



برآورد منحنی حجم مخزن بر مبنای شیوه سنجش از راه دور

بابک کسائی رودسری^۱، حمید تیموری راد^۲

۱- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

h_teimoori_rad@yahoo.com

خلاصه

مخزن سد یکی از مهمترین فاکتورها در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب است. منحنی ظرفیت مخزن پارامتری حیاتی برای عملکرد سد می‌باشد. شیوه مبتنی بر سنجش از راه دور (Remote Sensing) اطلاعات بهتری در مقایسه با روش‌های سنتی در اختیار ما قرار می‌دهد که می‌تواند در جهت عملکرد مخزن و مدیریت آن موثر باشد. اطلاعات مخزن Fengman در کشور چین به منظور یک بررسی موردی به جهت دست یافتن به یک منحنی مخزن جدید بر پایه روش Landsat انتخاب شده است. خطای مربوط به روش جدید بسیار کمتر بوده و نتایج روش RS از دقت بالایی برخوردار است.

کلمات کلیدی: مدیریت منابع آب، سنجش از راه دور، منحنی مخزن سد

مقدمه

برای مدیریت استراتژیک ریسک و تعادل بیلان آبی در مدیریت جامع منابع آب از شیوه مبتنی بر سنجش از راه دور (Remote Sensing) استفاده می‌شود. در ادامه توصیفی از این روش ارائه می‌گردد:

توصیف سیستم اطلاعات جغرافیایی:

مشخص است که برای درک آسان و دستیابی سریع به اطلاعات جغرافیایی، می‌بایست آن‌ها را به صورت نقشه درآورد. نمایش گرافیکی اطلاعات جغرافیایی بسیار گویا و در جهان ثانیه‌ها، بسیار کاربردی می‌باشد. سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان دسترسی و بهره‌برداری مناسب از کلیه اطلاعات جغرافیایی را فراهم می‌سازد. در این سیستم‌ها می‌توان با تبدیل اطلاعات جغرافیایی به صورت رقمی و ذخیره آن در رایانه، امکان هر گونه فعالیت بازنگری اطلاعات و وارد نمودن مجدد اطلاعات، تغییر مقیاس و عمومیت بخشیدن به نقش‌ها و تغییر در بخشی از اطلاعات آن را میسر ساخت. [۱]

در این قسمت ابتدا به کلیاتی از سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربردها و اجزای آن‌ها پرداخته می‌شود.

کلیات سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی:

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ابزاری برای جمع‌آوری، ذخیره و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی با موقعیت جغرافیایی مشخص هستند. عملیات ساماندهی و ذخیره‌سازی داده‌ها یک عامل بسیار مهم در این سیستم می‌باشد و آنچه باعث برتری این سیستم به بسیاری از برنامه‌های رایانه‌ای دیگر نظیر برنامه‌های آماری و یا نرم‌افزار Auto cad می‌شود، قابلیت انجام عملیات فضایی بر روی داده‌های مکانی، جست و جوی مکانی و انطباق لایه‌های اطلاعاتی مختلف بر روی هم می‌باشد.

^۱ کارشناس شبکه‌های آبرسانی - شرکت مهندسين مشاور پژوهاب

^۲ کارشناس امور سد - شرکت مهندسين مشاور کوثر آب پارس



ساختارهای سازمان‌دهی اطلاعات:

سازمان‌دهی اطلاعات جغرافیایی، با یکی از ساختارهای زیر عملی می‌گردد. [۱] [۴]

ساختار از نوع راستر:

در این ساختار هر شیئی از یک سری خانه‌های پر شده و یا کد دار در داخل یک جدول تشکیل شده است. هر خانه این جدول، آدرسی جداگانه و مخصوص دارد. در این روش سازمان‌دهی، رایانه کلیه خانه‌هایی را که با یک کد پر شده اند به یک شیئی نسبت می‌دهند.

ساختار اطلاعات از نوع برداری:

در این ساختار هر شیئی به طریق ضمنی و از طریق استفاده از یک سری خطوط و اطلاعات مربوط به اتصال خطوط، تعریف می‌شود. هر یک از این خطوط به وسیله مختصات نقطه شروع، نقطه خاتمه و نقاط بین آن تعریف می‌شود. در این ساختار همواره هر نقطه، به وسیله مجموعه ای از نقاط، خطوط و یا سطوح که هر یک با اطلاعات غیر جغرافیایی خاصی تعریف می‌شوند، نشان داده می‌شود.

