نشریه علمی «شهر تاب‌آور»
سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۸؛ ص ۴۰-۳۳

ارائه یک رهیافت جدید جهت کشف نقاط پایدار در شبکه کنترل سازه‌های شهری

سعید فرزانه[۱]، حسین نساری[۲]، محمدرضا سیف[۳*]

۱- استادیار دانشگاه تهران، ۲- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایوان‌غرب، ۳- پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

(دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵)

چکیده

شبکه‌های ژئودتیک امروزه سهم قابل توجهی را در تامین ایمنی در زمان ساخت و ساز و بهره‌برداری سازه‌های عمرانی شهر ایفا می‌کنند. این شبکه‌ها می‌توانند با کشف و هشدار هرگونه جابجایی معنادار در سازه‌ها از بروز فاجعه‌های بزرگ جلوگیری کنند. برای محاسبه جابجایی در شبکه‌های کنترل کشف نقاط پایدار و ناپایدار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، چرا که عدم کشف صحیح نقاط پایدار و ناپایدار به‌صورت نقص دیتوم در این شبکه‌ها ظاهر می‌شود و جابجایی‌های محاسبه‌شده را زیرسؤال می‌برد. جهت کشف نقاط پایدار و ناپایدار معمولا از دو روش مهم زیر استفاده می‌شود: الف- تست ثبات کلی درشبکه‌های میکروژئودزی، ب- کمینه‌سازی نرم L_1 بردارجابجایی هدف این مقاله، مقایسه دو روش فوق و بیان مزیت‌ها و معایب این دو روش نسبت به هم می‌باشد که در ادامه شرح دو روش و نتایج حاصل ازمقایسه این دو روش آورده شده است.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های میکروژئودزی، شبکه‌های ژئودتیک، نقص دیتوم، سرشکنی شبکه‌های کنترل

۱- مقدمه

در دنیای امروز با توجه به گسترش ساخت و ساز در نواحی شهری و برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی جابجاهای غیرقابل اغماضی در نواحی شهری رخ داده است. این جابجایی‌ها که عمدتا به شکل فرونشست در منطقه ظاهر می‌شوند، می‌تواند ایمنی شهری را به خطر اندازد. از این رو امروزه وجود شبکه‌های کنترل در سطح شهرهای بزرگ از بخش‌های مورد توجه مدیریت شهری است. از طرفی دیگر این جابجایی‌ها در ابعاد سازه‌ای، می‌تواند منجر به تخریب و صدمات جبران ناپذیر به یک سازه عمرانی گردد. در نتیجه وجود شبکه‌های کنترل جابجایی بر روی سازه‌های حجیم و حساس عمرانی مانند برج‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، سدها و غیره از بخش‌های مهم و اساسی در یک پروژه عمرانی است. این شبکه‌ها در زمان ساخت و بهره‌برداری سازه می‌توانند هرگونه جابجایی معناداری را کشف و هشدار دهند.

به شبکه‌های ژئودتیک درمفهوم عام شبکه‌های کنترل گفته می‌شود. این نوع شبکه‌ها به دو علت بر روی سازه‌ها ایجاد می‌شوند:

الف) ایجاد یک چارچوب مناسب از نقاط مختصات دار برای پیاده کردن و کنترل در حین ساخت سازه‌های مهندسی مانند سدها، پل‌ها، و نصب قطعات صنعتی با دقت بالا. در این شبکه‌ها مختصات نقاط نسبت به زمان ثابت بوده و با یک شبکه استاتیک مواجه می‌باشیم.

ب) ایجاد یک شبکه مختصات‌دار برای محاسبه میزان جابجایی یا تغییر شکلی که در یک سازه, در یک بازه زمانی اتفاق می‌افتد. چرا که این تغییر شکل وجابجایی ممکن است خطرناک باشد (مانند شکستن سد). به این نوع شبکه‌ها, شبکه‌های کنترل جابجایی ویا شبکه‌های میکروژئودزی می‌گویند. برای محاسبه جابجایی در این نوع شبکه‌ها, کشف نقاط پایدار و ناپایدار از اهمیت زیادی برخورداراست و لازم است که دو سری مختصات در دو اپک زمانی وجود داشته باشند تا بتوان به کمک آنها جابجایی را محاسبه کرد. در شبکه‌های مطلق جابجایی فرض بر این است که تعدادی از نقاط شبکه در یک فاصله زمانی پایدار مانده‌اند و با تشخیص این نقاط پایدار است که می‌توان میزان جابجایی نقاط ناپایدار ویا نقاط موضوع را محاسبه کرد. در صورتی‌که این نقاط به درستی شناسایی نشوند جابجایی‌های به‌دست‌آمده برای نقاط موضوع، تعبیر و تجزیه و تحلیل این جابجایی‌ها اعتباری نخواهند داشت. وقتی راجع به مطلق بودن جابجایی صحبت می‌شود باید نقاط مرجع پایدار دور از منطقه‌ای باشند که در آن منطقه جابجایی نقاط محاسبه می‌شود؛ یعنی

*رایانامه نویسنده مسئول: m.r.seif@ut.ac.ir

جابجایی سازه اثری روی نقاط مرجع نداشته باشد. اگر این مورد اثبات شود جابجایی مطلق نقاط حساب می‌شود. حتی نقاط مرجعی که دور ازمنطقه تغییر شکل‌پذیر انتخاب می‌شوند، ممکن است به واسطه نیروهای محلی جابجا شوند. و در اصل اطمینانی به ثبات نقاط مرجع نمی‌رود. در این صورت ضرورت یک روش کارا و مؤثر برای کشف نقاط پایدار و ناپایدار احساس می‌شود. متأسفانه این موضوع در بسیاری از پروژه‌های مهندسی بررسی نمی‌شود. چون نقاط مرجع پایدار به‌خوبی تشخیص داده نمی‌شوند جابجایی‌های تعیین‌شده برای نقاط شبکه به واسطه جابجایی سیستم مختصات شبکه است و به واسطه جابجایی واقعی این نقاط نمی‌باشد و به این جابجایی‌های محاسبه شده نمی‌توان اطمینان کرد.

۲- آزمون پایداری نقاط شبکه

فرض کنید که شبکه در دو اپک با استفاده از کانسترینت‌های داخلی سرشکن شده است وموارد روبرو به‌دست آمده‌اند:

$$(\hat{X}_1, C_{\hat{X}_1}, \hat{\sigma}_{01}^2, df_1), (\hat{X}_2, C_{\hat{X}_2}, \hat{\sigma}_{02}^2, df_2) \qquad (۱)$$

که در آن، $\hat{X}_1, \hat{X}_2$ به ترتیب مختصات سرشکن‌شده اپک اول و دوم، $C_{\hat{X}_1}, C_{\hat{X}_2}$ به ترتیب ماتریس واریانس و کوواریانس مختصات سرشکن‌شده اپک اول و دوم، $\hat{\sigma}_{01}^2, \hat{\sigma}_{02}^2$ به ترتیب فاکتور واریانس ثانویه اپک اول و دوم و df_1, df_2 به ترتیب درجات آزادی اپک اول و دوم می‌باشند. حال آماره زیر را تشکیل می‌دهیم [۲]:

$$\begin{aligned} \hat{d} &= \hat{X}_2 - \hat{X}_1 \\ C_{\hat{d}} &= C_{\hat{X}_1} + C_{\hat{X}_2} \\ w &= \frac{\hat{d}^t C_{\hat{d}}^{+} \hat{d}}{h \hat{\sigma}_0^2} \approx F_{h,df} \\ h &= rank\,(C_{\hat{d}}) \end{aligned} \qquad (۲)$$

که در آن، $F_{df\,1,df\,2\alpha}$ متغیر توزیع فیشر با درجه‌ی آزادی df_1 و df_2 و در سطح اطمینان $1-\alpha$ می‌باشد. اگر شرط $w < F_{h,df,\alpha}$ برقرار باشد، بیانگر وجود جابجایی معنادار در شبکه می‌باشد. اگر در شبکه‌ای جابجایی معنادار بود با استفاده از دو روش تست ثبات کلی و یا کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی، ابتدا نقاط مرجع پایدار تشخیص داده می‌شوند و سپس مقدار جابجایی‌ها محاسبه می‌شوند [۳].

۳- روش تست ثبات کلی در شبکه

بعد از سر شکنی دو اپک و به‌دست آوردن بردار جابجایی $\hat{d}$، سهم نقاط در آماره w محاسبه می‌شوند. سهم نقطه i، به صورت زیر حساب می‌شود [۴]:

$$\hat{d} = \begin{bmatrix} \hat{d}_r \\ \hat{d}_i \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

اگر m تعداد نقاط باشد، آن‌گاه تعداد مجهولات $(u = 2m)$، بردار جابجایی $\hat{d}_r$، $(u-2)$ بعدی و بردار جابجایی نقطه i یعنی $\hat{d}_i$، دوبعدی خواهد بود. سهم نقطه i به صورت زیر محاسبه می‌شود [۴]: $w_i = \hat{d}_i^t (C_{\hat{d}_i})^{-1} \hat{d}_i$ که در آن، $C_{\hat{d}_i}$، ماتریس واریانس‌کوواریانس نقطه i می‌باشد. وقتی سهم تمام نقاط محاسبه شد یکی از این w_iها از همه بیشتر است، فرض کنید سهم نقطه j یعنی (w_j)، از همه بیشتر باشد، پس اولین نقطه‌ای که در شبکه جابجا شده است نقطه j می‌باشد. سهم نقطه j با صفر گذاشتن دو ستون مر بوط به x, y نقطه j، از ماتریس دیتوم حذف می‌شود و دیتوم جدید به‌صورت زیر تشکیل می‌شود [۴]:

$$D_i^{m-1} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccc} & & & & & x_j & y_j & & & \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ y_1 & -x_1 & y_2 & -x_2 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & y_m & -x_m \\ x_1 & y_1 & x_2 & y_2 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & x_m & y_m \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۴)$$

و بنابراین، با استفاده از تبدیل همانندی S بردار جابجایی و ماتریس کوواریانس به دیتوم فوق الذکر تبدیل می‌شوند [۴]. در مرحله بعد بردار جابجایی در نقطه j را از کل بردار جابجایی‌ها حذف می‌کنیم، همچنین p_j (وزن مربوط به جابجایی در نقطه j، $\hat{d}_j$) را از $p_{\hat{d}}$ (ماتریس وزن بردار جابجایی $\hat{d}$) حذف می‌کنیم و ماتریس $C_{\hat{d}}$ جدید به صورت زیر تشکیل می‌شود: $C_{\hat{d}} = P_{\hat{d}}^{+}$، با به‌دست آوردن بردار جابجایی جدید، $C_{\hat{d}}$ و $P_{\hat{d}}$ دوباره آماره w بررسی می‌شود که آیا نقاط جابجا شده دیگری وجود دارد یا خیر اگر آما ره w رد شود به این معنا است که دوباره نقاط ناپایدار دیگری وجود دارند و مراحل توضیح داده شده در بالا دوباره تکرار می‌شود تا این‌که آماره w پذیرفته شود ونقاط ناپایدار دیگری وجود نداشته باشد. مراحلی که توضیح داده شد، مربوط به شبکه های مسطحاتی بود. برای شبکه‌های سه‌بعدی همین مراحل تکرار می‌شود با این تفاوت که در حذف کردن به‌جای دو سطر و دو ستون، سه سطرو سه ستون حذف می‌شوند.

۴- روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی

در این روش هدف یافتن یک سیستم مختصات پایدار است که طول بردار جابجایی درآن کمینه شود.ازآنجا که جابجایی‌ها وابسته به دیتوم هستند، اگر نقاط مرجع پایدار به عنوان دیتوم در نظرگرفته شوند، جابجایی که برای نقاط شبکه به‌دست می‌آید نسبت به بقیه دیتوم‌ها کمترین مقدار را دارد. چون نقاطی که ثابت هستند جابجایی ندارند و نقاطی که جابجا شده‌اند جابجایی آنها نسبت به این نقاط محاسبه می‌شود و نرم L_1 بردار جابجایی کمینه خواهد شد. فرض کنیدکه مختصات سرشکن شده دو اپک را داریم و $\hat{d}$ به‌دست آمده است. این $\hat{d}$ به سیستم‌های مختصات مختلفی تبدیل می‌شود تا دیده شود در کدام سیستم مختصات کمینه می‌شود [۱].

$$\|d\|_{L1} = \sum_{i=1}^{u} |d(i)| \rightarrow \min \qquad (۵)$$

$$\begin{aligned} \hat{d}_s &= S\hat{d} \\ S &= I - H^t (DH^t)^{-1} D \\ H &= D_i \\ D &= HW \end{aligned} \qquad (۶)$$

که در آن، W، ماتریس وزن سیستم مختصات شبکه است. با جایگذاری Dدر S موارد زیر حاصل می‌شوند:

$$\begin{aligned} & S = I - H^t (HWH^t)^{-1} HW \\ & \hat{d}_s = (I - H^t (HWH^t)^{-1} HW)\hat{d} = \hat{d} - H^t (HWH^t)^{-1} HW\hat{d} \\ & t = (HWH^t)^{-1} HW\hat{d} \\ & \hat{d}_s = \hat{d} - H^t T \end{aligned} \qquad (۷)$$

هدف به‌دست آوردن Wای است که نرم L_1، $\hat{d}_s$را کمینه کند.

$$\|\hat{d}_s\|_{L1} = \sum_{i=1}^{u} |\hat{d}_s(i)| = \sum_{i=1}^{u} |\hat{d}(i) - h^t{}_i \times t| \rightarrow \min. \qquad (۸)$$

که در آن، $\hat{d}(i)$، عنصر iام بردار $\hat{d}$ و h_i سطر iام ماتریس H می‌باشد. این مساله ممکن است همیشه جواب منحصربه‌فردی نداشته باشد، اما این امر در مورد یافتن نقاط مرجع پایدار مشکلی ایجاد نمی‌کند. در مورد شبکه‌های مسطحاتی داریم:

$$\begin{aligned} S &= I - H^t (HWH^t)^{-1} HW \\ W^{(1)} &= I \\ \hat{d}_s^{(1)} &= S^{(1)}\hat{d} \end{aligned} \qquad (۹)$$

برای ساختن $W^{(i)}$ به‌جای عناصر قطری $W^{(i-1)}$ از $\frac{1}{|\hat{d}_s^{(i-1)}(i)| + \varepsilon}$ استفاده می‌شود. چون ممکن است $\hat{d}_s(i)$ صفر شود، $|\hat{d}_s(i)|$ با یک عدد خیلی کوچک (ε) جمع می‌شود، یعنی

$$W^{(i)} = diag\left(\frac{1}{|\hat{d}_s^{(i-1)}(i)| + \varepsilon}\right) \qquad (۱۰)$$

در نتیجه نقاط با جابجایی بیشتر وزن کمتری پیدا می‌کنند و در مراحل بعدی جابجایی آنها بیشتر می‌شود. سپس آزمونی برای کشف نقاط پایدار وناپایدار به‌صورت زیر انجام می‌شود [۱]:

$$F_i = \frac{d_i{}^t C_{d_i}^{-1} d_i}{c\hat{\sigma}_0{}^2} \approx F_{c,df} \qquad (۱۱)$$

که در آن، c بعد شبکه است. در مورد شبکه‌های مسطحاتی بعد شبکه برابر با ۲ می‌باشد. این آزمون برای تمام نقاط شبکه انجام می‌گیرد که اگر $F_i > F_{c,df,\alpha}$ باشد، نقطه جابجا شده است و در غیر این‌صورت نقطه پایدار است. برای محاسبه جابجایی نقاط جابجا شده به‌جای نقاط پایدار ۱ و به‌جای بقیه نقاط ۰ گذاشته می‌شود و جابجایی محاسبه می‌شود.

۵- مقایسه دو روش با استفاده از نتایج عددی

برای مقایسه دو روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی و تست ثبات کلی در شبکه برنامه‌ای نوشته شد. بعضی از نقاط این شبکه به صورت اختیاری جابجا شد و مشاهداتی شبیه‌سازی‌شده (طول) برای این شبکه قبل و بعد از جابجایی تصنعی نقاط, ایجاد شد و چون نقاط جابجا شده از قبل معلوم بودند دو روش فوق‌الذکر از نظرتعداد کشف نقاط پایدار و ناپایدار مقایسه شدند. برای این منظور در حالتی که ۶ نقطه در شبکه جابجا شده باشند، این دو روش را با هم مقایسه می‌کنیم. در ضمن در اینجا برای اینکه نقاطی که به عنوان نقاط ناپایدار کشف می‌شوند به خطاهای اتفاقی اضافه شده به مشاهدات بستگی نداشته باشند، برنامه در نظر گرفته شده برای این قسمت را ۱۰۰ بار با خطاهای اتفاقی مختلف اجرا کرده و نقاطی را که هر بار به عنوان نقاط ناپایدار کشف می‌شوند را ذخیره می‌کنیم، سپس تعداد دفعات کشف نقاط جابجا شده برای این ۱۰۰ تکرار را در هر دو روش در نظر گرفته و با هم مقایسه می‌کنیم. نتایج حاصل از این قسمت در جدول‌های (۳-۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مقایسه دو روش تست ثبات کلی و کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی در شبکه با حساسیت ۵ میلی‌متر

نام روش	تست ثبات کلی	کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی
نقاط جابجا شده شبکه	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲
جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب میلی‌متر	$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ ۵\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ ۵\end{bmatrix}$
درصد کشف هر نقطه جابجا شده درشبکه	٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۹۸، ٪۱۰۰	٪۹۹، ٪۹۵، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰

جدول (۲): مقایسه دو روش تست ثبات کلی وکمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی در شبکه با حساسیت ۱۰ میلی‌متر

نام روش	تست ثبات کلی	کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی
نقاط جابجا شده شبکه	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲
جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب میلی‌متر	$\begin{bmatrix}-۱۱\\ ۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۳\\ -۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۱\\ ۱۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۵\\ -۱۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۱۰\\ ۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۲\\ ۱۷\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۱۱\\ ۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۳\\ -۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۱\\ ۱۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۵\\ -۱۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۱۰\\ ۱۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱۲\\ ۱۷\end{bmatrix}$
درصد کشف هر نقطه جابجا شده درشبکه	٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰	٪۹۷، ٪۹۳، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰

جدول (۳): مقایسه دو روش تست ثبات کلی وکمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی در شبکه با حساسیت ۱۵ میلی‌متر

نام روش	تست ثبات کلی	کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی
نقاط جابجا شده شبکه	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲
جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب سانتیمتر	$\begin{bmatrix}-۳\\ ۲.۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۲.۵\\ -۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۳\\ ۱\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱.۵\\ -۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۱.۵\\ ۳\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۲\\ ۲\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۳\\ ۲.۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۲.۵\\ -۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۳\\ ۱\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۱.۵\\ -۲\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۱.۵\\ ۳\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۲\\ ۲\end{bmatrix}$
درصد کشف هر نقطه جابجا شده درشبکه	٪۱۰۰، ٪۱۰۰، ٪۹۲، ٪۹۹، ٪۹۱، ٪۱۰۰	٪۱۰۰، ٪۸۹، ٪۹۶، ٪۸۸، ٪۱۰۰، ٪۱۰۰

با دقت در جدول‌های (۳-۱) مشاهده می‌شود که در شبکه تحت بررسی، روش تست ثبات کلی برای کشف نقاط پایدار و ناپایدار مناسب‌تر از روش کمینه سازی نرم L_1 بردار جابجایی می‌باشد.

حال یکبار دیگر برای مقایسه این دو روش، ۵۰ شبکه مختلف در حالتی که ۶، ۷ و ۸ نقطه در هر شبکه جابجا شده باشد را در نظر گرفته و برای جلوگیری از تاثیر خطاهای اتفاقی بر روی نتایج، در هر شبکه، در هر یک از دو روش فوق، برای کشف نقاط پایدار و ناپایدار، برنامه را با ۱۰۰ خ طای اتفاقی متفاوت، ۱۰۰ بار اجرا می‌کنیم و مطابق روش بالا تعداد دفعات کشف نقاط جابجا شده در ۱۰۰ تکرار برای هر شبکه را در نظر گرفته و با هم مقایسه می‌کنیم. نتایج حاصل از این کار به شرح زیر می‌باشند:

۵-۱- تعداد نقاط جابجاشده شبکه ۸ نقطه

در جدول (۴)، شماره نقاط جابجا شده به همراه میزان جابجایی آنها آورده شده است.

