

ارزیابی حفره‌های زمین ساخت سد با استفاده از شیوه وزن سنجی

نیما توکلی شیرازی

کارشناس ارشد مهندسی عمران

nima.tavakoli@gmail.com

چکیده

وجود حفره‌های کارستی می‌تواند یکی از عوامل گریز آب از سدها باشد. کاوش‌های گرانی سنجی یا وزنی (Gravity exploration) در کشف موقعیت و ابعاد اینگونه ساختارهای زمین‌شناسی بسیار کارآمد است. در نقشه‌گرانی بوگه مربوط به یکی از سدها که در آن گریز آب مشاهده گردیده بود، گرانی ناشی از سد به صورت عاملی مزاحم بررسی بی‌هنجاری‌های زیر پی سد بود. برای حذف اثر گرانی سد، از مدل‌سازی وارون استفاده گردید. برای نیل بدین منظور لازم بود تا چگالی و عمق مصالح بکار برده شده در ساخت سد موجود باشد، جهت تخمین تباین چگالی بین مصالح سد و سنگ‌های پیرامون سد و همچنین اعمال تصحیح صفحه بوگه، آنالیز پروفیل‌های نلتون بکار گرفته شد و جهت تخمین اثر گرانی مصالح سد از مدل‌سازی مصنوعی ارتفاعی استفاده گردید. بمنظور مدل‌سازی از روش وارون منشوری (غیرخطی) استفاده گردید که در تکرار چهارم به همگرایی قابل قبول ۰,۰۴۱۲ میلی‌گال رسیده و مدل‌سازی منشورها با دقت ۵ متر به پایان رسید. در نقشه گرانی باقیمانده نهایی حاصل از تقریب چهارم، اثرهای گرانی محلی بوضوح خود را نشان داد که بر اساس اطلاعات زمین‌شناختی، به عنوان حفره‌های کارستی و کانال‌های آهکی در زیر پی سد که سبب گریز آب می‌شوند، مطرح گردیدند.

کلمات کلیدی: حفره‌های زمین ساخت، شیوه وزن سنجی، سد، زمین‌شناسی

۱- مقدمه

سدها از بزرگترین بنیادهای مهندسی هر کشور هستند، ساخت آب بند و سد با اهداف تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی مناطق اطراف دارای قدمتی طولانی است. انتخاب مکان صحیح ساخت سد از مهمترین مسائل مطرح در این زمینه است، پیش از ساخت سد لازم است تا مطالعات زمین‌شناختی و ژئوفیزیکی کاملی در منطقه مورد مطالعه برای ساخت سد انجام پذیرد تا با آگاهی کامل مکان ساخت سد انتخاب گردد، برخی مواقع ممکن است در اثر عدم وجود مطالعات کافی جهت انتخاب مکان مناسب ساخت سد، مشکلاتی از قبیل گریز آب از زیر پی سد صورت پذیرد، در این پژوهش کوشش به عمل آمده تا با استفاده از اندازه‌گیری‌های گرانی، سدی را که به دلیل احتمال وجود حفره‌های مدفون، آنگیری آن بطور کامل محقق نشده است مورد بررسی قرار گیرد.

۲- فرمول بندی

مجموعه‌ای از بلوک‌های مکعبی تقریب ساده‌ای را از حجم یک جسم ارائه می‌کند، می‌توان یک جسم با توزیع حجمی پیوسته را توسط یک سری بلوک تقریب زد درحالی‌که تباین چگالی هر بلوک می‌تواند مقدار معینی باشد بنا به اصل برهم نهی بی‌هنجاری گرانی در هر نقطه از جسم را می‌توان به صورت تقریبی از مجموع اثر بلوک‌های مکعبی در نظر گرفت که جسم را به

صورت تقریبی شبیه سازی کرده اند. به عنوان مثال مقدار گرانی برای یک منشور یکنواخت مکعب مستطیل با چگالی یکنواخت ρ که مقادیر x, y, z منشور به صورت $x_1 \leq x \leq x_2$ و $y_1 \leq y \leq y_2$ و $z_1 \leq z \leq z_2$ محدود شده اند، در مبدأ مختصات، عبارتست از: (Blakely, 1996)

$$g = \gamma\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{[x'^2 + y'^2 + z'^2]^{3/2}} dx' dy' dz'$$

پلوف با محاسبه ی عددی انتگرال بالا فرمول زیر را ارائه داد (Plouff, 1976)

$$g = \gamma\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{ijk} + y_j) - y_j \log(R_{ijk} + x_i) \right]$$

$$R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}, \quad \mu_{ijk} = (-1)^{i+j+k}$$