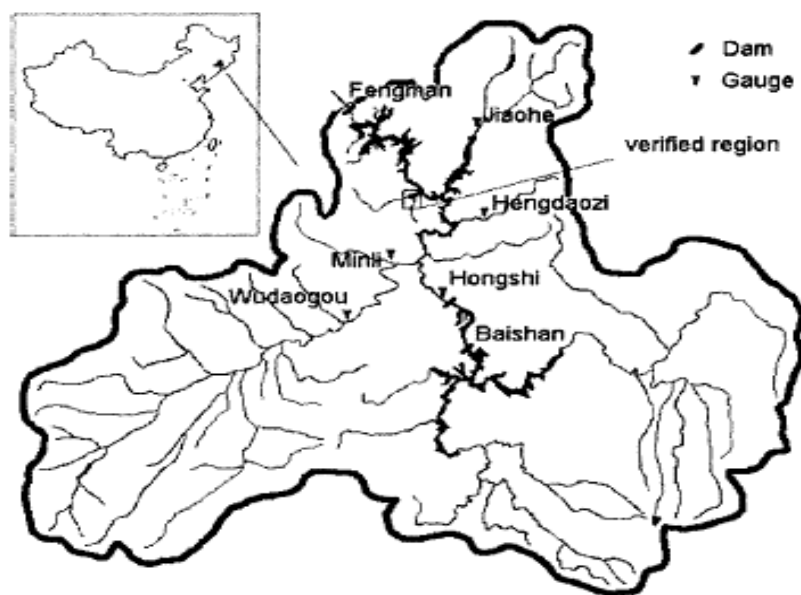
برآورد منحنی حجم مخزن بر مبنای شیوه سنجش از راه دور

برآوردهای منظمی از ظرفیت مخزن در زمان‌های متناوب با استفاده از روش‌های قدیمی مثل زاویه‌یابی (sextant)، مسافت‌سنجی دریائی (rangefinder)، عمقیاب صوتی (echo sounders) و قایق‌های کم‌سرعت (slow moving boats) انجام می‌گرفته است. برآورد مخزن اثر هنگامی روی عملکرد مخزن دارد. بعلاوه نتایج اندازه‌گیری به علت پیچیدگی عوارض زمین، پوشش گیاهی و تجارب متفاوت مهندسی با هم به شدت اختلاف دارند. برای مثال حدود هشت سال وقت و دو میلیون یوان هزینه صرف اندازه‌گیری حجم مخزن لانگ یانگ زیا longyangxia در کشور چین گردید که در نهایت نتایج نیز راضی کننده نبودند. در مقایسه با روش‌های قدیمی، روش‌های مبتنی بر RS می‌توانند از نظر وقت و هزینه به صرفه‌تر باشند. عملکرد آنها آسان‌تر و آنالیز اطلاعات آنها زمان کمتری نیاز دارد. [۵]

سطح آب و حجم مخزن دریاچه‌های واشنگتون (washangton)، وکیچوبی (Okeechobee) و دریاچه هریس (Harris) در فلوریدا با استفاده از روش land sat اندازه‌گیری شده‌اند. استفاده از عکس‌های MODIS در فاصله آپریل ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ از دریاچه دانگتین (Dongting) منجر به بدست آوردن رابطه جدیدی بین تراز و سطح آب دریاچه گردید.

با استفاده از اطلاعات و عکس‌های با وضوح بالای ماهواره‌ها، برآورد مخزن بر مبنای شیوه RS به سمت کسب مقبولیت و به رسمیت شناخته شدن حرکت می‌کند. با استفاده از تکنولوژی Landsat TM عکس‌های روی مخزن سد می‌یون (Miyun) در پکن نشان داد که این روش، روش موثری برای بررسی تغییرات سطح دریاچه، تخمین حجم آب دریاچه، بدست آوردن شکل کف دریاچه و آنالیز محیط زیست اطراف دریاچه بوده است. Wang و LI در ۷ فاصله زمانی متفاوت با استفاده از اطلاعات Landsat از مخزن زیانگ جیانگ (Xiangjiang) در چین، سطح دریاچه و مرز دقیق آب و خشکی را بدست آوردند. با توجه به زمان انجام تحقیق و سطح آب دریاچه در آن زمان، منحنی سطح-تراز دریاچه رسم گردید. مقایسه نتایج بدست آمده با مشاهدات واقعی نشان داد که میانگین خطا کمتر از ۰.۱۱٪ بوده است. [۶]

