



اندازه‌گیری و پایش تغییر شکل در سازه با روش‌های ژئودتیکی

پیمان جوادی

کارشناس ارشد ژئودزی، مدرس و مدیر گروه نقشه برداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

چکیده:

پیشرفت‌های سریع در سازه‌های مهندسی و مطالعات نوین در خصوص حرکات پوسته کره زمین، آنالیز و اندازه‌گیری‌های جابجایی، روش‌های سنجش و اندازه‌گیری با دقت‌های مورد نیاز را امکان‌پذیر کرده است. هدف این پژوهش بررسی و نمایش تغییر شکل‌هایی است که در پوسته سد به دلایل مختلف مانند سطح آب، بار و وزن بدنه سد اتفاق می‌افتد. سد آتاتورک که یک سد متشکل از صخره در قسمت بیرونی و خاک و ماسه در قسمت درونی، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده و شبکه جابجایی متشکل از ۶ نقطه مرجع و ۱۱ نقطه موضوع ساخته شده است. در این پژوهش سنجش و اندازه‌گیری‌های جابجایی با استفاده از داده‌های ماه‌های می و اکتبر سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ انجام داده شدند. که در آن سطح آب حداقل و حداکثر بود. از طرفی مشاهدات در ۴ دوره زمانی برداشت شده‌اند. همه اندازه‌گیری‌ها با استفاده از طول مبنای GPS انجام داده شده‌اند. در این پژوهش، تبدیل همانندی وزن دار تکراری که مینیمم کردن حاصل جمع مطلق را در بر دارد با روش تحلیل تست تناسب و نیز روش فردریکتون برای انجام تحلیل تغییر شکل دو بعدی جابجایی استفاده شدند. هنگام بررسی جابجایی با روش‌های مورد بحث، نقاط با جابجایی بیشتر از ۴ میلیمتر به صورت ناپایدار پذیرفته شدند. جابجایی معنی دار و قابل ملاحظه در نقاطی دیده شده‌اند که در قسمت‌های وسطی تاج سد هستند. این نتیجه با صحت و دقت افقی مشاهدات که توسط تئوری حداقل مقدار برآورد نارایب درجه دوم (MINQUE) محاسبه شدند، منطبق است.

واژه‌های کلیدی: رفتارسنجی، جابجایی، تست تناسب، تبدیل همانندی، MINQUE.



۱- مقدمه

پیشرفت‌های سریعی در زمینه‌های تکنولوژیکی و علمی برای نشان دادن جابجایی در سازه‌های مهندسی متفاوت از قبیل آسمان خراش‌ها، پل‌های طولانی، تأسیسات اتمی، سدهای بتنی و سدهای سنگی، پل‌های راه آهن و بتون آرمه انجام گرفته است. توجه زیادی به سازه‌های مهندسی در نظارت و کنترل این سازه‌ها مورد نیاز می‌باشد. مخصوصاً نظارت و کنترل این سازه‌ها در مناطق زلزله‌خیز مهم‌تر است. این پیشرفت‌ها در زمینه‌های تکنولوژیکی و علمی به رشد و توسعه روش‌های تحلیل و ارزیابی اندازه‌گیری منجر شده‌اند که در نظارت و کنترل جابجایی‌های سازه‌های مهندسی استفاده می‌شوند. در سال‌های اخیر، رشد و توسعه روش‌های سنجش و اندازه‌گیری و ارزیابی جابجایی خیلی بهبود یافته است. سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی (GPS)، اسکن لیزری و ایستگاه‌های کاملاً دیجیتال تعدادی از پیشرفت‌های تکنولوژیکی در این حرفه هستند.

مطالعات و پژوهش‌ها در خصوص سازه‌های مهندسی، انتخاب ابزارهای سنجش و اندازه‌گیری و تکنیک‌های مشاهده به میزان و بزرگی جابجایی بستگی دارند. برای اطمینان حاصل کردن از زیر بنای درست جمع‌آوری داده‌ها برای تحلیل جابجایی، آیم‌های قابل سنجش باید از تکنولوژی‌های جدید بهره ببرند و انواع اندازه‌گیری‌ها در شبکه کنترل جابجایی انجام پذیرد. به طور کلی، در تحلیل جابجایی، توجهات به مقدار کوچک جابجایی‌ها در شبکه معطوف شده است. برای گرفتن تصمیمات صحیح درباره پذیرفتن مدل جابجایی، تحلیل خیلی دقیق باید انجام داده شود و تست آماری نتایج را مورد بررسی قرار دهند. برق در ترکیه تا حد زیادی از آب ذخیره شده در مخازن سدها تولید می‌شود. جابجایی‌های نقاط در پوسته سد اساساً توسط اندازه‌گیری‌های ژئودیتیک مشخص می‌شوند.

هدف این کار نظارت و کنترل و تحلیل جابجایی‌ها در پوسته سد است که توسط بار آب در سطوح مختلف ایجاد شدند که با وزن سد ترکیب می‌شود. هدف ثانویه استفاده از روش‌های تحلیل متفاوت است و تعیین اینکه آیا سنجش و اندازه‌گیری‌های GPS می‌تواند نیاز صحت و دقت را برای سنجش و اندازه‌گیری‌های جابجایی سد را برطرف کند یا خیر؟ در این پژوهش تبدیل همانندی وزن دار تکراری (IWST²)، مینیمم کردن حاصل جمع مطلق (LAS³)، روش تست تناسب⁴ و فردریکتون⁵ استفاده می‌شوند. در زمینه عملی تحقیق، سد آتاتورک یکی از بلندترین سدها در ترکیه انتخاب شده است و اندازه‌گیری‌های جابجایی در این سد صورت می‌پذیرد.

۲- روش‌های ربوست و غیرربوست برای تحلیل جابجایی‌ها

در این کار پژوهشی، برای تعیین جابجایی‌ها، از شبکه‌های نظارت و کنترل استفاده می‌شوند. روش‌های ربوست عبارتند از LAS و IWST. این روش‌های برآورد جابجایی زمانی استفاده می‌شوند که هیچ اطلاعات قبلی درباره حرکت نقاط در داخل شبکه وجود ندارد. تست تناسب و فردریکتون به روش غیر ربوست معروف هستند [1,4]. این روش‌ها برای تخمین جابجایی‌های همه نقاط موجود در یک شبکه کنترل به کار برده شده‌اند. وقتی که نقطه تست تناسب را گذرانده باشد تست تناسب، یک نقطه دیتوم را در یک زمان به طور تکراری حذف خواهد کرد [5]. رویکرد فردریکتون، نقاط ناپایدار را در داخل شبکه با تحلیل تغییرات در طول و یا زاویه، بین دو دوره زمانی اندازه‌گیری و تعیین می‌کند که از تعدیل کمترین مربعات مختصات آن مشتق می‌شوند [7].