در معادله فوق، رابطه بین گرانی g و فاصله r به صورت یک رابطه غیر خطی است بنابراین باید از روش وارون غیر خطی برای تعیین پارامتر مدل استفاده شود. برای خطی سازی معادله فوق، از روش بسط تیلور استفاده می شود. در استفاده از بسط تیلور لازم است مشتق تابع f نسبت به پارامتر مجهول مدل بدست آید. بنابراین با مشتق گیری از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{\partial g}{\partial z_k} = \gamma\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\frac{atan \frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}}}{z_k R_{ijk}} - \frac{x_i y_j z_k (R_{ijk}^2 + z_k^2)}{R_{ijk} (z_k R_{ijk})^2 + (x_i y_j)^2} - \frac{x_i z_k}{R_{ijk} (R_{ijk} + y_j)} - \frac{y_j z_k}{R_{ijk} (R_{ijk} + x_i)} \right]$$

که $k = 1, 2$ و z_k پارامتر مدل است.

پس از خطی سازی با استفاده از بسط تیلور، برای حل مسأله وارون خطی و تعیین پارامتر مدل (عمق بلوک ها) از ماتریس وارون تعمیم یافته مقابل استفاده می شود:

$$\Delta m = (\Delta G^T \Delta G)^{-1} \Delta G^T \Delta D$$

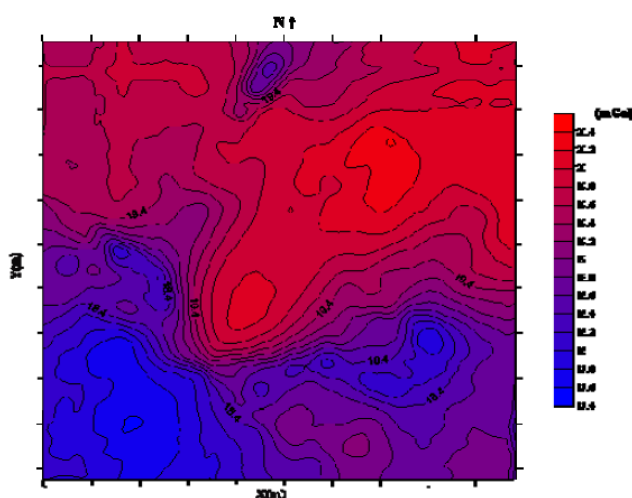
در حل مساله وارون، بمنظور تعیین میزان همگرایی بین تقریب ها، از انحراف معیار طبق رابطه ذیل استفاده می گردد: (نعمت اللهی، ۱۳۸۷)

$$s = \left[\frac{1}{N-1} (\bar{x}^2 - \bar{x}^2) \right]^{1/2}$$

۳- عملیات صحرائی و اعمال تصحیحات گرانی

داده های گرانی به وسیله دستگاه Scintrex مدل CGS (با دقت ۱ میکروگال) در شبکه ای با ابعاد ۷۵۰*۷۲۰ متر مربع برداشت شده اند. فاصله بین ایستگاه های برداشت گرانی در راستای X، (موازی تاج سد) ۱۰ متر و در راستای Y، (عمود بر تاج سد) ۵۰ متر می باشد. بر روی ۱۵ خط، که هر خط شامل ۷۲ ایستگاه است، جمعاً در ۱۰۸۰ ایستگاه، داده برداری گرانی انجام شده است. پس از برداشت داده ها لازم است تا روی داده ها تصحیحات گرانی اعمال شود، بدین منظور سطح گذرنده از ایستگاه

با کم ترین ارتفاع ۲۴۰۶,۲۸۳ به عنوان سطح مبنا انتخاب میشود و همه تصحیحات نسبت به این سطح فرضی انجام می شود . تصحیح های عرض جغرافیایی و کشند توسط دستگاه گرانی سنج محاسبه و بصورت خودکار بر داده های گرانی اعمال می شود. تصحیح هوای آزاد با استفاده از رابطه $g_f = \pm 0.3086h$ برای کلیه ایستگاه ها محاسبه و بر روی داده ها اعمال می شود. بمنظور محاسبه تصحیح بوگه طبق رابطه $dg_B = 2\pi\gamma\rho h$ ، به چگالی منطقه نیاز چگالی، از پروفیل های نتلتون بر روی هر یک از خطوط برداشت گرانی استفاده می کنیم . با میانگین گیری از چگالی های بدست آمده بر روی تمامی خطوط چگالی 2.36 gr/cm^3 را به عنوان چگالی متوسط منطقه در نظر گرفته و نقشه گرانی بوگه را به ازای این چگالی رسم می کنیم (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه گرانی بوگه (هر واحد بر روی نقشه معادل ۱۰۰ متر است)