در این مقاله مخزن Fengman به منظور یک بررسی موردی به جهت دست یافتن به یک منحنی مخزن جدید بر پایه روش Land sat انتخاب شده است. جریان ورودی به مخزن در ماه‌های خشک (دسامبر، ژانویه و فوریه) بر اساس بیلان آبی محاسبه و برای بررسی روش جدید برآورد منحنی مخزن استفاده شده‌اند. [۲]



شکل ۱ - نمای شماتیک از حوزه آبریز فنگمن

برآورد حجم مخزن:

سد فنگمن Fengman در سال ۱۹۳۷ احداث شده است و موقعیت آن روی رودخانه Sang haw در جنوب شرقی استان Jilin می‌باشد. این سد دارای یکی از بزرگترین نیروگاه‌های برقایی در نیمه شرقی دنیاست. تولید سالیانه برق این نیروگاه $18,9 \times 10^8$ kw-hr می‌باشد. محدوده حوضه مخزن فنگمن و محدوده مشخص شده برای بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. ۵ ایستگاه آب سنجی به نام های Hongshi, Wudaogou, Minli, Hengdaozi, Jiaohe, جریان ورودی به مخزن را کنترل می‌کنند. مساحت کف مخزن و مساحت سطح آب به ترتیب 42500 و 500 Km² میباشد. بارش میانگین، حداقل و حداکثر سالیانه به ترتیب حدود $526,746$ و 1018 mm و میانگین، حداقل و حداکثر دبی ورودی سالیانه به مخزن 430 ، 164 و 737 mm می‌باشد.

حدود 90% بارش سالیانه و 70% حجم ورودی به مخزن در بین ماههای ژوئن تا سپتامبر اتفاق می‌افتد. فصل یخبندان بین 20 نوامبر تا 20 مارس می‌باشد و ضخامت یخ‌زدگی سطح آب در زمستان از $1,5$ متر تجاوز می‌کند.

در 67 سال گذشته، حجم مخزن بارها برآورد شده است که در جدول ۱ آمده اند. اولین آنها با استفاده از نقشه های توپوگرافیک $1/15000$ با استفاده از روش قدیمی در سال 1937 انجام پذیرفت. حجم ناخالص مخزن حدود 12.5×10^9 m³ در سطح آب $266,5$ m برآورد شد. مابقی برآورد ها در سالهای 1953 ، 1956 و 1988 انجام شد. منحنی که در سال 1956 برآورد شده بود برای طراحی استفاده گردید. [۲]

روش قدیمی:

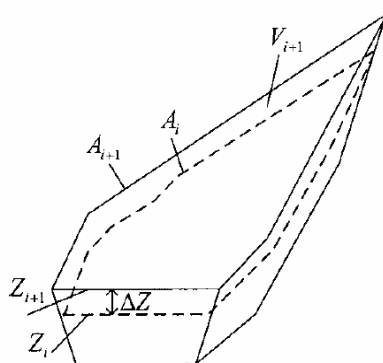
نقشه برداری هیدروگرافیک یکی از روشهای سنتی برای تخمین حجم مخزن است که شامل نقشه برداری کف مخزن و اطراف مخزن میشود. از دستگاههای صوتی برای نقشه برداری زیر آب استفاده میشود. نقشه برداری بالاتر از سطح آب با استفاده از عکسهای هوایی یا نقشه برداری زمینی انجام میگردد. وقتی نتایج حاصل از 2 برداشت ترکیب شدند، توپوگرافی منطقه بدست می‌آید. سطح تحت پوشش چند تراز مشخص با استفاده از دستگاه پلاتومتر محاسبه میشود. حال با این اطلاعات میتوان حجم آب بین 2 تراز ارتفاعی را مشخص کرد. با رسم تابع توزیع تجمعی از کمترین ارتفاع (کف مخزن) تا سطح آب، منحنی مخزن بدست می‌آید. نمودار شیوه محاسبه حجم به روش قدیمی در شکل ۲ نشان داده شده است. حجم بین 2 رقوم ارتفاعی بصورت زیر محاسبه میشود: [۳]