در شکل (۱) میانگین درصد کشف همه نقاط جابجا شده در هر شبکه نشان داده شده است.

با توجه به این شکل می‌توان دریافت که به‌طور کلی روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه مناسب‌تر است، ولی در بعضی از شبکه‌ها، (حدودا ۱۰ درصد)، روش تست ثبات کلی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه بهتر عمل می‌کند.

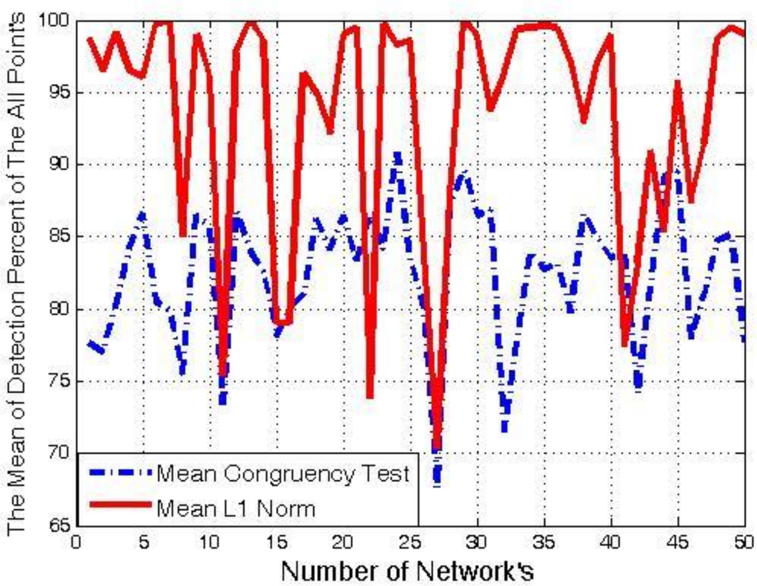
۵-۲- تعداد نقاط جابجاشده شبکه ۷ نقطه

در جدول (۵)، شماره نقاط جابجا شده به همراه میزان جابجایی آنها آورده شده است.

در شکل (۲)، میانگین درصد کشف همه نقاط جابجا شده در هر شبکه نشان داده شده است.

جدول (۴): نقاط جابجاشده و میزان جابجایی آنها در روش‌های تست ثبات کلی وکمینه‌سازی نرم L_1 (جابجایی ۸ نقطه)

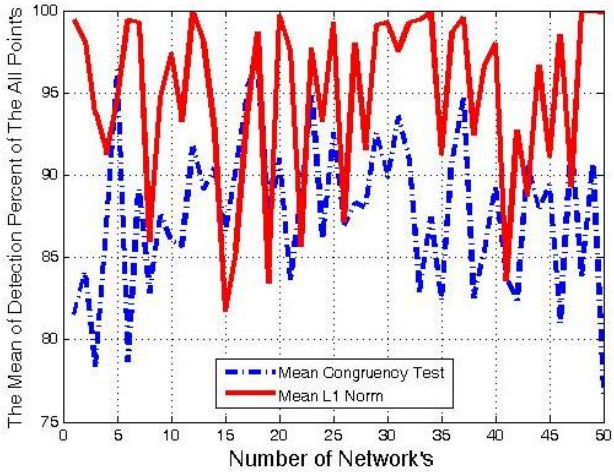
کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی	تست ثبات کلی	نام روش
۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹	نقاط جابجا شده شبکه
$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۵\\ ۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۶\\ -۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ ۵\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۵\\ ۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۶\\ -۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ ۵\end{bmatrix}$	جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب میلی‌متر



شکل (۱): میانگین درصد کشف همه نقاط جابجا شده (۸ نقطه) در هر شبکه

جدول (۵): نقاط جابجا شده و میزان جابجایی آنها در روش‌های تست ثبات کلی وکمینه‌سازی نرم L_1 (جابجایی ۷ نقطه)

کمینه سازی نرم L_1 بردار جابجایی	تست ثبات کلی	نام روش
۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸	نقاط جابجا شده شبکه
$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۵\\ ۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۶\\ -۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۵\\ ۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\ -۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\ ۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۵\\ ۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۶\\ -۷\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\ -۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\ ۴\end{bmatrix}$	جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب میلی‌متر



شکل (۲): میانگین درصد کشف همه نقاط جابجا شده (۷ نقطه) در هر شبکه

مطابق آنچه که برای شکل (۱) گفته شد، در اینجا نیز می‌توان گفت که به‌طور کلی روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه مناسب‌تر است، ولی باز در بعضی از شبکه‌ها، روش تست ثبات کلی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه بهتر عمل می‌کند.

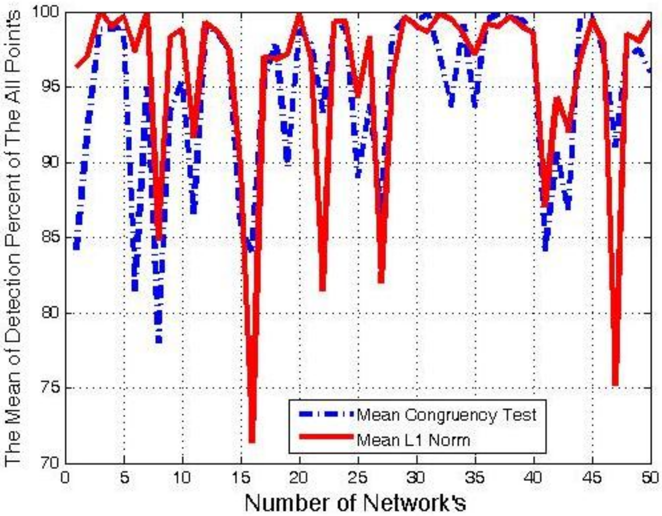
۵-۳- تعداد نقاط جابجاشده در شبکه ۶ نقطه

در جدول (۶)، شماره نقاط جابجا شده به همراه میزان جابجایی آنها آورده شده است.

در شکل (۳)، میانگین درصد کشف همه نقاط جابجاشده در هر شبکه نشان داده شده است.

جدول (۶): نقاط جابجا شده و میزان جابجایی آنها در روش‌های تست ثبات کلی وکمینه‌سازی نرم L_1 (جابجایی ۶ نقطه)

نام روش	تست ثبات کلی	کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی
نقاط جابجا شده شبکه	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲	۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲
جابجایی d_x و d_y نقاط جابجا شده شبکه بر حسب میلی‌متر	$\begin{bmatrix}-۵\\۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\-۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\-۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\۵\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}-۵\\۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\-۵\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۴\\۹\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۸\\-۶\end{bmatrix},\begin{bmatrix}-۹\\۴\end{bmatrix},\begin{bmatrix}۷\\۵\end{bmatrix}$



شکل (۳): میانگین درصد کشف همه نقاط جابجاشده (۶ نقطه) در هر شبکه

مطابق آنچه که برای حالت‌های قبل گفته شد، در اینجا نیز مشاهده می‌شود که بطور کلی روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه مناسب‌تر است، ولی باز در بعضی از شبکه‌ها، روش تست ثبات کلی برای تعیین نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه بهتر عمل می‌کند. در ضمن وقتی که تعداد کمی از نقاط شبکه جابجاشده باشند، هر دو روش تقریبا نقاط جابجاشده را به‌طور یکسان کشف می‌کنند.

۶- نتیجه‌گیری

۱- با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده حاصل از دو روش (تست ثبات کلی و کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی) بر روی شبکه‌های مختلف از لحاظ درصد کشف تمام نقاط جابجا شده درشبکه، در۲۳٪ موارد هر دو روش جواب یکسان دادند، در ۶۱٪ موارد روش کمینه‌سازی نرم L_1 نسبت به روش تست ثبات کلی نتایج بهتری ارائه می‌دهد ودر ۱۶٪ موارد روش تست ثبات کلی نسبت به روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی نتیجه بهتری می‌دهد. همان‌طور که در قسمت قبل نیز ذکر شد روش کمینه‌سازی نرم L_1 به طور کلی نتایج مناسب‌تری را نسبت به روش تست ثبات کلی نتیجه می‌دهد.

۲- در شبکه‌هایی که جابجایی نقاط جابجاشده آنها کم بود (حدود ۵ میلی‌متر)، دیده شد که روش کمینه‌سازی نرم L_1 بردار جابجایی از روش تست ثبات کلی بسیار بهتر بوده ودر بعضی موارد اختلاف این دو روش بسیار زیاد می‌باشد. اما در مواردی که جابجایی‌ها مقادیر قابل توجهی داشتند در اکثر موارد هر دو روش نقاط یکسانی را به عنوان نقاط جابجا شده تشخیص می‌دادند. در این گونه موارد هر دو روش، روش قابل اطمینانی می‌باشند.

۳- در شبکه‌هایی که تمام نقاط آن شبکه‌ها، یا تمام نقاط آن بجز یک نقطه و یادو نقطه به‌صورت تصادفی جابجا شده بودند دیده شد که روش تست ثبات کلی اصلا" قادر به تشخیص کلیه نقاط نیست اما روش کمینه‌سازی نرم L_1 با درصد قابل توجهی کلیه نقاط را تشخیص می‌دهد. اما در حالتی که نقاط این شبکه‌ها به صورت سیستماتیک جابجا شده بودند (تمام جابجایی‌ها یک جهت داشتند)، هیچ کدام از این دو روش قادر به تشخیص کلیه نقاط نبودند. به طورکلی این دو روش موقعی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند که حداقل دو نقطه از نقاط شبکه ثابت مانده باشند در غیر این‌صورت بهتر است از تنسورهای تغییر شکل استفاده شود.

۴- از نظر الگوریتم، روش کمینه‌سازی نرم L_1 دارای الگوریتم بسیار ساده‌تری نسبت به روش تست ثبات کلی می‌باشد و بر نامه‌نویسی این الگوریتم بسیار ساده‌تر است و این مورد هم یکی از مزیت‌های این روش است.

۵- در پایان پیشنهاد می‌شود که در تعیین نقاط پایدار و ناپایدار یک شبکه از روش کمینه‌سازی نرم L_1 استفاده شود که روش کاراتری می‌باشد. البته بهتر است که برای تشخیص نقاط پایدار و ناپایدار از هر دو روش استفاده شود و اشتراک نقاط پایدار حاصل از دو روش به‌عنوان نقاط پایدار در نظر گرفته شوند که در این حالت ضریب اطمینان بالاتری وجود دارد. نقاط ناپایداری که به اشتباه در این مرحله به‌عنوان نقاط پایدار تشخیص داده شده‌اند به‌وسیله تستی که بعد از تعیین جابجایی نقاط ناپایدار وجود دارد پایداری آنها رد شده و به‌عنوان نقاط ناپایدار شناخته می‌شوند.

۷- منابع

[1] A. R. Amiri Simkooe, “Formulation of L1 Norm Minimization in Gauss-Markov Models,” Journal of Surveying Engineering-Asce, 2004. [2] W. Baarda, “A testing procedure for use in geodetic networks,” Neth. Geod. Com., publ. on Geodesy, New Series 2, no. 5, Delft, Netherlands, 1968.

[2] W. Baarda, “S-transformations and criterion matrices,” Neth. Geod. Com., publ. on Geodesy, New Series 5, no. 1, Delft, Netherlands. 1973.

[3] M. A. R. Cooper, “Control surveys in civil engineering,” Nichols Publishing Company, 1987.

Introducing a New Method for Detecting Unstable Points in Construction Control Network

S. Farzaneh, H. Nessari, M. R. Seif*

*Imam Hossein University

(Received: 09/09/2019, Accepted: 07/10/2019)

ABSTRACT

Nowadays, geodetic networks have a significant contribution in safety during constructing and operation in urban constructions. They could prevent a terrible disaster by detecting and alarming any displacement in important constructions. The detection of unstable and stable points is an essential part in computing displacement in geodetic network, because misdetection leads to datum defect in geodetic network. Then, the detected displacement will be questionable. In order to detecting stable and unstable points usually two important methods are used:A. General stability test in geodetic networks, B. Minimizing the norm of displacement vectors. The main goal of this paper is the comparison between two mentioned methods and assessing their advantage and disadvantage.

Keywords: Microgeodesy Network, Datum Defect, Adjustment on Control Networks

* Corresponding Author Email: m.r.seif@ut.ac.ir