پس از رسم نقشه گرانی بوگه ، مشاهده می شود که اثر گرانی سد به صورت بسیار بارز و یا مقدار گرانی بزرگ ، عاملی مزاحم در بررسی بی هنجاری های زیر پی سد میباشد ، بنابراین لازم است تا اثر گرانی سد را به طریقی حذف نمائیم. برای محاسبه گرانی سد ، لازم است چگالی متوسط مصالحی که در ساخت سد به کار رفته است را به دست آوریم. از بین ۱۵ خط برداشت گرانی ۱۱ خط آن بر روی مصالح بکار رفته در ساخت سد قرار دارند .بنابراین با میانگین گیری از چگالی های به دست آمده در این ۱۱ خط و محاسبه تفاضل این مقدار چگالی با چگالی در ۴ خط دیگر مشاهده می شود که مقدار تباین چگالی سد 0.2 gr/cm^3 است. (زارعی، ۱۳۸۸)

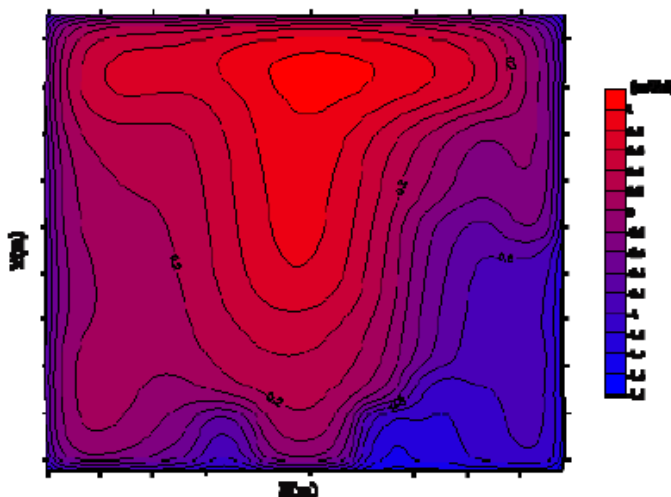
۴-مدل سازی سد

به منظور مدل سازی، سد را به ۱۴۰ بلوک مکعب مستطیل تقسیم بندی می کنیم که سطح مقطع هر بلوک مربعی با ابعاد $50 \times 50 \text{ m}^2$ است. در راستای محور X سد را به ۱۴ بلوک ۵۰ متری و در راستای محور Y سد را به ۱۰ بلوک ۵۰ متری تقسیم می نمائیم. بر اساس اطلاعات نقشه برداری و در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه به هر یک از بلوک ها عمق و سطح مقطعی را نسبت میدهیم، از آنجایی که عمق هر یک از بلوک ها بر اساس نقشه توپوگرافی منطقه تخمین زده می شود. بنابراین تعدادی از بلوک ها به علت مشابه بودن عمق تخمینی به هم متصل و در نهایت سد به ۴۰ بلوک تقسیم می گردد. مدل سازی

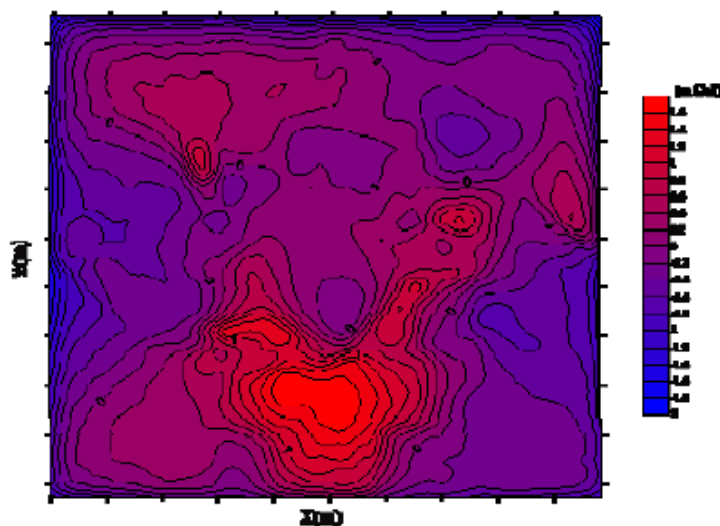
سد با استفاده از روش تکرار تا جایی ادامه می یابد که انحراف معیار بین مراحل که میزان همگرایی تقریبی ها را نشان می دهد به مقدار قابل قبولی برسد. به نتایج حاصل از مدل سازی سد در تقریب های اول و چهارم در ذیل اشاره می شود.

