نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره هشتم، شماره ۱، بهمن ماه ۱۳۹۵

مدلسازی مسطحاتی استرین و استرس سد ۱۵ خرداد

مسعود فلاح احمدی زاد*[۱]، داود زمزم[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-ژئودزی - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه آزاد واحد تفت
cyrusmf56@yahoo.com

[۲] استادیار دانشکده عمران و نقشه برداری - دانشگاه آزاد واحد قزوین
dzamzam@alumni.ut.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۵، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۵)

چکیده

در این مقاله هدف تعیین پارامترهای بیضی های استرین[۱] و استرس[۲] به همراه دوران[۳] (چرخش هندسه تغییر شکل) در سطح بدنه سد ۱۵ خرداد می باشد، به این منظور ابتدا شبکه مانیتورینگ یا شبکه کنترل خارج از بدنه سد ۱۵ خرداد پیش طراحی و با هدف مینیمم سازی بیضی خطای مطلق نقاط پیلارهای شبکه خارج سد طراحی مرتبه اول[۴] و دوم[۵] صورت گرفت و با داده های حاصل از طراحی مرتبه اول و دوم و تعیین نوع دستگاه جهت حصول به دقت مد نظر در طراحی مرتبه یک و دو، مشاهدات ژئودتیک [۶]در دو مرحله روی پیلارهای خارج سد صورت گرفته و مختصات های سرشکن شده نقاط خارج سد به روش سرشکنی قیود آزاد[۷] محاسبه و برآورد شده است. سپس از این نقاط به عنوان نقاط کنترل جهت انجام مشاهدات ژئودتیک روی نقاط هدف (بدنه سد) در دو مرحله زمانی استفاده شده است و نتایج مشاهدات به روش حداکثر قیود[۸] سرشکن شده و مختصات های سرشکن شده نقاط روی بدنه سد در دو مرحله برآورد شده اند. تفاضل مختصات های محاسبه شده در دو مرحله مشاهدات انجام شده بردارهای جابه جایی به همراه بیضی خطای جابه جایی بردارهای جابه جایی را برآورد می کند. با محاسبه پارامترهای بردارهای جابه جایی نقاط (بزرگی بردار به همراه آزیموت) به روش المان محدود[۹] و از طریق مثلث بندی دلونی روی سطح بدنه سد ۱۵ خرداد مثلث هایی تعریف می شود و مدل تغییر شکل هندسی نسبت به مراکز این مثلث ها محاسبه و به همراه آن دوران تغییر شکل هندسی و پارامترهای بیضی تغییر شکل (استرین) ، حداکثر نیم قطر اطول و کوچک بیضی استرین به همراه آزیموت محاسبه و سپس با توجه به قانون هوک از روی استرین محاسبه شده پارامترهای بیضی استرس که میزان نیروهای وارده بر نقاط مراکز مثلث روی بدنه سد می باشد محاسبه می گردد.

واژگان کلیدی: استرین ، استرس ، سد ۱۵ خرداد ، دوران

---

* نویسنده رابط

۱ strain
۲ stress
۳ Rotation
٤ First Order Design(FOD)
٥ Second Order Design(SOD)
٦ Geodetic Observations
۷ Minimum Constraint
۸ Over Constraint
۹ Finite Element

۱- مقدمه

در این مقاله به مدلسازی استرین و استرس سد ۱۵ خرداد پرداخته می شود، برای بدست آوردن تانسورهای استرین و استرس ابتدا نیاز به بردارهای جابه جایی نقاط می باشد، از این رو قبل از انجام مشاهدات ژئودتیک یک شبکه کنترل خارج از بدنه سد پیش طراحی می شود تا جهت انجام مشاهدات روی بدنه سد از این نقاط استفاده گردد، این شبکه خارج سد با پارامترهایی که مد نظر طراح جهت قابلیت آشکارسازی بردارهای جابه جایی باشد طراحی می شود، طراحی مرتبه اول در خصوص استحکام هندسی شبکه می باشد که از روی ماتریس ضرایب معادلات مشاهدات استخراج می گردد و با جابه جای نقاط شبکه کنترل خارج سد پارامترهای ژاکوبین در ماتریس ضرایب که بیانگر شکل هندسی شبکه است تغییر می کند و با هر تغییر اعداد آزادی نیز تغییر خواهند کرد، درواقع زمانی که کوچکترین عدد آزادی ماگزیمم شود مطلوب ترین شکل هندسی شبکه تامین شده است ، در این مرحله وزن مشاهدات ثابت فرض می شود و با روش آزمون و خطا طراحی مرتبه اول صورت می گیرد، در طراحی مرتبه دوم شکل هندسی شبکه ثابت فرض شده و پارامترهای ماتریس وزن متغیر خواهند بود، در این مرحله نوع مشاهدات و تعداد آنها به همراه دقت تجهیزات نقشه برداری جهت انجام مشاهدات با توجه به حداکثر نیم قطر اطول بیضی مطلق خطاها در نقاط شبکه خارج سد طراحی می شود بگونه ای که خروجی این مرحله از طراحی نقاطی با بیضی خطای مطلق تقریبا هژمون و دایره ای شکل باشد و از حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطاها در مرحله پیش طراحی تجاوز ننماید.

پس از پیش طراحی فوق و احداث پیلارهای شبکه خارج سد ، انجام مشاهدات مرحله اول با استفاده از نقاط کنترل شبکه خارج سد صورت می گیرد ، سرشکنی نقاط شبکه خارج سد با روش حداقل قیود و سرشکنی مشاهدات روی بدنه سد با استفاده از روش حداکثر قیود صورت می گیرد ، در مشاهدات مرحله دوم ، قبل از انجام مشاهدات روی بدنه سد، با استفاده از آزمون های آماری ، ابتدا پایداری و ثبات نقاط کنترل شبکه خارج سد بررسی می شود و پس از حصول از عدم جابه جایی نقاط فوق ، مشاهدات مرحله دوم روی بدنه سد صورت می گیرد.

با تفاضل مختصات های سرشکن شده مرحله اول و دوم به همراه محاسبه پارامترهای بیضی جابه جایی نقاط، بردارهای جابه جایی روی بدنه سد محاسبه می گردد.

جهت محاسبه تانسورهای استرین و استرس به روش المان محدود سطح بدنه سد با روش دلونی مثلث بندی می شود و پارامترهای استرین و استرس برای مراکز مثلث ها محاسبه می شود.

با استفاده از بردارهای جابه جایی محاسبه شده تانسور استرین محاسبه می شود و با تفکیک ماتریس متقارن و پادمتقارن به ترتیب پارامترهای تغییر شکل و دوران مراکز مثلث ها محاسبه می شود و با اعمال قانون هوک از روی ماتریس استرین ، تانسور استرس و به دنبال آن پارامترهای بیضی استرس نیز محاسبه می شود.

در گام نهایی نیز با استفاده از نرم افزار جی ام تی بصورت گرافیکی انبساط و انقباض ها که بیانگر هندسه تغییر شکل مراکز مثلث باشد بصورت گرافیکی مدل می شود.

۲- پیش طراحی

۲-۱- طراحی مرتبه یک تعیین شبکه بهینه برای شبکه

در این مرحله از طرحی به روش سعی و خطا جای نقاط را تغییر داده و به ازای هر تغییر یک ماتریس A ، خواهیم داشت ، در این قسمت وزن P، معلوم فرض می شود ، از بین A ها، شکلی که معیار ما را برآورده کند شکل بهینه نامیده می شود. در واقع مطابق رابطه (۱)، ماتریس ضرایب A با شکل هندسی شبکه و همچنین نوع و تعداد مشاهدات ارتباط دارد ، فاکتور واریانس اولیه نیز ۱ در نظر گرفته می شود. [۴]

$$C\hat{x} = \delta 0^2 \left(A^T PA\right)^{-1} \qquad (۱)$$

طراحی مرتبه اول میزان وابستگی شبکه را بیان می‌کند ، به این صورت که باتغییر موقعیت نقاط و ایجاد اشکال هندسی مختلف برای شبکه و همچنین تغییر در تعداد نقاط شبکه، نوع و تعداد مشاهدات، در حالی که ماتریس وزن مشاهدات ثابت در نظر گرفته شده ، المان های ماتریس A و $C\hat{x}$ متناظر را محاسبه می کنیم، سپس نیم قطر بزرگ بیضی های خطا را محاسبه می کنیم و اگر ابعاد آنها حالت

همگن داشته باشد و انباشت خطا در شبکه پیش نیاید و نیم قطر بزرگ با معیار طراحی مطابقت داشته باشد، آن را می پذیریم. البته با توجه به محدودیت ها در توپوگرافی منطقه و تثبیت نقاط در محل های انتخاب شده و انجام مشاهدات بر روی آن ها باید بهترین و عملی ترین مجموعه ترکیب بندی نقاط شبکه انتخاب گردد. این مرحله فقط برای نقاط شبکه خارج سد مطرح است.

زیرا نقاط روی سازه بر اساس درخواست متخصصین سازه بنا گشته و قابل جابجا کردن نیست. [۴]

۲-۲- طراحی مرتبه دو: تعیین وزن بهینه برای شبکه

در این روش نیز به روش سعی و خطا تحلیل های مختلفی روی وزن خواهیم داشت تا معیار مورد نظر که حداکثر قطر بیضی خطا باشد مینمم گردد.