¹ Global Positioning System

² Iterative weighted transformation

³ Least Absolute Sum

⁴ Congruency test

⁵ Fredericton



مختصات تعدیل شده نقاط \hat{x}_1, \hat{x}_2 در شبکه جابجایی و شاخص‌های کوفاکتور (کوواریانس) $Q\hat{x}_1, Q\hat{x}_2$ با دو تعدیل جداگانه محاسبه می‌شوند.

مقادیر جابجایی (d) و ماتریس کوفاکتور Qd به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$d = \hat{x}_2 - \hat{x}_1 \quad (1)$$

$$Q_d = Q\hat{x}_1 + Q\hat{x}_2 \quad (2)$$

مقادیر جابجایی (d) از معادله (۳) محاسبه می‌شوند:

$$d = S(W)d \quad (3)$$

در اینجا $S(W)$ نشان می‌دهد که ماتریس S با $W = I$ محاسبه می‌شود که می‌تواند به صورت زیر به دست آید.

$$KS = (I - H(H^T W^H)^{-1} H K^T W) \quad (4)$$

که در آنجا ماتریس H برای شبکه ۳ بعدی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$H = \begin{bmatrix} e & 0 & 0 & 0 & z_0 & -y_0 & x_0 \\ 0 & e & 0 & -z_0 & 0 & x_0 & y_0 \\ 0 & 0 & e & y_0 & -x_0 & 0 & z_0 \end{bmatrix}_{3m \times 7} \quad (5)$$

$$eT = (1, \dots, 1)$$

بردار مختصات تقریبی با توجه به مرکز شبکه هستند و این مختصات تقریبی به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$X_0^t = X_t - \frac{1}{m} \sum_{\iota}^m X_{t\iota} \quad (6)$$

$$Y_0^t = Y_t - \frac{1}{m} \sum_{\iota}^m Y_{t\iota}$$

$$Z_0^t = Z_t - \frac{1}{m} \sum_{\iota}^m Z_{t\iota}$$

در اینجا y_t, x_t مختصات تقریبی نقطه P_i هستند و m تعداد نقاط در شبکه است.



۱-۲- روش تبدیل همانندی وزن دار تکراری (IWST)

این روش برای کشف و آشکارسازی نقاط مرجع ناپایدار ایجاد شده است که بر مبنای تغییر شکل عمل می‌کند که اولین معیار (مقدار مطلق) بردار مشاهده شده جابجایی نقاط مرجع را به حداقل می‌رساند. رویکرد IWST با نظارت و کنترل ثبات شبکه می‌تواند به آسانی برای شبکه‌های مرجع یک بعدی و توسط یک وزن تکراری برای شبکه‌های مرجع چند بعدی انجام داده شود وقتی همه مؤلفه‌های بردارهای جابجایی (di) با شرایط حداقل $\sum \|di\|$ سازگار شوند.

اطلاعات دیتوم و روش‌های ربوست در تعیین نقاط ناپایدار استفاده می‌شوند. تعیین نتایج با این روش مدل جابجایی را بدست می‌دهد. مقادیر جابجایی محاسبه شده می‌توانستند از انتخاب اطلاعات دیتوم یا از تعریف دو داده متفاوت هنگام تطبیق و تعدیل مشاهدات صورت گرفته در دو دوره زمانی متفاوت تحت تأثیر قرار گیرند. بنابراین ماتریس وزن به طور تکراری به دست می‌آید [1,8].

۲-۲- مینیمم کردن نرم بردار جابجایی (LAS)

در روش LAS بعضی نقاط در شبکه مرجع نمی‌توانند به صورت پایدار پذیرفته شوند. به عبارت دیگر هر نقطه اهمیت برابری ندارد. بنابراین در شروع، ماتریس وزن (W) به صورت $W=1$ پذیرفته می‌شود. در حالی که اطلاعات دیتوم تعیین می‌کند که همه نقاط در شبکه اهمیت یکسانی دارند. بنابراین راه حل به تغییر شکل هلمرت مشابه است، اگر به بعضی نقاط وزن واحد داده شده باشد به سایر نقاط وزن صفر داده شود یعنی $W = \text{diag}\{1, 0\}$ [5,8].

روش IWST، LAS وقتی استفاده می‌شوند که هیچ اطلاعات قبلی درباره حرکت نقاط در داخل شبکه وجود ندارد.

۲-۳- روش تست تناسب

این روش برای تعیین جابجایی‌های همه نقاط در شبکه‌های نظارت و کنترل استفاده می‌شود. با متفاوت بودن از روش‌های ربوست، تست تناسب، یک نقطه دیتوم را در یک زمان به طور تکراری حذف خواهد کرد تا زمانی که تست در حال اجرا می‌باشد. شیوه کلی تست تناسب به صورت زیر است [5]:

(۱) برای دو دوره در یک دیتوم رایج و معمول، بردارهای جابجایی (d) و ماتریس کوفاکتور (Qd) تعیین می‌شوند.

(۲) نقاط پایدار با تست تناسب تعیین می‌شوند.

(۳) تعیین محل جابجایی‌ها با تست تک نقطه‌ای توسط ماتریس تغییر شکل (S) و تست تناسب تعیین می‌شود.

(۴) تست نهایی تغییر شکل‌ها با تست تک نقطه‌ای انجام داده می‌شود.

