نشریه علمی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

دسترسی آنلاین: www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی علوم و فناوری رنگ/ ۱۵، (۱۴۰۰)۴، ۳۲۷ـ۳۱۷
نوع مقاله: پژوهشی
دسترسی آزاد

استفاده از ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی طرح‌های قالی لچک ترنج و هندسی ترکمن

طیبه سلیمانیان مقدم[۱]، منصوره قنبرافجه[۲*]، سید حسین امیرشاهی[۳]
۱ـ دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۲ـ استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۳ـ استاد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۷
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰
شاپا چاپی: ۸۷۷۹-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۱۶۹-۲۳۸۳

DOR: 20.1001.1.17358779.1400.15.4.1.2

واژه‌های کلیدی:
طرح قالی
لچک ترنج
هندسی ترکمن
تبدیل فوریه
طبقه‌بندی
ماشین بردار پشتیبان

چکیده

طرح یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مهم ارزیابی قالی ایرانی به‌شمار می‌آید. در حالی که قالی‌های ایرانی در طرح‌های مختلفی بافته می‌شوند، نقش‌های منحصر به فرد این اثر هنری، آن را از سایر سبک‌های قالی به عنوان مثال قالی‌های ترکیه، هند و چین متمایز می‌کند. در این تحقیق طبقه بندی دو دسته متمایز قالی ایرانی (لچک ترنج و هندسی ترکمن) به کمک ماشین بردار پشتیبان (SVM) و براساس استخراج شاخص فوریه صورت گرفت. در این خصوص، تصاویر خاکستری ۶۰ قالی با طرح مختلف جمع‌آوری شد. با استفاده از تبدیل فوریه شاخص‌های تفکیک کننده این دو دسته قالی استخراج و برای طبقه‌بندی استفاده شد. به این منظور، از ماشین بردار پشتیبان دو کلاسه استفاده گردید. مطابق نتایج به دست آمده، روش طبقه‌بندی SVM با به‌کارگیری شاخص فوریه در حالت قطبی قادر به طبقه‌بندی این دو دسته قالی با دقت بالای ۸۹ درصد می‌باشد.

***Corresponding author: ghanbar@aut.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
Journal of Color Science and Technoloty, 15, 4(2022), 317-327
Article type: Research article
Open access

The Use of Support Vector Machine in the Classification of Lachack Toranj and Torkaman Geometric Rug Designs

Tayebe Soleymanian Moghadam, Mansoureh Ghanbar Afjeh*, Seyed Hossein Amirshahi
Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 28-02-2021
Accepted: 07-06-2021
Available online: 19-02-2022
Print ISSN: 1735-8779
Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1400.15.4.1.2

Keywords:
Rug design
Lachak Toranj
Torkaman Geometric
Fourier transform
Classification
Support Vector Machine

ABSTRACT

Design is one of the most critical aspects of evaluating Persian rugs. While Persian rugs are woven in different designs, their unique patterns distinguish them from other rug styles such as Turkish, Indian, and Chinese. In this study, the classification of two Persian rugs (Lachak Toranj and Torkaman Geometric) was followed using Support Vector Machine (SVM) and based on the Fourier feature. In this regard, the grayscale images of 60 rugs with different designs were collected. The Fourier transform was used to extract the unique characteristics of these two rug categories and used for classification. For this purpose, a two-class support vector machine was used. According to the results, the SVM classification method can classify these two rugs with an accuracy of 89% using the polar Fourier feature.