۴-۱- مدل سازی سد با تقریب اول

گرانی ایجاد شده توسط سد حاصل از مدل سازی با تقریب اول در شکل (۲) و نقشه گرانی باقیمانده که از طریق تفاضل مقادیر گرانی سد از مقادیر گرانی بوگه بدست می آید، در شکل (۳) نشان داده شده است.



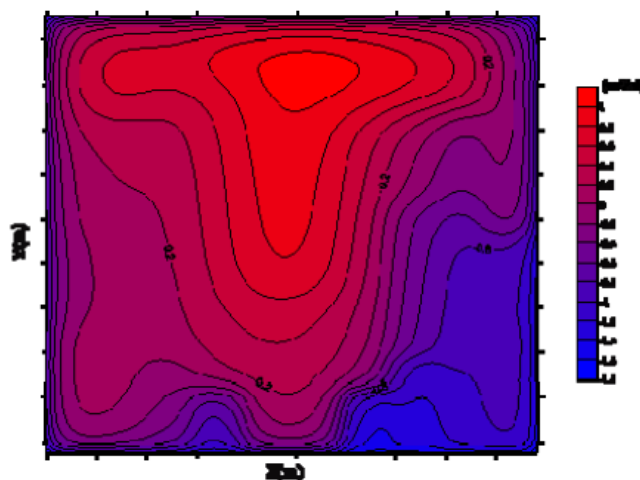
شکل ۲- گرانی ایجاد شده توسط سد در تقریب اول



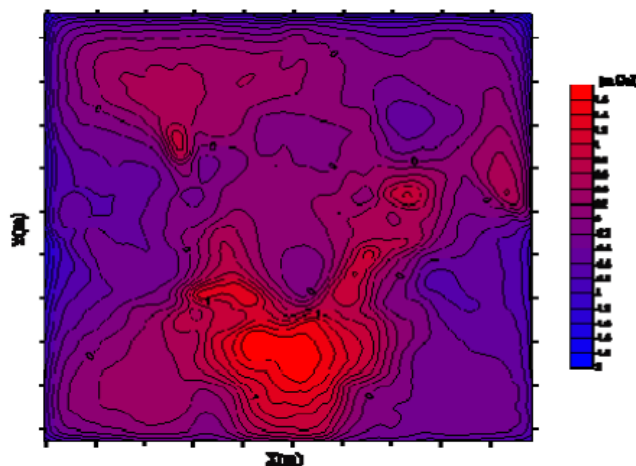
شکل ۳- نقشه گرانی باقیمانده حاصل از تقریب اول

۴-۲- مدل سازی سد با تقریب چهارم

گرانی ایجاد شده توسط سد، حاصل از تقریب چهارم، در شکل ۴ و نقشه گرانی باقیمانده در شکل ۵ نشان داده شده است. مقدار انحراف معیار برای تقریب سوم 0.0412 mGal است و مدل سازی با دقت ۵ متر به پایان می رسد.



شکل ۴- گرانی ایجاد شده توسط سد در تقریب چهارم



شکل ۵- گرانی باقیمانده حاصل از تقریب چهارم

۵- نتیجه گیری

پس از مدل سازی و حذف اثر سد، در نقشه گرانی باقیمانده نهائی بدست آمده از تقریب چهارم (شکل ۵). مشاهده می شود که در بخش های به رنگ آبی مقادیر گرانی کوچک است. این قسمت ها با توجه به ساختار زمین شناسی منطقه و وجود سازندهای آهکی، میتوانند به عنوان مکان حفزه های کارستی و کانال های آهکی که سبب گریز آب از زیر پی سد می شوند مطرح گردد.

منابع

- ۱- نعمت اللهی، ن. (۱۳۸۷). آمار و احتمالات مهندسی. انتشارات دالفک
- ۲- زارعی، ح.ر. (۱۳۸۸). روش گرانی وارون به وسیله المان های منشوری رشد کننده.
- 3- Blakely, Richard J. (1996). Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge university press.
- 4- Plouff, D. (1976). Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections. Geophysics, vol 41, P727-741