۲-۳-۱- تغییر شکل دو اپک در یک دیتوم

در طی تحلیل توسط تست تناسب، بردار جابجایی d و ماتریس کوفاکتور آن برای رجوع کردن به دیتوم یکسان مهم است. در این پژوهش تغییر شکل S برای تغییر شکل ماتریس d و Qd به دیتوم رایج و معمول استفاده شده است.

$$d_1 = S * d \quad (7)$$

$$Q d_1 = S * Q_d * S^t \quad (8)$$



$$KS = (I - H(H'WH)^{-1}H'K^TW) \quad (9)$$

که در آنجا d_1 بردار جابجایی و Q_{d_1} ماتریس کوفاکتور آن است. H ماتریس نقص دیتوم و W ماتریس وزنی است. تست تناسب برای تعیین اینکه آیا نقاط دیتوم انتخاب شده این دو اپک به طور قابل ملاحظه حرکت کرده‌اند یا خیر، انجام داده می‌شود. فرضیه‌های صفر و جایگزین برای تست تناسب به صورت زیر است:

$$H_0 : E(d_1') = 0 \quad \text{هیچ تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای در نقاط دیتوم وجود ندارد.}$$

$$H_0 : E(d_1') \neq 0 \quad \text{تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای در نقاط وجود دارد.}$$

$$W = \frac{d_1^T Q_{d_1}^1 + d_1^1}{h(\delta_0^2)} \approx F(a, d, d_f) \quad (10)$$

$$h = \text{rank}(Q_{d_1}^1) = (2n - d) \quad (11)$$

که در اینجا: $(Q_{d_1}^{1+})$ معکوس کاذب، $\hat{\delta}_0^2$ فاکتور واریانس و $\alpha = 0.05$ سطح معنی دار است.

اگر مقدار تست از مقدار بحرانی توزیع F (تابع توزیع فیشر) بیشتر نشود، فرضیه در سطح معنی دار (α) پذیرفته می‌شود. اگر مقدار تست از مقدار بحرانی توزیع F بیشتر شود فرضیه در سطح معنی دار (α) رد می‌شود. رد شدن فرضیه وجود تغییر شکل در نقاط شبکه را نشان می‌دهد. شبکه به مبنای محاسباتی جدید تبدیل می‌شود. این شیوه تا زمانی که همه نقاط باقیمانده به صورت پایدار توسط تست تناسب تصدیق شوند ادامه می‌یابد.

۲-۳-۲- تست تک نقطه‌ای در نقاط موضوع

هدف تست تک نقطه‌ای تعیین محل نقطه با بزرگترین مقدار تست آماری است. این نقطه در دیتوم یا در مبنای محاسباتی حذف خواهد شد.

$$T_j = \frac{d_1^{jT} Q_{d_1}^{1-1} d_{ij}^1}{2(\delta_0^2)} \quad (12)$$

که در آنجا (d_{ij}^1) بردارهای جابجایی و $Q_{d_1}^1 dtj$ ماتریس کوفاکتور هر نقطه است.

نقطه با بزرگترین مقدار T_j در شکل شبکه تغییر می‌یابد. بنابراین، این نقطه از مبنای محاسباتی حذف خواهد شد. بعداً شبکه با مبنای محاسباتی جدید با نقاط باقیمانده بررسی خواهد شد. تغییر شکل شبکه به مبنای محاسباتی جدید به صورت زیر است:



$$d_2 = S * d \quad (13)$$

$$Q_{d2} = S * Q_d * S^T \quad (14)$$

$$KS = (I - H(H^TWH)^{-1} K^TW) \quad (15)$$

که در آنجا (d_2, Q_{d2}) بردارهای جابجایی و ماتریس کوفکتور هر نقطه z هستند. W ماتریس وزنی است (برای نقاط دیتوم باقیمانده که مقدار قطری 1 و سایر آن صفر هستند)

۲-۳-۳- تست تناسب روی نقاط باقیمانده

تست آماری فقط برای نقاط باقیمانده استفاده می شوند. فرضیه برای این تست در زیر داده می شود.

$$H_0: E(d_2') = 0 \quad \text{هیچ جابجایی معنا داری در نقاط دیتوم وجود ندارد.}$$

$$H_0: E(d_2') \neq 0 \quad \text{جابجایی معنا داری در نقاط دیتوم وجود دارد.}$$

$$W = \frac{d_2^T Q_{d2}^1 + d_2^1}{h - 2k * (\delta_0^2)} \approx F(\alpha, h - 2k, d_f) \quad (16)$$

اگر تست آماری از $(W \geq F(\alpha, h - 2k, d_F))$ مقدار بحرانی توزیع F بیشتر شود فرضیه در سطح معنی داری (α) رد می شود. اگر تست آماری از مقدار بحرانی از $(W \geq F(\alpha, h - 2k, d_F))$ توزیع F بیشتر شود فرضیه در سطح معنی داری (α) پذیرفته می شود و همه نقاط در شبکه به صورت پایدار تعیین می شوند.

۲-۳-۴- تست نتیجه جابجایی توسط تست تک نقطه‌ای

$$H_0: d_{2i} = [dx_{2i} \ dy_{2i}]^T = 0 \quad \text{هیچ جابجایی معنا داری برای نقاط دیتوم وجود ندارد.}$$

$$H_0: d_{2i} = [dx_{2i} \ dy_{2i}]^T \neq 0 \quad \text{جابجایی معنا داری برای نقاط دیتوم وجود دارد.}$$

$$T_j = \frac{d_2^{1T} Q_{d2}^1 - d_z^1}{2(\delta_0^2)} \approx F(\alpha, 2, d_F) \quad (17)$$

در تست داده شده در بالا اگر تست $(W < T_j(\alpha, 2, d_F))$ سطح معنی داری (α) را قبول کند، نقطه z به صورت پایدار در نظر گرفته می شود. در غیر این صورت داده‌های تست در نقطه z جابجایی معنا دار در نظر گرفته می شود. در نتیجه هر نقطه هنوز در حال جابجایی ظاهر شود، با بزرگترین مقدار آماری حذف می شود و فرآیندهای تعیین محل ادامه می یابد.