***Corresponding author: ghanbar@aut.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱ــ مقدمه

زیبایی قالی دستباف ایران مدیون طرح و نقشه دل‌انگیز آمیخته به رنگ‌های جذاب آن است. در حقیقت در نگاه اول رنگ و طرح است که به چشم می‌آید و پس از انتخاب نقش و رنگ، عوامل فنی و کیفیت مواد به کار رفته در آن مد نظر قرار می‌گیرد. براساس مستندات موجود، شکل اولیه نقشه‌های قالی ایرانی هندسه‌ای شکسته داشته‌اند که هنوز نیز یکی از شکل‌های اصلی قالی‌های روستایی، ترکمن و ایلی در ایران است و در طول زمان سیر تکاملی این طرح‌ها منجر به عرضه نقشه‌هایی با هندسه‌ای هموارتر گردیده است. در حالی که قالی‌های ایرانی با نقش و نگارهای مختلفی که متعلق به مناطق مختلف کشور است ارائه می‌شوند، ویژگی‌های هنری به کار رفته در آن‌ها کاملاً متفاوت از سایر الگوهای قالی مانند محصولات هندی و چینی است [۱]. الگوهای قالی دستباف ایرانی معمولاً از طبیعت الهام گرفته شده و یا اجزایی در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که ترکیبات زیبایی را ایجاد می کند. در هنر قالی‌بافی، اصالت و زیبایی طرح و نقشه اهمیت و ارزش ویژه دارد. تنوع اقلیمی و قومی در نقاط مختلف ایران و تاثیرپذیری طراحان قالی از فرهنگ و محیط اطرافشان برای طراحی نقشه قالی و استفاده از گیاهان، درختان و مواد طبیعی مانند روناس، اسپرک و غیره برای رنگ کردن نخ‌های آن موجب شده است که طرح‌های قالی ایرانی نقش‌ها و هماهنگی‌های رنگی (هماهنگی زمانی ایجاد می‌شود که عناصر به‌طور مطبوع در کنار یکدیگر مرتب شوند؛ به طوری که ایجاد خوشایندی نمایند) متنوّعی متناسب با امکان تولید آن را داشته باشد. می‌توان گفت که به تعداد مناطق قالی‌بافی و در بعضی موارد اگر اغراق نباشد به تعداد قالیبافان و طراحان ماهر و مبتکر، طرح وجود دارد که برخی از این طرح‌ها و نقش‌ها به نام محل بافت اولیه‌شان شهرت یافته‌اند [۵-۲].

علی‌رغم این امر، طراحی قالی در ایران با وجود ریشه‌های تاریخی، سنّتی و ارزش‌های معنوی و اقتصادی به طور شایسته مورد شناسایی و معرفی قرار نگرفته است. در کنار این، به موازات گسترش و تولید قالی، سلیقه‌ها و نظرات مختلفی نیز در این حرفه تاثیرگذار بوده است که گاه طراحی قالی را از مسیر اصلی خویش دور ساخته‌است. به طور کلی، طرح‌های متداول در قالی مانند هر اثر هنری دیگری به‌ویژه تابلوهای هنری، اشتراکات و افتراقات مشخصی دارند که آن‌ها را از سایر طرح‌های هنری متمایز می‌سازد. به‌علاوه، پاره‌ای از این ویژگی‌ها موجب شده‌اند که مشاهده‌کنندگان، طرح‌های خاصی را زیباتر از طرح‌های دیگر ارزیابی نمایند [۱]. تاکنون تحقیقات محدودی در خصوص طبقه‌بندی، خوشه‌بندی، بازنمایی نقشه و شناسایی آرایه‌های گل‌های قالی ایرانی صورت گرفته است [۱۱-۶]. در این تحقیق طبقه‌بندی دو گروه قالی متمایز لچک ترنج و هندسی ترکمن به کمک استخراج شاخص فوریه و با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان دنبال شد. گفتنی است باتوجه به این که روش به کار گرفته شده از جمله روش‌های مبتنی بر آموزش می‌باشد، بنابراین به نوع نمونه‌ها و نقشه‌های معرفی شده وابسته است. در ادامه به معرفی دو طرح قالی مورد بررسی و همچنین روش‌های محاسباتی مورد استفاده پرداخته می‌شود.

۱ــ۱ــ طرح لچک ترنج

طرح لچک ترنج، طرحی بسیار رایج در قالی ایرانی است که در نگاره مرکزی آن ترنجی است که یک چهارم آن به نام لچک در چهارگوش قالی به کار گرفته شده است. معمولا زمینه قالی بین ترنج و لچک‌ها، با گل‌های شاه‌عباسی تزئین می‌گردد. براساس مستندات، اصل این طرح ابتدا بر روی جلد قرآن‌ها و کتب نفیس دیده شده و از آن جا مورد توجه طراحان قالی قرار گرفته و با رعایت اصول و ضوابط مربوطه، به قالی ایران راه یافته است. به طور کلی طرح لچک ترنج دارای نقش‌مایه‌های مختلفی از قبیل لچک ترنج ساده، لچک ترنج افشان، لچک ترنج گلدانی، لچک ترنج هندسی، لچک ترنج ماهی، لچک ترنج قابی و غیره می‌باشد [۱۲].

۱ــ۲ــ طرح هندسی ترکمن

خطوط و نقوشی که در قالی ترکمن زده می‌شوند، نمادی از اندیشه و فرهنگ این خطه می‌باشد. در طرح ترکمن نقش‌های تنها و چندضلعی‌ها متعلق به متن و نقش‌های به‌هم پیوسته، ریز و مخصوصا دارای الگوی مستطیل کشیده، متعلق به حاشیه‌ها هستند [۱۲].

در شکل ۱ نمونه ای از دو طرح لچک ترنج و هندسی ترکمن نشان داده شده است.

در ادامه به معرفی مبانی تبدیل فوریه و استفاده از آن به منظور استخراج شاخص‌های کمی از تصاویر قالی ایرانی پرداخته می‌شود.

شکل ۱: نمونه ای از دو طرح هندسی ترکمن (a) و لچک ترنج (b)[۱۲].

Figure 1: The example of Torkaman geometric design (a) and Lachack Toranj design (b).

۱ـ۳ـ استخراج شاخص از تصاویر قالی

اولین گام به منظور طبقه‌بندی تصاویر قالی، استخراج شاخص‌های مناسب از آن می‌باشد. در این تحقیق از روش تبدیل فوریه به‌منظور استخراج شاخص استفاد گردید. در ادامه مبانی این روش ارائه می‌گردد.

۱ـ۳ـ۱ـ تبدیل فوریه

پردازش در حوزه بسامدی از جمله روش‌های جمعی می‌باشد که مقدار هر پیکسل در تصویر پردازش‌شده را به تمام پیکسل‌های موجود در تصویر اصلی مرتبط می‌سازد. در این مورد مشخصه مطلوبی در حوزه بسامد به‌صورت H(u,v) در نظر گرفته می‌شود. بلوک نمودار نشان داده‌شده در شکل ۲ نمایی از نحوه پردازش در حوزه فرکانس را نشان می‌دهد [۱۳].

جهت نشان‌دادن خواص بسامدی تغییرات روشنایی در یک تصویر، از تبدیل فوریه استفاده می‌شود. بر اساس نظریه فوریه، نواحی با روشنایی یکسان، بسامد صفر، نواحی با تغییرات روشنایی تدریجی، بسامدهای پایین و نواحی با تغییرات روشنایی ناگهانی دارای بسامد بالا می‌باشند [۱۳، ۱۴]. اگر تصویر اصلی در حوزه زمان f(m,n) درنظر گرفته شود، تبدیل فوریه f(m,n) در حوزه بسامد به‌صورت رابطه ۱ نشان داده می‌شود [۱۴]:

$$F(u,v)=\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{M-1} f(x,y)e^{-2\pi j\left(\frac{ux}{N}+\frac{uy}{M}\right)}, \quad u=0,1,2,..,M-1, v=0,1,2,...,N-1 \qquad (1)$$

که u و v محورهای پیوسته برای بسامدهای افقی و عمودی می‌باشند.

روابط تبدیل فوریه نشان می‌دهد که تبدیل فوریه دارای مقدار مختلط بوده و یا در واقع دارای دو مولفه اندازه و فاز می‌باشد.

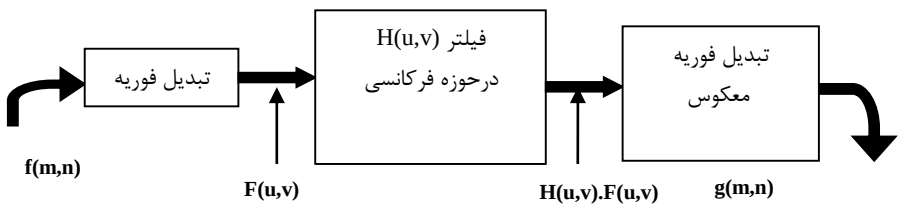
به‌منظور نمایش تبدیل فوریه در حالت دوبعدی، آن را به‌صورت یک تصویر نشان می‌دهند که اندازه مقادیر حاصله به‌عنوان روشنایی تصویر منظور می‌گردند. جهت نمایش آن نیز می‌توان از دو مدل استفاده کرد. در مدل اول، مبدا (0,0) در بالا گوشه سمت چپ قرار خواهد داشت. در مدل دوم، مبدا (0,0) به مرکز منتقل گشته و درنتیجه تقارن حول نقطه مرکزی وجود خواهد داشت. در این حالت نقاط قرار گرفته در اطراف مبدا، بسامدهای پایین تصویر را نشان می‌دهند [۱۳].

از آنجا که اندازه مقادیر تبدیل فوریه در محدوده دینامیکی وسیعی از صفر تا حدود 10^6 می‌تواند تغییر نماید، معمولا به‌منظور نمایش مقادیر و مشخص نمودن نسبت آنان از لگاریتم اندازه تبدیل فوریه استفاده می‌شود.

ردیاس[1] و همکارانش از طیف انرژی فوریه برای یافتن شاخص‌ها در نقاشی‌هایی که توسط هنرمندان به تصویر کشیده شده، استفاده نمودند [۱۸-۱۵]. طیف انرژی فوریه، ترکیب نسبی از بسامدهای مکانی مختلف تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. بر اساس نتایج کار انجام‌شده توسط آنان به طور کلی، طیف فوریه تصاویر هنری در برابر افزایش بسامد، f، به صورت نزولی طبق رابطه $1/f^p$ کاهش می‌یابد؛ که در مورد تصاویر هنری و مناظر طبیعی شیب کاهش تقریبا معادل ۲ و در مورد تصاویر غیر هنری (اجسام ساده مانند تصویر اتو، میز و غیره) شیب کاهش تقریبا بین ۲,۵-۳,۵ می‌باشد. به‌بیان دیگر منحنی انرژی طیفی صحنه‌های طبیعی و نقاشی‌های ترسیم شده توسط هنرمندان از شیب فوریه کمتری نسبت به تصاویر مربوط به چهره انسان برخوردار است.

در سال ۲۰۱۰، ردیاس و دیگر همکارانش روش پیشنهادی خود را توسعه دادند. بدین منظورآن‌ها از طیف انرژی فوریه در فضای قطبی برای تفکیک تصاویر هنری از غیر هنری استفاده نمودند. در این روش طیف فوریه یک تصویر به ۳۲ قسمت تقسیم‌بندی شد. از آنجاییکه تبدیل فوریه هر تصویر متقارن می‌باشد، بنابراین تنها ۱۶ ناحیه ازآن می‌تواند حائز اهمیت باشد و مجموع مقادیر موجود در هر ناحیه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص درنظر گرفته شود [۱۹].

1- Redies



شکل ۲: بلوک نمودار پردازش در حوزه فرکانس[۱۳].

Figure 2: Block diagram of processing in frequency domain.

به‌بیان دیگر به‌کمک این روش می‌توان، هر تصویر را تنها با ۱۶ عدد توصیف‌کرد که این امر نشان می‌دهد با اعمال تبدیل فوریه در حالت قطبی می‌توان تصاویر را با توابع شاخص محدودتری نمایش داد.

۱ـ۴ـ طبقه‌بندی

به‌طورکلی، طبقه‌بندی علمی است که بر اساس داده‌های قبلی که دارای برچسب هستند، مدلی برای پیش‌بینی برچسب داده‌های جدید می‌سازد. طبقه‌بندی یکی از زیر شاخه‌های اساسی یادگیری ماشین و داده‌کاوی است. به بیان دیگر، طبقه‌بندی فرآیند قرارگیری داده‌های نمونه‌های جدید در طبقات مختلف بر اساس داده‌های قدیمی است. یقینا به‌منظور طبقه‌بندی داده‌ها به یک مدل یا الگوریتم طبقه‌بندی نیاز است. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی داده‌ها معرفی شده است. در این میان می‌توان به شبکه‌های عصبی (همانند شبکه عصبی یادگیری عمیق)، درختان تصمیم، نزدیک‌ترین همسایه، بیشینه احتمال، بیزین و ماشین بردار پشتیبان اشاره کرد. بی‌شک انتخاب یک الگوریتم طبقه‌بندی به ساختار و نحوه توزیع داده‌ها، تعداد طبقه‌ها و پیچیدگی الگوریتم بستگی دارد. در این تحقیق طبقه‌بندی دو گروه متمایز قالی ایرانی به کمک ماشین بردار پشتیبان (که نیاز به مجموعه داده بزرگ ندارد) صورت پذیرفت [۲۰]. در ادامه مبانی این روش بیان می‌گردد.