۲-۱-۱- طراحی مرتبه یک سد ۱۵ خرداد

برای شبیه سازی طراحی مرحله ۱، که بهینه سازی شکل شبکه می باشد ، با استفاده از مختصات های تقریبی از محل (استخراج شده از نقشه یا گیرنده های دستی جی پی اس) شبیه سازی طراحی برای حصول بهینه شکل هندسی شبکه در خصوص سد ۱۵ خرداد صورت گرفت ، در مرحله شبیه سازی طراحی مرحله ۱، تعداد و نوع مشاهداتی که لازم است به شکل هندسی بهینه شبکه دست یابیم بدست می آید، در واقع شکل هندسی شبکه یعنی ماتریس A ، با تغییر در جای نقاط با تلورنسی که برای هر نقطه تعریف می کنیم بدست می آید، در ناحیه ای مربعی یا مستطیلی که هر یک از ایستگاه های شبیه سازی شده قابل جا به جایی باشند مختصات های متفاوتی برای هر یک از ایستگاه ها ایجاد کرده و ماتریس اعداد آزادی شبکه را بدست می آوریم، شکل هندسی که بالاترین میانگین اعداد آزادی را ارایه دهد بهینه ترین شکل هندسی خواهد بود، ماتریس اعداد آزادی بیانگر میزان بهینگی شکل هندسی شبکه می باشد و بنوعی قابلیت اطمینان داخلی شبکه را بیان می کند .

در شبیه سازی مرحله اول نیازی به استفاده از مشاهدات زاویه ای نیست و می توان صرفا با مشاهدات طولی این شبیه سازی را انجام داد چرا که اضافه کردن مشاهدات زاویه ای در شبیه سازی طراحی مرتبه اول تفاوت زیادی در اعداد آزادی ایجاد نمی کند. [۴]

قبل از شبیه سازی طراحی مرتبه اول ، پری آنالیزی با طولهای متفاوت صورت می گیرد در واقع اینکه چند طول مشاهده شود و چه طولهایی مشاهده شوند خود سوالاتی اساسی تلقی می شوند، معمولا طول هایی که اطراف شبکه میباشند از عدد آزادی پایینتری برخوردارند و سعی در این است که طولهای قرایت شده به این نقاط مرزی بیشتر باشد، حال با تعیین طولها و تعداد نقاطی که شبکه با آن تعریف می شود ، یک مرحله پری آنالیز صورت می گیرد و برای هر نقطه در محدوده ای تعیین شده ، نقاط مختلف در ماتریس ضرایب که A باشد تزریق می شود و برای هر جابه جایی یک ماتریس A ، بدست آورده و عدد آزادی این شبکه ارزیابی می شود ، لیکن تعداد طولها و نقاطی که باید در این فرآیند شرکت داده شوند متفاوت است، با تعدادی نقطه اطراف منطقه مورد نظر شبکه بسته شده و تمام طولهایی که مد نظر است مورد ارزیابی قرار می گیرند، برای طولها معادلات نرمال نوشته می شود و از روی مختصات های تقریبی آنها فواصل محاسباتی بدست می آیند و در این سرشکنی برای بدست آوردن ماتریس اعداد آزادی از روش سرشکنی قیود داخلی استفاده می شود چرا که هیچ نقطه ای بدون خطا فرض نمی شود. پس از هر مرحله خروجی اعداد آزادی با تعداد نقاط و طولهای طراحی شده ارزیابی می شود و اعداد آزادی نقاطی که بخصوص در مرزهای شبکه قرار دارند با اضافه کردن نقطه یا مشاهدات طولی بیشتر روی طولهای تکراری افزایش کمی عدد آزادی آن نقطه را سبب می شود ، در شبیه سازی سد ۱۵ خرداد قم، با اضافه کردن معادلات نرمال روی مشاهدات طولی مشابه (تکرار طول‌ها) استفاده شده است.

خروجی شبیه سازی فوق تعداد نقاط شبکه به اضافه طولها و امتدادهایی است که باید قرایت شوند تا به عدد آزادی یا میانگین اعداد آزادی مطلوب که ۰٫۵ است دست یابیم.

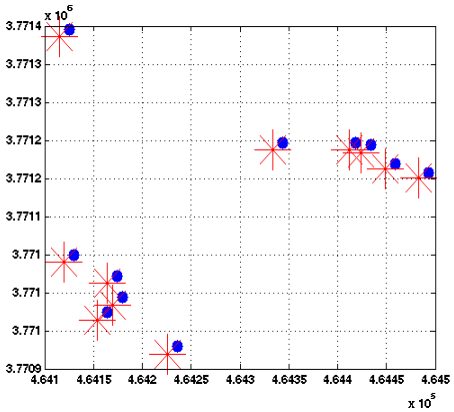
مختصات تقریبی نقاط جهت شبیه سازی سد ۱۵خرداد قم به شرح زیر می باشد:

این نقاط نزدیک به نقاطی است که خروجی نهایی موقعیت ۱۱نقطه شبکه خارجی سد ۱۵ خرداد توسط شرکت ایستاسنج دقیق طراحی و در فرآیند سرشکنی مورد استفاده قرار گرفته است، جهت شبیه سازی از نقاطی نزدیک به نقاط استفاده شده است تا دقت محاسبه

شده نقاط فوق با در نظر گرفتن مساله شبیه سازی مورد ارزیابی و آزمون قرار بگیرد.

شکل ۱ خروجی شبیه سازی شده طراحی مرتبه ۱ است که با این مختصات ها ، میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ می شود و این شکل هندسی شبکه را می پذیریم.

موقعیت تصویری نقاط با شکل هندسی شبکه با میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ به شرح زیر می باشد:



شکل۱- خروجی مختصات های حاصل از طراحی مرتبه یک

میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ و مینیمم آنها عدد ۰٫۲۸ و ماگزیمم عدد آزادی نیز عدد ۰٫۷۲ می باشد. در واقع این بدان معنی است که با این شکل هندسی شبکه A ، دارای میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ می باشد هرچند می توان مشاهده ای که دارای مینیمم عدد آزادی است را نیز با تکرار معادلات مشاهدات روی آن نقطه بهینه کرد و عدد آزادی آن را نیز افزایش داد.

با شبیه سازی فوق در این مرحله به این نتیجه می رسیم که با استفاده از این مختصات هایی که در شکل ۱ با رنگ قرمز ارایه شده است می توانیم به میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ که بیانگر قابلیت اطمینان داخلی شبکه می باشد برسیم.

در واقع با قرایت ۴۳ مشاهده طولی با ۱۱ نقطه با مختصات فوق می توانیم به میانگین اعداد آزادی ۰٫۵ در طراحی مرحله ۱ دست یابیم.

جدول۱- مختصات های تقریبی طراحی مرتبه اول

Name Point	X(m)	Y(m)
1	464493	3771157
2	464459	3771169
3	464434	3771194
4	464418	3771197
5	464344	3771197
6	464125	3771346
7	464236	3770929
8	464164	3770974
9	464180	3770994
10	464174	3771022
11	464130	3771050

جدول۲- مختصات های حاصل از طراحی مرتبه یک

نقاط	X (m)	Y (m)
1	464483	3771151
2	464449	3771163
3	464424	3771184
4	464412	3771187
5	464334	3771187
6	464115	3771336
7	464226	3770919
8	464154	3770964
9	464170	3770984
10	464164	3771012
11	464120	3771040

۲-۲-۱- طراحی مرتبه دو: تعیین وزن بهینه برای شبکه خارج سد

در مرحله بعدی، هدف ثابت گرفتن مختصات نقاط بدست آمده یا همان شکل هندسی شبکه و بررسی وزن نقاط می باشد، در این مرحله که طراحی مرتبه ۲ نام دارد، وزن شبکه را شبیه سازی کرده و تعداد مشاهدات طولی و تعداد کوپل هایی که از زوایای افقی باید قرایت شود تا به دقت لازم در تشکیل ماتریس واریانس کواریانس دست یابیم، در واقع هدف از این شبیه سازی بررسی این مساله است که با دقت اسمی[۱] طولیاب و دقت اسمی زاویه یاب مورد نظر برای قرایت مشاهدات آیا می توان به حداکثر بیضی خطای مطلق مد نظر طراح در این شبیه سازی دست یافت یا خیر؟ از این رو با دقت های اسمی متفاوت در تعداد کوپل های متفاوت شبیه سازی انجام می شود تا به این نتیجه برسیم که با چه تجهیزات و دقت هایی در چه تعداد مشاهدات می توانیم به دقت مورد نظر خود که در فضای اطمینان ۹۵٪ با بیضی خطا بیان می شود دست یابیم. از این رو مختصات نقاط در مرحله قبل در این مرحله مورد استفاده قرار می گیرد به این معنی که شکل هندسی شبکه را ثابت گرفته و متغیر آن ماتریس وزن می‌باشد که همان ماتریس واریانس کواریانس است و مجذور درایه های قطر اصلی آن ، انحراف معیار پارامترها یا همان مجهولات مساله را بیان می کند. [۴]جهت شبیه سازی در وزن دهی بهینه در خصوص نقاط و مشاهدات سد ۱۵ خرداد قم، از مختصات های بدست آمده مرحله اول استفاده شده است و در کنار مشاهدات طولی در این مرحله از مشاهدات زاویه ای نیز استفاده شده است،

۱ Nominal precision

درواقع از ۴۳ امتداد طولی یا مشاهده طولی و ۷۲ مشاهده زاویه ای استفاده شده است ، سعی در استفاده از تمام مشاهدات زاویه ای و طولی ممکن بوده است. هدف بررسی این مساله است که با تجهیزاتی که دقت اسمی مشخصی دارند به چه قطری از بیضی خطاها می توانیم برای هر یک از ایستگاه ها دست پیدا کرد.

در این مرحله طراحی هدف وزن دهی به نقاط شبکه بگونه ای است که حداکثر قطر بیضی خطای مطلق نقاط زیر ۱ میلیمتر باشد. در واقع با توجه به نوع سد و قابلیت آشکار سازی که در فصل اول به آن اشاره شد هر اندازه قطر بیضی خطای مطلق نقاط کمتر باشد ، قابلیت آشکار سازی جابه جایی در شبکه افزایش می یابد.