۲-۴- روش فردریکتون

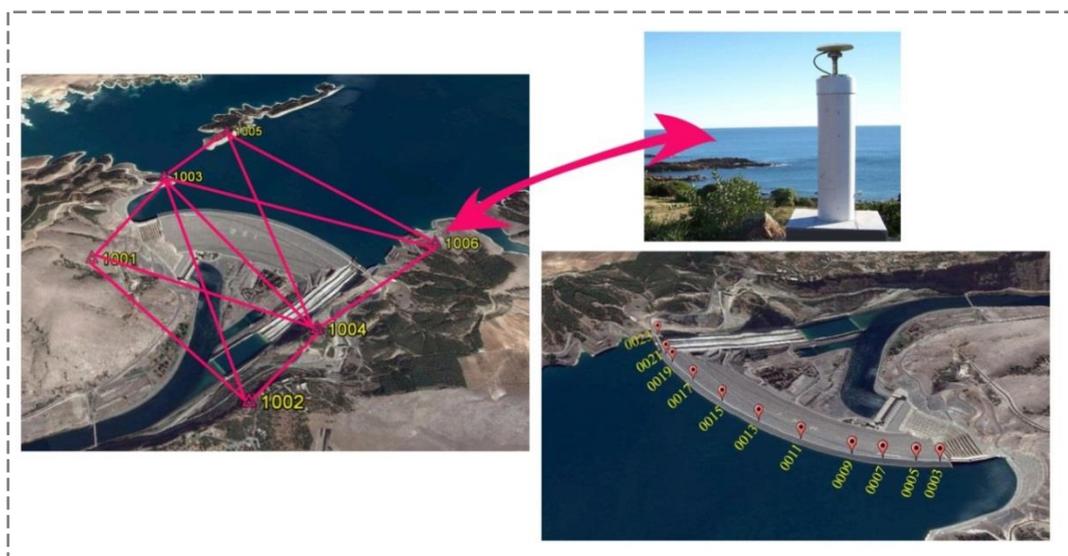
به منظور تحلیل اندازه‌گیری‌های جابجایی یک رویکرد تعمیم داده شده توسط گروه فردریکتون ایجاد شده است. رویکرد به هر نوع تحلیل هندسی هم در حوزه فضایی و هم در حوزه زمانی قابل استفاده است. علاوه بر آن، می‌تواند برای کشف و آشکارسازی نقاط ناپایدار در شبکه‌های مرجع و در تعیین مؤلفه‌های فشار و حرکات بدنه در شبکه‌های مرتبط استفاده شود. رویکرد فردریکتون نقاط ناپایدار را در داخل شبکه با تحلیل تغییرات در طول و یا زاویه بین دو اپک اندازه‌گیری و شناسایی می‌کند که از تعدیل کمترین مربعات مختصات آن مشتق می‌شوند [1,2].

۳- بخش عملی تحقیق

سد و نیروگاه برقایی آتاتورک، از لحاظ حجم کار ساختمانی پنجمین سد بزرگ جهان و از لحاظ تولید برق آبی نیز در دنیا سوم و بزرگترین سد ترکیه می‌باشد که در استان آدیامان قرار دارد. این سد که با هدف آبیاری و تولید برق بر روی رود فرات در چارچوب پروژه توسعه آناتولی جنوب شرقی احداث شده است و در ۱۸۰ کیلومتری مصب سد کاراکایا و ۲۴ کیلومتری شهرستان بئزآوا در استان شانلی اورفا قرار دارد و مختصات آن $37^{\circ} 28' 54'' N$ و $38^{\circ} 19' 3'' E$ می‌باشد.

ارتفاع این سد از پی که دارای ۸ توربین تولید برق است ۱۶۹ متر می‌باشد و حجم آب ذخیره شده پشت تاج سد ۴۸.۷ کیلومتر مکعب می‌باشد و نیز سد به سمت تجمع آب محدب است. جبهه بیرونی این سد را صخره و جبهه درونی آنرا خاک و ماسه تشکیل می‌دهد که طول تاج سد ۱۸۱۹ متر و عرض تاج ۱۵ متر می‌باشد.

شبکه نظارت و کنترل از شش ایستگاه مرجع (۱۰۰۶ و ۱۰۰۵ و ۱۰۰۴ و ۱۰۰۳ و ۱۰۰۲ و ۱۰۰۱) تشکیل می‌شود، آنها به صورت ستون بر روی زمین پایدار ساخته شده‌اند. به منظور نظارت و کنترل و اندازه‌گیری جابجایی‌های ممکن در تاج، ۱۰ نقطه موضوع در تاج یا بلندترین مکان ساخته شدند. از آن زمان فقط یک نقطه موضوع به شماره ۰۰۲۳ به شبکه جابجایی اضافه شد. اندازه‌گیری‌های جابجایی مرتبط به شبکه مرجع و موضوع با ۳ گیرنده GPS انجام داده شدند. سنجش و اندازه‌گیری‌های جابجایی از سال ۲۰۰۱ به صورت مستمر شروع شدند. سنجش و اندازه‌گیری‌های جابجایی بعدی در ماه‌ها به منظور حداکثر و حداقل شدن سطح آب ذخیره شده سد محقق می‌شوند.



شکل ۱. شبکه کنترل جابجایی سد آتاتورک



برای اندازه گیری جابجایی نقاط موضوع دو طرح انجام می شود. در طرح اول، دو گیرنده در نقاط ۱۰۰۳ و ۱۰۰۴ تعیین شدند. سپس گیرنده سوم در هر نقطه موضوع در حدود ۳۰ دقیقه مستقر می شود. در طرح دوم، گیرنده در نقطه ۰۰۳ در طی دوره های مشاهده مستقر می شود و سایر نقاط با استفاده از روش حرکت نقطه به نقطه اندازه گیری می شوند. هدف اصلی این طرح اندازه گیری مشاهدات و ایجاد یک لوپ می باشد.

جدول ۱. اطلاعات مرتبط به شبکه کنترل جابجایی

شماره دوره	تاریخ سنجش و اندازه گیری	سطح آب (m)
۱	۲۰۰۵/۱۰/۰۳	۱۴۵/۷۲
۲	۲۰۰۶/۰۵/۱۰	۱۴۱/۱۲
۳	۲۰۰۶/۱۰/۰۴	۱۳۹/۲۴
۴	۲۰۰۷/۰۵/۱۲	۱۴۹/۵۱

قبل از آغاز سنجش و اندازه گیری های جابجایی همه تجهیزات درجه بندی شدند. به منظور اجتناب یا حذف هر خطای تجهیزات همان گیرنده ها و آنتن های GPS در همان نقاط در همه دوره ها استفاده شدند. طول های خط مبنا در شبکه جابجایی بین ۲ کیلومتر و ۶۰ متر تغییر می کنند. بخش ها و اندازه گیری های مرتبط به شبکه مرجع با ۳ گیرنده GPS انجام داده شدند. دوره مشاهده ۵۵ دقیقه با میزان نمونه برداری ۱۵ ثانیه در شبکه مرجع بود. زاویه ارزیابی ماهواره ای در ۱۵ درجه، به منظور کاهش تأثیر خطای چند مسیری شدن انتخاب شده است.

۳-۱- پردازش مشاهدات

شبکه جابجایی با نرم افزار LGO پردازش شد. خطوط مبنا به صورت دقیق در حداکثر ۰/۷ میلی متر افقی و ۱/۵ میلی-متر عمودی برای ۴ دوره مشاهدات پردازش شدند. مختصات نقطه E, N و ماتریس های کوفاکتور آنها Q_{x1} , Q_{x2} با ۲ تعدیل و تطبیق شبکه آزاد مجزا محاسبه شدند. واریانس های به دست آمده از تعدیل و تطبیق شبکه آزاد ۰/۶۲۰ و ۰/۸۱۳ و ۰/۷۸۷ و ۱/۰۶۲ هستند.