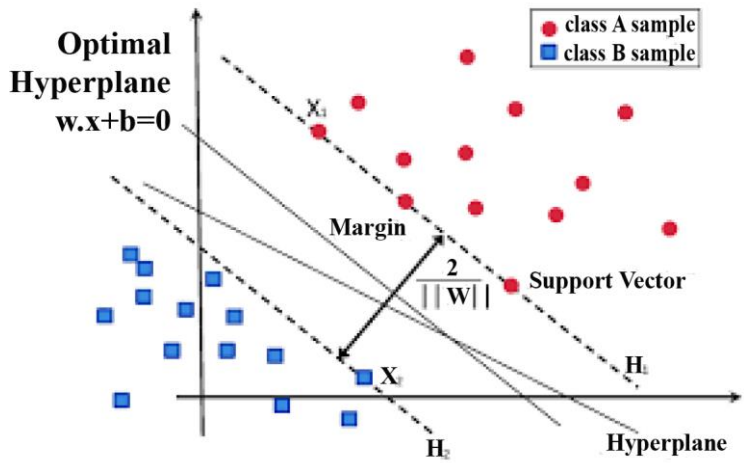
۱ـ۴ـ۱ـ ماشین بردار پشتیبان[1]

ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری با نظارت[2] است که از آن برای رگرسیون و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌کنند. SVM ازجمله روش‌های نسبتا جدیدی است که کارایی خوبی برای طبقه‌بندی داده‌ها دارد. اصول کار دسته‌بندی کننده SVM دسته‌بندی خطی مجموعه داده است. در حقیقت SVM در طبقه‌بندی به گونه‌ای عمل می‌کند که خطی را برای طبقه‌بندی استفاده نماید که حاشیه اطمینان[3] بیشتری داشته باشد. در SVM همه داده‌ها برای ساخت مدل استفاده نمی‌شوند و فقط داده‌های قرار گرفته در بردارهای پشتیبان مبنای ساخت مدل طبقه‌بندی قرار می‌گیرند. هدف SVM یافتن بهترین مرز در بین داده‌هاست به گونه‌ای که بیشترین فاصله ممکن را از تمام دسته‌ها (بردارهای پشتیبان آنها) داشته باشد [۲۰]. طبقه‌بندی SVM به شرح زیر صورت می‌پذیرد:

- ابتدا هر نمونه داده به عنوان یک نقطه در فضای-n بعدی روی نمودار پراکندگی داده‌ها ترسیم می‌گردد.
- با فرض اینکه دسته‌ها به صورت خطی جداپذیر باشند، ابرصفحه‌هایی با بیشینه حاشیه به دست می‌آیند تا دسته‌ها جدا شوند.
- در مواردی که داده‌ها بصورت خطی جداپذیر نباشند، آن‌ها به فضای با ابعاد بیشتر نگاشت پیدا می‌کنند به‌نحوی که بتوان داده‌ها را در این فضای جدید بصورت خطی جدا نمود.
- در یک فرآیند یادگیری که شامل دو دسته‌می‌باشد، هدف SVM پیدا کردن بهترین تابع برای طبقه‌بندی می‌باشد به نحوی که بتوان اعضای دو دسته را در مجموعه داده‌ها از هم تشخیص داد.

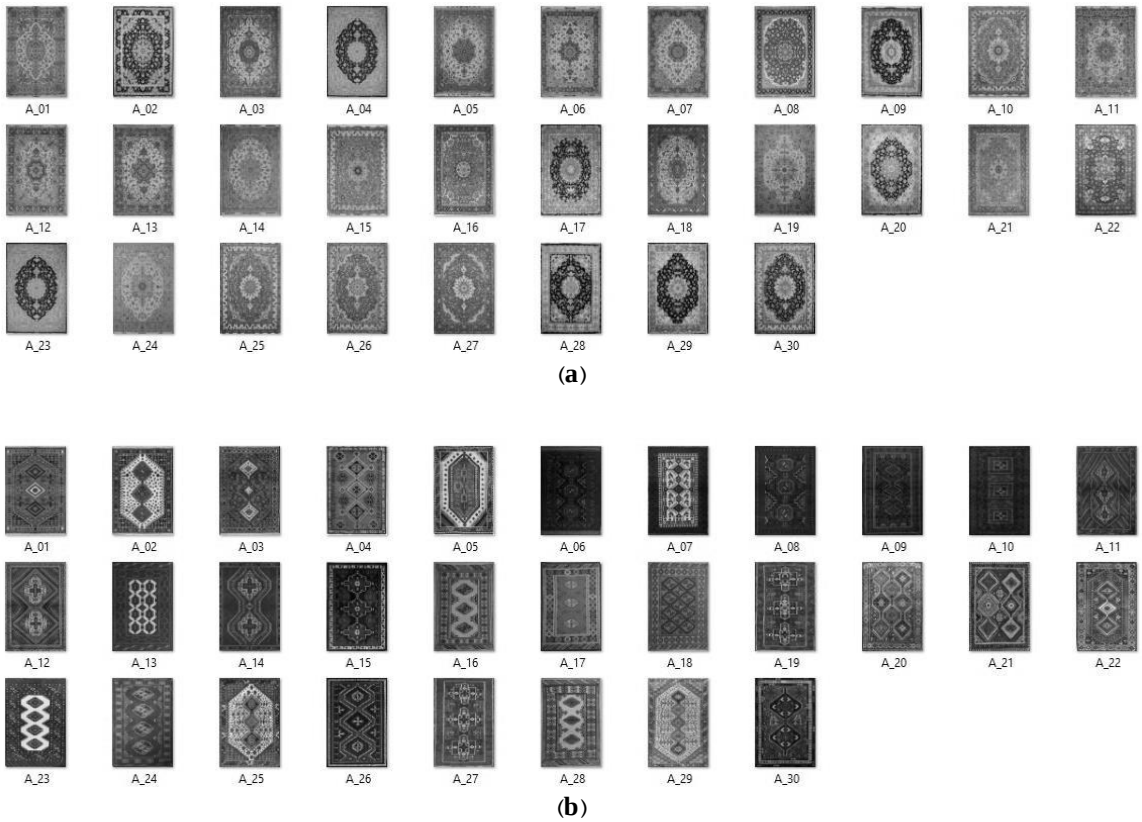
به طور کلی، طبقه‌بندی کننده SVM برای داده‌های دو دسته‌ای (داده‌هایی که تنها به دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند) تعریف شده است و در موارد دسته‌های بالاتر می‌توان از تعمیم آن استفاده نمود [۲۰]. حداکثر حاشیه و بردارهای پشتیبان برای یک داده دو دسته در شکل ۳ نشان داده شده است.

1- Support Vector Machine (SVM)
2- Supervised learning
3- Margin



شکل ۳: بردارهای پشتیبان و بیشینه حاشیه برای یک داده دو دسته‌ای.

Figure 3: Support vectors and maximum margins for a two-class data.



شکل ۴: a): تصاویر مربوط به طرح لچک ترنج، b): تصاویر مربوط به طرح هندسی ترکمن.

Figure 4: a) The images related to Lachak Torang design, b) The images related to Torkmen geometric design.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ پایگاه تصویر

تعداد ۶۰ تصویر از دو دسته قالی لچک ترنج و هندسی ترکمن (هر گروه ۳۰ تصویر) جمع آوری شد. کلیه تصاویر در ابعاد ۱۰۰۰×۱۵۰۰ پیکسل ذخیره شدند. به منظور بهبود مرزهای تصویر، یک فیلتر تیزکننده بالاگذر با پنجره ۳×۳ بر روی تصاویر اعمال شد. در نهایت، کلیه تصاویر به حالت خاکستری تبدیل و مورد پردازش‌های بعدی قرار گرفتند. تصاویر متعلق به هر یک از این دو دسته قالی در حالت خاکستری، در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است پایگاه داده استفاده شده طرح های ترکیبی (لچک ترنج ماهی و لچک ترنج هندسی و غیره) را شامل نمی‌شود و صرفا در این پژوهش به عنوان گام نخست طرح‌های کاملا متمایز یعنی لچک ترنج غیر تلفیقی و هندسی ترکمن مورد بررسی قرار گرفت.

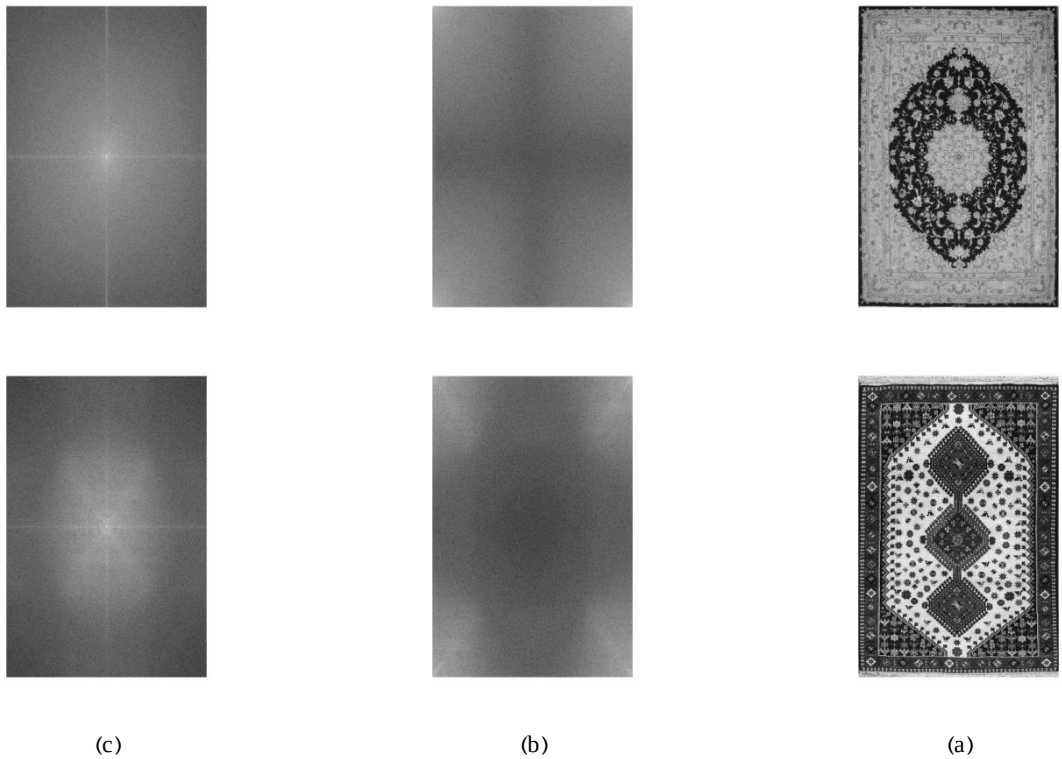
۲ـ۲ـ روش کار

همان‌طور که اشاره شد، استفاده از تبدیل فوریه به عنوان یک روش رایج برای ارزیابی کمی آثار هنری شناخته شده است. در این کار، مشخصه طیف فوریه برای تصاویر قالی دو طرح لچک ترنج و هندسی ترکمن محاسبه شد. به این منظور، شاخص مقادیر فرکانس فوریه در حالت قطبی از مجموعه تصاویر استخراج گردید. در حقیقت، ابتدا طیف انرژی فوریه هر تصویر محاسبه گردید. سپس کلیه نواحی با بسامدهای پایین هر تصویر که نشان‌دهنده انرژی تصویر می‌باشند به مرکز آن منتقل شد. باتوجه به‌اینکه تبدیل فوریه اعدادی مختلط را ایجاد می‌کند، بنابراین مقدار مطلق مقادیر مختلط حاصل برای ادامه کار مورد استفاده قرارگرفت. در نهایت از لگاریتم بیشینه ستون‌های ماتریس به‌دست آمده به‌عنوان مقدار مؤلفه فرکانسی هر نقشه قالی استفاده شد. شکل ۵ نمونه‌ای از طیف فوریه یکی از تصاویر قالی لچک ترنج و هندسی ترکمن که به صورت تصادفی انتخاب شده است را در حالت دوبعدی نشان می‌دهد.

در شکل b ۵ نواحی که دارای بسامد پایین می‌باشند و در واقع میزان انرژی تصویر را نشان‌می‌دهند، در چهار گوشه تصویر قرار گرفته‌اند و سایر مناطق دربردارنده بسامدهای بالا می‌باشند. مناطق دارای بسامدهای بالا مناطقی هستند که جزئیات تصویر در آن نهفته است. در شکل c ۵ بسامدهای پایین به مرکز تصویر منتقل شده‌اند. همانطور که مشاهده‌می‌شود به‌دلیل تقارن در طیف فوریه یک تصویر،

برای تحلیل و بررسی در حوزه بسامد همواره می‌توان از نیمی از آن طیف استفاده نمود. در شکل b ۵ نواحی که دارای بسامد پایین می‌باشند و در واقع میزان انرژی تصویر را نشان می‌دهند، در چهار گوشه تصویر قرارگرفته‌اند و سایر مناطق دربردارنده بسامدهای بالا می‌باشند. مناطق دارای بسامدهای بالا مناطقی هستند که جزئیات تصویر در آن نهفته است. در شکل c ۵ بسامدهای پایین به مرکز تصویر منتقل شده‌اند. همان‌طور که مشاهده‌می‌شود به‌دلیل تقارن در طیف فوریه یک تصویر، برای تحلیل و بررسی در حوزه بسامد همواره می‌توان از نیمی از آن طیف استفاده نمود.

