

# شناسایی تغییرات هندسی ساختمان با استفاده از تصاویر هوایی با تأکید بر تأثیرات زمین لرزه

سیمین تاج زیرک‌ساز، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران  
حمید عبادی، دانشیار، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران  
فرشید فرنود احمدی، استادیار، گروه نقشه‌برداری دانشگاه تبریز، تبریز  
سعید صادقیان، استادیار، آموزشکده نقشه‌برداری سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران

## چکیده

شده است. ارزیابی و تست نتایج به دست آمده توسط این سیستم از نقطه نظر صحت و دقت، نشان داد که الگوریتم طراحی شده قادر است در بیش از ۷۰ درصد موارد تغییرات را به درستی شناسایی نموده و میزان تخریب ساختمانهای موجود در منطقه را برآورد نماید.

**کلیدواژه‌ها:** اطلاعات برداری، تصاویر هوایی، تناظریابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شناسایی تغییرات ساختمان

## ۱- مقدمه

زلزله به عنوان یکی از فرآیندهای هولناک طبیعی کره زمین مطرح است و با خسارت‌های جانی و مالی زیادی همراه بوده و با از هم گسیختن ساختارهای اقتصادی و اجتماعی باعث از بین رفتن سرمایه‌های کلان کشور می‌گردد. یک برنامه مدیریت بحران کارا و موفق نیاز به اطلاعات به روز با قابلیت دسترسی سریع دارد. همچنین احتیاج به ابزارهای مخصوصی جهت پردازش و تجزیه تحلیل این اطلاعات، جهت بهره‌گیری در تصمیم‌گیریها می‌باشد. بر این اساس استفاده از قابلیت‌های *GIS* و فتوگرامتری در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد که به واسطه عملکرد بالا، توانایی زیاد و قدرت بالا در انجام تجزیه و تحلیل‌های مکانی و همچنین امکان دسترسی به اطلاعات جامع و کامل با صرف هزینه کم می‌تواند در مدیریت چنین حوادثی قبل و بعد از وقوع حادثه مؤثر و مفید واقع شود. تحقیق حاضر با درک اهمیت زلزله و پیامدهای آن با استفاده از تکنیک جدیدی مبتنی بر استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی

زلزله حادثه‌ای است که به طور ناگهانی روی داده و با تهدید زندگی بشری و مختل نمودن سیر عمومی امورات مردم، تلفات و خسارات بسیاری را به جامعه انسانی تحمیل می‌کند. مدیریت بحران راه مقابله با آثار زلزله است. یکی از فاکتورهای مهم در مدیریت بحران زلزله، ساماندهی و یا تدوین ساختاری مناسب به منظور بهبود و بازسازی ساختمانهای آسیب‌دیده می‌باشد. بنابراین لازم است تغییرات عوارض ساختمانی در کمترین زمان ممکن شناسایی و میزان تخریب در منطقه مورد نظر محاسبه شود. با توجه به دقت و قابلیت اعتمادپذیری بالای داده‌های مکانی استخراج شده با استفاده از تکنیکهای فتوگرامتری و امکان تهیه تصاویر هوایی در بازه‌های زمانی دلخواه و با قدرت تفکیک‌های مناسب، پردازش تصاویر هوایی به عنوان یکی از روشهای دقیق و سریع در شناسایی اتوماتیک تغییرات هندسی ساختمانها و تخمین دقیق میزان تخریب در منطقه زلزله‌زده محسوب می‌گردد. برای تعیین تغییرات عارضه مورد نظر با استفاده از تصاویر هوایی، ابتدا تصاویر لازم از عارضه مورد نظر در دو مقطع زمانی مختلف اخذ و سپس با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر، عارضه مورد نظر از تصاویر استخراج و در نهایت با مقایسه آنها، محل تغییرات مشخص می‌گردد. در این مقاله از تصاویر هوایی و اطلاعات- برداری که در پایگاه داده سیستم *GIS* در ارتباط با عارضه مورد نظر موجود می‌باشند، به منظور بکارگیری و توسعه تکنیک تناظریابی کمترین مربعات برای شناسایی تغییرات هندسی عارضه ساختمان از روی تصاویر هوایی، استفاده

آنالیز قرار می‌گیرند. این آنالیز مبتنی بر این ایده است که ساختمانهای تخریب شده سایه‌های متناظر نخواهند داشت. مرزهای ساختمانهای موجود به صورت لایه‌های پلیگونی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ذخیره شده است. این لایه پلیگونی مربوط به ساختمانها، برای متناظر نمودن لبه‌های مربوط به سایه‌های اطراف ساختمان با سایه‌های متناظرشان استفاده می‌شود. این لبه‌ها در تصویر با استفاده از الگوریتم شناسایی لبه *Prewitt* شناسایی می‌شوند. برای هر ساختمان یک معیار مقایسه بین لبه‌های بوجود آورنده سایه مربوط به پلیگونهای ساختمانها و تصویر لبه‌های حد آستانه‌گذاری شده تعریف می‌شود که بر این مبنا ساختمانهای تخریب شده شناسایی می‌شوند [۱].

روش دوم، روش تفسیر عکس<sup>۱</sup> مربوط به ساختمانهای تخریب شده ناشی از وقوع زلزله با استفاده از عکسهای هوایی است. در این روش تغییرات به دو روش *Single-Photo* و *Stereoscopic-Photo* شناسایی می‌شود. نتایج به دست آمده از دو روش نشان داد که صحت نتایج مربوط به روش *Stereoscopic* در مورد ساختمانهای با تخریب کم، بالاتر از روش *Single* می‌باشد. از این روش به عنوان ابزاری مؤثر در تعیین و شناسایی موقعیت ساختمانهای تخریب شده در یک منطقه بزرگ بعد از وقوع بلایای طبیعی نظیر زلزله استفاده می‌شود [۲].

روش سوم، روش شناسایی ساختمانهای تخریب شده با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی<sup>۲</sup> (*DEM*) می‌باشد که از عکسهای هوایی اخذ شده قبل و بعد از وقوع زلزله تولید می‌شود. این روش مبتنی بر ایده شناسایی تغییرات با استفاده از تغییراتی است که در ارتفاع ساختمانهای تخریب شده به وجود می‌آید. در این روش، اختلاف *DEM* های به دست آمده در دو دوره زمانی به صورت ساختمان به ساختمان محاسبه می‌شود. ساختمانهایی که اختلاف ارتفاع آنها متجاوز از یک حد آستانه باشد به عنوان ساختمانهای تخریب شده شناسایی می‌شود [۳].

روش چهارم، با استفاده از روش نگاشت غیرخطی تطبیقی<sup>۳</sup>، ساختمانهای دچار تخریب را مورد شناسایی قرار می‌دهد. در این روش دو عکس هوایی اخذ شده در دو زمان

(GIS) و فتوگرامتری و اخذ اطلاعات اولیه (تصاویر و نقشه‌ها)، سعی در بیان قابلیت سیستم حاضر در مدیریت چنین حوادثی دارد و با ارائه قابلیت‌های گوناگون این سیستم، مدیران اجرایی و مسؤولان را در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در برخورد با مناطق زلزله‌زده در خصوص تخمین میزان و محل تخریبات یاری می‌نماید.

شناسایی اتوماتیک تغییرات هندسی عوارض، از مهمترین موضوعاتی است که از دیرباز توسط محققین به آن پرداخته شده و در زمینه‌های مختلفی از جمله به هنگام‌رسانی اطلاعات موجود در پایگاه داده سیستم‌های GIS کاربرد دارد. عکسهای هوایی با ثبات هندسی و قدرت تفکیک مکانی بالا، امکان شناسایی اتوماتیک تغییرات جزئی، شناسایی اتوماتیک تغییرات در یک منطقه کوچک و نیز توانایی تفکیک انواع مناطق با تغییرات کوچک و قابل توجه را فراهم می‌کنند.

برای تعیین تغییرات عارضه مورد نظر با استفاده از تصاویر هوایی صرفنظر از نوع روش و الگوریتم مورد استفاده، ابتدا تصاویر لازم از محدوده‌ای که عارضه مورد نظر در آن قرار دارد در دو مقطع زمانی مختلف (قبل از تغییر و بعد از تغییر) اخذ می‌گردد. سپس با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر و خصوصیات عارضه مورد نظر، عارضه مذکور یا محدوده آن در هر دو تصویر مشخص می‌گردد و به دنبال آن با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر، محدوده مرزی عارضه در هر دو تصویر مورد شناسایی و استخراج قرار می‌گیرد. در نهایت با مقایسه محدوده مرزی استخراج شده، محل تغییرات مشخص می‌گردد.

در مقاله حاضر، پس از مروری مختصر در مورد پیشینه کار در خصوص روشهای شناسایی تغییرات مربوط به ساختمانهای تخریب شده ناشی از وقوع زلزله از روی عکسهای هوایی، روش حاضر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

اولین روش مورد بررسی، روش شناسایی ساختمانهای تخریب شده با استفاده از عکسهای هوایی اخذ شده پس از وقوع زلزله می‌باشد. در این روش، عکسهای هوایی مذکور به منظور شناسایی ساختمانهای تخریب شده مورد پردازش و

قبل و بعد از وقوع زلزله مبتنی بر یک نگاشت غیرخطی تکراری مورد مقایسه قرار گرفته و در نتیجه تغییرات مربوط به ساختمانهای تخریب شده به صورت اتوماتیک از طریق تعریف یک حد آستانه شناسایی می‌شود [۴].

همان‌طور که ملاحظه گردید، شناسایی عارضه مورد نظر، دو مرحله بسیار اساسی در شناسایی تغییرات هندسی عارضه می‌باشند. از آنجایی که شناسایی دقیق و صحیح اثرات زلزله مستلزم انجام صحیح دو مرحله مذکور و دستیابی به موقع به نتایج صحیح و قابل اعتماد در خصوص اجرای الگوریتم‌هایی است که به این منظور به کار می‌رود، لذا استفاده از روشهایی که وابستگی کمتری به پردازشهای مربوط به شناسایی عارضه و استخراج محدوده مرزی عوارض داشته باشند، می‌تواند ضمن کاهش پیچیدگی، زمان اجرا و وابستگی به خصوصیات عارضه، شرایط تصویربرداری و ... که در الگوریتم‌های ذکر شده وجود داشت، باعث افزایش صحت و سرعت انجام عملیات شناسایی تغییرات هندسی عوارض گردند.

برای دستیابی به این هدف از تکنیک جدیدی مبتنی بر تناظریابی تصویری<sup>۴</sup> با عنوان تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته با استفاده از اطلاعات دانش پایه برای شناسایی اتوماتیک تغییرات هندسی عارضه ساختمان از روی تصاویر هوایی استفاده می‌شود. برای درک بهتر نحوه عملکرد این روش، ابتدا به بررسی مفهوم تناظریابی و انواع الگوریتم‌های آن پرداخته شده است.

در فتوگرامتری، منظور از تناظریابی، پیدا کردن تناظر بین دو مجموعه داده رستری و یا بیشتر می‌باشد [۵]. این مجموعه داده‌ها غالباً تصاویر رقومی هستند. برای انجام تناظریابی لازم است داده اولیه<sup>۵</sup> از هریک از تصاویر استخراج گردد. این داده اولیه می‌تواند به صورت پنجره‌های بردارنده درجه خاکستری و یا عوارض استخراج شده از تصاویر باشند. الگوریتم‌هایی که عملکرد آنها بر اساس داده اولیه دسته اول می‌باشند، تناظریابی مبتنی بر ناحیه<sup>۶</sup> و الگوریتم‌های مبتنی بر داده اولیه دسته دوم، تناظریابی مبتنی بر عارضه<sup>۷</sup> نامیده می‌شوند [۶]. در کنار این دو نوع الگوریتم تناظریابی، می‌توان به الگوریتم تناظریابی تلفیقی

نیز اشاره نمود. این الگوریتم تلفیقی، از ترکیب نقاط قوت هر یک از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر ناحیه (سرعت و دقت) و مبتنی بر عارضه (اعتمادپذیری و حساسیت کمتر به اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی) در فرآیند تناظریابی بهره می‌گیرد [۷]. تناظریابی مبتنی بر ناحیه، به دو روش تناظریابی وابستگی<sup>۸</sup> و تناظریابی کمترین مربعات<sup>۹</sup> انجام می‌شود [۸-۱۰]. عملکرد روش وابستگی در پیدا کردن نقاط متناظر در صورتی سریع و مطلوب می‌باشد که پنجره‌های مورد نظر در تناظریابی حاوی اطلاعات کافی و عاری از نویز بوده و همچنین اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی حداقل باشد. این دو شرط اغلب در تصاویر هوایی برقرار نمی‌شود، بنابراین از روش تناظریابی کمترین مربعات به منظور پیدا کردن نقاط متناظر، استفاده می‌شود [۱۱]. تناظریابی کمترین مربعات با استفاده از مدل ریاضی مناسبی قادر است در طی فرآیند سرشکنی اختلافات رادیومتریکی و هندسی دو تصویر را به حداقل برساند [۹]. روش تناظریابی مبتنی بر عارضه بر اساس عوارض استخراج شده به صورت نقطه، لبه و ناحیه به تناظریابی می‌پردازد [۱۰]. از آنجایی که لبه‌ها نسبت به نویز پایدار بوده و نسبت به اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی ناوردا<sup>۱۰</sup> می‌باشند، لذا روش تناظریابی مبتنی بر لبه با دقت بیشتری قادر به یافتن تناظر صحیح می‌باشد [۱۰-۱۱].

بر اساس آنچه گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق روش تناظریابی کمترین مربعات (مربوط به تکنیک تناظریابی مبتنی بر ناحیه) و روش تناظریابی مبتنی بر لبه (مربوط به تکنیک تناظریابی مبتنی بر عارضه)، روش تلفیقی بهینه‌ای را در دستیابی به نتایج مطلوب ارائه می‌دهد. روش جدید ارائه شده در این مقاله به منظور شناسایی تغییرات عارضه ساختمان بر اساس تلفیق دو روش مذکور می‌باشد که در ادامه به بررسی مفهوم و نحوه عملکرد آن در شناسایی تغییرات عارضه ساختمان پرداخته می‌شود.

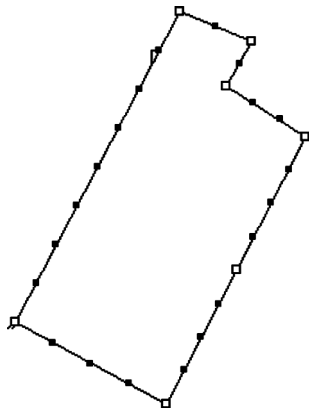
## ۲- توسعه تکنیک تناظریابی کمترین مربعات به منظور شناسایی تغییرات عارضه ساختمان

در این مقاله، روش تناظریابی کمترین مربعات با هدف

زمان  $T-dt$  است. برای تهیه تمپلت و انجام تناظریابی، لازم است ابتدا پارامترهای توجیه خارجی هر عکس محاسبه و سپس با استفاده از معادلات شرط همخطی ارتباط بین هر عکس با زمین برقرار شود.

## ۲-۲- تجزیه عارضه

برای اهداف مورد نظر در روش ارائه شده در این مقاله، یک ساختمان را می‌توان از طریق نمایش مدل سیمی و با استفاده از اطلاعات برداری موجود تشریح نمود. برای تجزیه مرز عارضه مورد نظر، کوچکترین المان مکانی<sup>۱۱</sup> تعریف و به الگوریتم معرفی می‌شود. کوچکترین المان مکانی قابلیت شناسایی میزان تغییرات مکانی را که مطلوب کاربر می‌باشد، تعیین می‌کند. با تعریف این المان، مرزها مطابق شکل (۱) قطعه‌بندی شده و خطوط با نقاط متناظر در امتداد مرزها جایگزین می‌شود.



شکل (۱): تجزیه مرز عارضه.

## ۲-۳- تهیه پنجره تمپلت

در تهیه پنجره تمپلت، ابتدا با معادلات شرط همخطی موقعیت تصویری  $(x)$  و  $(y)$  هر یک از نقاط واقع در امتداد لبه ساختمان که از مرحله قبل به دست آمده‌اند  $(Z, Y, X)$ ، برای هر یک از دو تصویر قدیم و جدید مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} x-x_0 = -c \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{12}(Y-Y_0) + r_{13}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} \\ y-y_0 = -c \frac{r_{21}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{23}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} \end{cases} \quad (1)$$

شناسایی تغییرات عارضه ساختمان توسعه داده شده است. در این روش برای تعیین تغییرات عارضه مورد نظر، ابتدا دو تصویر رقومی اخذ شده از یک منطقه یکسان در زمان  $T$  و  $T-dt$ ، به همراه اطلاعات برداری موجود در پایگاه داده GIS در زمان  $T-dt$  انتخاب و سپس تغییرات، از طریق مقایسه دو تصویر در طی فرآیند تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته، شناسایی می‌شود. مقایسه تصاویر مربوط به یک عارضه که اغلب در زمانهای مختلف و توسط دوربینهای متفاوت اخذ شده است، باعث ایجاد خطا در فرآیند شناسایی تغییرات خواهد شد. به عبارت دیگر، تفاوت در شرایط عکسبرداری دو تصویر در دو زمان مختلف، اجرای الگوریتم مورد نظر را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور بهبود اجرای روش تناظریابی مورد نظر، باید تأثیر تغییرات رادیومتریکی به حداقل برسد. جهت مینیمم کردن تأثیر این متغیرها در راه حل کمترین مربعات، باید اجازه داد که پیکسل‌های لبه سهم بیشتری نسبت به سایر پیکسل‌های موجود در پنجره تمپلت، در راه حل مورد نظر داشته باشند. این هدف از طریق تغییرات ماتریس وزن مربوطه انجام می‌شود. با اختصاص دادن مقادیر وزنی بالا به پیکسل‌های لبه، تأثیر این پیکسل‌ها نسبت به پیکسل‌هایی که مقادیر وزنی پایین‌تر دارند، افزایش می‌یابد. بنابراین هدف اصلی در توسعه روش تناظریابی کمترین مربعات، استخراج اطلاعات هندسی لبه موجود در هر پنجره تمپلت و تخصیص مقادیر وزنی بیشتر به پیکسل‌های لبه مربوطه به منظور افزایش سهم این پیکسل‌ها در محاسبات و کاهش تأثیر عوامل ناخواسته در محاسبات تناظریابی می‌باشد. در ادامه، مراحل اجرای الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته به منظور شناسایی تغییرات لبه ساختمان توضیح داده می‌شود.

## ۲-۱- جمع‌آوری و محاسبه اطلاعات مورد نیاز

اولین مرحله در اجرای این روش، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه پنجره تمپلت برای انجام تناظریابی است. این اطلاعات مورد نیاز شامل دو تصویر رقومی اخذ شده در زمان  $T$ ،  $T-dt$  و اطلاعات برداری مربوط به عارضه در

که

$$f(x, y) = g(x, y) \quad (2)$$

با در نظر گرفتن تأثیرات نویز، رابطه (۲) به صورت رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$f(x, y) - g(x, y) = e(x, y) \quad (3)$$

که  $e(x, y)$  بردار خطا می‌باشد.

معادلات مشاهدات می‌توانند در ارتباط با مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌ها تشکیل شده و به صورت زیر خطی شوند.

$$f(x, y) - e(x, y) = g^0(x, y) + \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial x} dx + \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial y} dy \quad (4)$$

در این معادله،  $g^0(x, y)$  درجات خاکستری مربوط به محدوده‌ای از تصویر هدف است که به صورت اولیه به عنوان محدوده متناظر با ناحیه انتخاب شده بر روی تصویر مرجع انتخاب می‌شود. مشتقات تابع تصویر در این معادلات نرخ تغییرات مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌های تصویر را در امتداد  $x$  و  $y$  نشان می‌دهد. بسته به نوع لبه، ارتباط هندسی بین دو پنجره می‌تواند به پیچیدگی انتقال افاین و یا به سادگی یک شیفت و یا یک دوران باشد. برای ساده‌سازی محاسبات، می‌توان پنجره تمپلت لبه و یا تصویر را نمونه-برداری مجدد<sup>۱۲</sup> کنیم تا لبه‌ها در امتداد یکی از محورهای مختصات اصلی قرار بگیرند. با فرض قرارگیری لبه در امتداد محور  $y$ ، رابطه (۳) به صورت رابطه (۵) خلاصه می‌شود:

$$f(x, y) - e(x, y) = g^0(x, y) + \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial x} dx \quad (5)$$

به این ترتیب دو پنجره تصویری به طور هندسی از طریق یک شیفت در جهت  $x$  با یکدیگر مرتبط می‌شوند:

$$X_{NEW} = X_{OLD} + dX \quad (6)$$

$dX$  پارامتر مجهولی است که اجازه می‌دهد پنجره تصویر در موقعیتی قرار بگیرد تا بهترین تشابه را با پنجره تمپلت مرجع نشان دهد. بدون در نظر گرفتن نوع تبدیل هندسی، شکل ماتریسی معادلات مشاهدات به صورت رابطه (۷) خواهد بود:

$$-e = Ax - l \quad (7)$$

در این سیستم،  $l$  بردار مشاهدات است که در بردارنده اختلاف مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌های متناظر

$(x_0, y_0, c)$ : پارامترهای توجیه داخلی

$(x_0, y_0, z_0)$ : مختصات زمینی مرکز تصویر

$r_{ij}$ : المانهای مربوط به ماتریس توجیه خارجی

موقعیت تصویری این نقاط به عنوان مرکز پنجره تمپلت

در نظر گرفته می‌شود. مرحله بعدی تعیین ابعاد پنجره

تمپلت مورد نظر می‌باشد که بر اساس اندازه پیکسل و

مقیاس تصاویر مورد استفاده تعیین می‌شود. پنجره‌های

تصویری با ابعاد  $15 \times 15$  پیکسل برای تصاویر بزرگ مقیاس

با کیفیت مناسب و  $21 \times 21$  پیکسل برای تصاویر کوچک

مقیاس و حاوی نویز در نظر گرفته می‌شود [۱۲]. با توجه به

مقیاس  $1/10000$  برای تصاویر مورد استفاده در این مقاله

ابعاد پنجره‌های مورد تناظریابی  $21 \times 21$  انتخاب می‌شود.

نتیجه این مرحله همان طور که در تصویر (۱) نشان داده

شده است، پنجره تمپلت در بردارنده لبه است که به عنوان

ورودی مرحله تناظریابی به منظور شناسایی تغییرات این

لبه در دو تصویر قدیم و جدید، استفاده می‌شود.



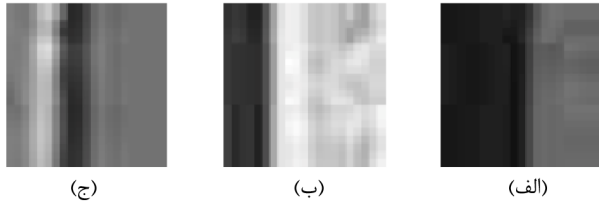
تصویر (۱): نمایش پنجره تمپلت جهت انجام تناظریابی.

## ۲-۴- تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته

با فرض این که  $f(x, y)$  پنجره تمپلت لبه مرجع و  $g(x, y)$

یک قسمت از تصویر رقومی جدید باشد، یک تناظر صحیح

بین این دو زمانی برقرار است که [۳]:



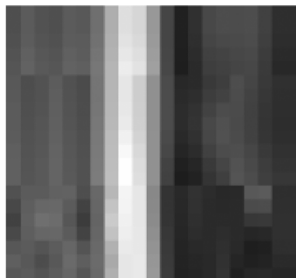
شکل (۲): نمایش لبه‌های (الف) دو سطحی، (ب) سه سطحی و (ج) چهار سطحی.

اشاره شد، برای راحتی محاسبات پنجره موردنظر نمونه‌برداری مجدد شده و در نتیجه، لبه عمود بر محور  $x$  این پنجره است. بنابراین میانگین مشتق مرتبه اول هر ستون در امتداد محور  $X$  به صورت روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شود:

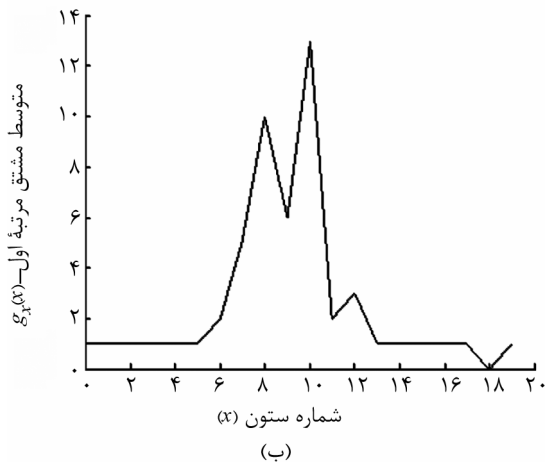
$$g_x(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \quad (9)$$

$$\bar{g}_x(x) = \frac{\sum_y g_x(x, y)}{y} \quad (10)$$

در چنین حالتی بدیهی است که مشتق در امتداد محور  $y$  مقدار بسیار کوچکی دارد. آنالیز گراف  $\bar{g}_x(x)$  در شکل (۳) با استفاده از مشتق مرتبه اول و دوم، در مورد یک لبه انتخابی سه ماکزیمم و یا کمتر را به دست می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۳): (الف) پنجره تمپلت لبه و (ب) گراف متوسط مشتق مرتبه اول.

می‌باشد.  $x$  بردار مجهولات است که در بردارنده شیفیت در جهت  $x$  و  $A$  ماتریس طراحی است که در بردارنده مشتقات معادلات مشاهدات نسبت به پارامترهای مجهول می‌باشد. اگر وزن مشاهدات با ماتریس  $P$  نشان داده شود، راه حل کمترین مربعات، پارامترهای مجهول را به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌کند:

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (8)$$

از آنجایی که لبه‌ها نسبت به نویز پایدار بوده و حساسیت کمتری نسبت به اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی دارند، لذا به منظور بهبود اجرای روش تناظریابی، باید اجازه داد که پیکسل‌های لبه سهم بیشتری نسبت به سایر پیکسل‌های موجود در پنجره تمپلت، در راه حل مورد نظر داشته باشند. این هدف از طریق تغییرات ماتریس وزن مربوطه انجام می‌شود. با اختصاص دادن مقادیر وزنی بالا به پیکسل‌های لبه، تأثیر این پیکسل‌ها نسبت به پیکسل‌هایی که مقادیر وزنی پایینتر دارند، افزایش می‌یابد. هدف اصلی در توسعه روش تناظریابی کمترین مربعات در این مقاله، استخراج اطلاعات هندسی لبه موجود در هر پنجره تمپلت و تخصیص مقادیر وزنی بیشتر به پیکسل‌های لبه مربوطه به منظور افزایش سهم این پیکسل‌ها در محاسبات و کاهش تأثیر عوامل ناخواسته در محاسبات تناظریابی می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت فرمول‌سازی برای ماتریس وزن مسأله اساسی در ارتباط با راه حل کمترین مربعات می‌باشد که نحوه محاسبه این ماتریس تأثیر مستقیم در صحت نتایج به دست آمده از این روش خواهد داشت. برای رسیدن به این هدف، در ابتدا نحوه استخراج اطلاعات هندسی مربوط به لبه شرح داده می‌شود. در ادامه نیز به بحث در مورد نحوه شرکت دادن این اطلاعات هندسی استخراج شده در راه حل کمترین مربعات توسعه یافته، پرداخته می‌شود.

## ۲-۴-۱- نحوه استخراج اطلاعات هندسی مربوط به لبه

بر اساس نمایش رادیومتریکی لبه‌ها در تصویر، می‌توان آنها را به صورت لبه‌هایی با دو، سه و چهار سطح درجه خاکستری تقسیم‌بندی نمود. مطابق شکل (۲)، روی تصویر این سطوح متناظر با یک، دو و یا سه لبه می‌باشند. همان طور که

(۱۱) می‌باشد. در این رابطه،  $\mu$  نشان دهنده موقعیت مربوط به لبه‌ای است که در مرحله قبل پذیرفته شده است. در این حالت عملکرد تابع توزیع گوسین در وزن‌دهی به پیکسل‌های موجود در پنجره تمپلت، بر اساس دوری و نزدیکی آنها به پیکسل‌های لبه است. می‌توان برای توضیحات بیشتر به مرجع [۱۲] مراجعه نمود.

#### ۲-۴-۲-۲ فرموله نمودن ماتریس وزن در حالت سه سطحی (حاوی دو لبه)

همان‌طور که در بخش (۲-۴-۱) توضیح داده شد، سطوح مجموعه‌ای از ماکزیمم‌های پذیرفته شده در مورد مشتق مرتبه اول در امتداد عمود بر لبه برداری هستند. مجموعه‌ای از توزیع‌های گوسین می‌تواند جهت تخصیص وزن‌های بیشتر به این ماکزیمم‌های پذیرفته شده، اعمال شود. می‌توان برای توضیحات بیشتر به مرجع [۱۲] مراجعه نمود.

#### ۲-۴-۲-۳ فرموله کردن ماتریس وزن در حالت چهار سطحی (حاوی سه لبه)

زمانی که چندین لبه وجود دارد، این لبه‌ها می‌تواند نتیجه شکل واقعی لبه و یا ناشی از تأثیرات رادیومتریکی نظیر نویز، سایه، سیستم تصویرهای مختلف و عوامل دیگر باشد. برای تصحیح این تأثیرات، از معرفی یک فاکتور مقیاس که هندسه مورد انتظار لبه را شرح می‌دهد، استفاده می‌شود. می‌توان برای توضیحات بیشتر به مرجع [۱۲] مراجعه نمود.

#### ۲-۵-۲-۵-۲ تصمیم‌گیری در مورد شناسایی تغییرات

ابزارهای آماری سرشکنی کمترین مربعات، امکان تحلیل نتایج به دست آمده و تصمیم‌گیری اتوماتیک را در مورد این که آیا تغییر اتفاق افتاده است یا نه فراهم می‌کند. از آنجایی که این الگوریتم بر اساس روش برنامه‌نویسی پویا پیاده‌سازی شده است، لذا فرآیند تکرار در آن نقش اساسی دارد. با انجام این فرآیند، لازم است تصمیم صحیحی مبنی بر رسیدن به نتایج مطلوب و اتمام یا ادامه فرآیند تناظریابی اخذ شود. برای این منظور لازم است در طول فرآیند تکرار از یک معیار مناسب در تصمیم‌گیری استفاده نمود. این معیار مناسب شیفت می‌باشد که به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود. بر

پس از استخراج این نقاط ماکزیمم از گراف، یک عملیات فیلترگذاری جهت تأیید انطباق این ماکزیمم‌ها با لبه‌های تصویر انجام می‌شود. برای این منظور بزرگترین ماکزیمم  $max_0$  که مربوط به قویترین لبه است، تعیین و برای تشخیص سایر لبه‌ها در معیارهای زیر استفاده می‌شود. با استخراج اطلاعات هندسی مربوط به لبه موجود در پنجره تمپلت، لازم است در مرحله بعد این اطلاعات هندسی وارد راه‌حل کمترین مربعات توسعه یافته شود. این اطلاعات هندسی از طریق فرمول‌سازی برای ماتریس وزن، در مدل ریاضی مربوطه شرکت می‌کند.

#### ۲-۴-۲-۲ نحوه فرموله نمودن ماتریس وزن جهت شرکت دادن اطلاعات هندسی مربوط به لبه در راه حل کمترین مربعات توسعه یافته

مسأله اساسی در این مرحله توصیف سطوح لبه به دست آمده از مرحله قبل، از طریق یک تابع ریاضی است که بتواند وزن‌ها را تعیین کند. تابعی که برای این منظور استفاده می‌شود تابع توزیع گوسین با توصیف ریاضی زیر می‌باشد:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

اگر این تابع توزیع برای یک پنجره تمپلتی که در بردارنده تنها یک لبه است، در نظر گرفته شود، در این صورت میانگین ( $\mu$ )، موقعیت لبه و انحراف معیار ( $\sigma$ )، عدم قطعیتی برای وجود لبه در موقعیتی که توسط میانگین تعریف می‌شود را نشان خواهد داد. از آنجایی که در تصاویر با قدرت تفکیک‌های بالا، لبه‌ها واضحتر و در قدرت تفکیک‌های پایین، ماتر دیده می‌شوند، لذا می‌توان گفت انحراف معیار بستگی به قدرت تفکیک تصویر دارد. به عبارت دیگر انحراف معیار بزرگتر به معنی توزیع پراکنده‌تر و در نظر گرفتن مقادیر پیکسلی بیشتر است. در نتیجه به لبه تعریف شده در موقعیت  $\mu$  اطمینان بالایی نمی‌توان داشت. این حالت در مورد تصاویر با قدرت تفکیک‌های پایین‌تر دیده می‌شود.

#### ۲-۴-۲-۱ فرموله نمودن ماتریس وزن در حالت دو سطحی (حاوی یک لبه)

وزن‌دهی به پیکسل‌های پنجره تمپلت بر اساس رابطه

داده‌های مورد استفاده برای تست الگوریتم پیاده‌سازی شده توسط این برنامه و نحوه ارزیابی نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

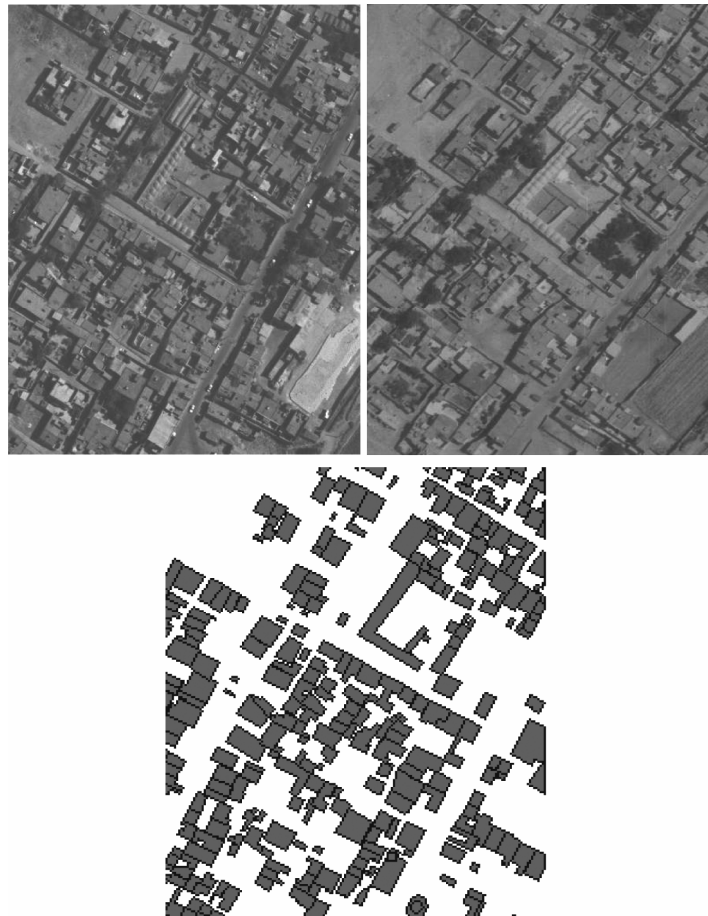
### ۳-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده برای پیاده‌سازی و تست الگوریتم طراحی شده در این مقاله دو تصویر رقومی اخذ شده از یک منطقه شهری یکسان در دو زمان قدیم و جدید به همراه اطلاعات برداری استخراج شده از پایگاه داده GIS در زمان قدیم، تصویر (۲)، می‌باشد که مشخصات این داده‌ها در جدول (۱) شرح داده شده است. اطلاعات برداری استخراج شده از پایگاه GIS حاوی اطلاعات مربوط به ساختمانها قبل از تخریب می‌باشد که از آن برای تعریف محدوده ساختمانهای موجود در تصویر قدیمی (قبل از زمین‌لرزه) جهت تناظریابی و مقایسه با محدوده این ساختمانها بر روی تصویر جدید، استفاده می‌گردد.

مبنای مقدار به دست آمده از این رابطه، مقدار حد آستانه مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا صحت پیکسلی مطلوب به دست آمده و یا تغییر اتفاق افتاده است، در نظر گرفته می‌شود. بررسی تستهای انجام شده در این تحقیق نشان داده است که مقدار حد آستانه مناسب ۰/۵ پیکسل می‌باشد، به این معنی که اگر مقدار شیفت باقیمانده، کمتر از ۰/۵ پیکسل باشد، تغییر نداریم و اگر مقدار شیفت باقیمانده از این مقدار حد آستانه بیشتر شود تغییر اتفاق افتاده است.

### ۳- پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی تغییرات عارضه ساختمان

به منظور اجرای الگوریتم توسعه یافته در این مقاله، برنامه کامپیوتری به زبان *Microsoft's Visual C#. Net* و *Visual Basic 6* با استفاده از مؤلفه‌های *Esri's MapObjects ActiveX* نوشته شده که در ادامه



تصویر (۲): تصویر هوایی قدیمی در سمت چپ-تصویر هوایی جدید در سمت راست و اطلاعات برداری مربوط به اطلاعات تصویر هوایی قدیمی در پایین.



**جدول (۲):** ارزیابی صحت نتایج به دست آمده از الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته برای شناسایی تغییرات عارضه ساختمان.

درصد (%)	مقایسه داده‌های به دست آمده از سیستم پیاده‌سازی شده با نتایج مورد انتظار
بیش از ۷۰٪	درصد نواحی که الگوریتم تغییرات آنها را به درستی شناسایی کرده است.
کمتر از ۱۰٪	درصد نواحی که تغییر کرده و الگوریتم مورد نظر این تغییرات را شناسایی نکرده است.
حدود ۲۰٪	درصد نواحی که تغییر نکرده، ولی الگوریتم مورد نظر تغییراتی را در این نواحی شناسایی کرده است.

**جدول (۱):** داده‌های مورد استفاده به منظور تست نرم‌افزار پیاده‌سازی شده برای شناسایی تغییرات عارضه ساختمان.

مشخصات	داده‌های مورد استفاده
- منطقه اسلام‌آباد - مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ - سال اخذ تصویر ۱۳۶۷ - فرمت TIFF	تصویر رقومی اخذ شده از یک منطقه مربوط به شهر اسلام‌آباد در سال ۱۳۶۷ (قبل از زمین‌لرزه)
- منطقه اسلام‌آباد - مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ - سال اخذ تصویر ۱۳۸۱ - فرمت TIFF	تصویر رقومی اخذ شده از همان منطقه شهر اسلام‌آباد در سال ۱۳۸۱ (بعد از زمین‌لرزه)
- سال ۱۳۶۷ - فرمت Esri's shapefile	اطلاعات برداری

شده در این مقاله، مقدار جابه‌جایی در مورد دو پنجره‌ای است که در طول زمان تغییری نداشته‌اند. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، مقدار شیفت دو پنجره نسبت به هم مطابق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (12)$$

اگر این رابطه در مورد دو نقطه واقع در امتداد لبه‌ای که تغییری نداشته‌اند، در نظر گرفته شود، خروجی سیستم بعد از اجرای تکرارهای متعدد و رسیدن به حالت همگرایی، یک مقدار شیفت باقیمانده خواهد بود که می‌تواند به عنوان معیار دقت مورد استفاده قرار بگیرد. در واقع می‌توان گفت مقدار این جابه‌جایی نشان‌دهنده دقت تناظریابی سیستم پیاده‌سازی شده است، به این معنی که هر چه سیستم دقیقتر باشد قدرت این سیستم در متناظر نمودن این دو لبه بیشتر و مقدار شیفت باقیمانده کوچکتر خواهد شد، به گونه‌ای که در حالت ایده‌آل مقدار جابه‌جایی دو لبه صفر می‌شود. بنابراین اختلاف مقدار به دست آمده از سیستم نسبت به حالت ایده‌آل (مقدار صفر) یا همان مقدار جابه‌جایی باقیمانده پس از رسیدن به حالت همگرایی، بیانگر دقت سیستم پیاده‌سازی شده است.

طراحی این نرم‌افزار و نقشه تغییرات را به ترتیب در تصاویر (۳) و (۴) نشان داده‌ایم. مربع‌های با رنگ روشن نشان‌دهنده نقاط متناظر و مربع‌هایی با رنگ تیره معرف نقاطی هستند که الگوریتم قادر به یافتن تناظر صحیح نبوده است.

### ۳-۲- ارزیابی سیستم پیاده‌سازی شده

در این بخش، ارزیابی الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته برای شناسایی تغییرات عارضه ساختمان از نقطه نظر صحت و دقت نتایج به دست آمده، تشریح می‌گردد.

#### ۳-۲-۱- ارزیابی صحت الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته

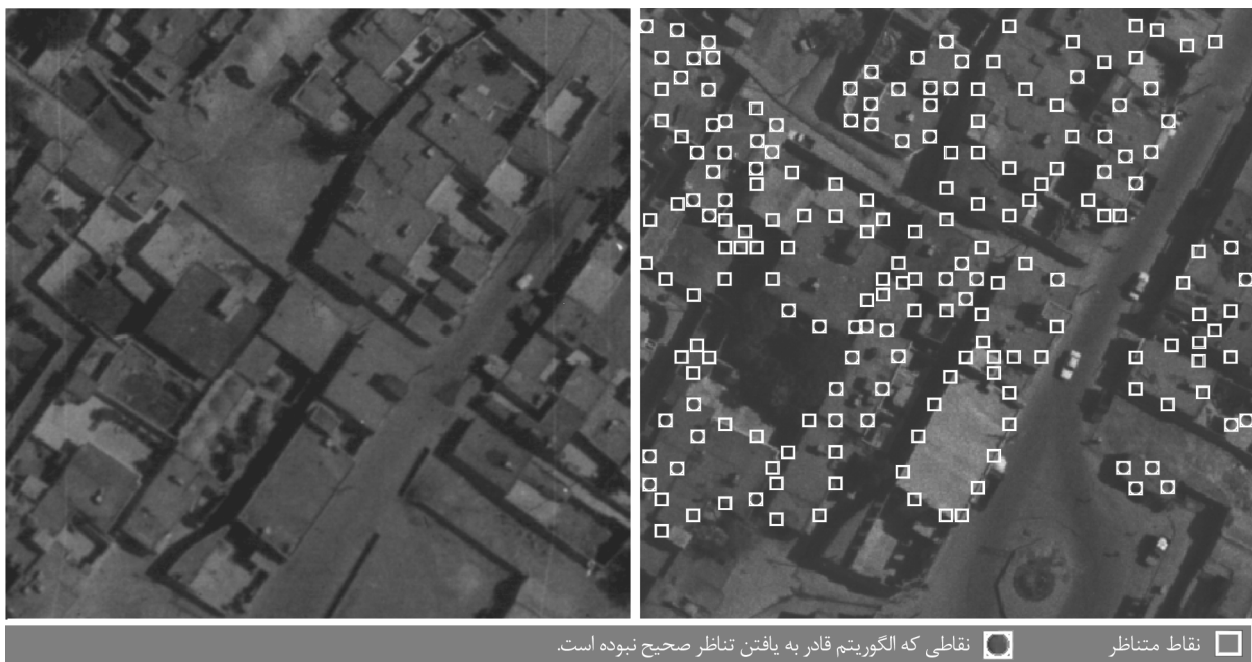
از آنجایی که صحت داده‌های به دست آمده از یک سیستم، نشان‌دهنده میزان نزدیکی این داده‌ها، به داده‌های مرجع با قابلیت اعتمادپذیری قابل قبول می‌باشد، لذا برای تست صحت نتایج به دست آمده از الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته در این تحقیق، ۵۰ عارضه ساختمانی که پاسخ سیستم در رابطه با تغییر یا عدم تغییر هندسی نقاط منتخب بر روی آنها ثبت شده بود، در نظر گرفته شد و نتایج به دست آمده از سیستم پیاده‌سازی شده را در مورد شناسایی تغییرات، با نتایج مورد انتظار مقایسه گردید. منظور از نتایج مورد انتظار، مناطقی از تصویر می‌باشند که با آنالیز بصری از وقوع تغییر هندسی (تخریب) یا عدم تغییر در این مناطق آگاه هستیم. نتایج به دست آمده در جدول (۲) نشان داده شده است.

#### ۳-۲-۲- ارزیابی دقت الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته

معیار دقت مورد استفاده در ارزیابی سیستم پیاده‌سازی



تصویر (۳): نمای کلی نرم‌افزار پیاده‌سازی شده بر اساس الگوریتم تناظریایی کمترین مربعات توسعه یافته به منظور شناسایی تغییرات ساختمان.



تصویر (۴): نقشه تغییرات به دست آمده از الگوریتم طراحی شده.

#### ۴- نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیریها می‌باشد. بر این اساس استفاده از قابلیت‌های GIS و فتوگرامتری در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله با استفاده از تلفیق اطلاعات موجود در پایگاه داده GIS و تصاویر هوایی اخذ شده در دو زمان قبل و بعد از وقوع تغییرات، موفق به ارائه روشی مبتنی بر تناظریایی کمترین مربعات به منظور شناسایی تغییرات هندسی

تصویربرداری هوایی کاربردهای گسترده‌ای را در برآورد خسارات و مدیریت بحران دارد. یک برنامه مدیریت بحران کارا و موفق نیاز به اطلاعات به روز با قابلیت دسترسی سریع دارد، همچنین احتیاج به ابزارهای مخصوصی جهت پردازش و تجزیه تحلیل این اطلاعات، جهت بهره‌گیری در

## ۵- مراجع

1. Turker, M. and San, B.T. (2004). Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs, *International Journal of Remote Sensing*, **25** (21), 4701-4714.
2. Ogawa, N. and Yamazaki, F. (2002). Photo-interpretation of building damage due to earthquake using aerial photographs, Earthquake Disaster Mitigation Research Center, RIKEN, Japan.
3. Turker, M. and Cetinkaya, B. (2005). Automatic detection of earthquake-damaged buildings using DEMs created from pre- and post-earthquake stereo aerial photographs, *International Journal of Remote Sensing*, **26**(4), 823-832.
4. Kosugi, Y. and Sakamoto, M. (2004). Urban change detection related to earthquakes using an adaptive nonlinear mapping of high-resolution images, *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, **1**(3), 152-156.
5. Gruen, A. (1985). Adaptive least squares correlation: a powerful image matching technique, *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing & Cartography*, **14**(3), 175-187.
6. Agouris, P. (1992). Multiple image multiple matching for aerotriangulation, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
7. Baltsavias, E.P. (1991). Multiphoto geometrically constrained matching 49, ETH-Institute for Geodesy and Photogrammetry, Zurich.
8. Forstner, W. (1982). On the geometric precision of digital correlation, *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, **24**(3), 176-189.
9. Gruen, A.W. and Baltsavias, E.P. (1987). Geometrically constrained multiphoto matching, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**(5), 633-64.
10. Grien, A. and Akca, D. (2005). Least square 3D surface matching, *ASPRS Annual Conference*.
11. Kraus, K. (1997). *Photogrammetry*, 2, 4<sup>th</sup> Edition, Fer. Dümmlers Verlag, Bonn, ISBN 3-427-78694-3.

ساختمانها در امتداد لبه‌ها شدید. داده‌های مورد استفاده به منظور پیاده‌سازی عملی روش ارائه شده در قالب یک سیستم کاربردی، دو تصویر اخذ شده در سالهای ۱۳۶۷ و ۱۳۸۱ در مقیاس ۱/۱۰۰۰ از یک منطقه شهری واقع در اسلام‌آباد، به همراه اطلاعات برداری مربوط به تصویر اخذ شده در سال ۱۳۶۷ می‌باشد. داده‌های برداری موجود در پایگاه GIS، محدوده مرزی ساختمانهای موجود در منطقه مورد مطالعه را در سال ۱۳۶۷ نشان می‌دهد که در سیستم طراحی شده در این تحقیق از این داده‌های برداری برای تشکیل تمپلت اولیه برای تعیین محدوده ساختمانها بر روی تصویر قدیمی استفاده گردیده است. برای تست صحت عملکرد سیستم ۵۰ عارضه ساختمانی که پاسخ سیستم در رابطه با تغییر یا عدم تغییر هندسی نقاط منتخب بر روی آنها ثبت شده بود، در نظر گرفته شد و نتایج به دست آمده از سیستم پیاده‌سازی شده در مورد شناسایی تغییرات، با نتایج مورد انتظار مقایسه گردید. منظور از نتایج مورد انتظار، مناطقی از تصویر می‌باشند که با آنالیز بصری از وقوع تغییر هندسی (تخریب) یا عدم تغییر در این مناطق آگاه هستیم. معیار ارزیابی دقت سیستم نیز، مقدار جابه‌جایی دو پنجره‌ای که در طول زمان تغییری نداشته‌اند، در نظر گرفته شد. ارزیابی و تست نتایج به دست آمده توسط این سیستم از نقطه نظر صحت و دقت، نشان داد که الگوریتم طراحی شده قادر است در بیش از ۷۰ درصد موارد تغییرات را به درستی شناسایی نموده و با دقت ۰/۴۵ پیکسل، دو لبه موجود در دو تصویر قدیم و جدید را تفکیک نماید. ارائه مختصات زمینی و تصویری مناطق تخریب شده، محاسبه درصد تغییرات در منطقه مورد نظر و محاسبه درصد تغییرات برای تک تک عوارض ساختمانی و برآورد میزان تخریب در منطقه آسیب دیده از جمله توانمندیهای الگوریتم تناظریابی کمترین مربعات توسعه یافته در این مقاله می‌باشد. با توجه به آنچه شرح داده شد، مقدار درصد تخریب در مورد منطقه مورد تست ۴۸/۳٪ می‌باشد. بنابراین هدف از طراحی و پیاده‌سازی این سیستم، مدیریت صحیح و به موقع بحران زلزله از طریق ساماندهی و تدوین ساختاری مناسب به منظور بهبود و بازسازی ساختمانهای آسیب دیده می‌باشد.

۱۲. زیرک‌ساز، سیمین تاج (۱۳۸۶). طراحی و پیاده‌سازی مدلی به منظور شناسایی اتوماتیک تغییرات هندسی عوارض از روی عکسهای هوایی مبتنی بر روشهای دانش پایه با تأکید بر عرضه ساختمان، کتابخانه دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

## ۶- پانوش

- ۱- *Photo-interpretation*
- ۲- *Digital Elevation Model*
- ۳- *Adaptive*
- ۴- *Image Based Matching*
- ۵- *Primitive*
- ۶- *Area Based Matching (ABM)*
- ۷- *Feature Based Matching (FBM)*
- ۸- *Correlation*
- ۹- *Least Square Matching (LSM)*
- ۱۰- *Invariant*
- ۱۱- *MSE: Minimum Spatial Element*
- ۱۲- *Resampling*