در مرحله پس از وزن دهی به شبکه ، حساسیت شبکه یا همان قابلیت آشکار سازی جابه جایی شبکه نیز با وزن دهی صورت گرفته مورد بررسی قرار می گیرد و در صورتی که وزن تعیین شده با عنوان وزن بهینه نتواند آشکارسازی مد نظر طراح را تامین کند ، دقت تجهیزات مورد استفاده را تغییر داده و مجددا آزمون حساسیت یا قابلیت آشکارسازی جابه جایی را انجام داده و در صورتی که آزمون مورد پذیرش قرار گیرد وزن دهی بهینه در طراحی مرتبه ۲ مورد پذیرش قرار خواهد گرفت.

دقت اسمی طولیاب مورد استفاده در سد ۱۵ خرداد قم 1mm+1ppm بوده است ، همین طور دقت زاویه یاب مورد استفاده در قرایت های زوایای مورد نظر در سد فوق ، ۰٫۵ ثانیه بوده است. تحلیل و شبیه سازی طراحی مرتبه ۲ با این دقت های اسمی صورت گرفته و بیضی خطای مطلق نقاط به شرح جدول ۳ می باشد.

جدول۳- نصف قطر اطول بیضی طراحی مرتبه دو

شماره نقطه	نصف قطر اطول بیضی
1	0.28999000
2	0.24962000
3	0.22998505
4	0.21784899
5	0.13906467
6	**0.39142794**
7	0.26321871
8	0.24471202
9	0.22116930
10	0.20073054
11	0.23407279

درواقع در شبیه سازی طراحی مرتبه دو مشخص می شود که با ۴۳ مشاهده طولی و ۷۲ مشاهده زاویه ای و دقت های اسمی فوق می توان به اندازه قطر اطول بیضی خطاها مطابق جدول ۳ دست یافت. در طراحی مرتبه دو نوع مشاهدات، تعداد مشاهدات زاویه ای و طولی نیز در کنار دقت تجهیزات مورد استفاده مشخص می گردد، به عبارتی پارامتر هزینه و زمان نیز از پارامترهایی است که در این مرحله می تواند وارد شود و در صورتیکه قطر اطول بیضی خطای نقاط با دقت های اسمی بسیار کمتر از حداکثر قطر بیضی خطای مد نظر طراح باشد در این حالت می توان از دستگاه هایی که دقت اسمی پاینتری دارند نیز استفاده کرد. همینطور می توان تعداد کوپلها در قرایت های زاویه ای را نیز کاهش داد تا در زمان و هزینه صرفه جویی شود. در خصوص سد ۱۵ خرداد با شبیه سازی طراحی مرتبه دو و با استفاده از دقت های اسمی تجهیزات استفاده شده در این پروژه با همان تعداد مشاهدات طولی و زاویه ای و ۴ کوپل قرایت های زوایای افقی و مقایسه اندازه قطر اطول بیضی خطای مطلق نقاط با پارامترهای بیضی خطاهای مطلق همین نقاط در سرشکنی اپک اول از شبکه خارج سد مشخص گردید بیضی خطای مطلق نقاط در طراحی مرتبه دو کمتر از آنچه در مشاهدات زمینی و خروجی مشاهدات سرشکن شده مطابق جدول ۳ می باشد ، در واقع این بدان منزله است که با این نوع مشاهدات و تعداد تعریف شده و دقت های اسمی تجهیزات مورد استفاده در این پروژه می توان به دقتی حدود آنچه در طراحی مرتبه دو بدست آمده دست یافت و خروجی مشاهدات سرشکن شده اپک اول این مساله را ثابت می کند.

۲-۳- قابلیت آشکار سازی شبکه

برابر دستورالعمل همسان میکروژئودزی مبحث ۱۱۹- جلد ۵ ، قابلیت آشکارسازی شبکه برابر رابطه (۲) بدست می آید و مطابق جدول ۳ قابلیت آشکارسازی سد مورد نظر نیز باید عددی برابر یا بزرگتر از این باشد. [۳]

$$x \geq a\frac{\sqrt{2} * \sqrt{\aleph^2}}{2.4477} \qquad (۲)$$

a نصف قطر بزرگ بیضی در فضای اطمینان ۹۵٪ می‌باشد و $\aleph$ آزمون کای اسکوئر است، x در رابطه (۲) قابلیت آشکار سازی سد است که باید عددی برابر یا بزرگتر از کسر فوق باشد.

در مرحله شبیه سازی طراحی شبکه میکروژئودزی با بدست آوردن نصف قطر اطول بیضی خطاها که ماگزیمم آن روی نقطه شماره ۶ می باشد ، مشخص می گردد که برابر رابطه ۲ قابلیت آشکارسازی این شبکه برابر عدد ۵,۵ میلیمتر است ، در حالیکه پس از سرشکنی مشاهدات اپک اول در شبکه مسطحاتی خارج سد ، ماگزیمم نصف قطر اطول بیضی خطاها روی نقطه ۶ یا PR7، ۰,۵ می باشد که برابر رابطه ۲، با این بیضی خطا ، قابلیت آشکارسازی شبکه ۰,۷ میلیمتر است ، در هر صورت در مرحله شبیه سازی مشخص می شود که این شبکه توانایی تقریبا قابلیت آشکارسازی فوق را دارد و با انجام مشاهدات و تصحیحات ایستگاهی و جوی روی مشاهدات و سرشکنی آنها به همراه تحلیل های آماری خروجی مختصات ها به همراه بیضی خطای مطلق آنها، قابلیت آشکارسازی را عدد ۰,۷ میلیمتر نشان می دهد، در هر صورت ، سد خاکی باید دارای قابلیت آشکارسازی ۷ میلیمتر باشد که قابلیت آشکارسازی این شبکه طراحی شده فوق بسیار بالاتر از این میزان برآورد شده است.

قسمت ثابت رابطه (۲) ، عدد ۱,۴۱ میلیمتر می شود که در فضای اطمینان ۹۵٪ آزمون کای اسکوئر بدست می آید و با ضرب آن در حداکثر نیم قطر بزرگ بیضی خطای نقاط شبکه در سطح اطمینان ۹۵٪ می توان قابلیت آشکارسازی شبکه طراحی شده را بدست آورد.

۳- شبکه مسطحاتی پیلارهای خارج سد

این شبکه شامل ۶ پیلار واقع در ساحل راست و ۵ پیلار واقع در ساحل چپ می باشد و مشاهدات آن از ۴۳ طول مایل دو طرفه و ۷۲ زاویه افقی تشکیل شده است. مشاهدات شبکه مسطحاتی پیلارهای خارج سد به روش آزاد سرشکن گردیده و درجه آزادی شبکه ۹۳ می باشد. این شبکه توانایی آشکار سازی حرکتهای مسطحاتی احتمالی بیش از ۰/۷ میلیمتر را در سطح اطمینان ۹۵٪ دارا می باشد.

۳-۱- مشاهدات شبکهٔ مسطحاتی پیلارهای خارج سد و ارزیابی دقت آنها

مشاهدات شبکهٔ مسطحاتی پیلارهای خارج سد عبارتند از طولهای مایل، امتدادهای افقی و زوایای قائم. در این شبکه۴۳ طول مایل به صورت دوطرفه و در چهار نوبت اندازه گیری گردیده و به منظور اعمال تصحیحات مربوط به شرایط جویی، فشار با دقت ۳ میلی بار و درجهٔ حرارت تر و خشک با دقت ۱درجهٔ سانتیگراد در محل دستگاه و رفلکتور اندازه گیری و ثبت شده اند.

امتدادهای افقی و زوایای قائم در این شبکه در۴ کوپل قابل قبول اندازه گیری گردیده و به منظور اعمال تصحیح ناشی از اختلاف ارتفاع دستگاه و تارگت، ارتفاع آنها با دقت ۰/۱ میلیمتر اندازه گیری و ثبت شده اند. تعداد امتدادهای افقی و زوایای قائم در این شبکه هر کدام ۸۶ مورد بوده است. با توجه به لزوم ارزیابی مشاهدات قبل از سرشکنی، محاسبات سرشکنی ایستگاهی برای امتدادهای افقی و زوایای قائم شبکهٔ مسطحاتی پیلارهای خارج سد انجام شده است.

جدول۴- خلاصهٔ نتایج حاصل از سرشکنی ایستگاهی مشاهدات شبکهٔ پیلارهای خارج سد ۱۵خرداد

نوع مشاهده	حداکثر خطای مربعی متوسط حاصل از سرشکنی ایستگاهی ۴ کوپل (Sec.)	حداقل خطای مربعی متوسط حاصل از سرشکنی ایستگاهی برای ۴ کوپل (Sec.)
امتدادهای افقی	۰,۳۳	۰,۱۶
زوایای قائم	۰,۴۷	۰,۲۱

۳-۲- سرشکنی مشاهدات شبکه پیلارهای خارج سد مرحله اول

سرشکنی قیود داخلی زمانی کاربرد دارد که هیچ یک از نقاط شبکه بدون خطا فرض نشود، در واقع در تمام پروژه های میکروژئودزی [۱]و مانیتورینگ[۲] هیچ یک از نقاط شبکه اصلی را بدون خطا فرض نمی کنند، از این رو ، هیچ یک از مختصات ها بدون خطا نبوده و تمام مختصات ها بصورت مجهول در نظر گرفته می شوند ، در تشکیل ماتریس ضرایب A، نسبت به تمام مجهولات مشتق گرفته می شود چرا که تک تک مختصات ها در تشکیل ماتریس ضرایب و شکل هندسی شبکه نقش دارند.