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ and } Z_0 = 0, A_0 = 0 \quad \text{هستند. } Z_{i+1} \text{ و } Z_i \text{ ترازهای } A_{i+1} \text{ و } A_i \text{ سطح متناظر با ترازهای } Z_{i+1} \text{ و } Z_i \text{ هستند.}$$

$$v_{i+1} = (A_i + A_{i+1} + \sqrt{A_i \cdot A_{i+1}}) \Delta Z / 3 \quad (1)$$

جدول ۱ - منحنی ذخیره مخزن و ذخیره ناخالص در تراز ۲۶۶,۵ متر

| Year | Topographic map (scale) | Estimation method | Gross storage (10^8 m^3) | Notes |
|------|-------------------------|--------------------|--------------------------------------|---|
| 1937 | 1:15,000 | Traditional method | 125 | Japanese company |
| 1953 | 1:15,000 | Traditional method | 116.8 | |
| 1956 | — | Water balance | 107.8 | China Institute of Water Resources Research |
| 1988 | 1:10,000 | Traditional method | 93 | Northeast China Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower |



شکل ۲ - نمای مخزن بر مبنای روش های تخمینی پیشین

حجم V_{i+1} در تراز Z_{i+1} به صورت زیر محاسبه میشود

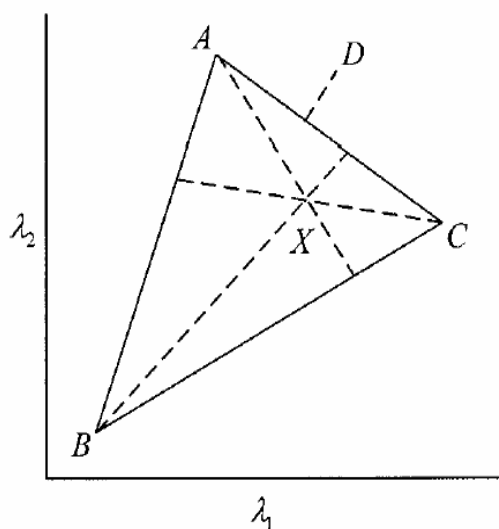
$$V_{i+1} = \sum_{k=0}^i v_{k+1} \quad (۲)$$

برای افزایش دقت برداشت توپوگرافی زیر آبی، زمان نقشه برداری باید موقعی انتخاب شود که سطح آب مخزن در حد اقل قرار دارد. به همین دلیل نقشه برداری در مخزن باید در فاصله زمانی ۵ تا ۱۵ سال تکرار گردد. توصیه میشود این عمل هر ۵ سال تکرار گردد. با استفاده از اطلاعات نقشه برداری زیر آبی، نقشه توپوگرافی بدست میآید. برآورد حجم مخزن در سالهای ۱۹۳۷، ۱۹۵۳ و ۱۹۵۸ با استفاده از فرمولهای ۱ و ۲ انجام پذیرفته است. در سالهای اخیر تکنولوژی جدید GPS به طور گسترده ای در نقشه برداری زیر آبی استفاده شده است. با این وجود روش مبتنی بر RS به عنوان یک روش موثر و ارزان ابزار کاربردی قدرتمندی برای تحقیق و برآورد حجم مخزن میباشد. روشهای مبتنی بر RS:

تفاوت زیادی میان روشهای سنتی و روش مبتنی بر سنجش از راه دور وجود دارد. اما تفاوت اصلی که در محاسبه سطح آب است که در روش قدیمی با استفاده از پلاتومتر انجام می گرفت و در روشهای جدید از پردازش عکسهای ماهواره ای استفاده می شود. [۲] [۳] Normalized difference و density slicing approach روشهای مختلفی برای تشخیص سطح آب در پردازش عکسها وجود دارد مثل water index یا DWI

