

ترمیم تصاویر رنگی با نواحی مخدوش بزرگ براساس تجزیه تصویر به مولفه‌های بافت و ساختار

رحیم کامران^۱ حسین نظام‌آبادی پور^۲ سعید سریزدی^۳

۱- کارشناس ارشد، بخش مهندسی برق - دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

kamran@graduate.uk.ac.ir

۲- دانشیار، بخش مهندسی برق - دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

nezam@mail.uk.ac.ir

۳- دانشیار، بخش مهندسی برق - دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

saryazdi@mail.uk.ac.ir

چکیده: در این مقاله روشی برای ترمیم تصاویر رنگی شامل نواحی مخدوش بزرگ پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی از الگوریتم پایه ترمیم مسیرهای هندسی به عنوان الگوریتم پایه استفاده و پیشنهادهایی برای تعمیر و بهبود آن ارائه شده است. علاوه بر آن برای ترمیم و بازسازی باکیفیت جزئیات و نواحی دارای بافت از روش تفکیک مولفه‌های بافت و ساختار استفاده شده است. سپس، هر یک از مولفه‌ها به شیوه‌ای مناسب ترمیم شده و تصویر بازسازی شده نهایی را تولید می‌کنند. به منظور تعیین میزان کارایی روش پیشنهادی، این روش به همراه دو روش پایه بر روی ۳۰ تصویر متنوع پیاده‌سازی شده و نتایج ارائه شده است. نتایج آزمایش‌ها کارایی الگوریتم پیشنهادی مخصوصاً در ترمیم تصاویر با نواحی خراب بزرگ را در قیاس با سایر الگوریتم‌ها نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: ترمیم تصویر، حذف متن، تصویر رنگی، مسیرهای هندسی، بافت، ساختار

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۷/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۰/۶/۷

نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر حسین نظام‌آبادی پور

نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران - کرمان - انتهای بلوار ۲۲ بهمن - دانشگاه شهید باهنر کرمان - بخش مهندسی برق.

۱- مقدمه

با گسترش فناوری‌های مرتبط با علوم کامپیوتر شامل سخت افزار، نرم-افزار و ارتباطات مبتنی بر وب، اطلاعات تصویری بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. بر این مبنا، روش‌های پردازش تصویر به عنوان ابزاری اساسی در خصوص رفع نیازهای بوجود آمده در این بخش رشد چشمگیری یافته اند. از جمله کاربردهای امروزی پردازش تصویر می‌توان به مباحث پنهان‌نگاری [۱]، بازیابی تصویر بر اساس محتوا [۲]، کدگذاری تصویر [۳] و ترمیم تصویر [۴-۷] اشاره کرد.

ترمیم تصویر در حقیقت بازسازی قسمت‌های مخدوش تصویر همانند خراش‌ها و شکاف‌ها به گونه‌ای است که پیوستگی بافت تصویر حفظ شود و برای شخص بیننده قابل تشخیص نباشد. ترمیم تصویر دارای کاربردهای متنوعی مانند بازسازی تصاویر قدیمی، حذف خراش‌ها و شکاف‌های ایجاد شده در تصاویر و نیز حذف اشیاء نامطلوب همانند متن و تبلیغات از تصاویر است. در یک تقسیم بندی کلی می‌توان روش‌های ترمیم تصویر را به ۵ دسته تقسیم بندی کرد [۸-۱۹].

الف- روشهای مبتنی بر معادلات دیفرانسیل

ب- روشهای مبتنی بر تغییرات کل^۲

ج- روشهای مبتنی بر خصوصیات هندسی

د- روشهای جستجو در تصویر

ه- ترمیم در حوزه فرکانس

نخستین بار در سال ۲۰۰۰، برتالمیو^۳ از معادلات دیفرانسیل برای ترمیم تصاویر دیجیتال استفاده کرد [۱۰]. او ابتدا مفهوم ایزوفوت را برای یک سطح خاکستری بدین صورت مطرح کرد که با فرض این‌که $u(p) = \lambda$ بیانگر سطح خاکستری λ در تصویر u برای پیکسل p باشد، آنگاه ایزوفوتها به عنوان مرزهای مجموعه سطوح خاکستری با مقادیر بزرگتر از λ در نظر گرفته می‌شوند. رابطه (۱) خصوصیت این سطوح را بیان می‌کند.

$$P_{\lambda}'' = \{p, u(p) \geq \lambda\} \quad (1)$$

وی سپس راه حل خود را به این صورت بیان کرد که در هر مرحله از ترمیم، مقدار تغییرات اطلاعات نسبت به مرحله قبل محاسبه شده و این تغییرات در جهت ایزوفوتها انتشار داده می‌شود. در این روش، برای محاسبه اطلاعات لازم برای ترمیم، در هر مرحله از یک تخمین‌گر هموارکننده که معمولاً معادله لاپلاسیان است، استفاده می‌شود [۱۰ و ۱۱].

اشکال عمده روش ارائه شده توسط برتالمیو این بود که این روش قادر به ترمیم کامل نواحی بزرگ نبود. بنابراین، برای حل این مسأله چن وشن^۴ روش CDD^۵ را ارائه کردند که هدف آن ترمیم مناطق بزرگتر است و این عمل با در نظر گرفتن اطلاعات هندسی ایزوفوتها برای تعیین شدت فرایند نفوذ انجام می‌شود [۱۳]. اگر ایزوفوتها دارای انحنای زیادی در نقطه مورد نظر باشند، نفوذ با شدت بیشتری انجام می‌شود در حالی‌که نفوذ، بهنگام کاهش انحناء، کاهش می‌یابد [۱۳]. روش دیگری در سال ۲۰۰۱ برای ترمیم اثر برجای مانده از حذف متن انگلیسی از تصاویر به

نام روش سریع ارائه شد. در این روش، نقاط ناحیه مخدوش با یک ماسک گوسی بصورت بی درپی کانالو می‌شوند. در حقیقت، ایده این روش را می‌توان به این صورت بیان کرد که کانالو کردن تصویر با ماسک گوسی معادل نفوذ همسانگرد (معادله خطی دما) است. از خصوصیات این روش می‌توان به سادگی و سریع بودن آن و از اشکالات آن به نرم کردن لبه‌های تیز موجود در تصویر اشاره کرد [۱۵].

در سال ۲۰۰۵ روشی بر پایه معادله استوکس^۶ ارائه شد که در آن از تشابه بین رفتارسیال و تصویر و نفوذ ناهمسانگرد برای ترمیم استفاده می‌شود. در حقیقت بر اساس معادله استوکس-که رفتار سیال فشرده نشدنی را بیان می‌کند- معادله‌ای برای ترمیم ناحیه مورد نظر در تصویر بیان شد [۱۶].

یکی از جدیدترین روشهای ارائه شده در سال ۲۰۰۷، ترمیم تصویر با استفاده از مسیره‌های هندسی با کوتاه ترین طول است [۲۰]. مسیر با کوتاه‌ترین طول بین دو نقطه روی سطح S یک منحنی، بصورت $S \rightarrow a: I$ است که بردار شتاب آن "a"، در هر نقطه برسطح S عمود است. منحنی‌های با کوتاه‌ترین طول دارای این خصوصیات هستند که الف- این منحنی‌ها کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه متعلق به سطح می‌باشند (بین منحنی‌هایی که دو نقطه سطح را بهم وصل می‌کنند دارای کوتاه‌ترین طول می‌باشند) ب- این منحنی‌ها مستقیم‌ترین منحنی‌های متعلق به سطح می‌باشند (در بین همه منحنی‌هایی که از یک نقطه گذشته و در آن دارای مماس می‌باشند دارای کمترین انحناء هستند). این روش، نواحی تخریب شده تصویر را بگونه‌ای اصلاح می‌کند که اصل پیوستگی^۷ تصویر برقرار باشد. در این روش تصویر بصورت مجموعه‌ای از خطوط همسطح^۸ در نظر گرفته می‌شود که بازسازی بخش‌های خراب بوسیله انتشار اطلاعات از اطراف ناحیه مورد نظر به درون آن و در امتداد منحنی‌های ذکر شده، صورت می‌گیرد. از محاسن این روش می‌توان به بکارگیری خصوصیات هندسی تصویر و عدم استفاده از معادلات دیفرانسیل اشاره کرد. یکی از معایب روش مسیره‌های هندسی، عدم توانایی آن در ترمیم نواحی مخدوش با ابعاد بزرگ بخصوص در تصاویر رنگی است. این اشکال، ناشی از وجود نواقص زیر است.

الف- ترمیم تصاویر رنگی با رویکرد اسکالر

ب- نحوه محاسبه جهت انتشار اطلاعات

ج- نحوه محاسبه اطلاعات نواحی مخدوش بر اساس اطلاعات پیکسل-های همسایه

نوآوری این مقاله عبارت است از تعمیم روش مسیره‌های هندسی برای ترمیم نواحی مخدوش بزرگ در تصاویر رنگی که شامل اصلاحاتی بر روش فوق به شرح زیر است:

الف- ارائه روشی برداری برای انتخاب جهت انتشار و انتشار برداری اطلاعات در تصاویر رنگی.

ب- ارائه راه‌کاری جدید برای تعیین جهت انتشار(انتشار اطلاعات در جهت با میانه مشتق جهتی).

ج- تصحیح رابطه محاسبه اطلاعات نواحی مخدوش بر اساس اطلاعات پیکسل‌های همسایه.

د- بهبود روش پیشنهادی برای ترمیم تصاویر رنگی دارای بافت براساس تجزیه تصویر به دوبخش بافت و ساختار.

ساختار مقاله در ادامه به این صورت است که ابتدا در بخش دوم، روش ترمیم مبتنی بر مسیرهای هندسی تشریح می شود. سپس، در بخش سوم تعمیمی بر روش مسیرهای هندسی بمنظور ترمیم تصاویر رنگی دارای خرابی با ابعاد بزرگ پیشنهاد می شود. در بخش چهارم، بهبود تعمیم پیشنهادی روش مسیرهای هندسی، برای تصاویر رنگی دارای بافت ارائه می شود. در بخش پنجم، آزمایشها و نتایج حاصل از روش‌های پیشنهادی ارائه شده و نهایتاً در بخش ششم مقاله جمع بندی می شود.

۲- ترمیم تصاویر دیجیتال با روش مسیرهای هندسی

همانطور که ذکر شد یکی از روش‌های جدیدی که اخیراً در زمینه ترمیم تصویر ارائه شده است، ترمیم با استفاده از مسیرهای هندسی با کوتاه-ترین طول بین نقاط است. برای توضیح این روش، ابتدا مفهوم و خصوصیات مسیرهای هندسی بیان می شود [۲۰].

۲-۱- مسیرهای هندسی

یک مسیر هندسی روی سطح S ، یک منحنی پارامتری بصورت $\alpha: I \rightarrow S$ است که بردار شتاب آن $\alpha''(t)$ در هر نقطه عمود بر سطح S می باشد. همانطور که می دانیم از دو نقطه متعلق به یک سطح تعداد زیادی منحنی عبور می کند ولی در بین این منحنی‌ها، تنها یک منحنی وجود دارد که دارای کوتاه‌ترین طول و مستقیم‌ترین مسیر است. این منحنی بعنوان مسیر هندسی شناخته می شود. در مرجع [۲۰] از این مسیری برای بازسازی مناطق مخدوش استفاده می شود.

۲-۲- انرژی یک منحنی

با فرض اینکه $C: [0,1] \rightarrow S$ یک منحنی متعلق به سطح S باشد، انرژی منحنی بصورت زیر محاسبه می شود.

$$E(c) = \int_0^1 |c'(t)|^2 dt \quad (2)$$

اگر $l(c)$ طول منحنی باشد، داریم:

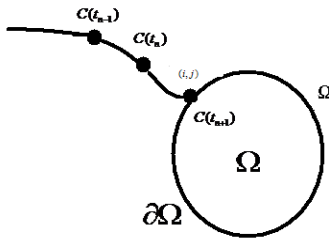
$$l(c) = \int_0^1 |c'(t)| dt \quad (3)$$

از آنجاکه:

$$\left(\int_0^1 |c'(t)| dt \right)^2 \leq \int_0^1 |c'(t)|^2 dt \quad (4)$$

آنگاه رابطه $(l(c))^2 \leq E(c)$ همواره برای انرژی منحنی برقرار است. با در نظر گرفتن نامساوی فوق و با فرض اینکه $g: [0,1] \rightarrow S$ یک مسیر

هندسی با خصوصیات ذکر شده باشد و داشته باشیم $g(0) = P$ و $g(1) = Q$ ، آنگاه برای هر منحنی بصورت $C: [0,1] \rightarrow S$ که نقاط P و Q را بهم وصل می کند داریم: $E(g) \leq E(c)$. در این رابطه حالت تساوی زمانی برقرار می شود که C یک منحنی هندسی با کوتاه-ترین فاصله بین نقاط P و Q باشد. شکل ۱ کوتاهترین منحنی بین دو نقطه t_n و t_{n+1} که حداقل انرژی را دارد، نشان می دهد.



شکل (۱): منحنی C ، کوتاهترین منحنی بین دو نقطه $c(t_n)$ و $c(t_{n+1})$

۲-۳- الگوریتم ترمیم با منحنی‌های با کوتاه‌ترین مسیر

در روش مرجع [۲۰] برای پیدا کردن امتداد خطوط همسطح (ایزوفوتها) از بیرون به درون ناحیه مخدوش پیشنهاد شده است که تابع بیان شده در رابطه (۳) کمینه شود. با این شرط که به ازای تمام زمانها داشته باشیم $c'(t).c''(t) = 0$ که C یک منحنی با خصوصیات ذکر شده باشد. مراحل مختلف این الگوریتم عبارتند از:

الف- مشخص کردن ناحیه مخدوش

ب- تعیین نقاط مرزی ناحیه مورد نظر. پیکسلی بعنوان نقطه مرزی شناخته می شود که اولاً متعلق به ناحیه مخدوش باشد و ثانیاً هر همسایگی به شعاع ۲ پیکسل اطراف نقطه مورد نظر دارای حداقل یک پیکسل باشد که متعلق به ناحیه مخدوش نباشد.

ج) پر کردن اطلاعات پیکسل‌های متعلق به حاشیه به گونه‌ای که تابع $l(c) = \int_c |c'(t)| dt$ همواره کمینه شود. در حالت گسسته این شرایط با

انجام مراحل زیر حاصل می شود.

ج-۱) برای هر پیکسل متعلق به مرز، خطوط همسطح گذرنده از این نقطه در ۴ راستا و برای هر راستا در دو جهت آن تحلیل می شود. بدین معنی که خطوط سطحی در جهات $E-W, W-E, SE-NW, NW-SE$ ،

و $S-N, N-S$ تحلیل شده و جهاتی که دارای شرط ذکر شده در بند (ب) هستند انتخاب می شود. شکل (۲) جهات تحلیل شده برای یک پیکسل مرزی نشان می دهد. در این شکل علامت "o" بیانگر پیکسل سالم (دارای مقدار معلوم)، علامت "x" بیانگر پیکسل متعلق به ناحیه مخدوش و علامت "*"، نشان دهنده پیکسل مرزی در حال ترمیم است.

$$F_{w6} = \frac{u(i-2, j+1) - u(i-1, j+2)}{\sqrt{2}}$$

$$F_{w7} = \frac{u(i-2, j-1) - u(i-2, j+1)}{2}$$

$$F_{w8} = \frac{u(i-1, j-2) - u(i-2, j-1)}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

ج-۴) مقدار انتشار یافته به پیکسل مخدوش با رابطه (۷) محاسبه می شود که در این رابطه $c(t_{n+1})$ مقدار پیکسل در حال بازسازی و $c(t_n)$ مقدار نزدیکترین پیکسل به پیکسل مذکور است که دارای مقدار معلوم بوده و در جهت انتخاب شده برای ترمیم قرار دارد و Δt فاصله اقلیدسی بین پیکسل معلوم و پیکسل در حال ترمیم است.

$$c(t_{n+1}) = c(t_n) + \Delta t \cdot c'(t_n) \quad (7)$$

رابطه ذکر شده بدین معنی است که مقدار نزدیکترین پیکسلی که در جهت خط سطحی دارای کمترین مقدار مشتق جهتی قرار دارد با ضریبی از مقدار مشتق جهتی جمع شده و بجای مقدار پیکسل نامعلوم قرار داده می شود.

د) پیکسلهایی که توسط مراحل بالا اصلاح می شوند از ناحیه مورد نظر برای ترمیم خارج می شوند.

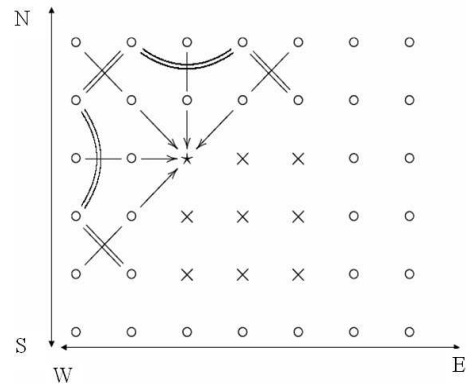
ه) اگر هنوز پیکسلی در ناحیه مورد ترمیم باقی مانده باشد الگوریتم مجدداً از مرحله (ب) آغاز می شود

مراحل اجرای الگوریتم فوق در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین خطوط همسطح با علامت \rightarrow و \circ - و جریان عمود بر خط همسطح با علامت "=" مشخص شده است.

۳- تعمیم روش مسیره‌های هندسی بمنظور ترمیم تصاویر رنگی

در الگوریتم ترمیم با منحنی‌های هندسی، برای ترمیم تصاویر رنگی، ابتدا صفحات R (قرمز)، G (سبز) و B (آبی) تصویر مورد نظر استخراج می-شود. سپس، هرکدام از صفحات بطور مستقل از صفحات دیگر با استفاده از مراحل ذکر شده در قسمت ۲-۳ ترمیم می‌شود. بدین صورت که در هرکدام از صفحات، ابتدا پیکسل‌های مرزی ناحیه مورد نظر برای ترمیم استخراج شده و برای هر پیکسل مرزی مشتقات جهتی محاسبه می‌شود.

سپس، جهت با کمترین مقدار مشتق، انتخاب و انتشار اطلاعات در آن جهت انجام می‌شود. بنابراین، این امکان وجود دارد که برای بازسازی یک پیکسل مرزی متعلق به ناحیه مخدوش، در هرکدام از صفحات G ، R و B انتشار اطلاعات در جهات متفاوتی صورت پذیرد. با پیاده سازی روش مذکور برای تصاویر دارای نواحی مخدوش با ابعاد متفاوت، مشاهده شد که با بزرگ شدن ابعاد ناحیه مخدوش (۷ پیکسل به بالا)، این روش قادر به ترمیم کامل تصویر نیست.



شکل (۲): جهات مورد تحلیل در روش ترمیم تصویر با استفاده از منحنی‌های با کوتاه‌ترین مسیر

ج-۲) برای جهات واجد شرط ذکر شده در قسمت (ب)، مشتقات جهتی محاسبه و جهت با کمترین مقدار مشتق انتخاب می‌شود. برای محاسبه مشتق‌های جهتی از مجموعه روابط (۵) استفاده می‌شود.

$$w_1 = u(i, j-1) - u(i, j-2)$$

$$w_2 = \frac{u(i+1, j-1) - u(i+2, j-2)}{\sqrt{2}}$$

$$w_3 = u(i+1, j) - u(i+2, j)$$

$$w_4 = \frac{u(i+1, j+1) - u(i+2, j+2)}{\sqrt{2}}$$

$$w_5 = \frac{u(i-1, j+1) - u(i-2, j+2)}{\sqrt{2}}$$

$$w_6 = \frac{u(i-1, j+1) - u(i-2, j+2)}{\sqrt{2}}$$

$$w_7 = u(i-1, j) - u(i-2, j)$$

$$w_8 = \frac{u(i-1, j-1) - u(i-2, j-2)}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

که در این رابطه w_1 تا w_8 به ترتیب برابر مشتق‌های جهتی در جهات $N-S$ ، $S-N$ ، $NE-SW$ ، $SW-NE$ ، $E-W$ ، $W-E$ ، $SE-NW$ ، $NW-SE$ و $u(i, j)$ تصویر ورودی می‌باشند.

ج-۳) اگر دو جهت متفاوت دارای مقدار مشتق جهتی یکسان باشند، جهت انتخاب می‌شود که دارای بزرگترین مقدار مشتق در جهت عمود بر جهت همسطح باشد. برای محاسبه مشتق در جهت عمود بر خطوط همسطح از مجموعه روابط (۶) استفاده می‌شود.

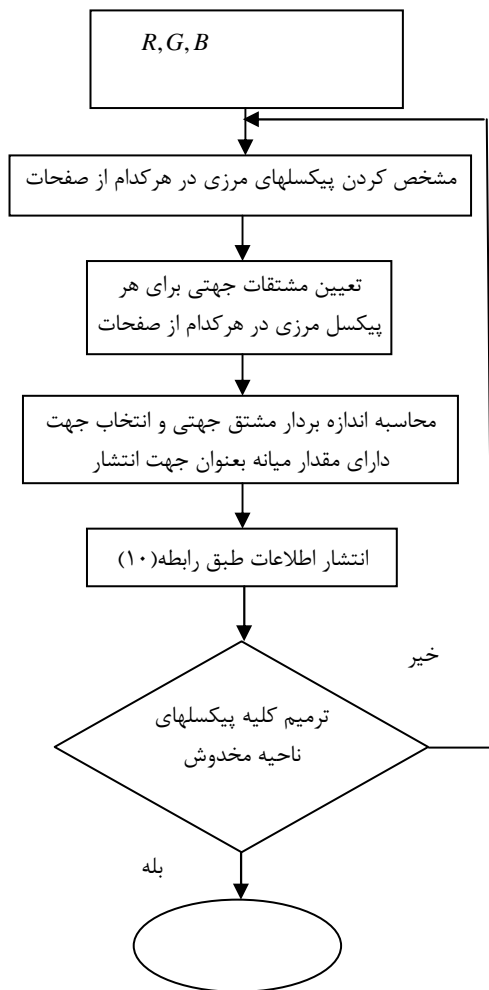
$$F_{w1} = \frac{u(i+1, j-2) - u(i-1, j-2)}{2}$$

$$F_{w2} = \frac{u(i+2, j-1) - u(i+1, j-2)}{\sqrt{2}}$$

$$F_{w3} = \frac{u(i+2, j+1) - u(i+2, j-1)}{2}$$

$$F_{w4} = \frac{u(i+1, j+2) - u(i+2, j+1)}{\sqrt{2}}$$

$$F_{w5} = \frac{u(i-1, j+2) - u(i+1, j+2)}{2}$$



شکل (۳): بلوک دیاگرام روش تعمیم یافته مبتنی بر روش مسیره‌های هندسی

برای بدست آوردن مقدار بهینه ضریب α ، روش پیشنهادی بر روی ۳۰ تصویر با جزئیات متنوع و نواحی خراب با اندازه‌های بزرگ و مقادیر متفاوت برای α آزموده شد. نتایج آزمایشها نشان داد که اگر مقدار این ضریب حدود ۰/۴ در نظر گرفته شود، بهترین نتیجه از لحاظ کیفیت تصویر بدست می‌آید.

۴- بهبود روش پیشنهادی در ترمیم تصاویر رنگی دارای بافت

پس از اعمال روش پیشنهادی بر روی تصاویر رنگی دارای جزئیات زیاد و نواحی مخدوش بزرگ، مشخص شد که روش پیشنهادی در تصاویری که بخش زیادی از تصویر را بافت (طرحهای تکراری با جزئیات کوچک) تشکیل می‌دهد، قادر به ترمیم کامل ناحیه مخدوش نیست. برای رفع این مشکل می‌توان پیشنهاد کرد که در تصاویر رنگی دارای بافت، ابتدا به مولفه‌های ساختار^۹ و بافت^{۱۰} تفکیک شده، سپس هر کدام از این مولفه‌ها با روشی جداگانه ترمیم شود. در ادامه، ابتدا روش مرجع [۲۱] برای

انتخاب جهت انتشار اطلاعات متفاوت در صفحات R ، G و B یکی از دلایل ضعف این الگوریتم برای ترمیم نواحی بزرگ محسوب می‌شود. برای اصلاح این ضعف باید جهت انتشار اطلاعات در سه صفحه یکسان در نظر گرفته شود. برای بدست آوردن جهت انتشار واحد در سه صفحه براساس مشتقات جهتی، پیشنهاد می‌شود که از بردار مشتق جهتی برای تعیین جهت انتشار استفاده شود. الگوریتم پیشنهادی بدین صورت است که در هر کدام از صفحات R ، G و B ، ابتدا پیکسل‌های مرزی استخراج می‌شود (پیکسل‌های مرزی دارای همان شرایط ذکر شده در قسمت ۲-۳ هستند). سپس، برای هر پیکسل مرزی مشتقات جهتی در هر کدام از صفحات بطور جداگانه محاسبه می‌شود. پس از محاسبه مشتقات جهتی، برای هر پیکسل مرزی، بردار مشتق جهتی برای هر یک از همسایه‌های این پیکسل حاصل می‌شود. هر کدام از این بردارها دارای سه مولفه مشتق به ترتیب در صفحات R ، G و B هستند. بردار مشتق جهتی برای یک پیکسل مرزی در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$GV_i = (GV_{Ri}, GV_{Gi}, GV_{Bi}) \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (8)$$

که GV_{Bi} و GV_{Gi} و GV_{Ri} به ترتیب بیانگر مولفه مشتق جهتی در صفحات R ، G و B برای پیکسل i ام است. به منظور مقایسه بردارهای مشتق جهتی، اندازه هر کدام از بردارها طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$M_i = \sqrt{GV_{Ri}^2 + GV_{Gi}^2 + GV_{Bi}^2} \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (9)$$

پیشنهاد بعدی در چگونگی انتخاب جهت انتشار است. در بخش ۲-۳ اشاره شده که جهت با کمترین مقدار مشتق جهتی، جهت انتشار را تعیین می‌کند. پیشنهاد می‌شود که بعد از محاسبه اندازه بردار گرادینان جهتی، جهت متناظر با مقدار میانه اندازه این بردار بعنوان جهت انتشار انتخاب شود. بدین معنی که پس از محاسبه $M_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ ها، برای هر پیکسل مرزی، جهتی که دارای مقدار میانه M_i ها است بعنوان جهت انتشار اطلاعات انتخاب شود. از دیگر اصلاحات پیشنهادی، بازنگری در رابطه انتشار اطلاعات (رابطه ۷) است. به عبارتی پیشنهاد می‌شود، این رابطه با رابطه (۱۰) جایگزین شده و ضریب $(0 < \alpha < 1)$ به این رابطه وارد شود.

$$c(t_{n+1}) = c(t_n) + \alpha \cdot \Delta t \cdot c'(t_n) \quad (10)$$

بلوک دیاگرام روش پیشنهادی- تعمیم یافته روش مسیره‌های هندسی- در شکل ۳ ارائه شده است.

تفکیک مولفه‌های بافت و ساختار یک تصویر بیان شده، سپس روش ترمیم هر کدام از مولفه‌ها ارائه می‌شود.

۴-۱- الگوریتم استخراج بافت و ساختار

برای استخراج مولفه‌های بافت و ساختار تصویر رنگی مورد نظر، می‌توان از روش بیان شده در مرجع [۲۱] استفاده کرد. این روش با فرض اینکه f تصویر مورد نظر، v مولفه بافت و u مولفه ساختار تصویر است، برای استخراج بخش بافت (v) و ساختار (u) تصویر f ، بخش ساختار (u) را بگونه ای می‌یابد که رابطه (۱۱) کمینه شود.

$$F(u) = \int |\nabla u| + \lambda \int |f - u|^2 dx dy \quad (11)$$

که در این رابطه λ یک پارامتر قابل تغییر برای بدست آوردن مقدار کمینه $F(u)$ است.

در مراجع [۲۰ و ۲۱] نشان داده شده است که پاسخی از u که رابطه (۱۱) را کمینه می‌کند یکتا و برابر است با $u = f + \frac{1}{2\lambda} \operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)$ پس از

بدست آوردن زیر تصویر ساختار، بخش بافت از رابطه (۱۲) بدست می‌آید.

$$v = f - u = -\frac{1}{2\lambda} \operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \quad (12)$$

با تعریف $g_1 = -\frac{1}{2\lambda} \frac{u_x}{|\nabla u|}$ و $g_2 = -\frac{1}{2\lambda} \frac{u_y}{|\nabla u|}$ می‌توان بخش بافت

را به صورت $v = \operatorname{div}(\vec{g})$ تعریف کرد که در آن $\vec{g} = (g_1, g_2)$.

بنابراین، می‌توان برای بدست آوردن مولفه‌های بافت و ساختار تصویر رنگی مورد نظر، ابتدا مولفه‌های R (قرمز)، G (سبز) و B (آبی) آن استخراج و سپس برای هر کدام از مولفه‌ها بطور جداگانه زیر تصویرهای بافت و ساختار استخراج شود.

۴-۲- ترمیم مولفه بافت

پس از استخراج زیر تصویرهای بافت و ساختار، هر کدام از زیر تصویرها با استفاده از روشی مجزا بازسازی می‌شود. برای بازسازی پیکسل‌های متعلق به بخش بافت، می‌توان از روش ترمیم بر مبنای جستجو استفاده کرد [۲۲]. در این روش برای ترمیم هر پیکسل مخدوش، تمام تصویر جستجو شده و شبیه‌ترین ناحیه به ناحیه مخدوش پیدا می‌شود [۲۲]. از آنجایی که جستجوی تمام تصویر برای یافتن شبیه‌ترین ناحیه بسیار زمان‌بر است، در این مقاله یک روش کم هزینه‌تر پیشنهاد می‌شود. بدین صورت که ابتدا در اطراف هر پیکسل مرزی مخدوش در زیر تصویر بافت، یک ماسک به ابعاد $w \times w$ در نظر گرفته می‌شود بطوریکه پیکسل مورد نظر در مرکز ماسک قرار گیرد ($w \geq 5$). سپس، در اطراف پیکسل مذکور ناحیه‌ای به ابعاد $T \times T$ که ($T > w$ و $T \geq 15$) می‌باشد، انتخاب می‌شود. در ناحیه انتخابی ماسک‌های با ابعاد $w \times w$ انتخاب و فاصله اقلیدسی آن با ماسک اولیه که پیکسل مورد نظر در مرکز آن قرار دارد محاسبه می‌شود. ماسک‌های انتخابی بایستی دارای این خصوصیت باشند

که حداقل $\frac{4}{5}$ پیکسل‌های متعلق به ماسک، دارای مقدار معلوم باشند. با

فرض اینکه x_i ($i = 1, \dots, n$) مقادیر پیکسل‌های ماسک اولیه و w_i ($i = 1, \dots, n$) مقادیر پیکسل‌های ماسک‌های انتخابی باشد فاصله

اقلیدسی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i (x_i - w_i)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

که در این رابطه $n = w \times w$ بیانگر اندازه ماسک است. b_i یک مقدار باینری است و برای عناصری از ماسک که مقدار آنها معلوم است ۱ و برای عناصری که متعلق به ناحیه مخدوش هستند، صفر در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه فواصل اقلیدسی، ماسکی که به ازای آن کمترین مقدار فاصله اقلیدسی حاصل می‌شود انتخاب و پیکسل مرکزی آن بجای پیکسل نامعلوم قرار داده می‌شود. اگر به ازای چند ماسک بطور همزمان فاصله اقلیدسی کمینه شود، بطور اتفاقی یکی از ماسک‌ها انتخاب می‌شود.

۴-۳- ترمیم مولفه ساختار

در مرجع [۲۲] برای ترمیم بخش ساختار تصویر، روش برتالمیو پیشنهاد شده است. برای بررسی کارایی روش برتالمیو، این روش بر روی بخش ساختار تصاویر دارای نواحی مخدوش بزرگ آزمایش و مشاهده شد که با بزرگ شدن اندازه ناحیه مخدوش، تصویر بخوبی ترمیم نمی‌شود. لذا، برای ترمیم نواحی مخدوش بزرگ در بخش ساختار پیشنهاد می‌شود که از روش تعمیم یافته پیشنهادی در بخش ۳ مقاله استفاده شود.

۴-۴- الگوریتم پیشنهادی نهایی

پس بطور کلی الگوریتم روش پیشنهادی مقاله برای ترمیم تصاویر رنگی با نواحی مخدوش یا خرابیهای با ابعاد بزرگ بصورت زیر است.

الف- ابتدا صفحات R ، G و B تصویر استخراج می‌شود.

ب- مولفه‌های بافت و ساختار هر کدام از صفحات با استفاده از روش بیان شده در بخش ۴-۱ جدا می‌شود.

ج- مولفه بافت صفحات R ، G و B ، با استفاده از روش جستجوی بلوکی بیان شده در بخش ۴-۲ ترمیم می‌شود.

د- مولفه ساختار با استفاده از روش پیشنهادی در بخش ۳ ترمیم می‌شود، بدین صورت که:

د-۱- در مولفه ساختار صفحات R ، G و B پیکسل‌های مرزی استخراج می‌شود.

د-۲- برای هر کدام از پیکسل‌های مرزی مشتقات جهتی محاسبه و اندازه بردار مشتق جهتی توسط رابطه (۹) محاسبه و جهت دارای مقدار میانه اندازه بردار مشتق جهتی تعیین می‌شود.

د-۳- مقدار پیکسل مرزی طبق رابطه (۱۰) بازسازی می-شود.

ح- پس از بازسازی هر کدام از مولفه ها، با فرض اینکه u^* و v^* به ترتیب بافت و ساختار بازسازی شده باشند، تصویر رنگی نهایی بازسازی شده (f^*) از رابطه زیر حاصل می شود.

$$f^* = u^* + v^* \quad (14)$$

۵- آزمایش ها و نتایج

به منظور ارزیابی کارایی، الگوریتم های پیشنهادی (بخش های ۳ و ۴-۴) این الگوریتم ها به ۳۰ تصویر با محتویات متفاوت حاوی نواحی مخدوش بزرگ اعمال شد. همچنین، روش های مراجع [۲۰] و [۲۲] نیز در شرایطی مشابه به عنوان روش های پایه جهت مقایسه پیاده سازی شده اند. به منظور مشاهده جزئیات و چگونگی روند تکامل روش پیشنهادی، این روش در دو گام پیاده سازی شده و نتایج ارائه شده است. در گام اول روش تعمیم یافته پیشنهادی بخش ۳ و در گام دوم الگوریتم نهایی ارائه شده در بخش ۴-۴ پیاده سازی شده است.

لازم به ذکر است که در ترمیم تصویر، هدف پرکردن قسمتهای گمشده تصویر با استفاده از اطلاعات سایر نواحی به نحوی است که یکپارچگی و هماهنگی بین قسمتهای مختلف حفظ شود و هدف رسیدن به تصویر اصلی نیست. به عبارت دیگر، ناظری که برای نخستین بار تصویر بازسازی شده را مشاهده می کند نباید متوجه عدم هماهنگی و ترمیم تصویر بشود. به عبارتی دیگر در فرض مساله، تصویر اصلی در دسترس نیست و هدف این است که اثر بازسازی در تصویر احساس نشود. به همین دلیل، ارزیابی کیفیت روش های مختلف بازسازی تصویر، منحصرأ بر اساس مقایسه شهودی صورت می گیرد. بر همین اساس در این مقاله نیز از مقایسه شهودی نتایج حاصل از الگوریتم های مختلف برای مقایسه کارایی آنها استفاده شده است.

با توجه به مشاهده نتایج مشابه و نیز با توجه به محدودیت صفحات، در این مقاله تنها چند نمونه از نتیجه آزمایش ها در قالب شکل های ۴ تا ۷ آورده شده است. در این تصاویر خرابی های از نوع متنی با اندازه قلم های متفاوت از ۶ تا ۲۴ پیکسل به تصاویر اعمال شده، سپس جای خالی ناشی از حذف آنها توسط روش های پیشنهادی و الگوریتم های مورد مقایسه ترمیم شده است. همان گونه که در این شکل ها مشاهده می شود، روش مراجع [۲۰] هر چند که قادر به ترمیم مناسب نواحی مخدوش باریک است، اما قادر به ترمیم نواحی مخدوش بزرگ و همچنین حفظ بافت تصویر نیست. این موضوع به وضوح در شکل های ۵-ج و ۷-ج مشاهده می شود. همچنین، از آنجا که روش مراجع [۲۰] ترمیم را در تصاویر رنگی با رویکرد اسکالر انجام می دهد، در شکل ۶-ج مشاهده می شود که این روش قادر به ترمیم مناسب تصویر نبوده است (در حالیکه در این تصویر، نواحی مخدوش از نوع متن با عرض قلم ۶ پیکسل بوده اند).

نتایج آزمایشها نشان دهندهی آن است که روش مراجع [۲۲] اگر چه توانسته است ترمیم بخش بافت تصاویر را بخوبی انجام دهد، اما قادر به ترمیم بخش ساختار در نواحی مخدوش بزرگ نیست. این امر به وضوح در شکل های ۴-ه، ۵-د و ۷-د رویت می شود.

شکل های ۵-ه، ۶-ه و ۷-ه بیانگر این نکته هستند که روش پیشنهادی در بخش ۳ (تعمیم روش مسیره های هندسی) قادر است که ترمیم تصاویر با ناحیه مخدوش بزرگ (رنگی و خاکستری) را در قیاس با مراجع [۲۰] و [۲۲] به خوبی انجام دهد هر چند با توجه به شکل ۷-ه این روش قادر به حفظ بافت تصویر نیست. این معضل با الگوریتم نهایی ارائه شده در بخش ۴-۴ برطرف شده است. تصاویر ارائه شده در شکل های ۴-و، ۵-و، ۶-و و ۷-و در قیاس با نتایج سایر روشها این مساله را تایید می کنند. بطور خلاصه می توان مزایای الگوریتم نهایی را به شرح زیر جمع بندی کرد:

الف- توانایی ترمیم تصاویر رنگی با دقت مناسب

ب- توانایی حفظ بافت تصویر

ج- توانایی ترمیم نواحی مخدوش با اندازه بزرگ

۶- نتیجه گیری

در این مقاله ضمن بررسی روش ترمیم تصویر براساس منحنی های هندسی با کوتاه ترین طول، اشکالات آن جهت ترمیم تصاویر دارای خرابی با ابعاد بزرگ بیان شد. به منظور رفع این اشکالات و ارتقا روش مذکور، تعمیم برداری روش هندسی برای ترمیم نواحی بزرگ در تصاویر رنگی ارائه شد. همچنین با تجزیه مولفه های بافت و ساختار، روش جدیدی برای ترمیم تصاویر رنگی دارای بافت و حاوی نواحی مخدوش بزرگ پیشنهاد شد. به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، تعدادی آزمایش مقایسه ای با دور روش پایه انجام شد. نتایج این آزمایشها، کارایی روش های پیشنهادی را در ترمیم تصویر شامل نواحی مخدوش بزرگ تایید می کند.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران تهیه شده است.

مراجع

[۱] م. ابوالقاسمی، ح. آقایی نیا، ک. فائز، "پنهان شکنی تصویر بر اساس ویژگیهای ماتریس هم وقوعی"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، بهار و تابستان ۱۳۸۹؛ ۱۱۷: ۱۵-۲۴.

[22] S. Brennan, "Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting", Technical Report: EE 264, University of California, June 2007.

زیرنویس ها

¹Image Inpainting

²Total Variation

³Bertalmio

⁴Chan-Shen

⁵Curvature Driven Diffusion

⁶Navier Stokes Equation

⁷Connectivity principle

⁸Level Lines

⁹Structure

¹⁰Texture

[۲] م.ر. کیوانپور، ن. مقدم چرکری، "بازیابی تعاملی تصاویر طبیعت با بهره‌گیری از یادگیری چند نمونه‌ای"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، بهار و تابستان ۱۳۸۸؛ ۶(۱): ۳۵-۱۹.

[۳] ع. آقاگل‌زاده، م.نوشیاری، ا. نامجو، "چند بخشی اطلاعات ویدئویی کد شده با H.261 در شبکه‌های ناهمگن مبتنی بر کدینگ منابع چند پایانه‌ای"، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، پائیز و زمستان ۱۳۸۸؛ ۶(۲): ۴۱-۵۶.

[4] S.Masnou, J.M. Morel, "Level Lines Based Disocclusion", Proceedings of 5th IEEE conference on Image Processing, vol. 3, pp. 259-266, Chicago, Oct. 1998.

[5] A. Chambolle, and P.L. Lions, "Image Recovery via Total Variation Minimization and Related Problems", Numerische Mathematik - Numer Math, vol. 76, no. 2, pp. 167-188, 1997.

[6] T.F.Chan, J.Shen, L.Vese, "Variational PDE models in image processing", Notices Amer. Math. Soc., vol. 50, no. 1, pp. 14-26, 2003.

[7] M.-F. Auclair-Fortier and D. Ziou, "CAT-Based Resolution of the Heat Transfer for Image Denoising and Inpainting", Technical Report no. 4, Departement dinformatique, Universite de Sherbrooke, August 2004.

[8] F.Guichard, J.M.Morel, "Image Analysis and PDE's", IPAM GBM Tutorial, 2001.

[9] T.F. Chan and J. Shen, "Variational Image Inpainting", Comm. Pure Applied Math., vol. LVIII, pp. 579-619, 2005.

[10] Bertalmio, G-Sapiro, "Image Inpainting", Computer Graphics, SIGGRAPH 2000, pp. 417-424, July 2000.

[11] J. Shen, "Inpainting & the fundamental problem of Image Processing", SIAM News, vol. 36, no. 5, June 2003.

[12] C.A.Z.Barcelos, M.A.Basteta, A.M.Martins, A.C.Nogueira, "Level lines continuation based digital inpainting", Proceedings of the 17 th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, pp. 50-57, Oct. 2004.

[13] T.F. Chan, J. Shen, "Non-Texture Inpainting by Curvature Driven Diffusion", J.Visual Comm. Image Rep, vol. 12, no.4, pp. 436-449, 2001.

[14] J. Weickert, "Anisotropic Diffusion in Image Processing", ECMI Series, Teubner-Verlag, Stuttgart, Germany, 1998.

[15] M.Oliveira, B. Bowen, R. McKenna, Yu-Sung Chang, "Fast Digital Image Inpainting", Proceedings of the International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP 2001), pp. 261-266, Marbella, Spain, September 3-5, 2001.

[16] A.L. Bertozzi, G. Sapiro, "Navier-Stokes, Fluid dynamics, Image & Video processing", Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, vol. 1, pp. 201-212, Kauai, HI, 2001.

[17] Y.CHEN, C.T. HSIEH, "Fast Image Restoration using the Multi-layer Best neighborhood Matching approach", Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Applied Computer Science, vol. 6, pp. 441-446, China, 2007.

[18] M. Bertalmio, L.Vese, G. Sapiro, "Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting", IEEE Trans. Image Process., vol. 12, nO. 8, pp. 882-889, 2003.

[19] Y.L. Chen, C.T. Hsieh, "Progressive Image Inpainting based on Wavelet Transform", IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E88-A, no.10, pp.52-61, 2005.

[20] C.A. Zorzo Barcelos et al., "Geodesic path based digital inpainting", Appl. Math. Comput., vol. 189, pp. 1662-1674, 2007.

[21] L. Vese, S. Osher, "Modelling textures with Total Variation Minimization & Oscillating patterns in Image Processing", Journal of Scientific Computing, vol. 19, no.1-3, 2003.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل (۴): (الف) تصویر رنگی منظره (ب) تصویر دارای متن لاتین با اندازه قلم ۱۲ پیکسل (ج) بخش ساختار تصویر (د) بخش بافت تصویر (ه) تصویر ترمیم شده به روش مرجع [۲۲] (و) تصویر ترمیم شده با روش پیشنهادی براساس تجزیه بافت و ساختار (بخش ۴-۴)



(ب)



(الف)



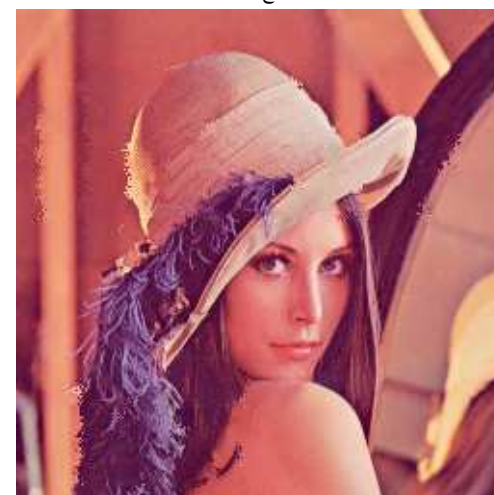
(د)



(ج)

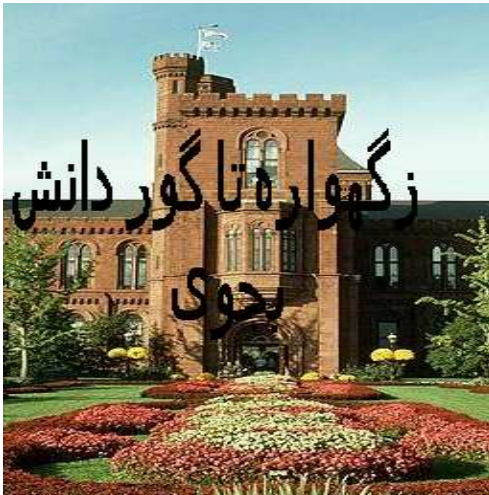


(و)

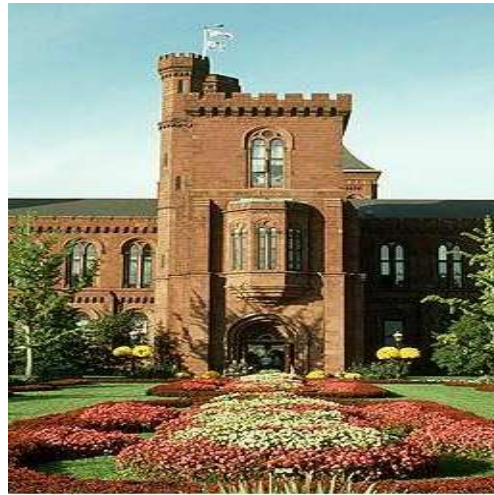


(ه)

شکل (۵): (الف) تصویر رنگی لنا ب) تصویر دارای متن با اندازه قلم ۲۴ پیکسل ج) تصویر ترمیم شده به روش هندسی مرجع [۲۰] د) تصویر ترمیم شده به روش مرجع [۲۲] ه) تصویر ترمیم شده با تعمیم روش هندسی پیشنهادی مقاله (بخش ۳) و) تصویر ترمیم شده با روش پیشنهادی بر اساس تجزیه بافت و ساختار (بخش ۴-۴)



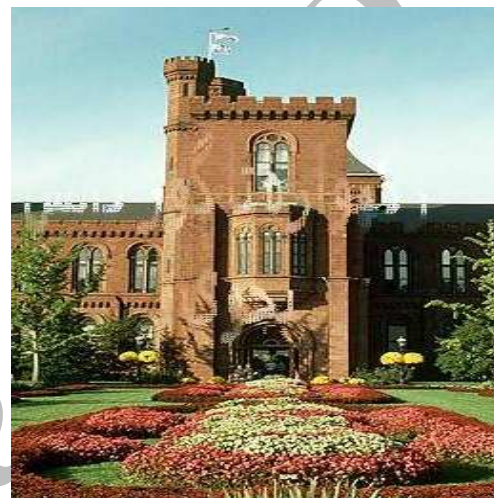
(ب)



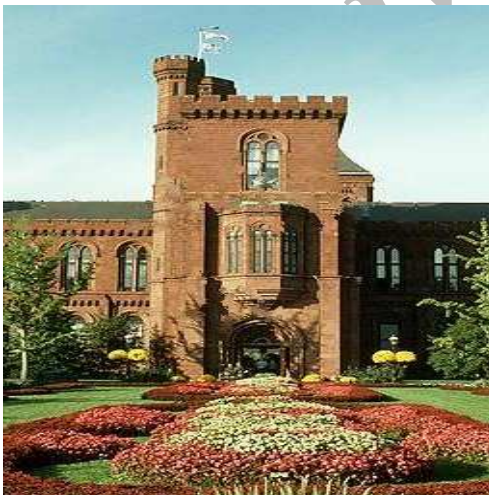
(الف)



(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل (۶): (الف) تصویررنگی ساختمان (ب) تصویر دارای متن با اندازه قلم ۶ پیکسل (ج) تصویر ترمیم شده به روش هندسی مرجع [۲۰] (د) تصویر ترمیم شده به روش مرجع [۲۲] (ه) تصویر ترمیم شده با تعمیم روش هندسی پیشنهادی مقاله (و) تصویر ترمیم شده با روش پیشنهادی بر اساس تجزیه بافت و ساختار



(ب)



(الف)



(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل (۷): (الف) تصویر خاکستری باربارا (ب) تصویر دارای متن با اندازه قلم ۱۷ پیکسل (ج) تصویر ترمیم شده به روش هندسی مرجع [۲۰] (د) تصویر ترمیم شده به روش مرجع [۲۲] (ه) تصویر ترمیم شده با تعمیم روش هندسی پیشنهادی مقاله (و) تصویر ترمیم شده با روش پیشنهادی بر اساس تجزیه بافت و ساختار