از این رو در این روش نقطه ای که از تمام نقاط شبکه فاصله ای یکسان داشته باشد را به عنوان مرکز ثقل شبکه در نظر گرفته و معادلات مربوط به مختصات های نقاط شبکه را تشکیل داده و با مشتقات جزئی[۳] که از پارامترهای معادلات فوق گرفته می شود ماتریس اینر را تشکیل می دهند. [۱]

۱ Geodetic networks
۲ Monitoring
۳ partial derivations

بعد از آنالیز طراحی اولیه و مشخص کردن محل نقاط و استقرار آنها اطراف سد ، شبکه پیلارهای خارج سد به تعداد ۱۱ نقطه نصب و مستقر می گردند که البته ساختمان آنها براساس دستورالعمل همسان نقشه برداری ، جلد پنجم می باشد. همچنین در مرحله آنالیز طراحی اولیه نوع مشاهدات و تعداد آنها به همراه تجهیزات مناسبی که حداقل بیضی خطای مطلق نقاط را تامین کند مشخص و تعیین شده است. در مرحله بعد مشاهدات طول و زوایای قائم و افق از ایستگاه هایی که نسبت به هم حداکثر دید را داشته باشند صورت می گیرد که مطابق جداول فوق این مشاهدات صورت می گیرد، طولها به صورت طول مایل با اندازه گیری فشار هوا، دمای خشک و تر و اعمال این تصحیحات روی طول های مایل در جداول مشاهدات ثبت می شود و با استفاده از روابط مثلثاتی طول های مایل تصحیح شده به طول های افقی تبدیل می شوند. [۱]

در خصوص زوایای قائم نیز به صورت چهار کوپل رفت و برگشت مشاهدات صورت گرفته و در جداول مشاهدات ثبت می گردند در واقع جهت محاسبه طول های افقی از طول های مایل تصحیح شده در کنار زوایای قائم یا زنیتی استفاده شده و با استفاده از این دو مولفه طول های افقی محاسبه می شوند. البته تصحیحات ایستگاهی در خصوص زوایای قائم مطابق دستورالعمل همسان نقشه برداری ، صورت می گیرد و در صورت پذیرش کوپل ها در جدول مشاهدات ثبت خواهند شد.

۳-۲-۱- سرشکنی شبکه خارج سد به روش قیود داخلی

معادلات نرمال مشاهدات افقی به تعداد ۴۳ طول و مشاهدات زوایای افقی به تعداد ۷۲ زاویه نوشته می شود، و فاکتور واریانس اولیه را یک در نظر گرفته و وزن دهی به مشاهدات را در دو مولفه طول و زاویه به صورت زیر انجام داده می شود:

مشاهدات مرحلهٔ اول شبکه ژئودتیک پیلارهای خارج سد ۱۵خرداد به قیود داخلی سرشکن شده اند. مختصات سرشکن شده پیلارهای خارج سد به همراه ابعاد بیضی خطای نقاط درسطح اطمینان ۹۵٪ در جدول شمارهٔ ۵ درج شده است.

همانطوری که ملاحظه می شود حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطای ضعیفترین نقاط در سطح اطمینان ۹۵٪ مربوط به پیلار PR7 و برابربا ۰/۵ میلیمتر می باشد. مختصات حاصل از این شبکه در محاسبات سرشکنی شبکهٔ روی بدنه سد مورد استفاده قرارگرفته اند. در جدول شمارهٔ ۵ خلاصه نتایج درج شده است.

جدول۵- مختصات سرشکن شده پیلارهای خارج سد ۱۵ خرداد به همراه ابعاد بیضی خطا ی نقاط مرحله اول

نقاط	X (m)	Y (m)	A (mm)	B (mm)	AZ (deg)
PR7	۴۶۴۱۲۲,۸۰۱۹	۳۷۷۱۳۴۴,۳۹۸۴	0.0	0.0	0
PL2	۴۶۴۱۶۱,۲۴۴۲	۳۷۷۰۹۷۱,۱۶۵۴	۰.۵	0.0	۱۷۴
PR1	۴۶۴۴۹۲,۳۹۴۴	۳۷۷۱۱۵۵,۰۸۵۶	0.9	0.4	154
PR2	۴۶۴۴۵۷,۹۲۲۵	۳۷۷۱۱۶۸,۲۴۹۶	0.8	0.4	153
PR4	۴۶۴۴۳۳,۵۱۸۳	۳۷۷۱۱۹۵,۲۹۱۷	0.7	0.4	151
PR5	۴۶۴۴۱۶,۷۹۲۷	۳۷۷۱۱۹۴,۱۸۴۱	0.6	0.5	150
PR6	۴۶۴۳۴۲,۴۰۸۸	۳۷۷۱۱۹۶,۹۵۰۴	0.6	0.5	143
PL1	۴۶۴۲۳۴,۲۰۸۰	۳۷۷۰۹۲۷,۷۲۴۶	0.6	0.4	140
PL3	۴۶۴۱۷۹,۵۵۹۷	۳۷۷۰۹۹۱,۶۲۸۱	0.5	0.3	4
PL4	۴۶۴۱۷۲,۵۹۷۴	۳۷۷۱۰۲۰,۷۱۷۳	۰.۵	0.3	170
PL5	۴۶۴۱۲۸,۷۵۶۲	۳۷۷۱۰۴۸,۴۱۸۸	۰.۶	0.4	159

یکی از مشخصه های بسیار مهم در شبکه های ژئودتیک، پارامتر قابلیت اطمینان می باشد که بیانگر توانمندی شبکه در کشف مشاهدات اشتباه و مقاومت شبکه در برابر مشاهدات اشتباه احتمالی غیر قابل کشف می باشد.

۴- مشاهدات شبکه مسطحاتی روی بدنه سد

۴-۱- مشاهدات شبکه مسطحاتی روی بدنه سد مرحله اول

پس از حصول مختصات های سرشکن شده شبکه پیلارهای خارج سد مطابق جدول ۵ ، مشاهدات از روی ایستگاه های شبکه پیلارهای خارج سد به نقاط هدف که روی بدنه سد طراحی و نصب شده اند صورت می گیرد، سعی بر این است از حداکثر نقاط شبکه به هر یک از نقاط روی بدنه سد مشاهدات طول مایل و زوایای قائم و افقی صورت گیرد ، هرچه تعداد این مشاهدات بالا رود دقت سرشکنی بیشتر خواهد شد و به بیضی خطای کوچکتری دست خواهیم یافت، البته در این مرحله که سرشکنی حداکثر قیود نام دارد ، قیودی به شبکه سرشکنی تزریق می شود که همان ایستگاه های سرشکن شده پیلارهای خارج سد می باشد، این ایستگاه ها به عنوان مختصات های معلوم و در واقع قیود به شبکه سرشکنی تزریق می شود ، انتساب نام سرشکنی حداکثر قیود نیز به سبب تعداد بالای ایستگاه هایی می باشد که جهت انجام مشاهدات

روی بدنه سد از شبکه خارج سد مورد استفاده قرار می گیرند، سرشکنی مشاهدات روی بدنه سد نیز به روش حداکثر قیود انجام شده و مانند سرشکنی شبکه پیلارهای خارج سد ، پس از سرشکنی و محاسبه مختصات های نقاط هدف (نقاط روی بدنه سد) آزمون های آماری مذکور که در شبکه پیلارهای خارج سد مورد استفاده قرار گرفته بود اینجا نیز مورد استفاده قرار گرفته و پس از تحلیل های نهایی و آنالیزهای آماری لازم و مورد پذیرش قرار گرفتن نوع سرشکنی و مدل ریاضی انتخابی و مشاهدات انجام شده در فضای اطمینان ۹۵٪ خروجی مختصات های سرشکن شده روی بدنه سد نیز به شرح جدول ۶ محاسبه و ارائه می گردد. [۲]

جدول۶- مختصات سرشکن شده نقاط روی بنه سد ۱۵ خرداد به همراه بیضی خطا در سطح اطمینان ۹۵٪ مرحله اول (۱۳۸۸/۴)

نقاط	X (m)	Y (m)	A (mm)	B (mm)	آزیموت درجه
CD1	464262.7883	3771014.5179	0.9	0.5	73
CD2	464291.9955	3771040.8124	0.8	0.7	38
CD3	464316.7548	3771063.6100	1.0	0.7	53
CD4	464346.0958	3771090.1962	0.8	0.7	59
CD5	464370.4222	3771112.4471	0.9	0.6	59
CU1	464269.4943	3771006.0450	0.9	0.5	79
CU2	464298.9187	3771032.7729	0.8	0.7	42
CU3	464323.8716	3771055.6714	0.8	0.7	47
CU4	464353.4848	3771082.7917	0.8	0.7	54
CU5	464378.2477	3771105.3072	0.8	0.6	58
D1	464247.3143	3771030.7376	0.8	0.4	73
D2	464268.2512	3771059.3452	0.8	0.5	59
D3	464290.9396	3771090.0965	0.8	0.6	41
D4	464315.2105	3771122.9502	0.8	0.5	26
D5	464335.4699	3771150.4315	0.8	0.5	63
D6	464221.1566	3771057.3254	0.7	0.4	60
D7	464245.2690	3771087.4481	1.0	0.7	42
D8	464322.0675	3771165.4789	0.8	0.5	74
D9	464290.3777	3771150.5632	0.8	0.4	51
D10	464252.3835	3771133.0847	0.8	0.6	51
D11	464220.0779	3771117.7794	0.9	0.6	63
D12	464186.4608	3771091.6859	0.7	0.4	31
D13	464164.3783	3771114.9088	0.9	0.6	165
D14	464197.1651	3771145.7856	0.8	0.6	28
D15	464221.1937	3771167.8320	0.8	0.6	57
D16	464270.1316	3771173.3190	0.8	0.5	72
D17	464298.2734	3771190.7823	1.0	1.0	50
U1	464279.0153	3770996.3737	0.8	0.5	42
U2	464307.3067	3771021.8706	0.8	0.7	46
U3	464331.8853	3771045.0684	0.8	0.7	47
U4	464360.3697	3771072.5135	0.8	0.7	49
U5	464386.2273	3771095.5638	0.9	0.8	78
U6	464302.9259	3770967.3371	0.8	0.5	67
U10	464411.4418	3771069.9608	0.9	0.6	28

۴-۲- مشاهدات شبکه پیلارهای خارج سد مرحله دوم

مانند مراحلی که در خصوص مشاهدات شبکه پیلارهای خارج سد مرحله اول ذکر شد، در این مرحله نیز پس از گذشت مدت زمان لازم که در این پروژه فاصله زمانی یک سال رعایت شده است، در واقع پس از گذشت یک سال ، مجددا مشاهدات شبکه پیلارهای خارج سد با همان استانداردهایی که قبلا اشاره شده صورت گرفته و مشاهدات طول مایل، زوایای قائم و افقی مانند مرحله اول صورت گرفت و سرشکنی مشاهدات در این مرحله نیز مانند مرحله قبل به روش قیود داخلی صورت گرفته است، و نتایج طبق جدول ۷ محاسبه و ارائه گردیده است.