در روش NDWI مرز آب و خشکی از بازتاب اشعه مادون قرمز بر روی عکسها مشخص می شود. با مشخص شدن مرزهای آبی سطح آب در تراز خاص با ضرب کردن تعداد پیکسلها در مساحت واحد هر پیکسل بدست میآید. وقتی تعداد عکسهای کافی موجود باشد با پردازش آنها و استفاده از فرمولهای ۱ و ۲ میتوان منحنی حجم مخزن را رسم نمود. موجود بودن عکسهای کافی در ترازهای مختلف آبی کلید استفاده از این روش برای برآورد حجم مخزن می باشد. اگر ΔZ ها کوچک باشد میتوان برای محاسبه حجم بین ۲ تراز از فرمول زیر استفاده کرد.

$$V_{i+1} = \frac{1}{2} DZ (A_i + A_{i+1}) \quad (۳)$$



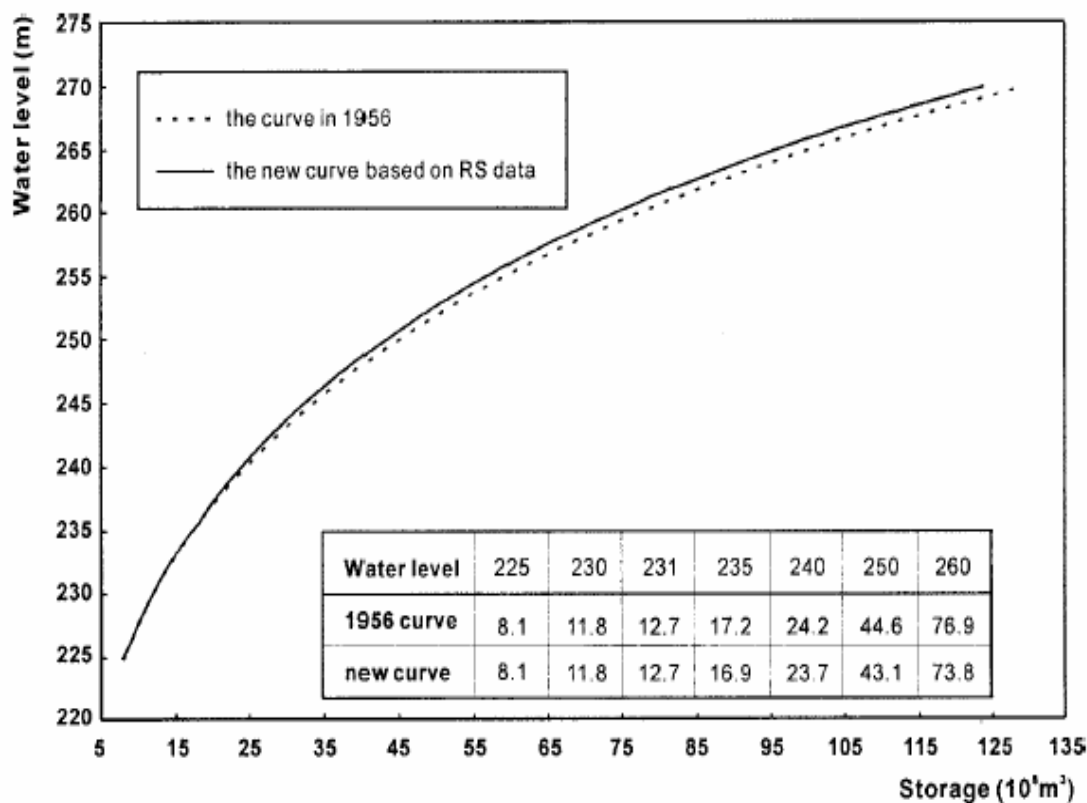
شکل ۳ - نقشه هندسی از شیوه تخمینی نسبتی

روش تخمین نسبتی:

این روش بر پایه اطلاعات ماهواره‌ای و مشاهدات روزمینی است. این روش یک روش قابل اعتماد و ساده است. از این روش برای بدست آوردن منحنی مخزن در Fengman استفاده شده است. این روش با طیفی ۷ موج کار می‌کند. موج پنجم (۱,۷۵-۱,۵۵) بیشتر از بقیه اطلاعات به ما میدهد. با استفاده از همبستگی موج ۵ و موج ۳ (۰,۶۹-۰,۶۳)، این دو موج برای مشخص سطح آب روی یک پیکسل انتخاب شده‌اند. هندسه این روش در شکل ۳ نمایش داده شده است:

فرض کنید منطقه اطلاعاتی از ۲ باید طیفی تشکیل شده است. (λ_1, λ_2)

در شکل ۳ عرضه مختلف را در یک پیکسل نشان می‌دهد. مثل خاک، پوشش گیاهی و آب. معمولاً A, B, C طوری انتخاب می‌شوند که تشکیل مثلث دهند. اگر X یک پیکسل دربرگیرنده این اطلاعات باشد، خطوطی از رئوس به قاعده متناظر وصل می‌کنیم بطوری که از X بگذرد. نسبت بین فاصله X و قاعده مثلث به فاصله راس تا قاعده مثلث محاسبه می‌شود. این نسبت نشان دهنده نسبت اندازه جهات مختلف پیکسل است. مثلاً اگر پیکسل X در وسط مثلث باشد، نسبت ۱/۳ می‌شود و اطلاعات روی آنها نیز از همین نسبت پیروی می‌کند. هیچ نقشه برداری هیدروگرافیکی در بین سالهای ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ از مخزن فنگمن انجام نشده است. لازم است تا منحنی مخزن مجدداً برآورد شود. اطلاعات لازم برای استفاده در روش Landsat از ایستگاه ماهواره سنچس از راه دور چین خریداری و جمع‌آوری گردید. اطلاعات شامل ۴۰ عکس در ترازهای مختلف با فاصله ۱ متر بودند. اطلاعات مربوطه در جدول ۲ بصورت نزولی آمده‌اند. Landsat MMS و Land sat TM هر دو روش به کار برده شدند. که شامل ۵ عکس MNS از سالهای ۱۹۸۰-۱۹۷۳، ۳۵ عکس TM از سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ بییوندد. تراز آب دریاچه در فاصله سالهای ۲۰۰۰-۱۹۷۳ بین ۲۶۴-۲۲۵ متر بوده است. با بکارگیری روش تخمین حجم، حجم محاسبه می‌شود که در جدول ۲ آمده است. منحنی حجم سطح ارتفاع در شکل ۴ آمده است. [۲]



شکل ۴ - مقایسه فی ما بین دو منحنی ذخیره از مخزن فنگمن

بعد از تطبیق نمودار با معادله درجه ۴، رابطه سطح با ارتفاع به قرار زیر بدست آمد:

$$A(Z) = 0.000094Z^4 - 0.087Z^{3+30.4Z^2} - 4710.1Z + 273636.3 \text{ with } R^2 = 1.0 \quad (۴)$$

واحدهای Z و $A(Z)$ عبارتند از m و Km^3 . معادله حجم ارتفاع نیز بصورت زیر بدست آمد.

$$V(Z) = 0.000013Z^4 - 0.012Z^3 + 4.16Z^2 - 652.86Z + 38572.9 \text{ with } R^2 = 1.0 \quad (۵)$$

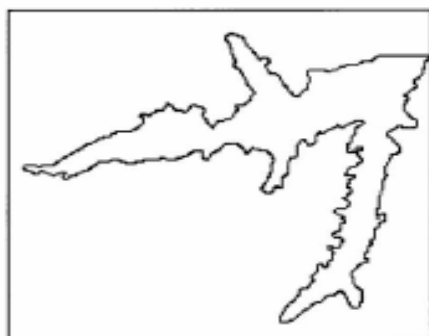
واحد $V(Z)$ $10^6 m^3$ میباشد

مقایسه مبنی بر RS و منحنی سال ۱۹۵۶ در شکل ۵ نمایش داده شده است. شکل نشان می‌دهد که منحنی سال ۵۶ بزرگتر از منحنی جدید است و این اختلاف با افزایش ارتفاع افزایش بیاید. [۲] [۴]

نتیجه گیری:

مخزن به عنوان یک پارامتر حیاتی برای کنترل سیل و تولید انرژی برقابی و منحنی حجم مخزن کلید مدیریت استراتژیک ریسک میباشد. با گذر زمان حجم مخزن با وجود فعالیتهای انسانی و فرسایش زمین تغییر پیدا کرده است. لذا برآورد حجم در زمانهای منظم لازم بنظر می‌رسد. در مقایسه با روش‌های سنتی، روش RS یک روش مقرون به صرفه، ساده در استفاده و نیاز کمتری به وقت برای تحلیل اطلاعات دارد. مخزن در Fengman در یک مطالعه موردی برای تخمین حجم مخزن با استفاده از اطلاعات landsat انتخاب شده است. حجم ورودی مخزن با روش تعادل بیلان آبی در ماه‌های خشک با استفاده از منحنی قدیمی و منحنی جدید محاسبه گردید.

نتایج نشان داده که منحنی جدید بسیار نزدیکتر به حقیقت و روش بر پایه RS بسیار قابل اعتماد است. در حقیقت تخمین مخزن بوسیله RS با توجه به ارزان بودن دارای ارزش زیادی در مسائل عملی میباشد.

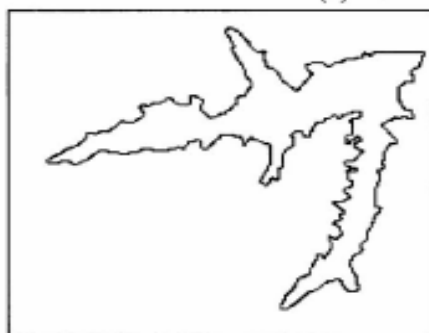


(i) Covered region of 264m contour



(ii) Water surface area of SN 950805 image

(a) Water level is 263.93m

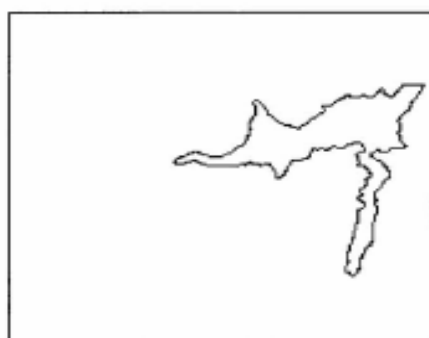


(i) Covered region of 262m contour



(ii) Water surface area of SN 960823 image

(b) Water level is 262.02m

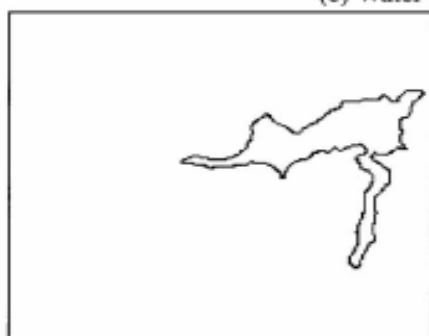


(i) Covered region of 250m contour

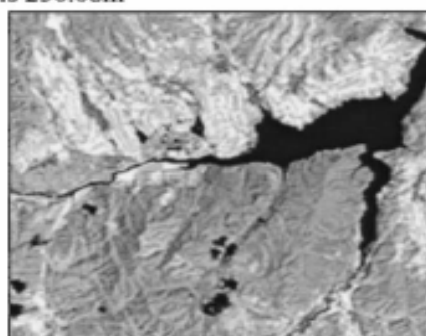


(ii) Water surface area of SN 960620 image

(c) Water level is 250.08m



(i) Covered region of 248m contour



(ii) Water surface area of SN 980728 image

(d) Water level is 248.00m

شکل ۵ - مقایسه بین مناطق مختلف بر مبنای سنجش از راه دور برای تراز های مختلف آب



مراجع:

۱-Improvements in lake volume predictions using LanSat data.” *Satellite hydrology*, M. Deutsch, D. R. Wiesnet, and A. Rango

۲-“A reservoir flood forecasting and control system for China.” Horwitz, H. M., Nalepka

۳-reservoir storage curve stimation based on R.S method,dingzhi peng ,shengilan guo

۴- پایان نامه کارشناسی ارشد، سروش شریفی، دانشجوی دانشگاه فردوسی مشهد

۵- سمینار و پایان نامه دانشجویی، علی میربد، مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

۶- بررسی تغییرات دلتای رودخانه جگین با استفاده از GIS، فخرالدین براخاصی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرطوسی