در ادامه خطای‌نسبی حجم آب‌های برآوردشده توسط این روش نسبت به حجم آب اندازه‌گیری‌شده آب‌بندان‌ها در روزهای تصویربرداری محاسبه و در جدول (۸) گردآوری شد. با توجه به داده‌های جدول (۸) میانگین خطای‌نسبی برای باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب ۹/۳، ۷/۷، ۸/۳، ۸/۸ و ۹/۹ درصد محاسبه شد. همچنین ضرایب همبستگی میان حجم اندازه‌گیری شده و حجم برآوردشده حاصل از تصاویر دریافتی باندهای مذکور آب‌بندان‌های دشت‌ناز، سوربن و مهدشت در تمامی تاریخ‌ها نیز محاسبه شد. میانگین ضرایب همبستگی میان حجم واقعی اندازه‌گیری شده و حجم برآورد شده از تصاویر باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۳، ۰/۹۶، ۰/۹۷، و ۰/۸ به‌دست آمد (جدول ۶).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

جدول ۶- ضریب همبستگی خطی میان حجم اندازه‌گیری شده و حجم محاسبه‌شده از باندهای OLI

Table 6. Correlation coefficient between measured volume and calculated volume of OLI bands

آب‌بندان	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	متوسط
دشت‌ناز	۰/۹۹	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹
مهدشت	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۲
سورین	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۴۶	۰/۸۵
متوسط	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۸	

جدول ۷- برآورد حجم اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (روش طبقه‌بندی ژرفایی) از باندهای OLI آب‌بندان‌ها در زمان‌های تصویربرداری

Table 7. Estimated volume measured and calculated (Depth Classification Method) from OLI bands of pools at Imagary dates

تاریخ	حجم اندازه‌گیری شده			حجم محاسبه شده از باند۲			حجم محاسبه شده از باند ۳			حجم محاسبه شده از باند ۴			حجم محاسبه شده از باند ۵			حجم محاسبه شده از باند ۶		
	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت
۲۷ اردیبهشت ۹۴	۲/۹	۱/۹۷	۱/۳۶	۳/۱۲	۲/۱۵	۱/۲۰	۲/۹۲	۲/۰۶	۱/۲۷	۳/۱۲	۲/۱۵	۱/۳۷	۳/۰۷	۲/۱۷	۱/۴۶	۳/۱	۲/۱۶	۱/۴۶
خرداد۹۴	۲/۶۵	۱/۷۳	۱/۲۶	۲/۹۹	۱/۸۸	۱/۲۶	۲/۸۵	۱/۸	۱/۳۷	۲/۹۳	۱/۹۴	۱/۳۳	۲/۸۹	۱/۹۶	۱/۳۴	۲/۸۹	۱/۹۵	۱/۳۴
۱۴ مرداد۹۴	۱/۴۷	۱/۲۲	۰/۸۳	۱/۶۱	۱/۱۸	۰/۶۶	۱/۶۱	۱/۱۸	۰/۶۹	۱/۶۳	۱/۲۱	۰/۷۳	۱/۶۲	۱/۲۵	۰/۷۴	۱/۵۹	۱/۲۵	۰/۷۶
۸ خرداد۹۵	۲/۶۵	۱/۸۳	۱/۲	۲/۸	۱/۹۵	۱/۱	۲/۷۲	۱/۶۵	۱/۱۴	۲/۸۴	۱/۸۵	۱/۲۸	۲/۹	۱/۹۷	۱/۳۴	۲/۹۱	۰/۹۹	۱/۳
۹ تیر۹۵	۲/۴۴	۱/۶۴	۱/۱۳	۲/۶۲	۱/۹۳	۱/۱۵	۲/۶۸	۱/۸۶	۱/۱۵	۲/۷۲	۱/۹۴	۱/۲۲	۲/۷۶	۱/۷۳	۱/۲۲	۲/۷۵	۱/۷۲	۱/۲۴
۲ شهریور۹۵	۱/۳۲	۱/۱۷	۰/۷۴	۱/۵۴	۱/۰۵	۰/۶	۱/۴۱	۰/۹۷	۰/۵۶	۱/۴۵	۱/۰۳	۰/۶	۱/۴۴	۱/۲	۰/۶۵	۱/۴۳	۱/۲۶	۰/۶۵

*: کلیه ارقام بر حسب میلیون مترمکعب (Mm^3) است.

جدول ۸- خطای‌نسبی حاصل از حجم آب واقعی و برآورده شده (روش طبقه‌بندی ژرفایی) باندهای OLI

Table 8. Relative error from measured and calculated volume (Depth Classification Method) OLI bands

تاریخ	خطای نسبی باند۲			خطای نسبی باند ۳			خطای نسبی باند ۴			خطای نسبی باند ۵			خطای نسبی باند ۶			متوسط خطای نسبی
	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	دشت‌ناز	سورین	مهدشت	
۲۷ اردیبهشت ۹۴	۷/۶	۹/۱	۱۱/۸	۰/۷	۴/۶	۶/۶	۷/۶	۹/۱	۰/۷	۵/۹	۱۰/۲	۷/۴	۶/۹	۹/۶	۷/۴	۷/۰
۵ خرداد ۹۴	۱۲/۸	۸/۷	۰/۰	۷/۵	۴/۰	۸/۷	۱۰/۶	۱۲/۱	۵/۶	۹/۱	۱۳/۳	۶/۳	۹/۱	۱۲/۷	۶/۳	۸/۵
۱۴ مرداد ۹۴	۹/۵	۳/۳	۲۰/۵	۹/۵	۳/۳	۱۶/۹	۱۰/۹	۰/۸	۱۲/۰	۱۰/۲	۲/۵	۱۰/۸	۸/۲	۲/۵	۸/۸	۸/۶
۸ خرداد ۹۵	۵/۷	۶/۶	۸/۳	۲/۶	۹/۸	۵/۰	۷/۲	۱/۱	۶/۷	۹/۴	۷/۷	۱۱/۷	۹/۸	۴۵/۹	۸/۳	۹/۷
۹ تیر ۹۵	۷/۴	۱۷/۷	۱/۸	۹/۸	۱۳/۴	۱/۸	۱۱/۵	۱۸/۳	۸/۰	۱۳/۱	۵/۵	۸/۰	۱۲/۷	۴/۹	۹/۷	۹/۶
۲ شهریور ۹۵	۱۶/۷	۱۰/۳	۱۸/۹	۶/۸	۱۷/۱	۲۴/۳	۹/۸	۱۲/۰	۱۸/۹	۹/۱	۲/۶	۱۲/۲	۸/۰	۷/۷	۱۲/۶	۱۲/۵
متوسط خطای نسبی	۹/۳	۷/۸	۱۰/۸	۵/۸	۶/۹	۱۰/۴	۹/۱	۸/۱	۷/۷	۱۰/۸	۷/۲	۸/۵	۱۰/۱	۱۱/۲	۸/۳	۸/۸
متوسط خطای نسبی باندی		۹/۳			۷/۷			۸/۳			۸/۸			۹/۹		

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

تخمین حجم آب مخزن با استفاده از شاخص منتخب

در این روش با استفاده از رستر تولیدشده شاخص برگزیده IV حجم آب آب‌بندان‌های مذکور برآورد شد (جدول ۹). همبستگی‌خطی میان حجم واقعی اندازه‌گیری‌شده و حجم برآوردشده حاصل از شاخص منتخب IV برای آب‌بندان‌های دشت‌ناز، مهدشت و سوربن به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۴ به‌دست آمد و سپس خطای‌نسبی تخمین حجم آب نیز محاسبه شد (جدول ۱۰). متوسط مقدار خطای‌نسبی شاخص منتخب در این آب‌بندان‌ها به‌ترتیب ۶/۸، ۸/۹ و ۷/۶ درصد محاسبه شد. ضرایب همبستگی محاسبه شده نشان داد که استفاده از شاخص موجب کاهش نویز در آب‌بندان ها و افزایش ضریب تبیین می‌شود. شکل (۷) ضریب همبستگی میان حجم آب واقعی و برآوردشده توسط شاخص IV مربوط به آب‌بندان سوربن را نشان می‌دهد

جدول ۹- برآورد حجم اندازه‌گیری شده و محاسبه‌شده از شاخص IV آب‌بندان‌ها

Table 9. Measured and calculated Volume of pools from IV index

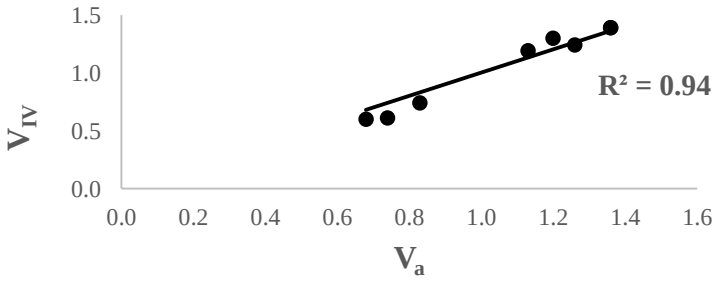
تاریخ	حجم اندازه‌گیری شده			حجم محاسبه‌شده از مدل IV		
	دشت‌ناز	سوربن	مهدشت	دشت‌ناز	سوربن	مهدشت
۲۷ اردیبهشت ۹۴	۲/۹	۱/۹۷	۱/۳۶	۲/۸۴	۲/۱	۱/۳۹
۵ خرداد ۹۴	۲/۶۵	۱/۷۳	۱/۲۶	۲/۸۳	۱/۹۴	۱/۲۴
۱۴ مرداد ۹۴	۱/۴۷	۱/۲۲	۰/۸۳	۱/۶۱	۱/۲۶	۰/۷۴
۸ خرداد ۹۵	۲/۶۵	۱/۸۳	۱/۲	۲/۸۱	۱/۹۷	۱/۳
۹ تیر ۹۵	۲/۴۴	۱/۶۴	۱/۱۳	۲/۶۹	۱/۹۳	۱/۱۹
۲ شهریور ۹۵	۱/۳۲	۱/۱۷	۰/۷۴	۱/۴۰	۱/۲۴	۰/۶۱

*: کلیه ارقام برحسب میلیون مترمکعب (Mm^3) است.

جدول ۱۰- خطای نسبی حاصل از حجم آب واقعی و برآورده شده توسط شاخص IV

Table 10. Relative error between real water volume and measured by index IV

تاریخ	دشت‌ناز	سوربن	مهدشت	متوسط خطای نسبی
۲۷ اردیبهشت ۹۴	۲/۱	۶/۶	۲/۲	۳/۶
۵ خرداد ۹۴	۶/۸	۱۲/۱	۱/۶	۶/۸
۱۴ مرداد ۹۴	۹/۵	۳/۳	۱۰/۸	۷/۹
۸ خرداد ۹۵	۶/۰	۷/۷	۸/۳	۷/۳
۹ تیر ۹۵	۱۰/۲	۱۷/۷	۵/۳	۱۱/۱
۲ شهریور ۹۵	۶/۱	۶/۰	۱۷/۶	۹/۹
متوسط خطای نسبی	۶/۸	۸/۹	۷/۶	۷/۸
خطای نسبی مدل		۷/۸		

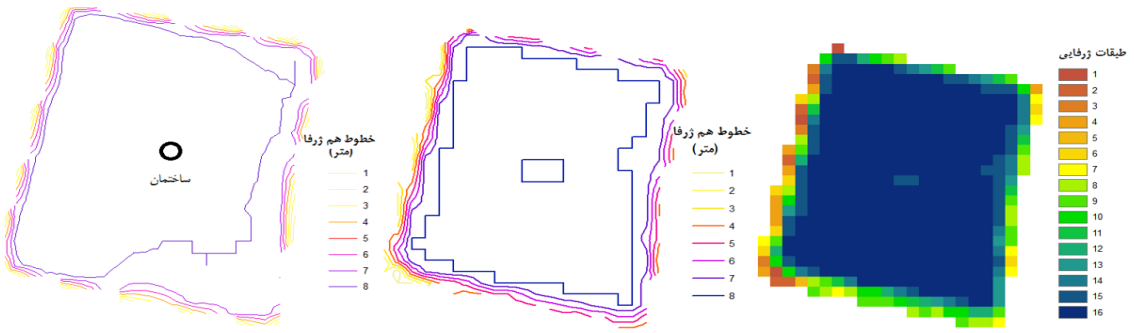


شکل ۷- ضریب همبستگی میان حجم آب واقعی و برآورده شده توسط شاخص IV آب‌بندان سوربن

Figure 7. Coefficient of correlation between actual water volume and measured of the Sorbon pool by IV index

پس از نتایج مطلوبی که از تخمین حجم توسط روش طبقه‌بندی ژرفایی حاصل شد، به‌منظور بررسی توانایی مدل در برآورد توپوگرافی بستر آب‌بندان، از تصویر طبقه‌بندی ژرفایی باند ۴ آب‌بندان‌ها برای ترسیم توپوگرافی بستر با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS استفاده و با توپوگرافی ترسیم شده از رستر ۳۰ متری ژرفاهای اندازه‌گیری شده مقایسه شد. شکل (۸) مقایسه خطوط منحنی میزان واقعی و تولید شده از طبقه‌بندی ژرفایی تصویر باند ۴ آب‌بندان دشت‌ناز در ۲۷ اردیبهشت ۹۴ را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]



الف- رستر طبقات ژرفایی ب- منحنی میزان تولید شده توسط مدل ج- منحنی میزان واقعی

شکل ۸- مقایسه خطوط منحنی‌میزان واقعی و تولید شده از طبقه‌بندی ژرفایی تصویر باند ۴ آب‌بندان دشت‌ناز
Figure 8. Comparison of actual and produced topography from Depth Classification Method band 4 image Dashtenaz Pool

با توجه به شکل (۸) منحنی میزان تولید شده مشابهت مناسبی با منحنی‌میزان واقعی دارد. به‌طوری‌که دیواره‌های مخزن به خوبی شناسایی شده و فقط در ژرفای ۸ متری مقداری خطا دیده می‌شود. به‌دین‌ترتیب منحنی میزان‌های تولید شده توسط طبقه‌بندی ژرفایی در کاربردهایی که دقت کمتر از ۰/۵ متر نیاز نیست، قابل استفاده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد تخمین دقیق ژرفای نقاط مختلف مخزن با استفاده از تصاویر حس‌گر OLI ممکن نیست. ضرایب همبستگی حتی پس از ارتقاء توسط شاخص‌ها به‌گونه‌ای نیست که بتوان از روش سنجش‌ازدور برای تعیین دقیق ژرفای آب در هرکدام از پیکسل‌ها بهره برد، هرچند یک روش ساده و کاربردی برای برآورد حجم آب مخازن با میانگین خطای‌نسبی کمتر از ۸ درصد معرفی شد که فقط نیاز به اندازه‌گیری حداکثر ژرفای مخزن دارد. کدورت آب، تفاوت سپیدایی بستر مخازن و ابرناکی در زمان تصویربرداری از عوامل ایجاد خطا در مدل مذکور به‌شمار می‌آید. در مواردی‌که دقت‌های کمتر از ۰/۵ متر مورد نیاز نباشد، می توان از توپوگرافی بستر حاصل از این روش نیز استفاده نمود. یکی ازمسائل مهم مخازن آب پس از بهره‌برداری، رسوب‌گذاری است که این پدیده بهره‌برداری بهینه از حجم ذخیره شده آب در مخازن را با مشکلاتی مواجه می‌سازد (۱۳). با استفاده از منحنی‌میزان‌های تولید شده توسط روش طبقه‌بندی ژرفایی در سری‌های زمانی تصاویر مخزن می‌توان روند تله‌اندازی رسوب بستر را مورد بررسی قرار داد. با توجه به این‌که استفاده از شاخص منتخب در این پژوهش نتایج بهتری را نسبت به حالت تک‌باند نشان داد، روش طبقه‌بندی ژرفایی شاخص تفاضل‌نرمال باندهای ۴ و ۶ حس‌گر OLI جهت تخمین حجم آب مخازن کم‌ژرف پیشنهاد می‌شود. نتایج پژوهش حیدریان و همکاران (۸) نشان داد که تصاویر باند قرمز حس‌گر OLI بیشترین ضریب تبیین و کمترین میزان خطا را در میان دیگر باندهای حس‌گر مذکور دارا است. همچنین نتایج پژوهش حاضر، نتایج پژوهش چنگیولی و همکاران (۴) را تایید نمود. در پژوهش سیلویان و گویلیوم (۲۱) حداکثر ژرفای آب قابل برآورد با روش‌های سنجش‌ازدور ۱۴متر گزارش شده است اما پیشنهاد می‌شود در مورد بیشترین ژرفای قابل تخمین توسط روش طبقه‌بندی ژرفایی، پژوهش‌های بیشتری انجام پذیرد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین محترم شرکت کشت و صنعت مهدشت و دشت‌ناز و نیز اهالی روستای سوربن به جهت در اختیار قرار دادن قایق و مساعدت‌های دلسوزانه به تیم پژوهشی کمال قدردانی و تشکر را داشته باشند

منابع

1. Amani, M. 2014. Prioritization of Sub-Watersheds based on Morphometric Analysis, GIS and RS Techniques: Lohandar Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research, 5(2): 1-15 (In Persian).
2. Bagheri, A. 2008. Pool management and it's role in storage and water supply for agricultural lands in north of Iran. 2th International Conference on Management of irrigation and drainage networks, 221-226 pp., Ahvaz, Chamran university, Iran (In Persian).
3. Bostater, C.R., T.S. Oney, T. Rotkiske, S. Aziz, C. Morrisette, K. Callahan and D. Mcallister. 2017. Hyperspectral signatures and WorldView-3 imagery of Indian River Lagoon and Banana River Estuarine water and bottom types. In Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters and Large Water Regions. International Society for Optics and Photonics. (10422): 104220 pp
4. Li, C., B. Sun, K. Jia, S. Zhang, W. Li, X. Shi and L. Pereira. 2013. Multi-Band Remote Sensing Based Retrieval Model and 3D Analysis of Water Depth in Hulun Lake, China. Mathematical and Computer, 58(3-4): 771-781.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

5. Civco, D.L. and W.C. Kennard. 1992. Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modeling, Photogramm. Engineering. Remote Sensing, 5(58): 545-549.
6. Deng, Z., J. Minhe and Z. Zhang. 2008. Mapping Bathymetry From Multi-S Ource Remote Sensing Images: A Case Study in the Beilun Estuary, Guangxi, China. The International Archives of the Photogr ammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (XXXVII): 1321-1326.
7. Fonstad Mark, A. and W.A. Marcus. 2005. Remote Sensing of Stream Depths with Hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) Models. Geomorphology, 72(1): 320-339.
8. Heidarian, K., S. Kaboodvandpur and J. Aminollahi. 2016. Evaluation of Wetlands International Zarivar deep changes using remote sensing and artificial neural network. Journal of Geographic Space, 53: 271-289 (In Persian).
9. Jagalingam, P. 2015. Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. Procedia Engineering, 116: 560-566.
10. Kowkabi, L., R. setayesh, A.R. Badri and A. Rajaee. 2013. The application of fuzzy multi-attribute group decision making to prioritize the landscapes with high ecological value: Khoshk River in Shiraz. International Journal of Envirnomental Research, 7(2): 423-434.
11. Majozi, N.P., M.S. Salama, S. Bernard, D.M. Harper and M.G. Habte. 2014. Remote Sensing of Environment Remote Sensing of Euphotic Depth in Shallow Tropical Inland Waters of Lake Naivasha Using MERIS Data. Remote Sensing of Environment, 148:178-89.
12. Manessa, M.D., M.M. Haidar, D. Hartuti and K. Kresnawati. 2018. Determination of the best methodology for bathymetry mapping using spot 6 imagery: A Study of 12 empirical algorithms. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES), 14(2): 127-136.
13. Meskar, H. and R. Fazloula. 2013. Investigation of Sedimentation Pattern in the Shahid Rajaee ReservoirUsing GSTAR3.0 Numerical Model. Journal of Watershed Management Research, 4(7): 16-29 (In Persian).
14. Misra, A., Z. Vojinovic, B. Ramakrishnan, A. Luijendijk and R. Ranasinghe. 2018. Shallow water bathymetry mapping using Support Vector Machine (SVM) technique and multispectral imagery. International Journal of Remote Sensing, 1-20 pp.
15. Oh, C.Y., K. Ahn, J. Park and S.W. Park. 2017. Coastal Shallow-Water Bathymetry Survey through a Drone and Optical Remote Sensors. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 29(3): 162-168.
16. Özçelik, C. and A. Yalçın. 2010. Remote sensing of water depths in shallow waters via artificial neural networks. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 89: 89-96.
17. Sichangi, A.W. and G.O. Makokha. 2017. Monitoring water depth, surface area and volume changes in Lake Victoria: integrating the bathymetry map and remote sensing data during 1993-2016. Modeling Earth Systems and Environment, 1-6 pp.
18. Solaimani Sarood, F., S. Soltani Kopaii and A. Salajeghe. 2013. Selection of Appropriate Flooding Potential Index by Using RainfallRunoff (HEC-HMS) Model and RS & GIS Techniques in Jiroft Dam Basin. Journal of Watershed Management Research, 4(8): 90-105 (In Persian).
19. Sternberg, T. and P. Paillou. 2015. Mapping Potential Shallow Groundwater in the Gobi Desert Using Remote Sensing: Lake Ulaan Nuur. Journal of Arid Environments, 118: 21-27.
20. Stumpf, R.P. and K. Holderied. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Liminology and Oceanography, 48(1): 547-556.
21. Sylvain J. and M. Guillaume. 2014. Remote Sensing of Environment A Novel Maximum Likelihood Based Method for Mapping Depth and Water Quality from Hyperspectral Remote-Sensing Data. Remote Sensing of Environment, 147: 121-32.
22. Tian, Q.J., J. Wang and X. Du. 2007. Study on Water Depth Extraction from Remote Sensing Imagery in Jiangsu Coastal Zone. Journal of Remote Sensing, 11(3).
23. Usha, K. and S. Bhupinder. 2013. Scientia Horticulturae Potential Applications of Remote Sensing in Horticulture A Review. Scientia Horticulturae, 153: 71-83.
24. Yang, C, et al. 2017. Remote Sensing of Hydrological Changes in Tian-e-Zhou Oxbow Lake, an Ungauged Area of the Yangtze River Basin. Remote Sensing, 10(1): 27 pp.
25. Zhou J., D.L. Civco and J.A. Silander. 1998. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. International Journal Of Remote Sensing, 19: 743-757.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]

Bathymetry and Volume Estimation of Reservoirs using OLI Imagary

Hassan Habibi Khaveh[1], Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi[2] and Ali Reza Emadi[3]

1- PhD Student Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor of Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: ma.gholami@sanru.ac.ir)
3- Associate Professor of Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: July 10, 2016 Accepted: December 31, 2017

Abstract

Nowadays using field depth measurement to estimate capacity of water reservoirs is a costly and time consuming method. In this regard, different multiple techniques of remote sensing method has been adopted. In this study, a radiation and reflection based model was introduced to estimating the bathymetry and water capacity of reservoir by images of OLI sensor. For this, at May 17, 2015 water depth was measured each 50 meters in Mahdasht, Sorbon and Dasht-e-naz water reservoirs using Sonar system. All water reservoirs located in Miandoroud plain between latitude of 36˚33′and longitude of 53˚40′ in north east of Sari city, Mazandaran province, Iran. Then, the measurement continued for five more times; on May 26, Aug 5 of 2015 and again on May 28, June 29 and August 23 of 2016 to record depth and precise determination of water capacity. In order to estimate the reservoir capacity image values for blue, green and red band two times more than maximum depth, were classified equally (any given class represents 0.5 meter depth). Subsequently, total volume of reservoir was extracted by a sum of product of number of cells, cell depth index and cell area. Finally, the average relative error and estimated correlation coefficients of volume estimation for 3 mentioned reservoirs in 6 times in blue, green and red bands were 11.19, 4.95, 5.5 and 96, 97 and 98 percent, respectively. Consequently, the use of this method is proposed to measure the volume of reservoirs.

Keywords: Depth Classification, Echo Sounder Pool, Remote Sensing, Radiation, Reflection Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.1.4]

[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.46]