جدول۷- مختصات سرشکن شده پیلارهای خارج سد ۱۵ خرداد به همراه ابعاد بیضی خطای نقاط در سطح اطمینان ۹۵٪ ـ مرحله دوم (۱۳۸۹/۳)

نقاط	X (m)	Y (m)	A (mm)	B (mm)	AZ (deg)
PR7	464122.8019	3771344.3984	0.0	0.0	0
PL2	464161.2441	3770971.1656	0.5	0.0	174
PR1	464492.3943	3771155.0857	0.8	0.4	156
PR2	464457.9221	3771168.2498	0.7	0.4	153
PR4	464433.5176	3771195.2916	0.6	0.4	153
PR5	464416.7926	3771194.1842	0.5	0.4	154
PR6	464342.4088	3771196.9510	0.5	0.4	148
PL1	464234.2087	3770927.7242	0.5	0.4	146
PL3	464179.5598	3770991.6276	0.5	0.3	3
PL4	464172.5974	3771020.7180	0.5	0.3	166
PL5	464128.7563	3771048.4179	0.6	0.4	165

همانطوری که ملاحظه می شود حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطای ضعیفترین نقطه در سطح اطمینان ۹۵٪ در مراحل اول و دوم مربوط به پیلار PR1 به ترتیب برابربا ۰/۹ و ۰/۸ میلیمتر می باشد.

تمامی آزمون های آماری روی محاسبات سرشکنی انجام شده و مختصات های برآورد شده سرشکنی شبکه پیلارهای خارج سد مرحله دوم نیز مانند مرحله اول صورت می گیرد و پس از پذیرش مشاهدات انجام شده در بازه اطمینان تعریف شده که اینجا ۹۵٪ می باشد نتایج به شرح جدول جدول ۷ ارائه می گردد.

در این مرحله دو دسته مختصات از شبکه خارج سد برآورد شده است که یک بازه زمانی یکساله داشته است، درواقع طراحی نقاط خارج سد به این دلیل بوده است که خارج از منطقه ناپایدار دارای جابه جایی احتمالی باشیم که از روی این نقاط که ثابت و بدون جابه جایی فرض شده اند بتوانیم نقاطی را که احتمال جابه جایی دارد آنالیز کرده و به بردارهای جابه جایی آنها دست یابیم، از این رو احتمال اینکه در دو مرحله مشاهدات انجام شده روی شبکه خارج سد نقطه ای از نقاط شبکه جابه جا شده باشد محتمل است، به این دلیل باید آزمون پایداری و ناپایداری نقاط شبکه اصلی انجام شود تا از عدم جابه جایی نقاط شبکه کنترل اطمینان حاصل شود.

۴-۲-۱- مشاهدات شبکه روی بدنه سد مرحله دوم

پس از مشاهدات و سرشکنی مختصات‌های ایستگاه‌های شبکه خارج سد ۱۵ خرداد، مشاهدات با استانداردهای مذکور در مرحله اول مجددا روی ایستگاه های مستقر روی بدنه سد صورت می گیرد، همواره در این مرحله باید توجه داشت که

مشاهدات طول مایل به صورت رفت و برگشت با اعمال تصحیحات جوی در جداول ثبت می شود و مشاهدات زوایای قائم نیز به صورت کوپل قرائت شده ، در جدول ثبت می شود و در غیر اینصورت تکرار خواهد شد ، زوایای افقی نیز بصورت کوپل حداقل ۴ بار مشاهده شده و میانگین هر یک از کوپل ها در جدول ثبت و در نهایت برای هر یک از زوایای افقی که ۴ کوپل باشد یک میانگین بدست خواهد آمد و از روی این ۴ کوپل مشاهده زوایای افقی انحراف معیار و واریانس آن مشاهده بدست می آید که در تشکیل ماتریس وزن مشاهدات در سرشکنی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

نکته حائز اهمیت درجه آزادی در مشاهدات شبکه روی بدنه سد است ، در این روش ایستگاه های شبکه خارج سد به صورت ثابت و بدون خطا منظور می گردد و در واقع بصورت قیود ثابت به شبکه سرشکنی تزریق خواهد شد و این بدان معنی است که برای ایجاد بیضی خطای مطلق کوچکتر روی هر یک از ایستگاه های شبکه روی سد (شبکه مسطحاتی) می باید تعداد این قیود ثابت را افزایش داد، درواقع با افزایش تعداد ایستگاه های استقرار (پیلارهای شبکه خارج سد) مشاهدات مورد نظر طولی و زاویه ای (قائم و افقی) به نقطه مورد نظر روی سد صورت می گیرد و هر چه تعداد این ایستگاه های پیلارهای شبکه خارج سد به آن نقطه افزایش یابد درجه آزادی بیشتر و منجر به کوچک شدن بیضی خطای مطلق آن نقطه می گردد.

جدول۸- مختصات های سرشکن شده شبکه روی بدنه سد به همراه پارامترهای بیضی خطای مطلق نقاط مرحله دوم

نقاط روی بدنه سد	X (m)	Y (m)	A (mm)	B (mm)	آزیموت (deg)
CD1	464262.7907	3771014.5186	0.7	0.4	74
CD2	464291.9969	3771040.8122	0.7	0.6	34
CD3	464316.7552	3771063.6093	0.7	0.7	8
CD4	464346.0965	3771090.1940	0.8	0.7	135
CD5	464370.4219	3771112.4449	0.7	0.5	65
CU1	464269.4966	3771006.0460	0.7	0.5	80
CU2	464298.9208	3771032.7730	0.7	0.6	39
CU3	464323.8726	3771055.6701	0.7	0.6	44
CU4	464353.4846	3771082.7902	0.7	0.6	55
CU5	464378.2470	3771105.3058	0.7	0.5	58
D1	464247.3165	3771030.7375	0.7	0.4	74
D2	464268.2532	3771059.3448	0.7	0.5	60
D3	464290.9400	3771090.0960	0.7	0.5	40
D4	464315.2102	3771122.9492	0.7	0.4	24
D5	464335.4695	3771150.4310	0.7	0.5	64
D6	464221.1566	3771057.3260	0.7	0.5	97
D7	464245.2701	3771087.4494	0.7	0.5	53
D8	464322.0673	3771165.4782	0.7	0.5	76
D9	464290.3783	3771150.5630	0.7	0.4	51
D10	464252.3835	3771133.0851	0.7	0.6	36
D11	464220.0781	3771117.7793	0.7	0.5	39
D12	464186.4613	3771091.6862	0.6	0.4	28
D13	464164.3787	3771114.9097	0.7	0.4	14
D14	464197.1657	3771145.7860	0.7	0.5	25
D15	464221.1936	3771167.8325	0.8	0.6	82
D16	464270.1314	3771173.3188	0.7	0.4	74
D17	464298.2737	3771190.7830	0.9	0.9	128
U1	464279.0168	3770996.3755	0.7	0.5	40
U2	464307.3076	3771021.8713	0.7	0.6	44
U3	464331.8854	3771045.0675	0.8	0.7	12
U4	464360.3690	3771072.5123	0.7	0.6	39
U5	464386.2259	3771095.5628	0.7	0.5	49
U6	464302.9267	3770967.3372	0.7	0.5	67
U10	464411.4414	3771069.9601	0.7	0.5	29

حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطا در سطح اطمینان ۹۵٪ در مراحل اول مربوط به نقاط نشانهٔ CD3، D7 و D17 و در مرحله دوم مربوط به نقطه نشانه D17 و به ترتیب برابر با ۱/۰ و ۰/۹ میلیمتر می باشد.