در آمار، تئوری حداقل مقدار برآورد ناریب درجه دوم (MINQUE⁶) توسط (Rao, C.R. 1970) ارائه شد. کاربرد آن در اصل به برآورد اجزای واریانس در مدل اثرات تصادفی بود [6]. نظریه شامل سه مرحله:

(۱) تعریف یک کلاس عمومی از برآوردگر بالقوه به عنوان توابع درجه دوم از داده های مشاهده شده، که در آن برآوردگر مربوط به یک بردار پارامترهای مدل است.

(۲) تعیین محدودیت های خاص بر روی پارامترهای مورد نظر از برآورد، مانند unbiasedness.

(۳) انتخاب برآوردگر بهینه با به حداقل رساندن یک "مقدار" به اندازه ماتریس کواریانس.

⁶ minimum norm quadratic unbiased estimation



به منظور تعیین خطای ناخالص اندازه‌گیری‌های خط مبنا، تست تای کندال^۷ استفاده شد. صحت و دقت خطوط مبنا ۴ میلی‌متر افقی و ۶ میلی‌متر عمودی توسط MINQUE محاسبه شد. در این کار فقط جابجایی‌های افقی تعیین شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند. به منظور دیدن جهت واقعی جابجایی به دست آمده، همه مختصات از WGS84^۸ به سیستم مختصات توپوسنتریک محلی تبدیل شدند.

۴- تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه کنترل جابجایی

در فرآیند تعیین نقاط جابجا شده در شبکه با روش‌های LAS، IWST و تست تناسب برای هر نقطه، طبق سطح اطمینان $\alpha = 95\%$ تست می‌شود. روش فردریکتون برای هر اپک طبق سطح اطمینان $\alpha = 95\%$ و $\alpha = 97.5\%$ و $\alpha = 99\%$ تست می‌شود. دوره اول به صورت دوره مرجع در نظر گرفته می‌شود. بنابراین دوره مرجع به صورت دوره‌های ۱-۲ و ۱-۳ و ۱-۴ تشکیل می‌شود. در تعیین مقادیر جابجایی (d) با روش‌های LAS، IWST، تست تناسب و فردریکتون در جدول‌های ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ آورده شده‌اند. سطوح آب ۱۴۵/۷۲ متر در دوره اول، ۱۴۱/۱۲ متر در دوره دوم، ۱۳۹/۲۴ متر در دوره سوم، و ۱۴۹/۵۱ متر در دوره نهایی بودند. بین ۳ دوره مشاهده شده به علت تولید برق بیشتر و عدم بارش، سطح آب کاهش یافته است.

کاهش سطح آب در بین دوره‌ها به طور متوسط در حدود ۴ متر است. این کاهش باعث حرکت نقاط در تاج شد. این حرکات افقی در تاج سد که می‌توانستند در وسط تاج سد در سدهای قوسی رخ دهند، توسط روش‌های اندازه‌گیری GPS و تحلیل جابجایی اثبات شدند. حداکثر جابجایی در قسمت‌های وسطی تاج در سدهای قوسی مورد انتظار است و در طرف انتهایی تاج انتظار می‌رود که جابجایی حداقل باشد. در نهایت در این کار نیز همان نتیجه یافته شد زیرا اساساً حرکات معنی دار و قابل ملاحظه در نقاط ۰۰۱۳ و ۰۰۱۱ دیده شده‌اند که در قسمت‌های وسطی تاج سد هستند. نقاط پایدار و ناپایدار که توسط LAS، IWST، تست تناسب و فردریکتون تعیین شدند و در جدول ۷ داده می‌شوند.

⁷ Kendall tau distance

⁸ World Geodetic System 1984



جدول ۲- نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش IWST تعیین می‌شوند.

نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش IWST تعیین می‌شوند.														
		بین دوره های ۱-۴				بین دوره های ۱-۳				بین دوره های ۱-۲				نقاط
جا بجایی		dE (mm)	dN (mm)	جا بجایی		dE (mm)	dN (mm)	جا بجایی		dE (mm)	dN (mm)	مرجع		
dE	dN			dE	dN			dE	dN					
پایدار	پایدار	-۰/۶	-۵/۷	ناپایدار	پایدار	۹/۷	۲/۹	پایدار	پایدار	۱/۰	-۴/۹	۱۰۰۱		
پایدار	پایدار	-۱/۱	-۱/۳	پایدار	ناپایدار	۵/۲	-۱۰/۳	ناپایدار	پایدار	۴/۸	۰/۰	۱۰۰۲		
پایدار	پایدار	۲/۳	-۰/۹	پایدار	پایدار	۰/۰	۲/۱	پایدار	پایدار	۰/۰	۰/۱	۱۰۰۳		
پایدار	پایدار	-۲/۸	۱/۴	پایدار	پایدار	-۰/۷	-۱/۷	پایدار	پایدار	۰/۰	-۲/۳	۱۰۰۴		
پایدار	پایدار	۱/۴	-۱/۸	پایدار	پایدار	-۱/۴	۲/۴	پایدار	پایدار	۰/۰	-۳-۵	۱۰۰۵		
پایدار	پایدار	۰/۰	۰/۱	پایدار	ناپایدار	۰/۲	-۷/۰	پایدار	ناپایدار	۲/۶	-۶/۲	۱۰۰۶		
پایدار	ناپایدار	-۴/۲	۷/۵	ناپایدار	ناپایدار	-۵/۰	۶/۴	ناپایدار	پایدار	-۴/۹	۳/۹	۰۰۰۳		
پایدار	پایدار	-۰/۷	۴/۷	پایدار	پایدار	۱/۵	۴/۶	پایدار	پایدار	-۱/۲	۱/۸	۰۰۰۵		
پایدار	ناپایدار	۱/۸	۴/۲	پایدار	ناپایدار	-۲/۹	۵/۸	پایدار	ناپایدار	۰/۰	۴/۶	۰۰۰۷		
پایدار	ناپایدار	۲/۶	۷/۶	پایدار	پایدار	-۱/۷	۳/۳	پایدار	پایدار	۰/۰	۴/۹	۰۰۰۹		
ناپایدار	پایدار	۱۰/۰	۳/۱	پایدار	پایدار	۰/۳	۷/۵	ناپایدار	ناپایدار	۳/۶	۴/۴	۰۰۱۱		
ناپایدار	پایدار	۷/۳	-۲/۹	پایدار	پایدار	۳/۱	-۱/۸	ناپایدار	پایدار	۴/۷	-۲/۴	۰۰۱۳		
پایدار	پایدار	-۴/۵	۱	ناپایدار	پایدار	-۶/۰	۰/۰	پایدار	پایدار	-۲/۷	۰/۰	۰۰۱۵		
پایدار	ناپایدار	۱/۹	-۲/۸	پایدار	ناپایدار	۲/۲	-۵/۳	پایدار	پایدار	-۲/۵	۰/۰	۰۰۱۷		
پایدار	پایدار	-۳/۰	-۵/۴	پایدار	ناپایدار	-۱/۰	-۷/۶	ناپایدار	ناپایدار	-۴/۳	-۴/۸	۰۰۱۹		
پایدار	پایدار	-۳/۳	-۰/۵	پایدار	پایدار	۱/۰	-۲/۱	پایدار	پایدار	۰/۰	۰/۰	۰۰۲۱		
پایدار	پایدار	۲/۲	-۱/۰	پایدار	پایدار	-۴/۵	-۱/۷	پایدار	پایدار	-۴/۵	۲/۱	۰۰۲۳		



