

# ارائه روشی برای ارزیابی کمی الگوریتم‌های کاهش رنگ تصویر با ارائه نمونه‌ای کاربردی

منصور فاتح و احسان‌اله کبیر

[۵]، نقشابندی<sup>۲</sup> [۶] و بازیابی مبتنی بر محتوا است [۷]. فرایند چندی‌سازی رنگ اساساً از دو مرحله طراحی پالت (انتخاب یک مجموعه کوچک رنگ) و نگاشت رنگ (جایگزین کردن رنگ‌های تصویر با رنگ‌های پالت) تشکیل می‌شود. در بیشتر کاربردها، پیکسل‌های ۲۴‌بیتی در تصویر اصلی به ۸ بیت یا کمتر کاهش می‌یابند [۸]. روش‌های چندی‌سازی رنگ می‌توانند به دو گروه دسته‌بندی شوند: روش‌های مستقل از تصویر که یک پالت عمومی بدون در نظر گرفتن مشخصات تصویر را می‌دهند [۹] و روش‌های وابسته به تصویر که یک پالت وقتی را مشخص می‌کنند. هدف این روش‌ها کاهش تعداد رنگ‌های تصویر با کمترین خطا است [۸] و بنابراین کاهش رنگ باید به گونه‌ای باشد که تفاوت بین تصویر اصلی و تصویر چندی‌شده تا حد امکان از لحاظ شهودی قابل درک نباشد [۱۰].

بسیاری از روش‌های چندی‌سازی رنگ وابسته به تصویر در سه دهه اخیر گسترش یافته‌اند. این روش‌ها می‌توانند به دو دسته روش‌های پیش‌خوشه‌یابی<sup>۳</sup> و پس‌خوشه‌یابی<sup>۴</sup> تقسیم شوند [۱].

روش‌های پیش‌خوشه‌یابی اساساً مبتنی بر تجزیه و تحلیل آماری توزیع رنگ تصویر هستند و روش‌های پیش‌خوشه‌یابی افزایشی با یک خوشه شامل تمام پیکسل‌های تصویر آغاز می‌شوند. این خوشه اولیه تا  $K$  خوشه تقسیم می‌شود [۸]. روش‌های تقسیم‌کننده شناخته‌شده، شامل برش میانه<sup>۵</sup> [۱۱]، Octree [۱۲]، کمینه‌سازی واریانس<sup>۶</sup> [۱۳]، برش مرکزی<sup>۷</sup> [۱۴]، جداسازی دودویی [۱۵] و الگوریتم rwm-cut [۱۶] هستند. بیشتر کارهای اخیر در این رابطه را می‌توان در [۱۷] تا [۲۱] یافت. در دسته دیگر، روش‌های پیش‌خوشه‌یابی تجمعی با  $N$  خوشه اولیه هستند. این خوشه‌ها به هم می‌پیوندند تا در نهایت  $K$  خوشه نهایی تشکیل شوند. کارهای مربوط به این روش را می‌توان در [۲۲] تا [۲۶] یافت.

روش‌های پس‌خوشه‌یابی با یک پالت اولیه شروع می‌کنند و با تکرارهای پشت سر هم آن را اصلاح می‌کنند تا میانگین مربعات خطا کمینه شود. این شگردها به بهای افزایشی زمان محاسبه، ممکن است ما را به جواب بهینه برسانند. البته این روش‌ها وابسته به شرایط اولیه هستند و بنابراین در عمل پالت اولیه با استفاده از شگردهای پیش‌خوشه‌یابی ساخته و سپس با الگوریتم‌های خوشه‌یابی بهینه می‌شود [۲۷]. الگوریتم‌های خوشه‌یابی منطبق بر چندی‌سازی رنگ شامل  $C$ - میانگین [۲۸] تا [۳۰]، Minimax [۳۱]، یادگیری رقابتی [۳۲] و [۳۳]،  $C$ - میانگین فازی [۳۴] و [۳۵]، BIRCH [۳۶]، نگاشت خودسامان [۱۰]، [۳۷] و [۳۸] و میزان

چکیده: در الگوریتم‌های کاهش رنگ، نتیجه کار به صورت دیداری یا بر اساس معیارهای کیفی بررسی می‌شوند. ارزیابی بدون در نظر گرفتن معیارهای کمی، ارزیابی جامع و دقیقی نیست و سلیقه بیننده در ارزیابی بسیار تأثیرگذار است. در برخی از مقالات، نتیجه کار با معیار MSE ارزیابی می‌شود. در این معیار تفاوت میان رنگ پیکسل‌های تصویر نتیجه با تصویر اولیه به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود که روش مناسبی برای ارزیابی روش‌های کاهش رنگ نیست. در کاهش رنگ تصاویر، اگر یک رنگ به طور کامل با رنگی نزدیک به رنگ اصلی جایگزین شود، خطا محسوب نمی‌شود. اگر این جایگزینی‌ها برای تمام پیکسل‌های آن رنگ رخ ندهد خطایی در کاهش رنگ اتفاق افتاده است. یکی نبودن رنگ‌های حاصل از اعمال الگوریتم کاهش رنگ با رنگ‌های مطلوب باید در ارائه معیار ارزیابی لحاظ شود که در معیار MSE لحاظ نمی‌شود. در برخی از کاربردهای کاهش رنگ مانند کاهش رنگ در نقشه‌های فرش، رنگ مطلوب پیکسل نهایی مشخص است و ارائه رنگ نادرست خطا محسوب می‌شود. از این رو در این گونه از کاربردها، امکان ارزیابی کمی بر اساس رنگ نهایی هر پیکسل وجود دارد. با ارائه معیاری برای ارزیابی کمی، سلیقه بیننده در ارزیابی لحاظ نمی‌شود و امکان مقایسه دقیق الگوریتم‌های کاهش رنگ فراهم می‌شود. در این مقاله به ارائه معیاری کمی برای ارزیابی الگوریتم‌های کاهش رنگ پرداخته شده و در صورت مشخص بودن رنگ مطلوب پیکسل‌های نهایی، این معیار کارا است. برای نشان دادن کارایی معیار ارزیابی کمی، یکی از کاربردهای کاهش رنگ یعنی کاهش رنگ در نقشه‌های فرش بررسی شده است. چندین روش کاهش رنگ با معیار ارزیابی پیشنهادی سنجیده شده‌اند و الگوریتم [۴۲] به دلیل تناسب با کاربرد، کمترین خطای کمی را داشته است.

کلیدواژه: کاهش رنگ، ارزیابی کمی، ارزیابی کیفی،  $C$ - میانگین، نقشه فرش.

## ۱- مقدمه

امروزه تصاویر رنگی بخش وسیعی از حافظه رایانه را اشغال می‌کنند. تصاویر با رنگ‌های واقعی، ۲۴ بیت را به هر پیکسل اختصاص می‌دهند. چندی‌سازی یا کاهش<sup>۱</sup> رنگ، مسئله‌ای با اهمیت در نمایش، انتقال، ناحیه‌بندی و فشرده‌سازی تصاویر رنگی به شمار می‌رود. همچنین در بیشتر موارد، پردازش و درک تصویر با تعداد محدود رنگ ساده‌تر است. به این دلیل، چندی‌سازی یا کاهش رنگ به عنوان مرحله پیش‌پردازش استفاده می‌شود [۱]. کاربردهای چندی‌سازی رنگ شامل فشرده‌سازی [۲]، ناحیه‌بندی [۳]، آشکارسازی متن [۴]، تجزیه و تحلیل بافت رنگ

این مقاله در تاریخ ۳۰ اسفند ماه ۱۳۹۴ دریافت و در تاریخ ۱۳ فروردین ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

منصور فاتح، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، منصور\_فاتح@shahroodut.ac.ir (email: mansoor\_fateh@shahroodut.ac.ir)

احسان‌اله کبیر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، احسان\_اله\_کبیر@modares.ac.ir (email: kabir@modares.ac.ir)

### 1. Reduction

2. Watermarking
3. Preclustering
4. Postclustering
5. Median-Cut Algorithm
6. Variance Minimization
7. Center-Cut Algorithm

طراحی فرش هستند. این نرم‌افزارها کاهش به ۲۵۶ رنگ را به خوبی انجام می‌دهند ولی برای کاهش رنگ به تعداد کمتر، خطای زیادی دارند که باید کاربر آنها را برطرف کند. این نرم‌افزارها برای کاهش رنگ در نقشه‌های چاپی طراحی شده‌اند و از این رو در کاهش رنگ نقشه‌های دستی کارا نیستند [۴۲]. برخی از الگوریتم‌ها نظیر C- میانگین و کاهش رنگ به کمک یادگیری تقویت‌شده، به منظور کاهش رنگ در نقشه‌های چاپی فرش ارائه شده است [۲۷]، [۴۵] و [۴۶] که این روش‌ها در نقشه‌های دستی کارا نیستند که به دلیل شرایط متفاوت مسأله است. در ضمن الگوریتم‌هایی به منظور کاهش رنگ در نقشه‌های دستی فرش پس [۴۷] و پیش [۴۲] از نقطه‌گذاری نیز ارائه شده است. در این تحقیق هدف ارائه معیار ارزیابی کمی در نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری است و از این رو از نتایج الگوریتم ارائه‌شده در [۴۲] استفاده شده است.

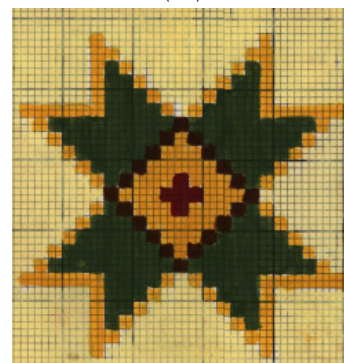
در کاربردهای متداول کاهش رنگ، مثل کاهش رنگ در یک منظره طبیعی، نتیجه کار بیشتر از لحاظ کیفی بررسی می‌شود که در [۲۷]، [۴۵] و [۴۷] ارزیابی به صورت کیفی و دیداری انجام شده است. همچنین در برخی از مراجع دیگر نظیر [۳۳]، [۳۴] و [۳۸] علاوه بر ارزیابی کیفی از ارزیابی کمی نیز بهره گرفته شده است. در ارزیابی کمی از معیار  $MSE^2$  یا PSNR استفاده شده است. در این معیارها تصویر کاهش رنگ یافته با تصویر اولیه پیکسل به پیکسل مقایسه شده و بر مبنای تفاوت مقادیر رنگی پیکسل‌ها، مقدار MSE یا PSNR محاسبه می‌شود. در کاهش رنگ تصاویر اگر یک رنگ به طور کامل با رنگی نزدیک به رنگ اصلی جایگزین شود، خطا محسوب نمی‌شود. یکی نبودن رنگ‌های حاصل از اعمال الگوریتم کاهش رنگ با رنگ‌های مطلوب باید در ارائه معیار ارزیابی لحاظ شود که در معیارهای کمی ارائه‌شده لحاظ نمی‌شود. در برخی از کاربردهای کاهش رنگ مانند کاهش رنگ در نقشه‌های فرش، لازم است به رنگ‌های هدف برسیم [۴۲] و از این رو در این گونه از کاربردها، نیاز به ارائه معیاری کمی بر اساس رنگ نهایی هر پیکسل احساس می‌شود.

همان گونه که بیان شد، ارزیابی الگوریتم‌های کاهش رنگ در نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری و بسیاری دیگر از روش‌های کاهش رنگ به صورت کیفی انجام می‌پذیرد. از طرفی با ارائه معیاری برای ارزیابی کمی، سلیقه بیننده در ارزیابی لحاظ نمی‌شود و امکان مقایسه دقیق الگوریتم‌های کاهش رنگ فراهم می‌شود. هدف از این تحقیق، ارائه یک معیار ارزیابی کمی در روش‌های کاهش رنگ است. در الگوریتم‌های کاهش رنگ، غالباً رنگ‌های نهایی الگوریتم کاهش رنگ با رنگ‌های تصویر برچسب خورده متفاوت هستند و در تعدادی از روش‌های کاهش رنگ تعداد رنگ‌های نهایی با تعداد رنگ‌های تصویر برچسب خورده متفاوت هستند. این تفاوت‌ها غالباً خطا نیستند و تنها ناشی از الگوریتم کاهش رنگ هستند و معیارهای PSNR و MSE را ناکارآمد می‌کنند. در این مقاله معیاری ارائه شده که این تفاوت‌ها را لحاظ کرده و برای روش‌های مختلف کاهش رنگ کارآمد است. این تفاوت‌ها در کاهش رنگ نقشه‌های فرش بسیار شایع است و از این رو نتایج معیار کمی پیشنهادی روی روش‌های کاهش رنگ در نقشه‌های فرش بررسی می‌شود تا کارایی این روش پیشنهادی به خوبی روشن شود.

به منظور ارائه معیار کمی مناسب برای ارزیابی الگوریتم‌های کاهش رنگ در نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری، نیاز به آشنایی با این گونه الگوریتم‌ها احساس می‌شود. از این رو در این مقاله ابتدا در بخش دوم،



(الف)



(ب)

شکل ۱: (الف) نمونه‌ای از نقشه فرش پیش از نقطه‌گذاری و (ب) نمونه‌ای از نقشه فرش پس از نقطه‌گذاری [۴۲].

زبری عمومی<sup>۱</sup> [۳۹] هستند.

برخی از روش‌های کاهش رنگ، اطلاعات رنگ و اطلاعات مکانی پیکسل‌ها را با هم در نظر می‌گیرند. این روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر نتایج مناسب‌تری دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم کلنی مورچه‌ها و کاهش رنگ سازگار به کمک شبکه عصبی خودسامان اشاره کرد [۱۰]، [۴۰] و [۴۱].

در سال‌های اخیر، برخی از مقالات به ارائه روش‌های کاهش رنگ به صورت کاربردی پرداخته‌اند. یکی از کاربردهای روش‌های کاهش رنگ در کاهش رنگ نقشه‌های فرش بوده است [۲۷].

نقشه‌های فرش به دو دسته تقسیم می‌شوند: (الف) نقشه‌هایی که طراحان به روش سنتی ترسیم می‌کنند که به نقشه‌های دستی معروفند و (ب) نقشه‌هایی که طراحان به وسیله رایانه ترسیم می‌کنند که در چاپخانه یا به وسیله چاپگر چاپ می‌شوند و به نقشه‌های چاپی موسومند [۴۲].

نقشه‌های دستی نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند: (الف) نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری و (ب) نقشه‌های پس از نقطه‌گذاری. در شکل ۱ دو نمونه از نقشه‌های فرش یکی پیش و دیگری پس از نقطه‌گذاری نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، تصاویر نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری مشابه با تصاویر منتخب مقالات برای کاهش رنگ است. از این رو در این مقاله ارزیابی کمی بر روی تصاویر نقشه‌های دستی پیش از نقطه‌گذاری اعمال خواهد شد تا علاوه بر ارائه معیار ارزیابی کمی از تصاویر اصیل ایرانی استفاده شود.

باید توجه داشت که تاکنون نرم‌افزار مناسبی برای کاهش رنگ در نقشه‌های فرش ارائه نشده است [۴۳] و [۴۴]. از لحاظ صنعتی در بازار ایران، نرم‌افزارهای بوریا [۴۳] و نقش‌ساز [۴۴] مهم‌ترین نرم‌افزارهای



شکل ۳: نقشه خروجی برای شکل ۲ با ۱۵ رنگ نهایی.

پرداخته شده است.

در روش‌های قوی و کارای کاهش رنگ در نقشه‌های فرش، تعداد رنگ‌های نهایی ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از تعداد رنگ‌های تعیینی توسط کاربر است [۴۵]، [۴۷] و [۴۲]. باید توجه داشت که در کاهش رنگ در نقشه‌های دستی، رنگ‌هایی ایجاد می‌شوند که تفاوت زیادی با رنگ‌های واقعی دارند. در صورت کاهش خودکار رنگ تا تعداد رنگ‌های قالی، ممکن است این رنگ‌ها باقی بمانند و در عوض رنگ‌های اصلی حذف شوند. از این رو تعداد رنگ‌های نهایی ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از تعداد رنگ‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند تا رنگ‌های اصلی حذف نشوند.

وجود رنگ‌های بیشتر، امکان ارزیابی کمی نقشه خروجی و مقایسه پیکسل به پیکسل آن با نقشه برچسب خورده را مشکل می‌کند. برای روشن‌تر شدن مطلب، ۲ نمونه از نقشه‌ها را در این بخش بررسی می‌کنیم. در شکل ۲ بخشی از یک نقشه مربوط به اقلیم کرمان آورده شده است. این نقشه شامل ۱۵ رنگ است. این رنگ‌ها شامل ۵ رنگ سبز، ۲ رنگ خاکستری، ۲ رنگ آبی و رنگ‌های مشکی، سفید، قرمز، زرد، نارنجی و بژ هستند.

با توجه به الگوریتم [۴۲]، تعداد رنگ‌های نقشه خروجی می‌تواند بین ۱۵ تا ۲۱ رنگ باشد که در این تصویر الگوریتم تعداد ۲۱ رنگ را انتخاب می‌کند. تعیین تعداد رنگ‌های نقشه خروجی به کمتر از ۲۱ رنگ، خطایی را در رنگ‌کردن بخش‌هایی از نقشه ایجاد می‌کند. در صورتی که تعداد رنگ‌های نقشه با تعداد رنگ‌های مطلوب کاربر برابر باشد، امکان ارزیابی کمی نقشه خروجی وجود خواهد داشت اما همان گونه که اشاره شد، کاهش به این تعداد رنگ، خطایی را ایجاد می‌کند. در شکل ۳ نتیجه کاهش خودکار رنگ به ۱۵ رنگ برای شکل ۲ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود خطایی در رنگ‌کردن برخی از مناطق ایجاد شده است.

همان گونه که مشاهده می‌شود، رنگ‌های زرد و نارنجی، دو نوع سبز، سفید و بخشی از بژ ادغام شده‌اند و در واقع سه رنگ از میان رفته‌اند. ضمن آن که به اشتباه، بخشی از رنگ خاکستری کم‌رنگ با رنگ سبز و سفید و همچنین بخشی از رنگ خاکستری پررنگ با رنگ سبز ادغام شده است. رنگ خاکستری کم‌رنگ، دو رنگ و رنگ بژ پس‌زمینه سه رنگ شده است. در واقع رنگ‌های خاکستری کم‌رنگ و بژ پس‌زمینه تک‌رنگ نشده‌اند و به جای آن رنگ‌های زرد، سفید و سبز با رنگ‌های مشابه ادغام شده‌اند که از این بابت خطایی در نقشه ایجاد شده است. برای جلوگیری از این خطا، تعداد رنگ‌های نقشه ۴۰٪ بیشتر از رنگ‌های اصلی نقشه لحاظ می‌شوند.



شکل ۲: تصویر قطعه‌ای از نقشه فرش مربوط به اقلیم کرمان با ۱۵ رنگ اصلی [۴۸].

روش کاهش رنگ در نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری در [۴۲] معرفی می‌شود. سپس در بخش سوم، اثرات اعمال الگوریتم‌های کاهش رنگ در نقشه‌های دستی فرش پیش از نقطه‌گذاری بررسی می‌شوند. در ادامه در بخش چهارم، معیاری برای ارزیابی کمی الگوریتم‌های کاهش رنگ ارائه می‌شود. پس از آن در بخش پنجم، نتایج ارزیابی کمی شرح داده می‌شوند و در پایان نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

## ۲- بررسی الگوریتمی مناسب و کارا در کاهش رنگ نقشه‌های پیش از نقطه‌گذاری

در این بخش الگوریتم کاهش رنگ در [۴۲] معرفی می‌شود. این الگوریتم از بهترین روش‌های کاهش رنگ در نقشه‌های فرش به شمار می‌رود و قدرت این روش به دلیل طراحی متناسب با کاربرد است.

این روش برای کاهش رنگ نقشه فرش چهار مرحله دارد: (۱) تمام نواحی تصویر تعیین می‌شوند. در این مرحله ابتدا به کمک فیلتر Canny مرزهای تصویر مشخص و از تصویر اصلی جدا می‌شوند. سپس هر مرز بسته یک ناحیه مجزا در نظر گرفته می‌شود. (۲) رنگ هر ناحیه مشخص می‌شود. با توجه به رنگ‌های موجود در هر ناحیه (به جز مرز)، رنگ مناسب برای آن ناحیه انتخاب می‌شود. (۳) کاهش رنگ در مرزهای تصویر با الگوریتم رشد ناحیه به صورت مجزا انجام می‌شود و سپس مرزهای تصویر به تصویر اصلی اضافه می‌شوند. (۴) کاهش رنگ نهایی با روش C- میانگین انجام می‌شود. در این مرحله، رنگ پیکسل‌های تصویر به تعداد رنگ‌های کمتر (۳۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از رنگ‌های اصلی) و با دقت بالا کاهش می‌یابد. در این مرحله از یافتن بهترین پالت بر اساس تعداد رنگ‌های مورد نظر کاربر استفاده می‌شود.

روش کاهش رنگ در [۴۲]، روش خوب و کارایی در کاهش رنگ نقشه‌های فرش به شمار می‌شود اما به دلیل عدم وجود معیار کمی مناسب، اثبات خوب بودن این روش دشوار است و به یقین نمی‌توان آن را جزو بهترین روش‌های کاهش رنگ دانست. با ارائه معیاری کمی مناسب می‌توان این روش را به درستی با روش‌های دیگر کاهش رنگ مقایسه نمود و به برتری یا عدم برتری این روش یقین حاصل کرد.

## ۳- بررسی کاهش رنگ در نقشه‌های دستی فرش پیش از نقطه‌گذاری

برای ارائه معیاری کمی مناسب در ارزیابی الگوریتم‌های کاهش رنگ، نیاز به بررسی چگونگی کاهش رنگ در نقشه‌های فرش احساس می‌شود. از این رو در این بخش به بررسی نتایج کاهش رنگ در نقشه‌های دستی



شکل ۵: نقشه خروجی برای شکل ۴ با ۱۴ رنگ نهایی.

اول نقشه‌ای با ۱۲ رنگ و قطعه دوم نقشه‌ای با ۱۵ رنگ، هر دو از اقلیم کرمان است. پس از برچسب‌گذاری قطعه اول ۱۲ رنگ و قطعه دوم ۱۹ رنگ دارند. انتخاب ۱۹ رنگ در قطعه دوم به عنوان خطای کاربر به شمار می‌رود که نتایج ارزیابی را با چالش مواجه می‌کند. در گام بعدی، نقشه‌های ورودی به کمک الگوریتم [۴۲] کاهش رنگ داده می‌شوند که در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که دلیل ارائه نتایج کاهش رنگ با استفاده از روش [۴۲]، دقت بالاتر این روش در مقایسه با روش‌های دیگر کاهش رنگ است. پس از کاهش رنگ با استفاده از [۴۲] تعداد رنگ‌های قطعه اول به ۱۶ و قطعه دوم به ۲۱ کاسته می‌شوند. سپس نقشه حاصل از الگوریتم کاهش رنگ به صورت کاملاً خودکار برچسب‌گذاری می‌شود. در این مرحله، ابتدا پالتی از تمام رنگ‌های نقشه برچسب‌گذاری شده، تهیه می‌شود. در ادامه با معیار فاصله اقلیدسی، رنگ‌های این پالت به هر یک از رنگ‌های نقشه حاصل از الگوریتم تخصیص داده می‌شود که در شکل ۹-الف و ۹-ب نشان داده شده‌اند. برای افزایش دقت، معیار فاصله اقلیدسی در دو فضای رنگ RGB و HSI بررسی می‌شود. در این معیار فاصله اقلیدسی در فضای RGB و HSI با یکدیگر جمع می‌شوند. پس از برچسب‌گذاری خودکار، قطعه اول ۱۲ رنگه و قطعه دوم ۱۶ رنگه می‌شوند. در واقع در پالت رنگ قطعه دوم، ۳ رنگ از رنگ‌های نقشه برچسب‌گذاری شده حضور ندارند. این اشکال ناشی از دو عامل اصلی است. عدم برچسب‌گذاری صحیح از طرف کاربر عامل اول و عامل دوم ماهیت الگوریتم کاهش رنگ است. در هنگام کاهش رنگ ممکن است رنگ‌هایی ایجاد شوند که از رنگ‌های اصلی نقشه فاصله نسبتاً زیادی دارند. مثلاً ممکن است رنگ قرمز به قهوه‌ای تبدیل شود، البته همان گونه که اشاره شد اگر تمام پیکسل‌های قرمز، قهوه‌ای شوند این تبدیل رنگ به عنوان خطای الگوریتم به شمار نمی‌رود. در گام بعدی، مقایسه پیکسل به پیکسل میان نقشه برچسب‌گذاری شده و نقشه حاصل از الگوریتم پیشنهادی انجام می‌شود و تعداد پیکسل‌هایی که رنگ متفاوتی با نقشه برچسب‌گذاری شده دارند به عنوان خطای اولیه الگوریتم معرفی می‌شوند که این نقاط در شکل ۹-ج و ۹-د نشان داده شده‌اند. خطای اولیه برای قطعه اول ۷۹٪ و برای قطعه دوم ۲۶٪ است. از آنجا که کاربر نقشه مرجع را برچسب‌گذاری کرده، خطای حاصل از برچسب‌گذاری نیز به خطای الگوریتم افزون شده است و خطای اولیه نیاز به اصلاح دارد. در مرحله نهایی بر اساس معیار فاصله اقلیدسی از نقشه مرجع، رنگ صحیح پیکسل‌های خطا انتخاب می‌شوند. در واقع برای هر یک از پیکسل‌های خطا، رنگ صحیح از میان نقشه برچسب‌گذاری شده و نقشه حاصل از الگوریتم پیشنهادی انتخاب می‌شود و مبنای ارزیابی صحیح قرار می‌گیرد تا خطای نهایی الگوریتم تعیین شود. خطای



شکل ۴: تصویر قطعه‌ای از نقشه فرش مربوط به اقلیم تبریز با ۱۱ رنگ اصلی [۴۸].

در شکل ۴ بخشی از یک نقشه مربوط به اقلیم تبریز آورده شده که این نقشه شامل ۱۱ رنگ است. این رنگ‌ها شامل چهار رنگ سبز و رنگ‌های بژ، خاکستری، قرمز، بنفش، آبی، آبی کم‌رنگ و قهوه‌ای هستند. با توجه به الگوریتم پیشنهادی، تعداد رنگ‌های نقشه خروجی می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۶ رنگ باشد که در این تصویر الگوریتم تعداد ۱۴ رنگ را پیشنهاد می‌دهد که نتیجه آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین برای تحلیل بهتر نتیجه الگوریتم پیشنهادی، هر رنگ را به صورت مجزا با رنگ سفید در شکل ۶ نشان داده‌ایم. لازم به ذکر است که تعیین تعداد رنگ‌های نقشه خروجی به کمتر از ۱۴ رنگ، خطایی را در رنگ کردن بخش‌هایی از نقشه ایجاد می‌کند.

همان گونه که مشاهده می‌شود رنگ سبز یک با بخش کمی از رنگ سبز دو و رنگ قهوه‌ای با بخشی از رنگ سبز چهار ادغام شده که سطحی کمتر از ۲٪ کل تصویر است و در واقع خطایی کمتر از ۲٪ را ایجاد کرده است. بقیه رنگ‌ها ادغام نشده‌اند و البته رنگ آبی کم‌رنگ به سه رنگ و رنگ بژ پس‌زمینه به دو رنگ تبدیل شده‌اند.

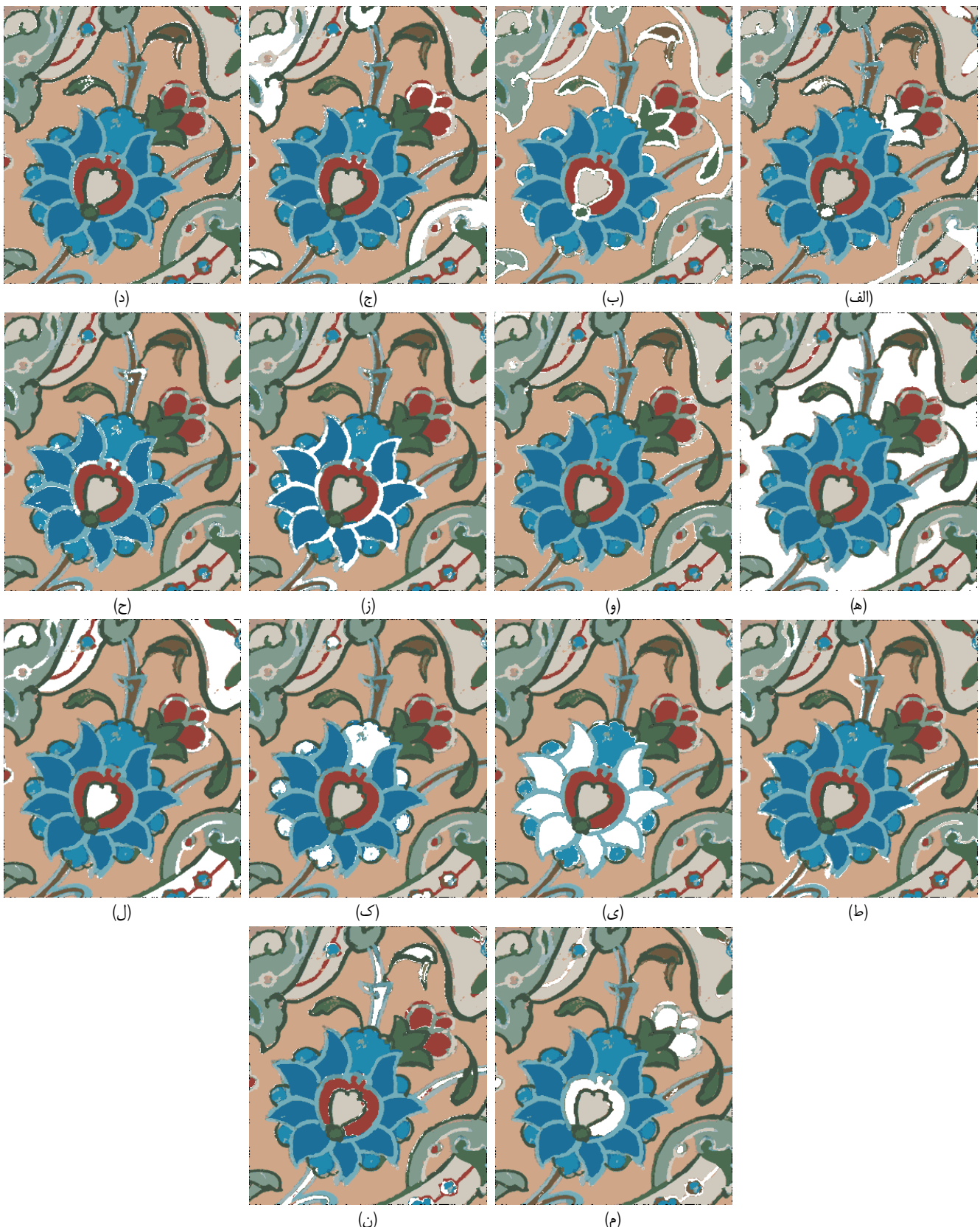
همان گونه که اشاره شد، تبدیل یک رنگ به دو رنگ یا بیشتر به دلیل وجود رنگ‌های بیشتر در نقشه خروجی است و به عنوان خطای الگوریتم به شمار نمی‌رود.

#### ۴- ارائه معیاری برای ارزیابی کمی روش‌های کاهش رنگ

همان گونه که اشاره شد، تفاوت و تعدد رنگ‌های نهایی الگوریتم‌های کاهش رنگ در مقایسه با رنگ‌های اصلی نقشه ارزیابی کمی الگوریتم را با چالش مواجه می‌کند. از این رو در [۲۷]، [۴۲] و [۴۵] تا [۴۷] تمام ارزیابی‌ها به صورت کیفی ارائه شده‌اند که با توجه به ماهیت رنگ‌های خروجی، روش کامل و دقیقی برای ارزیابی به نظر نمی‌رسد و با ارزیابی کمی می‌توان این نقیصه را جبران نمود و ارزیابی کامل و دقیقی از روش‌های کاهش رنگ ارائه داد. با توجه به نیازی که در رابطه با ارزیابی کمی الگوریتم‌های کاهش رنگ احساس می‌شود، در این بخش روشی برای ارزیابی کمی کاهش رنگ در کاربردهایی نظیر کاهش رنگ در نقشه‌های فرش پیشنهاد شده است. برای ارزیابی کمی نیاز است تا ابتدا نقشه ورودی توسط کاربر اصلاح شود و برچسب رنگ مناسب به هر پیکسل اختصاص یابد. از این رو ۲ قطعه نقشه توسط یکی از دانشجویان کارشناسی ارشد<sup>۱</sup> برچسب‌گذاری شدند که در شکل ۷ آمده است. قطعه

۱. بنیامین خردور، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس

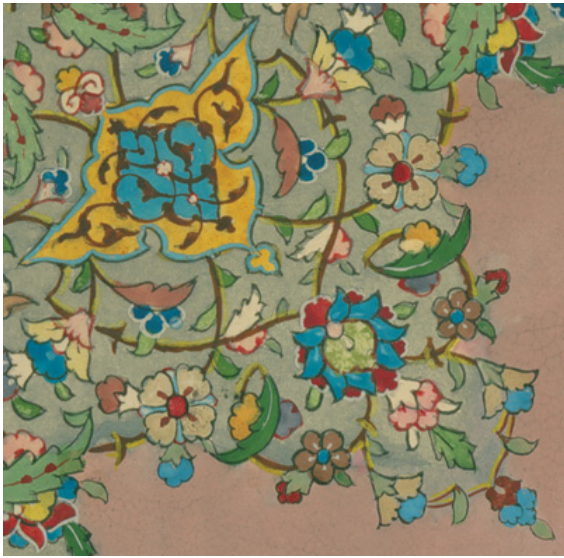




شکل ۶: نقشه خروجی شکل ۴ با ۴ رنگ نهایی و نگاشت مجزای رنگ سفید برای هر رنگ، (الف) رنگ سبز یک با بخشی کمی از سبز دو در مناطق مرزی، (ب) رنگ سبز دو در مناطق مرزی، (ج) رنگ سبز سه، (د) رنگ سبز چهار، (ه) رنگ بژ پس‌زمینه، (و) بخش اندکی از رنگ بژ پس‌زمینه، (ز) بخشی از رنگ آبی کم‌رنگ، (ح) بخشی از رنگ آبی کم‌رنگ، (ط) بخشی از آبی کم‌رنگ، (ی) رنگ بنفش، (ک) رنگ آبی، (ل) رنگ خاکستری، (م) رنگ قرمز و (ن) رنگ قهوه‌ای که بخشی از رنگ سبز چهار با آن ادغام شده است.

کاهش رنگ برای دو قطعه مذکور اعمال شده و به ارزیابی کمی این روش‌ها پرداخته شده است. ارزیابی کمی برای دو الگوریتم‌های خوشه‌یابی منطبق بر چندی‌سازی رنگ [۳۰] و [۳۹] و یک روش کاهش رنگ مبتنی بر اطلاعات رنگ و اطلاعات مکانی پیکسل‌ها [۴۱] انجام شده است.

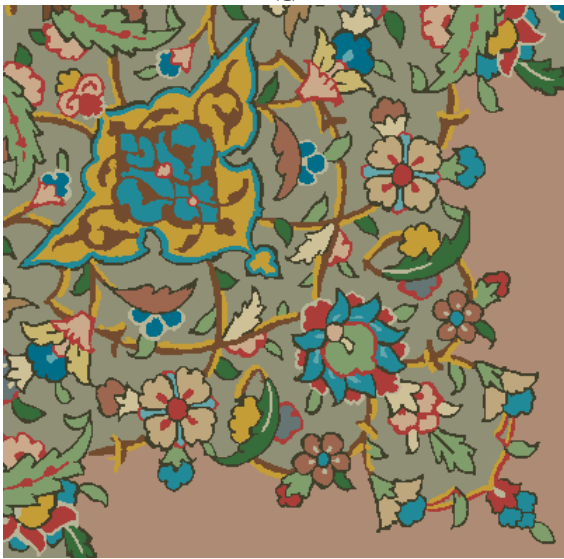
نهایی الگوریتم برای نمونه اول ۱/۱۵٪ و برای نمونه دوم ۵/۹۱٪ است. الگوریتم ارزیابی کمی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. برای نشان‌دادن کارایی الگوریتم ارزیابی کمی، این ارزیابی برای چندین روش کاهش رنگ انجام شده است. برای این منظور، چندین روش



(ج)



(الف)

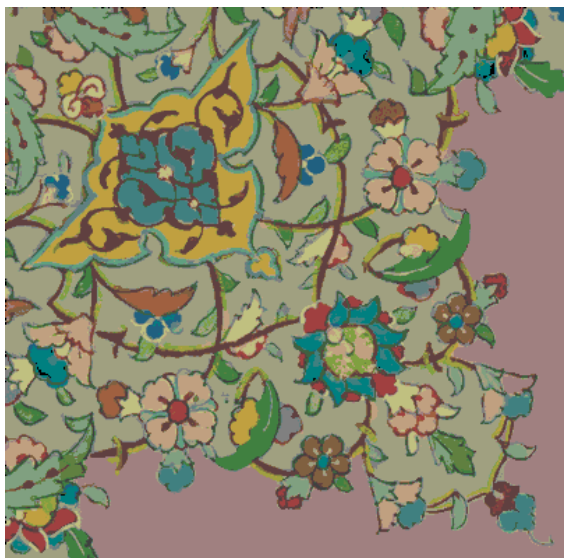


(د)



(ب)

شکل ۷: برچسب‌گذاری دو قطعه نقشه، (الف) تصویر قطعه‌ای از نقشه فرش مربوط به اقلیم کرمان با ۱۲ رنگ اصلی [۴۸]، (ب) برچسب‌گذاری نقشه الف، (ج) تصویر قطعه‌ای از نقشه فرش مربوط به اقلیم کرمان با ۱۵ رنگ اصلی [۴۸] و (د) برچسب‌گذاری نقشه ج.



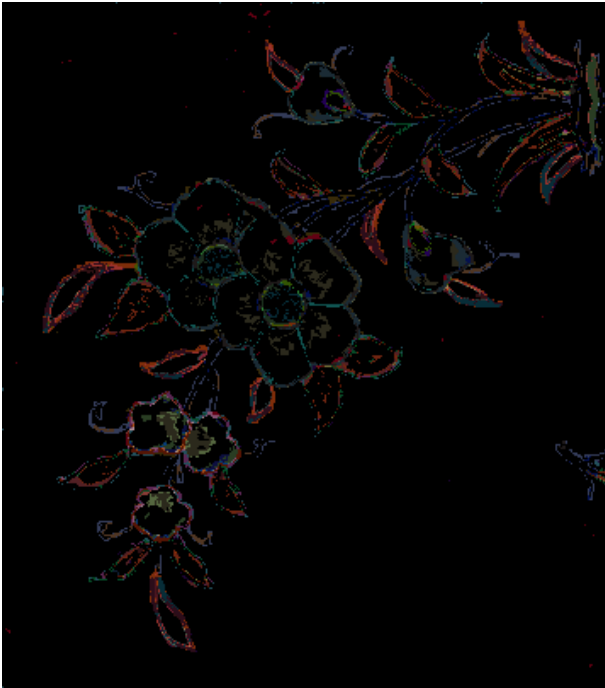
(ب)



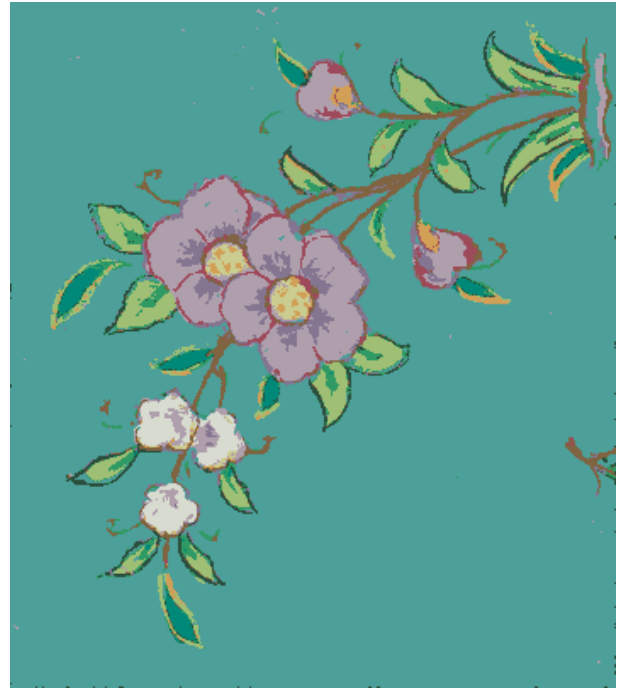
(الف)

شکل ۸: کاهش رنگ به کمک الگوریتم [۴۲]، (الف) نقشه خروجی شکل ۷- الف پس از اعمال الگوریتم کاهش رنگ [۴۲] و (ب) نقشه خروجی شکل ۷- ج پس از اعمال الگوریتم کاهش رنگ [۴۲].

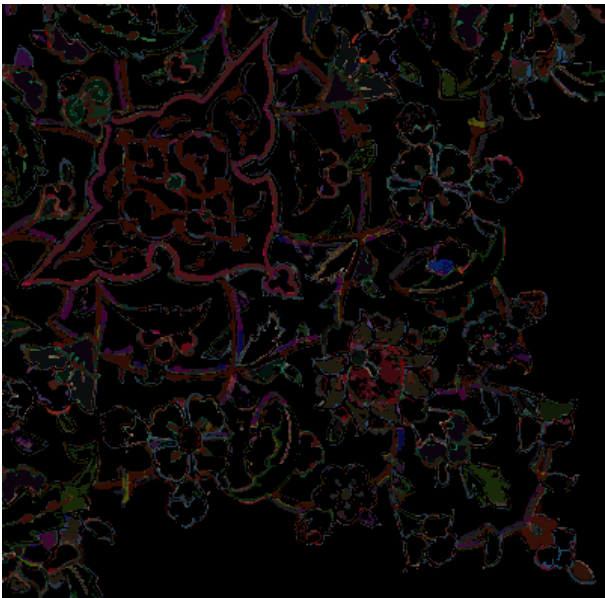




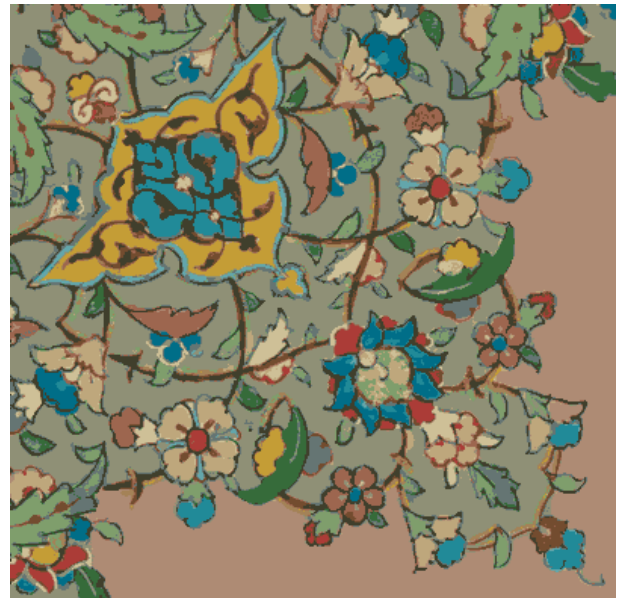
(ج)



(الف)



(د)



(ب)

شکل ۹: مراحل ارزیابی کمی، (الف) برچسب‌گذاری خودکار شکل ۷-الف، (ب) برچسب‌گذاری خودکار شکل ۷-ج، (ج) پیکسل‌های متفاوت نقشه الف با نقشه برچسب‌گذاری شده و (د) پیکسل‌های متفاوت نقشه ب با نقشه برچسب‌گذاری شده.

کاهش رنگ وجود دارد که مبتنی بر الگوریتم‌های قوی کاهش رنگ پدید آمده‌اند و غالباً نتایج مناسبی در کاهش رنگ را به ارمغان می‌آورند. از جمله نرم‌افزارهای مهم کاهش رنگ BSCQ [۴۹]، ۰.۶.۵.۰ Color quantizer [۵۰] و Layer Pilot [۵۱] هستند.

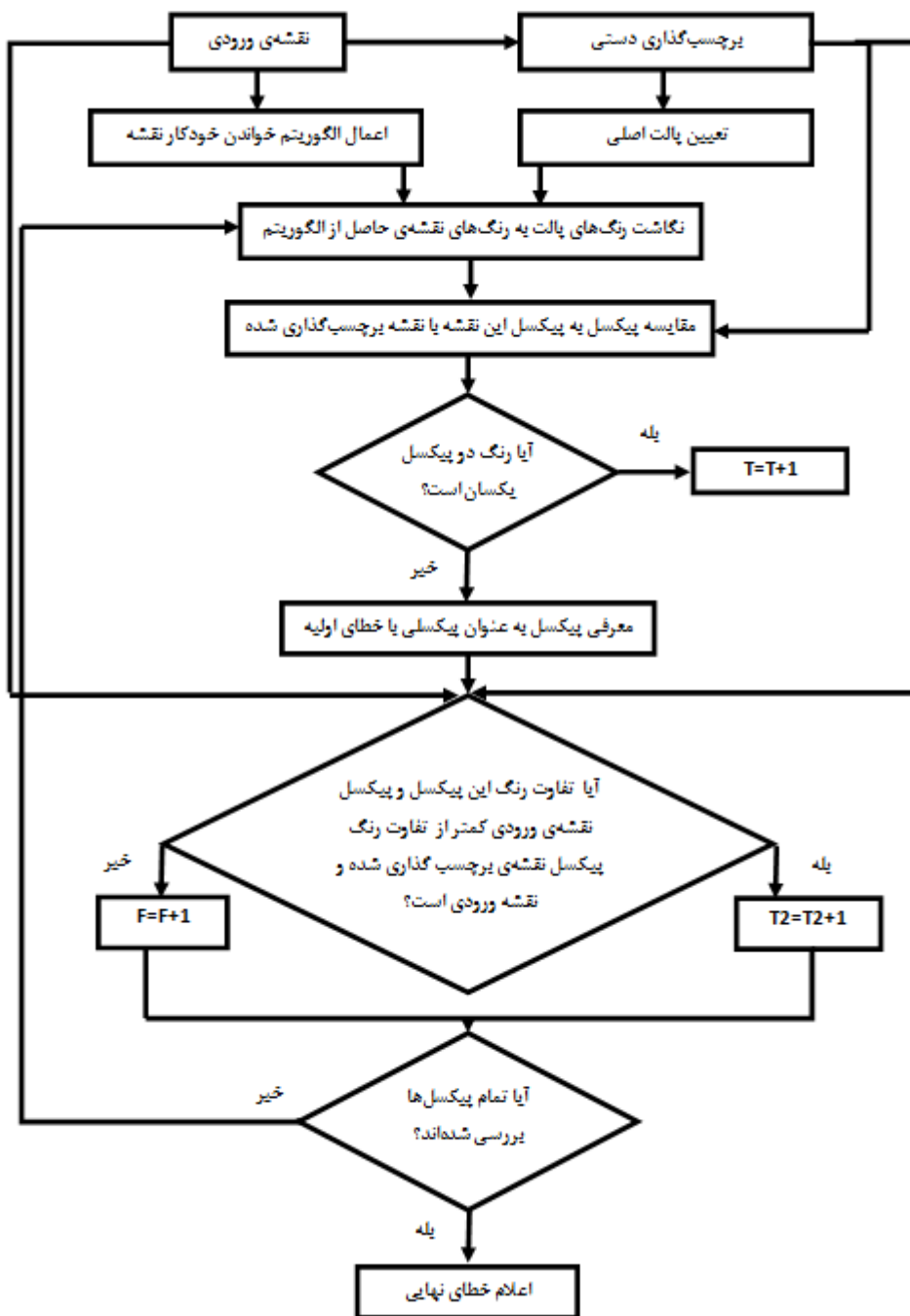
در میان نرم‌افزارهای کاهش رنگ، نرم‌افزار Layer Pilot از کمک کاربر بهره می‌برد و در نتیجه نتایج مناسب‌تری به دست می‌دهد. نرم‌افزار Layer Pilot از اطلاعات مکانی پیکسل‌ها استفاده نمی‌کند و نیاز به دخالت کاربر دارد. در واقع برای تشکیل پالت اولیه رنگ، کاربر بر روی نقاط مختلف تصویر با رنگ‌های مختلف کلیک می‌کند و پالت اولیه رنگ را تشکیل می‌دهد. سپس این نرم‌افزار تعداد رنگ‌های تصویر را کاهش می‌دهد. تعداد رنگ مطلوب توسط کاربر انتخاب می‌شود و سعی می‌شود که رنگ‌های اصلی تصویر باشد. اگر برای تشکیل پالت اولیه، برای هر رنگ بر روی دو نقطه از تصویر کلیک شود، دقت در تشکیل پالت اولیه

اگر با استفاده از روش C-means [۳۰] مستقیماً قطعه اول را به ۱۶ رنگ و قطعه دوم را به ۲۱ رنگ کاهش رنگ دهیم، خطای اولیه برای قطعه اول ۱۱/۴۱٪ و برای قطعه دوم ۳۶/۵۴٪ است. خطای نهایی برای قطعه اول ۴/۳۹٪ و برای قطعه دوم ۸/۷۲٪ است.

همچنین اگر با استفاده از روش [۳۹] مستقیماً قطعه اول را به ۱۶ رنگ و قطعه دوم را به ۲۱ رنگ کاهش رنگ دهیم، خطای اولیه برای قطعه اول ۱۰/۵۲٪ و برای قطعه دوم ۳۱/۴۵٪ است. خطای نهایی برای قطعه اول ۴/۱۱٪ و برای قطعه دوم ۷/۶۷٪ است.

در استفاده از روش [۴۱] اگر مستقیماً قطعه اول را به ۱۶ رنگ و قطعه دوم را به ۲۱ رنگ کاهش رنگ دهیم، خطای اولیه برای قطعه اول ۹/۶۲٪ و برای قطعه دوم ۲۹/۵۴٪ است. خطای نهایی برای قطعه اول ۳/۸۸٪ و برای قطعه دوم ۶/۷۶٪ است.

علاوه بر الگوریتم‌های کاهش رنگ، نرم‌افزارهای مهم و مناسبی برای



شکل ۱۰: الگوریتم ارزیابی کمی.

جدول ۱: نتایج ارزیابی کمی برای پنج روش مختلف.

خطای اولیه نمونه اول	خطای نهایی نمونه اول	خطای اولیه نمونه دوم	خطای نهایی نمونه دوم	
٪۱۱،۴۱	٪۴،۳۹	٪۳۶،۵۴	٪۸،۷۲	روش C-means
٪۱۰،۵۲	٪۴،۱۱	٪۳۱،۴۵	٪۷،۶۷	روش [۳۹]
٪۱۰،۰۷	٪۴،۰۵	٪۳۰،۳۳	٪۷،۰۱	نرم‌افزار LayerPilot
٪۹،۶۲	٪۳،۸۸	٪۲۹،۵۴	٪۶،۷۶	روش [۴۱]
٪۷،۹۷	٪۱،۱۵	٪۲۷،۴۹	٪۵،۹۱	الگوریتم [۴۲]

۱۰،۰۷٪ و برای قطعه دوم ۳۰،۳۳٪ است. خطای نهایی برای قطعه اول ۴،۰۵٪ و برای قطعه دوم ۷،۰۱٪ است.

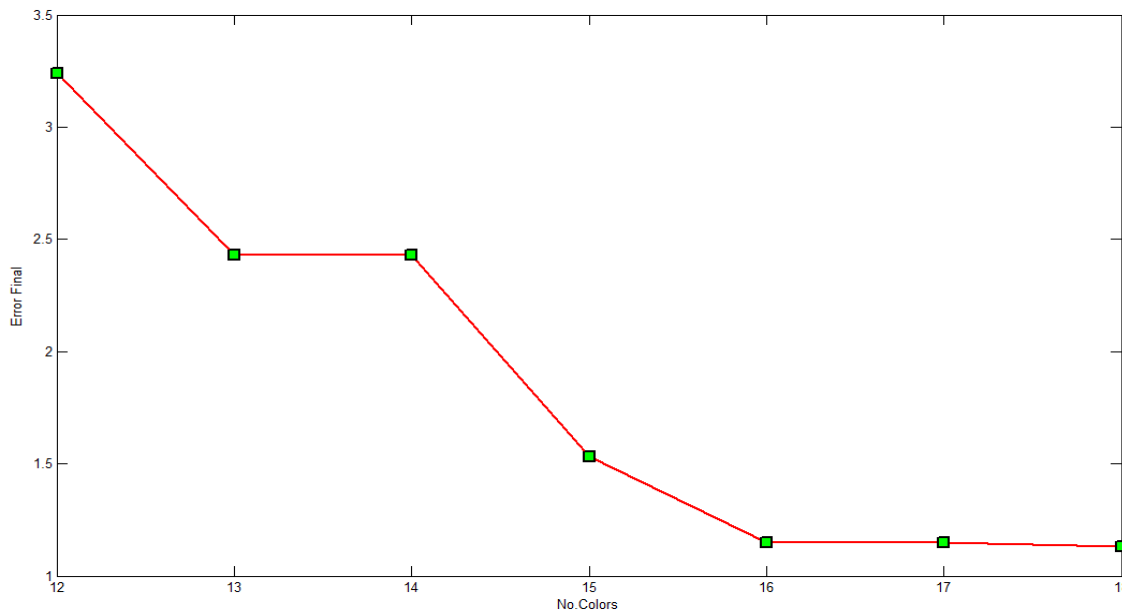
### ۵- نتایج ارزیابی کمی

نتایج ارزیابی کمی برای پنج روش مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است و همان گونه که مشاهده می‌شود نرم‌افزار Layer Pilot به دلیل

بالا می‌رود. در نرم‌افزار Layer Pilot هم برای تعداد رنگ و هم برای تشکیل پالت نهایی از کاربر کمک گرفته می‌شود تا دقت نهایی افزایش یابد. با توجه به دقت مناسب این نرم‌افزار در کاهش رنگ تصاویر به بررسی نتایج این روش نیز پرداخته شده است.

اگر با استفاده از نرم‌افزار Layer Pilot قطعه اول را به ۱۶ رنگ و قطعه دوم را به ۲۱ رنگ کاهش رنگ دهیم، خطای اولیه برای قطعه اول





شکل ۱۱: خطای نهایی قطعه اول شکل ۷-الف به ازای تعداد رنگ‌های مختلف انتخابی برای این قطعه.

## ۶- نتیجه‌گیری

در کاربردهای متداول کاهش رنگ، مثل کاهش رنگ در یک منظره طبیعی، نتیجه کار بیشتر از لحاظ کیفی بررسی می‌شود. ارزیابی کیفی در اینگونه از کاربردها، با توجه به ماهیت کاهش رنگ، روش کامل و دقیقی به نظر نمی‌رسد. با ارزیابی کمی نتایج الگوریتم‌های کاهش رنگ، امکان ارزیابی کامل‌تر و دقیق‌تری از این الگوریتم‌ها وجود دارد. در ارزیابی کمی از معیار MSE یا PSNR استفاده شده است. در این معیارها، تصویر کاهش رنگ یافته با تصویر اولیه پیکسل به پیکسل مقایسه شده و بر مبنای تفاوت مقادیر رنگی پیکسل‌ها، مقدار MSE یا PSNR محاسبه می‌شود. در کاهش رنگ تصاویر اگر یک رنگ به طور کامل با رنگی نزدیک به رنگ اصلی جایگزین شود، خطا محسوب نمی‌شود. یکی نبودن رنگ‌های حاصل از اعمال الگوریتم کاهش رنگ با رنگ‌های مطلوب باید در ارائه معیار ارزیابی لحاظ شود که در معیارهای کمی ارائه شده، لحاظ نمی‌شود. در برخی از کاربردهای کاهش رنگ، مانند کاهش رنگ در نقشه‌های فرش، لازم است به رنگ‌های هدف برسیم. از این رو در این گونه از کاربردها، نیاز به ارائه معیاری کمی بر اساس رنگ نهایی هر پیکسل احساس می‌شود.

در این مقاله، معیار کمی مناسبی برای کاهش رنگ در تصاویر و در کاربرد کاهش رنگ در نقشه‌های فرش ارائه شد. در گذشته، ارزیابی الگوریتم‌های کاهش رنگ در نقشه‌های فرش به صورت کیفی انجام می‌شد. در ارزیابی کیفی، سلیقه بیننده در ارزیابی لحاظ می‌شود و امکان مقایسه دقیق الگوریتم‌های کاهش رنگ وجود نداشت. در این مقاله با ارائه معیاری در ارزیابی کمی، امکان ارزیابی دقیق الگوریتم‌های کاهش رنگ و بدون لحاظ نمودن سلیقه بیننده فراهم شد. همچنین با ارائه معیار ارزیابی کمی مناسب، مشخص شد که روش کاهش رنگ در نقشه‌های فرش از نقطه‌گذاری طراحی شده متناسب با کاربرد در مقایسه با روش‌های مشابه، از دقت بالاتری برخوردار است.

## مراجع

- [1] L. Brun and A. Tremeau, *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press, pp. 589-638, 2002.

به کارگیری کاربر از روش C-means و روش [۳۹] دقیق‌تر است. همچنین روش [۴۱] به دلیل به کارگیری توأم اطلاعات رنگ و مکان پیکسل‌ها از نرم‌افزار Layer Pilot دقیق‌تر است. در نقشه‌های فرش، پیکسل‌های مجاور، رنگ یکسانی دارند و در واقع به کارگیری اطلاعات مکانی پیکسل‌ها دقت کاهش رنگ نقشه‌های فرش را افزایش می‌دهد. روش [۴۱] از اطلاعات مکانی پیکسل‌ها برای کاهش رنگ بهره می‌گیرد و به همین دلیل از نرم‌افزار Layer Pilot دقیق‌تر است. در این نرم‌افزار از اطلاعات مکانی پیکسل‌ها بهره گرفته نمی‌شود و حتی به کمک کاربر نیز دقت این نرم‌افزار از [۴۱] کمتر است.

همچنین الگوریتم [۴۲] به دلیل تناسب با کاربرد از روش [۴۱] و روش‌های بررسی شده دیگر دقیق‌تر است. در این الگوریتم، اطلاعات رنگ و مکانی پیکسل‌ها با هم لحاظ شده‌اند. همچنین تمام پارامترهای این روش، متناسب با کاربرد کاهش رنگ در نقشه‌های فرش تنظیم شده‌اند و به همین دلیل، دقت این روش از روش‌های دیگر کاهش رنگ بالاتر است.

لازم به ذکر است که در الگوریتم [۴۲] تعداد رنگ‌های نهایی نقشه تا ۴۰٪ بیشتر از رنگ‌های اصلی نقشه لحاظ می‌شوند. در ادامه تأثیر انتخاب این تعداد رنگ را در نقشه برچسب خورده اول شکل ۷-ب که تقریباً با دقت بالاتری برچسب خورده، بررسی می‌کنیم.

قطعه اول نقشه‌ای از اقلیم کرمان با ۱۲ رنگ است. در الگوریتم [۴۲] این قطعه پس از اعمال مرحله نهایی کاهش خودکار رنگ، ۱۶ رنگه می‌شود. در شکل ۱۱، نمودار خطای نهایی نمونه اول به ازای تعداد رنگ‌های مختلف انتخابی برای این نقشه نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در این نقشه انتخاب ۱۷ یا ۱۸ رنگ، تأثیر زیادی در کاهش خطا ندارد. با انتخاب ۱۶، ۱۷ یا ۱۸ رنگ، خطایی حدود ۱/۱۵٪ به دست می‌آید ولی انتخاب تعداد رنگ‌های کمتر از ۱۶، تأثیر چشم‌گیری در کاهش دقت دارد. با انتخاب ۱۵ رنگ، خطایی معادل ۱/۵۳٪، با انتخاب ۱۴ یا ۱۳ رنگ خطایی معادل ۲/۴۳٪ و با انتخاب ۱۲ رنگ خطایی معادل ۳/۲۴٪ به دست می‌آید. پس با انتخاب ۱۶ رنگ در این قطعه، علاوه بر کاهش بیشتر تعداد رنگ‌های نقشه از دقت الگوریتم هم کاسته نمی‌شود.

- [27] ا. ایزدی‌پور و ا. کبیر، "ارائه روشی برای خواندن خودکار نقشه چاپی فرش و مقایسه آن با روش خوشه‌یابی C- میانگین،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، جلد ۸، شماره ۱، صص. ۵۶-۴۸، بهار ۱۳۸۹.
- [28] Y. L. Huang and R. F. Chang, "A fast finite-state algorithm for generating RGB palettes of color quantized images," *J. of Information Science and Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 771-782, Jul. 2004.
- [29] Y. C. Hu and M. G. Lee, "K-means based color palette design scheme with the use of stable flags," *J. of Electronic Imaging*, vol. 16, no. 3, pp. 033003-033013, Jul. 2007.
- [30] Y. C. Hu and B. H. Su, "Accelerated K-means clustering algorithm for colour image quantization," *Imaging Science J.*, vol. 56, no. 1, pp. 29-40, Feb. 2008.
- [31] Z. Xiang, "Color image quantization by minimizing the maximum intercluster distance," *ACM Trans. on Graphics*, vol. 16, no. 3, pp. 260-276, Jul. 1997.
- [32] M. E. Celebi, "An effective color quantization method based on the competitive learning paradigm," in *Proc. of the 2009 Int. Conf. on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 876-880, Jul. 2009.
- [33] M. E. Celebi and G. Schaefer, "Neural gas clustering for color reduction," in *Proc. of the 2010 Int. Conf. on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition*, pp. 429-432, Aug. 2010.
- [34] D. Ozdemir and L. Akarun, "Fuzzy algorithm for color quantization of images," *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 8, pp. 1785-1791, Aug. 2002.
- [35] G. Schaefer and H. Zhou, "Fuzzy clustering for colour reduction in images," *Telecommunication Systems*, vol. 40, no. 1, pp. 17-25, Feb. 2009.
- [36] Z. Bing, S. Junyi, and P. Qinke, "An adjustable algorithm for color quantization," *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, no. 16, pp. 1787-1797, Dec. 2004.
- [37] A. Dekker, "Kohonen neural networks for optimal colour quantization," *Network: Computation in Neural Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 351-367, Jan. 1994.
- [38] C. H. Chang, P. Xu, R. Xiao, and T. Srikanthan, "New adaptive color quantization method based on self-organizing maps," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 16, no. 1, pp. 237-249, Jan. 2005.
- [39] X. D. Yue, D. Miao, L. Cao, Q. Wu, and Y. Chen, "An efficient color quantization based on generic roughness measure," *Pattern Recognition*, vol. 47, no. 4, pp. 1777-1789, Apr. 2014.
- [40] A. Atsalakis and N. Papamarkos, "Color reduction and estimation of the number of dominant colors by using a self-growing and self-organized neural gas," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 769-786, Oct. 2006.
- [41] A. T. Ghanbarian, E. Kabir, and N. M. Charkari, "Color reduction based on ant colony," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, no. 12, pp. 1383-1390, Sept. 2007.
- [۴۲] م. فاتح و ا. کبیر، "کاهش رنگ نقشه‌های دستی فرش پیش از نقطه‌گذاری،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، سال ۱۲، شماره ۱، صص. ۴۱-۳۳، بهار ۱۳۹۳.
- [۴۳] بوریان، [www.booria.com/carpetdesigner.htm](http://www.booria.com/carpetdesigner.htm).
- [۴۴] مرکز کنترل کامپیوتر ایران، نرم‌افزار نقش‌ساز، [www.centraltouch.com](http://www.centraltouch.com).
- [۴۵] م. فاتح، ا. کبیر و م. نیلی احمدآبادی، "کاهش رنگ در نقشه چاپی فرش به کمک یادگیری تقویت‌شده،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، سال ۹، شماره ۳، صص. ۱۴۲-۱۳۳، پاییز ۱۳۹۰.
- [۴۶] ا. ایزدی‌پور و ا. کبیر، "شناسایی خودکار خطوط نقشه فرش،" *اولین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند*، جلد اول، صص. ۶۱۸-۶۱۳، مشهد مقدس، شهریور ۱۳۸۶.
- [۴۷] م. فاتح و ا. کبیر، "خواندن خودکار نقشه‌های دستی فرش،" *نشریه سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق*، جلد ۳، شماره ۲، صص. ۳۰-۱۵، تابستان ۱۳۹۱.
- [۴۸] موزه فرش ایران، <http://carpetmuseum.ir/home.htm>، ۱۳۹۶/۱/۹.
- [49] Binary Splitting Color Quantization software, Accessed on 2017/3/30, [https://engineering.purdue.edu/~bouman/software/color\\_quantization](https://engineering.purdue.edu/~bouman/software/color_quantization)
- [50] Color quantizer 0.6.5.0, Accessed on 2017/3/30, <http://www.softpedia.com/progDownload/Color-quantizer-Download-206091.html>
- [51] Color Quantization Software, Accessed on 2017/3/30, <http://www.colorpilot.com/layer.htm>
- [2] C. K. Yang and W. H. Tsai, "Color image compression using quantization, thresholding and edge detection techniques all based on the moment-preserving principle," *Pattern Recognition Letters*, vol. 19, no. 2, pp. 205-215, Feb. 1998.
- [3] Y. Deng and B. Manjunath, "Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 8, pp. 800-810, Aug. 2001.
- [4] N. Sherkat, T. Allen, and S. Wong, "Use of colour for hand-filled form analysis and recognition," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 8, no. 1, pp. 163-180, Oct. 2005.
- [5] O. Sertel, J. Kong, U. V. Catalyurek, G. Lozanski, J. H. Saltz, and M. N. Gurcan, "Histopathological image analysis using model-based intermediate representations and color texture: follicular lymphoma grading," *J. of Signal Processing Systems*, vol. 55, no. 1-3, pp. 169-183, Apr. 2009.
- [6] C. T. Kuo and S. C. Cheng, "Fusion of color edge detection and color quantization for color image watermarking using principal axes analysis," *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 12, pp. 3691-3704, Dec. 2007.
- [7] Y. Deng, B. Manjunath, C. Kenney, M. Moore, and H. Shin, "An efficient color representation for image retrieval," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 10, no. 1, pp. 140-147, Jan. 2001.
- [8] M. E. Celebi, "Improving the performance of K-means for color quantization," *Image and Vision Computing*, vol. 29, no. 4, pp. 260-271, Mar. 2011.
- [9] A. Mojsilovic and E. Soljanin, "Color quantization and processing by fibonacci lattices," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 10, no. 11, pp. 1712-1725, Nov. 2001.
- [10] N. Papamarkos, A. E. Atsalakis, and C. P. Strouthopoulos, "Adaptive color reduction," *IEEE Trans. on Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 44-56, Feb. 2002.
- [11] P. Heckbert, "Color image quantization for frame buffer display," *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, vol. 16, no. 3, pp. 297-307, Jul. 1982.
- [12] M. Gervautz and W. Purgathofer, "A simple method for color quantization: octree quantization," *New Trends in Computer Graphics*, vol. 1, pp. 219-231, Jun. 1988.
- [13] S. Wan, P. Prusinkiewicz, and S. Wong, "Variance-based color image quantization for frame buffer display," *Color Research and Application*, vol. 15, no. 1, pp. 52-58, Feb. 1990.
- [14] G. Joy and Z. Xiang, "Center-cut for color image quantization," *the Visual Computer*, vol. 10, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1993.
- [15] M. Orchard and C. Bouman, "Color quantization of images," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 39, no. 12, pp. 2677-2690, Dec. 1991.
- [16] C. Y. Yang and J. C. Lin, "RWM-Cut for color image quantization," *Computers and Graphics*, vol. 20, no. 4, pp. 577-588, Jul. 1996.
- [17] I. S. Hsieh and K. C. Fan, "An adaptive clustering algorithm for color quantization," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, no. 4, pp. 337-346, Apr. 2000.
- [18] S. Cheng and C. Yang, "Fast and novel technique for color quantization using reduction of color space dimensionality," *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, no. 8, pp. 845-856, Jun. 2001.
- [19] K. Lo, Y. Chan, and M. Yu, "Colour quantization by three-dimensional frequency diffusion," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 14, pp. 2325-2334, Oct. 2003.
- [20] Y. Sirisathitkul, S. Auwatanamongkol, and B. Uyyanonvara, "Color image quantization using distances between adjacent colors along the color axis with highest color variance," *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, no. 9, pp. 1025-1043, Jul. 2004.
- [21] K. Kanjanawanishkul and B. Uyyanonvara, "Novel fast color reduction algorithm for time-constrained applications," *J. of Visual Communication and Image Representation*, vol. 16, no. 3, pp. 311-332, Jun. 2005.
- [22] W. H. Equitz, "A new vector quantization clustering algorithm," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 37, no. 10, pp. 1568-1575, Oct. 1989.
- [23] R. Balasubramanian and J. Allebach, "A new approach to palette selection for color images," *J. of Imaging Technology*, vol. 17, no. 6, pp. 284-290, Jun. 1991.
- [24] Z. Xiang and G. Joy, "Color image quantization by agglomerative clustering," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 44-48, May 1994.
- [25] L. Velho, J. Gomez, and M. Sobreiro, "Color image quantization by pairwise clustering," in *Proc. of the 10th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pp. 203-210, Oct. 1997.
- [26] L. Brun and M. Mokhtari, "Two high speed color quantization algorithms," in *Proc. of the 1st Int. Conf. on Color in Graphics and Image Processing*, pp. 116-121, Oct. 2000.

**احسان‌اله کبیر** کارشناسی ارشد پیوسته خود را در مهندسی برق و الکترونیک از دانشکده فنی دانشگاه تهران و دکترای خود را در مهندسی سیستم‌های الکترونیک از دانشگاه اسکس در انگلستان، به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۶۹ دریافت کرد. او اکنون استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه پژوهشی مورد علاقه او بازشناسی الگو، به ویژه بازشناسی متون چاپی و دستنویس است.

**منصور فاتح** در سال ۱۳۸۴ مدرک کارشناسی مهندسی برق و الکترونیک خود را از دانشگاه صنعتی شاهرود و در سال ۱۳۸۷ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه تربیت مدرس تهران دریافت نمود. پس از آن در سال ۱۳۸۸ به دوره دکترای مهندسی برق و الکترونیک در دانشگاه تربیت مدرس تهران وارد گردید. ایشان از سال ۱۳۹۰ بورسیه دانشگاه صنعتی شاهرود گردید و از سال ۱۳۹۴ به عنوان عضو هیأت علمی دانشکده کامپیوتر با این دانشگاه همکاری می‌نماید. زمینه پژوهشی مورد علاقه او پردازش تصویر و ویدئو، بازشناسی الگو و هوش مصنوعی است.