جدول۹- حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطا در سطح اطمینان ۹۵٪

مرحله	شبکه	حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطا (mm)	نام نقطه
اول	پیلارهای خارج سد	۰,۹	PR1
	روی بدنه سد	۱,۰	D7.CD3.D17
دوم	پیلارهای خارج سد	۰,۸	PR1
	روی بدنه سد	۰,۹	D17

۵- آنالیز جابه جایی [۳]

۵-۱- استفاده از فرض آماری

بر اساس نتایج سرشکنی دو سری اندازه گیری، اجزای سه بعدی جابه جایی هر نقطه به دست می آید:

$$\Delta X_i = X_i^{(2)} - X_i^{(1)} \quad (۳)$$

$$\Delta Y_i = Y_i^{(2)} - Y_i^{(1)} \quad (۴)$$

$$\Delta Z_i = Z_i^{(2)} - Z_i^{(1)} \quad (۵)$$

$$d_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta X_i^2} \quad (۶)$$

$$\emptyset = tan^{-1} \frac{\Delta X_i}{\Delta Y_i} \quad (۷)$$

که در آن di مقدار جابه جایی افقی و فی آزیموت بردار جابه جایی است. با مستقل فرض کردن مختصات دو اپک اندازه گیری خواهیم داشت:

$$\sigma di = \mp \sqrt{t_1^2\left(\sigma^2_{x_i^{(1)}} + \sigma^2_{x_i^{(2)}}\right) + t_1^2\left(\sigma^2_{y_i^{(1)}} + \sigma^2_{y_i^{(2)}}\right) + 2t1t2\left(\sigma^2_{x_i^{(1)}y_i^{(1)}} + \sigma^2_{x_i^{(2)}y_i^{(2)}}\right)} \quad (۸)$$

$$t_1 = \frac{\Delta XI}{di} \quad (۹)$$

$$t_2 = \frac{\Delta YI}{di} \quad (۱۰)$$

۵-۲- جابه جایی افقی

آماره $t_1 = \frac{di}{6di}$ را تشکیل می دهیم ، این آماره از تابع توزیع τ تبعیت می کند. اگر $ti < \tau_r$ باشد ، انگاه نقطه i

ام جا به جا نشده است. و اگر بزرگتر باشد می گوییم نقطه مذکور جابه جا شده است. τ_r تابع توزیع "Tau" و r مجموعه اعداد آزادی دو اپک می باشد.

۵-۲-۱- استفاده از بیضی جابه جایی

ابعاد بیضی جابه جایی از طریق ماتریس واریانس کوواریانس اختلاف مختصات دو مرحله محاسبه می شود، با ضرب عدد ۳،۰۳۴۹ در ابعاد بیضی جابه جایی می توان بیضی جابه جایی را در سطح اطمینان ۹۹٪ به دست آورد. با مقایسه بردارهای جابه جایی و ابعاد بیضی جابه جایی ۹۹٪ (به صورت گرافیکی) می توان در خصوص واقعی یا غیرواقعی بودن جابه جایی نتیجه گیری نمود. اگر بردار جابه جایی در داخل بیضی جابه جایی ۹۹٪ قرار گیرد جابه جایی غیر واقعی و در غیر این صورت واقعی می باشد.

۵-۲-۱-۱- محاسبه پارامترهای بیضی اطمینان بردار جابه جایی

بیضی اطمینان دارای سه پارامتر است :

Aنصف قطر اطول بیضی

Bنصف قطر کوچک بیضی و گاما زاویه دوران بیضی.

مجموع ماتریس های واریانس کواریانس مجهولات برآورد شده، ماتریس واریانس کوواریانس بردار جابه جایی را می دهد:

$$C_{\hat{d}} = C_{\dot{x}1} + C_{\dot{x}2} \qquad (۱۱)$$

$$a^2 = \frac{1}{2}\left[\delta^2{}_{dx} + \delta^2{}_{dy} + \sqrt{\left(\delta^2{}_{dx} - \delta^2{}_{dy}\right)^2 + 4\delta^2{}_{dxdy}}\right. \qquad (۱۲)$$

$$b^2 = \frac{1}{2}\left[\delta^2{}_{dx} + \delta^2{}_{dy} - \sqrt{\left(\delta^2{}_{dx} - \delta^2{}_{dy}\right)^2 + 4\delta^2{}_{dxdy}}\right. \qquad (۱۳)$$

جدول ۱۰- علامت گاما جهت تشخیص نواحی چهار گانه

ربع صحیح 2γ	علامت مخرج	علامت صورت
۱	+	+
۲	−	−
۳	−	−
۴	+	+

به ربعی که دو برابر گاما در آن قرار گرفته است طبق جدول فوق باید توجه شود.

ضمنا محاسبه و برآورد پارامترهای بیضی خطای جابه جایی از روی ماتریس واریانس کواریانس بردار جابه جایی می باشد و برنامه محاسبه آن در متلب مانند برنامه محاسبه پارامترهای بیضی خطای مطلق از روی ماتریس های واریانس کواریانس مجهولات می باشد فقط بجای ماتریس واریانس کواریانس مجهولات از ماتریس واریانس کواریانس بردار جابه جایی استفاده شده است.

جدول شماره ۱۱ مقادیر جابه جایی های مسطحاتی به همراه ابعاد بیضی خطای جابه جایی در سطح اطمینان ۹۹٪ را ارایه می دهد، ستون چهارم مقدار D، بردار جابه جایی است که همان فاصله اقلیدوسی بین دو نقطه است و ستون پنجم که AZ، آزیموت می باشد که زاویه حامل است و با در نظر گرفتن علامت گاما مطابق جدول ۱۰ آزیموت آن مشخص و محاسبه می شود. سه ستون دیگر به ترتیب اندازه نصف قطر بزرگ و کوچک بیضی جابه جایی و آزیموت آن می باشد.

جدول۱۱- شبکه پیلار های خارج سد- مقادیر جابجاییهای مسطحاتی به همراه ابعاد بیضی خطای جابجایی- سطح اطمینان ۹۹٪

نقاط	Δx (mm)	Δy mm	D mm	AZ dd	A mm	B mm	az dd	جابه جایی
PL2	-0.02	0.16	0.16	354	0.9	0.0	174	Not Moved
PR1	-0.09	0.11	0.15	319	1.4	0.7	155	Not Moved
PR2	-0.4	0.21	0.46	298	1.3	0.7	153	Not Moved
PR4	-0.71	-0.12	0.72	260	1.1	0.7	152	Not Moved
PR5	-0.08	0.15	0.17	332	1.0	0.8	152	Not Moved
PR6	0.01	0.56	0.56	1	1.0	0.8	145	Not Moved
PL1	0.71	-0.34	0.79	115	1.0	0.8	142	Not Moved
PL3	0.14	-0.49	0.5	164	0.8	0.5	4	Not Moved
PL4	-0.07	0.7	0.7	354	0.9	0.6	168	Not Moved
PL5	0.12	-0.93	0.93	172	1.0	0.7	162	Not Moved

با در نظر گرفتن اندازه بردار جابه جایی یعنی D با نصف قطر اطول بیضی یعنی A مشخص می شود آیا نقطه جابه جایی معنی دار داشته است یا خیر، به عبارتی در صورتی از این نقاط در سرشکنی و مشاهدات نقاط شبکه داخل سد در مرحله دوم استفاده می شود که هیچ یک از نقاط در این مرحله جابه جایی نداشته باشد، در واقع داخل بیضی خطایی قرار گیرد که نشان می دهد در دو مرحله شبکه پیلارهای خارج سد یک وضعیت پایدار داشته و می تواند به عنوان قیود در سرشکنی و مشاهدات شبکه داخل سد مورد استفاده قرار گیرد.

مطابق جدول شماره۱۱ هیچ یک از نقاط جابه جا نشده است چرا که تمام آنها داخل بیضی خطا قرار گرفته اند.

۶- بردارهای جابه جایی شبکه روی بدنه سد

تفاضل مولفه های x,y نقاط هر یک از نقاط شبکه روی بدنه سد خاکی ۱۵ خرداد قم اندازه بردارهای جابه جایی

مورد نظر را در هر یک از نقاط ارائه می دهد. مطابق جداول شماره های ۶ و ۸ ، مختصات های سرشکن شده نقاط روی بدنه سد خاکی در مرحله اول و دوم محاسبه و ارائه شده است، که تفاضل این مختصات ها اندازه بردار جابه جایی هر یک از نقاط فوق را مطابق جدول شماره ۱۲ ، مشخص می کند، علاوه بر بزرگی بردار جابه جایی نقاط باید پارامترهای بیضی خطای مطلق بردارهای جابه جایی نیز محاسبه و ارائه گردد که در همان جدول شماره ۱۲ارائه شده است، درواقع با مقایسه بزرگی بردار جابه جایی و بیضی خطای مطلق جابه جایی مشخص می گردد که آیا نقاط مورد نظر روی بدنه سد جابه جایی معنی دار دارند یا خیر؟ اگر بزرگی بردار جابه جایی از حداکثر نیم قطر اطول بیضی خطای جابه جایی بزرگتر شده باشد در این صورت بردار جابه جایی در آن نقطه معنی دار بوده و جابه جایی صورت گرفته است در غیر این صورت آن نقطه فاقد جابه جایی معرفی می گردد.

ستون چهارم جدول ۱۲ بزرگی بردار جابه جایی بر حسب میلیمتر و ستون پنجم آزیموت بردار جابه جایی است که از روی زاویه حامل با توجه به مولفه های طولی و عرضی بدست آمده تفاضلی محاسبه می شود.

جدول۱۲- شبکه نقاط نشانه روی بدنه سد- مقادیرجابجایی‌های مسطحاتی به همراه ابعاد بیضی خطای جابجایی- سطح اطمینان۹۹٪

نقاط روی بدنه سد	Δx (mm)	Δy (mm)	D (mm)	AZ dd	A mm	B mm	az (deg)	جابه جایی مسطحاتی
CD1	2.37	0.66	2.46	74	1.4	0.8	73	Moved
CD2	1.36	-0.2	1.38	98	1.3	1.1	37	Moved
CD3	0.36	-0.69	0.77	152	1.5	1.3	47	Not Moved
CD4	0.68	-2.2	2.3	162	1.4	1.3	66	Moved
CD5	-0.22	-2.17	2.18	185	1.5	1.0	61	Moved
CU1	2.33	0.99	2.53	67	1.4	0.8	80	Moved
CU2	2.16	0.13	2.17	86	1.3	1.1	40	Moved
CU3	1.03	-1.31	1.66	141	1.4	1.2	46	Moved
CU4	-0.13	-1.46	1.46	185	1.4	1.1	54	Moved
CU5	-0.78	-1.41	1.61	209	1.4	1.0	58	Moved
D1	2.17	-0.1	2.17	92	1.2	0.7	73	Moved
D2	1.98	-0.45	2.03	102	1.3	0.9	59	Moved
D3	0.42	-0.42	0.6	135	1.3	1.0	41	Not Moved
D4	-0.34	-0.99	1.05	199	1.3	0.8	25	Not Moved
D5	-0.42	-0.53	0.67	218	1.4	0.8	64	Not Moved
D6	0	0.63	0.63	0	1.2	0.9	74	Not Moved
D7	1.02	1.3	1.65	38	1.5	1.0	45	Moved
D8	-0.27	-0.65	0.71	202	1.4	0.9	75	Not Moved
D9	0.53	-0.17	0.56	108	1.3	0.8	51	Not Moved
D10	-0.08	0.33	0.34	346	1.3	1.1	49	Not Moved
D11	0.22	-0.07	0.24	108	1.3	1.0	54	Not Moved
D12	0.57	0.3	0.64	62	1.1	0.7	30	Not Moved
D13	0.42	0.83	0.93	27	1.3	0.9	176	Not Moved
D14	0.58	0.39	0.7	56	1.2	1.0	27	Not Moved
D15	-0.03	0.57	0.57	357	1.3	1.1	71	Not Moved
D16	-0.12	-0.21	0.24	211	1.3	0.8	73	Not Moved

ستون ششم و هفتم حداکثر نیم قطرهای بیضی خطا را ارائه می دهد که از روی ماتریس واریانس کوواریانس بردارهای جابه جایی بدست آمده است و ستون هشتم نیز آزیموت نیم قطر اطول بیضی خطا می باشد.

۷- استرین، استرس

۷-۱- تعریف استرین

"نرخ تغییرات میدان جابجایی نسبت به موقعیت است.

میدان جابجایی یک تابعی است برحسب موقعیت که میزان جابجایی نقاط را به ما می‌دهد. یک میدان جابجایی در حقیقت یک مدل جابجایی است که تابعی است از موقعیت. یعنی ما موقعیت نقطه را به آن می‌دهیم و میزان جابجایی را از آن می‌گیریم.

$$d=\begin{bmatrix}\Delta x(x,y)\\ \Delta y(x,y)\end{bmatrix} \qquad r=\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix} \tag{۱۴}$$

$$E=\frac{\partial(\Delta x,\Delta y)}{\partial(x,y)}=\frac{\partial d}{\partial r}=\begin{bmatrix}\frac{\partial \Delta x}{\partial x} & \frac{\partial \Delta x}{\partial y}\\ \frac{\partial \Delta y}{\partial x} & \frac{\partial \Delta y}{\partial y}\end{bmatrix}_{2\times 2}=\begin{bmatrix}e_{xx} & e_{xy}\\ e_{yx} & e_{yy}\end{bmatrix}_{2\times 2} \tag{۱۵}$$

(ماتریس استرین)

ما اگر بتوانیم برای شبکه خودمان برای نقاط شبکه ماتریس استرین را بدست بیاوریم می‌توانیم چگونگی تغییر شکل شبکه در آن محل را تغییر کنیم. این ماتریس 2×2 بیانگر تمامی حرکات و تغییر شکل‌های یک جسم می‌تواند باشد. استرین یک روش صرفاً هندسی برای بیان deformation اجسام است.

نکته: ماتریس استرین لزوماً متقارن نیست.

از ریاضیات می‌دانیم که هر ماتریس را می‌توانیم به صورت حاصل جمع یک ماتریس متقارن و یک ماتریس پادمتقارن بنویسیم. به قسمت متقارن ماتریس استرین می‌گویند تنسور استرین.

ثابت می‌شود قسمت متقارن یک ماتریس استرین یک تنسور است.

$$E=\frac{1}{2}\left(E+E^T\right)+\frac{1}{2}\left(E-E^T\right)=S+A \tag{۱۶}$$

$$S=\frac{1}{2}\left(E+E^T\right)=\begin{bmatrix}e_{xx} & \frac{e_{xy}+e_{yx}}{2}\\ \frac{e_{xy+yx}}{2} & e_{yy}\end{bmatrix} \tag{۱۷}$$

$$A=\frac{1}{2}\left(E-E^{T}\right)=\begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}\left(e_{xy}-e_{yx}\right) \\ \frac{1}{2}\left(e_{yx}-e_{xy}\right) & 0 \end{bmatrix} \qquad \omega=\frac{1}{2}\left(e_{xy}-e_{yx}\right) \tag{۱۸}$$

قسمت پادمتقارن یک ماتریس استرین (A) بیانگر دوران است واحد این دوران رادیان است.

قسمت متقارن ماتریس استرین را یعنی تنسور استرین را به صورت حاصل جمع سه ماتریس می‌نویسیم.

$$S=\begin{bmatrix} \underbrace{\frac{1}{2}\left(e_{xx}+e_{yy}\right)}_{\sigma} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\left(e_{xx}+e_{yy}\right) \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} \underbrace{\frac{1}{2}\left(e_{xx}-e_{yy}\right)}_{\tau} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\left(e_{yy}-e_{xx}\right) \end{bmatrix}+ \begin{bmatrix} 0 & \underbrace{\frac{1}{2}\left(e_{xx}+e_{yx}\right)}_{\gamma} \\ \frac{1}{2}\left(e_{yx}+e_{xy}\right) & 0 \end{bmatrix} \tag{۱۹}$$

مشابه بیضی خطاها، ما بیضی استرین داریم. بیضی استرین را برای قسمت متقارن ماتریس استرین یعنی تنسور استرین تعریف می‌کنیم که نیم قطر اطول و اقصر آن عبارتند از:

$$\begin{aligned} a &= |\lambda_1| \\ b &= |\lambda_2| \end{aligned} \tag{۲۰}$$

چرا برای نیم قطر اطول و اقصر بیضی استرین از قدر مطلق مقادیر ویژه استفاده کرده‌ایم؟ چون ممکن است λ_1 و λ_2 منفی هم بشوند. زیرا قسمت متقارن ماتریس استرین که همان تنسور استرین است لزوماً یک ماتریس p.d (معین مثبت) نیست ممکن است p.d نباشد بنابراین مقادیر ویژه‌ای که بدست می‌آوریم ممکن است منفی هم باشند. بنابراین قدرمطلق اینها را به عنوان a و b در نظر می‌گیریم. مقادیر ویژه‌ی مثبت بیانگر انبساط و مقادیر ویژه منفی بیانگر انقباض است.

متناظر با هر مقدار ویژه‌ای ما بردار ویژه خواهیم داشت که به بردارهای ویژه تنسور استرین می‌گویند راستاهای اصلی. راستاهای اصلی در حقیقت امتدادهایی هستند که در آن امتدادها هیچگونه برشی صورت نگرفته است. بنابراین در راستاهای اصلی ما فقط انبساط و انقباض داریم. هیچ گونه برشی در راستاهای اصلی صورت نگرفته است.

اگر بیضی استرین ما دایره‌ای بشود یعنی در هیچ امتدادی ما برش نداریم. وقتی دایره می‌شود که خارج قطر اصلی صفر و روی قطر اصلی با هم برابر باشد.

روش تعیین ماتریس استرین با روش المان محدود:

برای اینکه بتوانیم ماتریس استرین را بدست آوریم اولین کار این است که یک مدل جابجایی داشته باشیم یعنی یک Δx که تابعی باشد از y,x و یک Δy که تابعی باشد از y,x

$$d=\begin{bmatrix} \Delta x(x,y) \\ \Delta y(x,y) \end{bmatrix} \tag{۲۱}$$

$$\begin{cases} \Delta x=\Delta x(x,y)=a_0+a_1x+a_2y+a_3xy+a_4x^2+a_5y^2+\ldots \\ \Delta y=\Delta y(x,y)=b_0+b_1x+b_2y+b_3xy+\ldots \end{cases} \tag{۲۲}$$

تابعی را که در این درس به Δx و Δy برازش می‌دهیم تابع زیر است و این یک تقریب خیلی خوبی از مدل جابجایی ما خواهد بود و نیازی نیست به اینکه از چند جمله‌ای‌های درجات بالاتر استفاده کنیم زیرا جابجایی‌های ما خیلی کوچک است.

$$\begin{cases} \Delta x=a_0+a_1x+a_2y \\ \Delta y=b_0+b_1x+b_2y \end{cases} \tag{۲۳}$$

$$E=\begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{bmatrix} \tag{۲۴}$$

۷-۱-۱- قانون هوک[۱] و پارامترهای تانسور استرس

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= \frac{E}{1-v^2}*(\varepsilon_{xx}+v*\varepsilon_{yy}) \\ \sigma_{yy} &= \frac{E}{1-v^2}*(\varepsilon_{yy}+v*\varepsilon_{xx}) \\ \sigma_{xy} &= G*\varepsilon_{xy}=\frac{E}{2*(1+v)}*\varepsilon_{xy} \end{aligned} \tag{۲۵}$$

در این رابطه (۲۵) G ضریب برشی و E ضریب یانگ می باشد که برابر 7*10^10 نیوتن بر مترمربع می باشد، پارامترهای استرس نرمال نیز به صورت 6xx, 6yy, 6zz, بیان می شوند و دیگر پارامترهای رابطه (۲۵) مانند 6yz, 6xy, 6xz, نیز پارامترهای استرس برشی می باشند. [۵]

v هم ضریب پوآسون است که برابر ۰,۲۵ می باشد.

$$\sigma=k*\varepsilon \tag{۲۶}$$

$$\varepsilon=[\varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yy} \quad \varepsilon_{xy}]^T \tag{۲۷}$$

$$K=\frac{E}{1-v^2}\cdot\begin{bmatrix} 1 & v & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-v}{2} \end{bmatrix} \tag{۲۸}$$

$$\tilde{\sigma}=\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{bmatrix} \tag{۲۹}$$

بدین ترتیب بر اساس رابطه (۲۸) و (۲۹) تانسور استرس نیز محاسبه می شود[۵]

---

۱ Hook Law

جدول۱۳- پارامترهای بیضی استرین مراکز مثلث های سطح بدنه سد ۱۵ خرداد

آزیموت	نیم قطر کوچک بیضی	نیم قطر اطول بیضی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
72.92638	-7.23E-06	6.33E-06	34.0807	50.6129
34.97518	-6.47E-06	-4.50E-06	34.08021	50.61198
55.86214	-7.36E-06	2.53E-06	34.08003	50.61216
79.87209	-8.85E-06	-4.47E-07	34.08058	50.61248
11.74291	-1.39E-05	-1.19E-05	34.08016	50.61239
89.2821	-5.48E-06	8.04E-06	34.07984	50.6135
57.45005	2.82E-06	9.61E-06	34.08013	50.61352
87.88621	1.44E-06	8.06E-06	34.08026	50.61372
51.21157	-1.01E-05	-1.01E-06	34.08047	50.61331
57.45005	9.41E-07	3.20E-06	34.07988	50.61324
22.42407	3.81E-07	5.66E-06	34.08001	50.61366
82.68415	-6.16E-06	6.54E-06	34.08042	50.61354
37.31848	**-9.03E-06**	**1.68E-05**	**34.08031**	**50.61349**
47.18575	-4.29E-06	5.31E-06	34.08018	50.61381
18.74813	-3.59E-06	6.33E-06	34.08006	50.61378
57.4868	-9.18E-07	9.38E-06	34.07997	50.61404
48.09713	-4.94E-06	5.25E-06	34.08	50.61384
22.50157	-4.59E-06	5.29E-06	34.0799	50.61377
32.80533	-4.17E-07	1.31E-05	34.07973	50.61305
83.85513	-4.55E-06	6.35E-06	34.07954	50.6131
89.48044	-8.04E-06	7.94E-06	34.07979	50.61354
68.46436	-8.94E-06	-1.26E-06	34.07987	50.61399
57.26283	-4.40E-06	1.02E-05	34.07967	50.61347
21.97702	-6.64E-06	1.12E-05	34.07933	50.61296

طول و عرض جغرافیایی مراکز هر یک از مثلث های سطح بدنه سد در جدول ۱۳ مشخص است و همانطور که برجسته شده است حداکثر نیم قطر اطول بیضی استرین در طول جغرافیایی ۵۰,۶۱۳۴۹ و عرض جغرافیایی ۳۴,۰۸۰۳۱ با مختصات سیستم تصویر UTMT ، برابر X=464340, Y=3771128 نقطه ای از سد را نشان می دهد .پارامترهای حداکثر نیم قطر اطول بیضی استرین در طول و عرض جغرافیایی مذکور مطابق جدول ۱۳ مشخص شده است.

پارامتر دوران یا چرخش ماتریس استرین در هر یک از مثلث ها نیز مطابق جدول ۱۴ ذیل ارائه شده است. بیشترین دوران بیضی استرین در طول جغرافیایی ۵۹,۲۳۳۶۶۶۶ و عرض جغرافیایی ۳۶,۳۳۰۶۶۶ به میزان ۰,۰۰۰۰۰۰۰۱۶ رادیان می باشد.

جدول۱۴- پارامترها ی دوران بیضی استرین مراکز مثلث ها

دوران	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
7.26E-11	34.486	55.94566667
1.40E-08	34.048	58.681
-2.46E-09	33.24633333	60.76333333
-7.29E-10	35.88766667	58.31533333
-1.71E-09	34.76833333	59.35366667
3.30E-11	36.36333333	58.13133333
-6.71E-10	31.99566667	60.588
1.30E-08	34.23266667	59.33933333
1.05E-10	35.29133333	56.803
-6.92E-09	33.97633333	59.78133333
6.77E-10	33.51133333	58.12966667
-2.38E-10	34.30166667	57.869
-1.68E-10	33.557	58.87133333
5.91E-09	35.40333333	58.85666667
2.92E-09	34.55833333	58.44666667
-1.45E-10	36.44033333	56.98433333
-3.20E-10	35.577	55.07966667
1.60E-08	**36.33066667**	**59.23366667**
2.60E-10	35.01966667	57.69233333
-4.66E-10	36.814	55.81
-3.91E-10	37.461	58.05466667
1.01E-09	37.32233333	57.53
8.31E-10	36.872	56.85733333

پس از محاسبه پارامترهای ماتریس استرین ، جهت محاسبه پارامترهای ماتریس استرس از قانون هوک استفاده می شود ، برابر روابط (۲۶) ، (۲۷) ، (۲۸) (۲۹) با استفاده از قانون هوک از طریق ماتریس استرین ماتریس استرس محاسبه می شود، که جدول ۱۵ ذیل پارامترهای ماتریس استرس را ارائه می نماید.

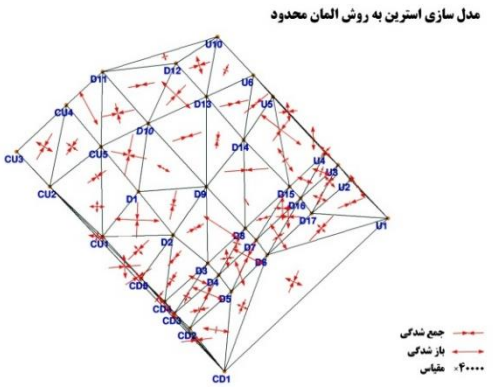
جدول۱۵- پارامترهای بیضی استرس مراکز مثلث سطح بدنه سد ۱۵ خرداد

آزیموت	حداکثر نیم قطر کوچک	حداکثر نیم قطر بیضی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
19.27887	0	0	34.08021	50.61198
36.4068	0	0	34.08003	50.61216
70.34025	0	0	34.08058	50.61248
5.93377	0	0	34.08016	50.61239
88.56442	0	0.86982	34.07984	50.6135
38.07284	1.0503	1.319	34.08013	50.61352
85.77817	0.92674	1.14604	34.08026	50.61372
31.88706	0	0	34.08047	50.61331
38.07284	0.60639	0.76152	34.07988	50.61324
11.65829	0.5906	1.01595	34.08001	50.61366
75.59936	0	0.69938	34.08042	50.61354
20.86449	**0**	**1.55019**	**34.08031**	**50.61349**
28.35492	0	0.7902	34.08018	50.61381
9.63184	0	0.98338	34.08006	50.61378
38.11219	0.69621	1.20406	34.07997	50.61404
29.12668	0	0.75492	34.08	50.61384
11.7018	0	0.84798	34.0799	50.61377
17.86381	0.79506	1.50733	34.07973	50.61305
77.84845	0	0.76583	34.07954	50.6131

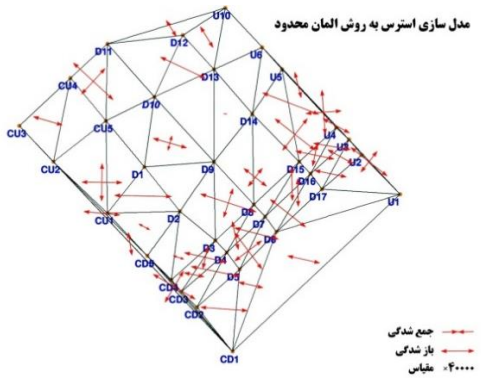
با مقایسه جدول ۱۳و ۱۵ مشخص می شود که بیشترین استرس در مختصات ارائه شده سبب بیشترین استرین شده است.

مختصات های ارائه شده توسط کارفرما و پیمانکار مانیتورینگ سد UTM نبوده است و جهت تبدیل مختصات های محلی به سیستم تصویر مرکاتور با استفاده از نرم افزار Map Source تبدیل مختصات صورت گرفت تا اطلاعات خام قابل پردازش جهت ترسیم صلیب های استرین و استرس در نرم افزار GMT آماده شود.

حاصل ترسیم تغییر شکل ها در مثلث بندی دلونی صورت گرفته روی بدنه سد در شکل۳ و میزان استرس وارده بر مراکز مثلث های فوق نیز در شکل۴ ارائه شده است.



شکل۳- مدلسازی استرین سد ۱۵ خرداد



شکل۴- مدلسازی استرس به روش المان محدود

۸- نتیجه گیری

بالاترین تغییر شکل ایجاد شده همانطور که در جدول۱۳ با رنگ قرمز مشخص شده است مربوط است به مثلث با رئوس U5,D15,U4 در همین ناحیه بالاترین استرس وجود دارد که پارامترهای آن در جدول ۱۵ ارائه شده است.

در شکل ۴ نیز میزان استرس وارد شده بر نقاط مختلف بدنه سد با توجه به میزان تغییر شکل در همان نقاط در همان مثلث با رئوس U5,D15,U4 می باشد.

البته در مثلث هایی مانند مثلث CD1,D6,D1 که منطقه دقیقا پشت آب می باشد، نیاز به تعداد نقاط بیشتری بوده تا آنالیز تغییر شکل بهتر صورت گیرد، در واقع هر چه سطح مثلث کوچکتر باشد مدلسازی استرین و استرس بهتر و دقیقتر انجام می گیرد.

مراجع

[1] Jabary Sabegh,(2008), "Adjustement and Computation of Geodetic Networks".Amidy . Tabriz.

[2] Ghilany,Wolf , 2006."Adjustment Computations".Tehran Univercity.Tehran

[3] The Management and Planning Organization,2007."Surveying Mannual".Volum 5. The Management and Planning Organization.Tehran

[4] Farzaneh, Nasary.2009."Micro Geodesy and Adjustment of Control Networks".Sabz Ava.Shirza.

[5] Gorge Mase,2009."Continuum Mechanic for Engineers".Tehran Univercity.Tehran