جدول ۳- نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش LAS تعیین می‌شوند.

نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش LAS تعیین می‌شوند.															
		بین دوره های ۱-۴				بین دوره های ۱-۳				بین دوره های ۱-۲				نقاط مرجع	
		جا بجایی		جا بجایی		جا بجایی		جا بجایی		جا بجایی					
dE	dN	dE (mm)	dN (mm)	dE	dN	dE (mm)	dN (mm)	dE	dN	dE (mm)	dN (mm)				
پایدار	ناپایدار	۰/۲	-۵/۰	ناپایدار	پایدار	۱۰/۵	۲/۹	پایدار	ناپایدار	۱/۶	-۴/۸	۱۰۰۱	نقاط مرجع		
پایدار	پایدار	-۰/۹	-۱/۰	پایدار	ناپایدار	۶/۱	-۱۰/۳	ناپایدار	پایدار	۵/۵	۰/۳	۱۰۰۲			
پایدار	پایدار	۳/۴	-۰/۹	پایدار	ناپایدار	۰/۷	۲/۳	پایدار	پایدار	۰/۹	۱/۱	۱۰۰۳			
پایدار	پایدار	-۲/۵	-۲/۳	پایدار	پایدار	۰/۰	-۱/۵	پایدار	پایدار	۱/۵	-۲/۱	۱۰۰۴			
پایدار	پایدار	-۲/۸	-۰/۶	پایدار	پایدار	-۰/۸	۲/۶	پایدار	پایدار	۰/۴	-۳/۳	۱۰۰۵			
پایدار	پایدار	۰/۷	۷/۴	پایدار	ناپایدار	۱	-۶/۸	پایدار	ناپایدار	۳/۲	-۵/۹	۱۰۰۶			
ناپایدار	ناپایدار	-۳/۵	۴/۵	ناپایدار	ناپایدار	-۴/۲	۶/۶	ناپایدار	پایدار	-۴/۳	۴/۳	۰۰۰۳	نقاط موضوع		
پایدار	ناپایدار	-۰/۱	۴/۱	پایدار	ناپایدار	۲/۳	۴/۸	پایدار	پایدار	-۰/۶	۲/۲	۰۰۰۵			
پایدار	ناپایدار	۲/۵	۷/۵	پایدار	ناپایدار	-۲/۱	۶/۱	پایدار	ناپایدار	۱	۴/۹	۰۰۰۷			
پایدار	ناپایدار	۳/۲	۳	پایدار	پایدار	-۰/۹	۳/۶	پایدار	ناپایدار	۰/۴	۵/۲	۰۰۰۹			
ناپایدار	ناپایدار	۰/۶	-۳/۵	پایدار	ناپایدار	۱/۲	۷/۷	ناپایدار	ناپایدار	۴/۲	۴/۷	۰۰۱۱			
ناپایدار	ناپایدار	۷/۷	۰/۲	پایدار	پایدار	۳/۹	-۱/۶	ناپایدار	پایدار	۵/۳	-۲/۱	۰۰۱۳			
ناپایدار	پایدار	-۴/۴	-۷/۳	ناپایدار	پایدار	-۵/۳	۰/۴	پایدار	پایدار	-۲/۲	۰/۶	۰۰۱۵			
ناپایدار	ناپایدار	۲/۶	-۵/۷	پایدار	ناپایدار	۳	-۵/۲	پایدار	پایدار	-۱/۹	۰/۳	۰۰۱۷			
پایدار	ناپایدار	-۲/۴	-۵/۸	پایدار	ناپایدار	-۰/۲	-۷/۴	ناپایدار	ناپایدار	-۳/۸	-۴/۵	۰۰۱۹			
پایدار	پایدار	-۲/۷	۰/۴	پایدار	پایدار	۰/۹	-۱/۹	پایدار	پایدار	۰/۹	-۰/۳	۰۰۲۱			
پایدار	پایدار	-۱/۹	-۱/۱	پایدار	پایدار	-۳/۸	-۱/۵	پایدار	پایدار	-۳/۹	۲/۴	۰۰۲۳			



جدول ۴- نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش تست تناسب تعیین می‌شوند.

نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش تست تناسب تعیین می‌شوند.														
		بین دوره های ۱-۴				بین دوره های ۱-۳				بین دوره های ۱-۲				نقاط
جا بجایی	بردار جا بجایی	dE (mm)	dN (mm)	جا بجایی	بردار جا بجایی	dE (mm)	dN (mm)	جا بجایی	بردار جا بجایی	dE (mm)	dN (mm)			
ناپایدار	۵/۴۰	۱/۱	-۵/۳	ناپایدار	۱۰/۲۹	۹/۷	۳/۴	پایدار	۴/۸۲	۱/۱	-۴/۷	۱۰۰۱	نقاط مرجع	
پایدار	۲/۱۷	-۱/۸	-۱/۳	ناپایدار	۱۱/۳۴	۵/۲	-۱۰/۱	پایدار	۴/۹۴	۴/۹	۰/۳	۱۰۰۲		
پایدار	۲/۷۷	۲/۵	-۱/۱	پایدار	۲/۳۲	۰/۲	۲/۳	پایدار	۱/۱۲	۰/۶	۱/۰	۱۰۰۳		
پایدار	۳/۴۱	-۳/۳	۰/۷	پایدار	۱/۹۲	-۰/۸	-۱/۷	پایدار	۲/۵۱	۱	-۲/۳	۱۰۰۴		
پایدار	۳/۱۵	۱/۹	-۲/۵	پایدار	۲/۷۵	-۱/۲	۲/۵	پایدار	۳/۵۱	۰/۱	-۳/۵	۱۰۰۵		
پایدار	۰/۸۸	-۰/۲	-۰/۸	پایدار	۷/۱۴	۰/۲	-۷/۱	ناپایدار	۶/۷۹	۲/۷	-۶/۲	۱۰۰۶		
ناپایدار	۸/۳۹	-۴/۳	۷/۲	ناپایدار	۸/۲۴	-۵/۰	۶/۶	ناپایدار	۶/۳۱	-۴/۸	۴/۱	۰۰۰۳	نقاط موضوع	
ناپایدار	۴/۴۰	-۱/۰	۴/۳	پایدار	۵/۰۲	۱/۶	۴/۸	پایدار	۲/۲۸	-۱/۱	۲/۰	۰۰۰۵		
ناپایدار	۴/۱۵	۱/۶	۳/۸	ناپایدار	۶/۶۴	-۲/۹	۶	ناپایدار	۴/۷۷	۰/۵	۴/۷	۰۰۰۷		
ناپایدار	۷/۶۰	۲/۳	۷/۲	پایدار	۳/۸۸	-۱/۷	۳/۵	ناپایدار	۵/۰۴	-۰/۱	۵	۰۰۰۹		
ناپایدار	۱۰/۰۶	۹/۷	۲/۷	پایدار	۷/۶۷	۰/۴	۷/۷	ناپایدار	۵/۸۷	۳/۷	۴/۵	۰۰۱۱		
ناپایدار	۷/۷۹	۶/۸	-۳/۷	ناپایدار	۳/۵۴	۳/۱	-۱/۷	ناپایدار	۵/۳۴	۴/۸	-۲/۳	۰۰۱۳		
ناپایدار	۵/۲۹	۵/۳	۰/۰	ناپایدار	۶/۱۳	-۶/۱	۰/۴	پایدار	۲/۶۸	-۲/۷	۰/۴	۰۰۱۵		
ناپایدار	۴/۲۶	۱/۷	-۳/۹	ناپایدار	۵/۷۰	۲/۲	-۵/۳	پایدار	۲/۴۵	-۲/۴	۰/۱	۰۰۱۷		
پایدار	۶/۸۴	۳/۳	-۶/۰	ناپایدار	۷/۵۶	-۱/۱	-۷/۵	ناپایدار	۶/۳۸	-۴/۳	-۴/۷	۰۰۱۹		
پایدار	۳/۵۴	-۳/۵	۰/۱	پایدار	۲/۲۲	۱	-۲/۰	پایدار	۰/۶۶	۰/۴	-۰/۵	۰۰۲۱		
پایدار	۳/۰۵	-۲/۷	-۱/۴	پایدار	۴/۸۸	-۴/۶	-۱/۶	پایدار	۴/۹۷	-۴/۴	۲/۲	۰۰۲۳		



جدول ۵- تعداد رخدادهای نقاط که با استفاده از روش فردریکتون تعیین می‌شوند.

دوره ها									نقاط	
۱-۴			۱-۳			۱-۲				
تعداد رخدادها			تعداد رخدادها			تعداد رخدادها				
(/۹۹)	(/۹۵/۷)	(/۹۵)	(/۹۹)	(/۹۵/۷)	(/۹۵)	(/۹۹)	(/۹۵/۷)	(/۹۵)		
F	F	F	F	F	F	F	F	F		
۲	۲	۲	۶	۱۰	۱۱	۰	۰	۰	۱۰۰۱	نقاط مرجع
۳	۳	۴	۰	۱	۲	۴	۴	۶	۱۰۰۲	
۳	۴	۵	۲	۴	۴	۰	۰	۲	۱۰۰۳	
۰	۱	۲	۰	۲	۳	۲	۳	۸	۱۰۰۴	
۰	۱	۲	۰	۲	۳	۲	۳	۴	۱۰۰۵	
۱	۲	۲	۰	۱	۳	۰	۱	۲	۱۰۰۶	
۵	۸	۹	۵	۶	۷	۲	۴	۴	۰۰۰۳	نقاط موضوع ع
۲	۳	۴	۱	۲	۳	۰	۰	۰	۰۰۰۵	
۲	۶	۶	۳	۵	۶	۳	۳	۴	۰۰۰۷	
۴	۳	۰	۳	۲	۱	۹	۶	۵	۰۰۰۹	
۵	۶	۱۰	۰	۱	۲	۲	۳	۳	۰۰۱۱	
۷	۹	۹	۱	۲	۲	۲	۴	۴	۰۰۱۳	
۰	۰	۱	۱	۲	۳	۱	۱	۲	۰۰۱۵	
۳	۵	۵	۳	۴	۶	۱	۱	۲	۰۰۱۷	
۴	۵	۶	۴	۸	۸	۴	۶	۷	۰۰۱۹	
۰	۱	۲	۰	۱	۲	۰	۰	۰	۰۰۲۱	
۰	۲	۴	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۰۰۲۳	



جدول ۶- نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش فردریکتون تعیین می‌شوند.

نقاط پایدار و ناپایدار که با استفاده از روش فردریکتون تعیین می‌شوند			
دوره ها			نقاط
۱-۴	۱-۳	۱-۲	
پایدار	ناپایدار	پایدار	۱۰۰۱
پایدار	پایدار	ناپایدار	۱۰۰۲
ناپایدار	پایدار	پایدار	۱۰۰۳
ناپایدار	پایدار	ناپایدار	۱۰۰۴
پایدار	پایدار	ناپایدار	۱۰۰۵
پایدار	پایدار	پایدار	۱۰۰۶
ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۰۳
پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۰۵
ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۰۷
ناپایدار	پایدار	ناپایدار	۰۰۰۹
ناپایدار	پایدار	ناپایدار	۰۰۱۱
ناپایدار	پایدار	ناپایدار	۰۰۱۳
پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۱۵
ناپایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۱۷
ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۱۹
پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۲۱
پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۲۳



جدول ۷- نقاط پایدار و ناپایدار که توسط روش‌های LAS، IWST، تست تناسب و فردریکتون تعیین شدند.

نقاط	دوره ها			دوره ها			دوره ها			دوره ها			نقاط مرجع
	۱-۲	۱-۳	۱-۴	۱-۲	۱-۳	۱-۴	۱-۲	۱-۳	۱-۴	۱-۲	۱-۳	۱-۴	
	فردریکتون			تناسب			LAS			IWST			
۱۰۰۱	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	۱۰۰۱
۱۰۰۲	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	۱۰۰۲
۱۰۰۳	ناپایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	۱۰۰۳
۱۰۰۴	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	۱۰۰۴
۱۰۰۵	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	۱۰۰۵
۱۰۰۶	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	۱۰۰۶
۰۰۰۳	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۰۳
۰۰۰۵	پایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۰۵
۰۰۰۷	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۰۷
۰۰۰۹	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۰۹
۰۰۱۱	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۱۱
۰۰۱۳	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۱۳
۰۰۱۵	پایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۱۵
۰۰۱۷	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	ناپایدار	ناپایدار	پایدار	۰۰۱۷
۰۰۱۹	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	ناپایدار	۰۰۱۹
۰۰۲۱	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	ناپایدار	پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۲۱
۰۰۲۳	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	پایدار	۰۰۲۳



۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

طبق فرضیه تحقیق، انتظار می‌رفت که حداکثر حرکات افقی که تحت تأثیر بار آب و بار سد است در وسط تاج سد و حداقل جابجایی در طرف انتهایی سدهای قوسی شکل رخ دهند نهایتاً حاصل شد. زیرا اساساً حرکات معنی دار و قابل ملاحظه در نقاط ۰۰۱۳ و ۰۰۱۱ دیده شده‌اند که در قسمت‌های وسطی تاج سد هستند که توسط اندازه‌گیری‌ها و روش‌های تحلیل جابجایی با استفاده از مشاهدات GPS اثبات شد. وقتی فرمول‌ها و مبنای محاسباتی شامل تست جابجایی در نظر گرفته می‌شوند روش‌های غیرربوست از روش‌های ربوست پیچیده‌تر عمل می‌کنند. روش‌های ربوست و تست تناسب مبنای محاسباتی مهمی هستند که در تعیین جابجایی‌های نقاط در شبکه کنترل استفاده می‌شوند. وقتی تکرار برای بیشتر نقاط در روش فردریکتون مشابه بود فرآیند انتخاب نقاط پایدار و ناپایدار کمتر نتیجه بخش شدند. البته این موضوع به تعبیر و تفسیر نتایج نیاز دارد. هنگام بررسی جابجایی به دست آمده توسط IWST، LAS و روش تناسب، نقاط با جابجایی بیشتر از ۴ میلی‌متر به صورت ناپایدار پذیرفته شدند. این با صحت و دقت افقی مشاهدات که توسط MINQUE محاسبه شدند، منطبق است.

در پایان پیشنهادی مبنی بر کشف و آشکارسازی نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه‌های کنترل می‌توان ارائه نمود و آن هم استفاده از روش زیرشبکه به جای شبکه کلی است. به نحوی که به تعداد نقاط ناپایدار اولیه زیرشبکه تشکیل دهیم. یعنی هر زیر شبکه شامل یک نقطه موضوع و سایر نقاط مرجع باشد. به این صورت می‌توان از پیش آمد خطای سرشکنی و محاسبات در روش‌های کنترل جابجایی جلوگیری کرد [۸].

مراجع

- [1] Chen YQ (1983). Analysis of deformation surveys. A generalized method. Technical Report No. 94, Canada., University of New Brunswick Surveying Engineering. Fredericton, N. B
- [2] Chrzanowski A, Chen YQ, Seord JM (1986). Geometrical Analysis of Deformation Surveys, Measurements Workshop, MIT, Cambridge. Deformation
- [3] Engineer Manuel, EM-1110-2-1009, (2002), Structural Deformation Surveying, U.S. Army Corps of Washington, DC. Engineers
- [4] Setan H, Singh R (1998). Comparison of Robust and Non Robust Methods in Deformation Surveys -[4] The 7 th. JSPSVCC seminar on Integrated Engineering. Kuala Lumpur Malaysia. 7-8 December.
- [5] Singh R, Setan H (2001). Deformation analysis of a geodetic monitoring network, Geomatica. 55(3): 333-346.
- [6] C. Radhakrishna Rao (1970). Estimation of Heteroscedastic Variances in Linear Models.
- [7] Chen YQ, Chrzanowski A, Seord JM (1990). A Strategy for the Analysis of the Stability of Deformation Surveys, CISM / JOURNAL ACSGC 44(2). Reference Points in
- [۸] پیمان جوادی، "مقایسه روش‌های نوین آنالیز پایداری در شبکه‌های میکروژئودزی"، کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۹۳.



Measurement and Monitoring of Structures Deformation with Geodetic Methods

Peyman Javadi⁹

Master of Geodesy, Lecturer and Director of Geomatics Group of Islamic Azad University of Ardabil Branch

peyman_javadi@ardabil-samacollege.ir

Abstract

Rapid advances in engineering structures and new studies on the movements of Earth's crust have made the analysis and measurements of relocations, measurement methods and measurement with required accuracy possible. The main aim of this study is to consider and show the deformations in the crest of the dam that occur to various reasons such as water level, load and the weight of dam's framework. The Ataturk dam is a dam that includes rocks in the exterior part and soil and sand in the interior part, is selected as the area of the study and the relocation network has been made up 6 sustainable points and 11 unsustainable points. In this study, measurement and measuring displacement have been done based on the data of May and October from 2005 till 2007. The water level was minimum and maximum there. The observations were taken in four periods. All of the measurements have been done using the basing length GPS. In this study interactive weighted transformation that includes the least absolute sum, has been used with congruency test method and also Fredericton method to analyze the deformation of two dimensional displacements. Considering the displacements with the discussed methods, the points with displacement more than 4 mm were accepted as unstable. Meaningful and significant displacements were in the areas that are in the middle part of the crest of dam. This finding is consistent with the accuracy of horizontal observations that have been calculated by the minimum norm quadratic unbiased estimation.

Keywords: Monitoring, Deformation, Congruency Test, IWST, MINQUE.

1- Sama technical and vocational training college, Islamic Azad University, Ardabil Branch, Ardabil, Iran.