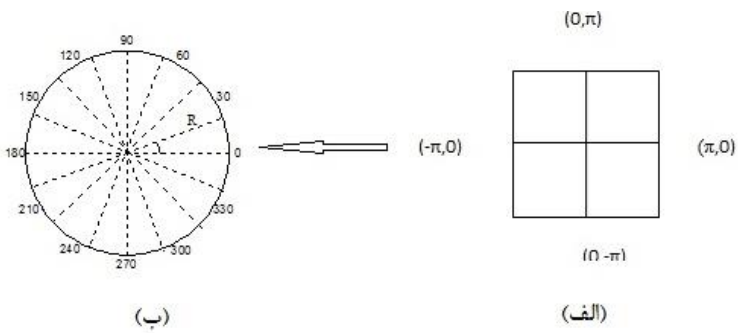
به‌منظور تحلیل دقیق‌تر طیف فوریه، مطابق روش پیشنهاد شده توسط ردیاس طیف فوریه در فضای قطبی محاسبه شد [۱۹]. به این منظور، هرتصویر به ۱۶ قطاع با پهنای مساوی تقسیم گردید. شکل ۶ شمایی از این تبدیل را نشان می‌دهد.



(c) (b) (a)

شکل ۵: a) یک نمونه تصویر قالی انتخابی (تصویر بالا: لچک ترنج و تصویر پایین: هندسی ترکمن)، b) طیف فوریه از تصویر در حالت دو بعدی، c) طیف فوریه شیفت داده‌شده (مولفه‌های بسامد در جهت‌های افقی، عمودی و مورب دیده می‌شوند).

Figure 5: a: A sample image of a rug (top image: Lachack Toranj and bottom image: Torkmen geometric), b: Fourier spectrum of the image as two-dimensional, c: shifted Fourier spectrum (Frequency components are seen in horizontal and vertical directions).



شکل ۶: الف: تبدیل فوریه تصویر در فضای دکارتی، ب: تبدیل فوریه تصویر در فضای قطبی.

Figure 6: a: Fourier transform of the image in cartesian space, b: Fourier transform of the image in polar space.

با اعمال محاسبات بیان‌شده بر روی پایگاه تصاویر، می‌توان از هر تصویربرداری ۱۶ عضوی استخراج نمود که این بردار مقادیر طیف فوریه هر نمونه را در زوایای معینی نشان می‌دهد. در واقع بردار حاصل‌شده بزرگی بسامد تصویر را در مناطق مختلف طیف بیان می‌کند. بنابراین، با درنظر گرفتن طیف فوریه در حالت قطبی می‌توان طیف تصاویر را از حالت ماتریسی که اندازه‌ای برابر با اندازه نمونه دارد، به یک بردار فشرده در فضای قطبی تبدیل نمود.

از ماشین بردار پشتیبان به منظور دسته‌بندی این دو گروه از داده‌ها استفاده شد. به‌منظور انتخاب نمونه‌های آموزشی و آزمایشی از روش اعتبارسنج k-fold استفاده شد. در روش اعتبارسنج k-fold، داده‌ها به k زیرمجموعه افراز می‌شوند. از این k زیرمجموعه، هر بار یک داده برای اعتبارسنجی و k-1 تای دیگر برای آموزش بکار برده می‌شوند. این روند k بار تکرار می‌شود و به این ترتیب تمامی داده‌ها دقیقاً یک بار برای آموزش و یک بار برای اعتبارسنجی به کار می‌روند [۲۱]. در این تحقیق، تصاویر به صورت تصادفی به پنج گروه مساوی تقسیم گردیدند و پنج بار عملیات آموزش برای چهار گروه و عملیات آزمون برای گروه پنجم تکرار شد. در نهایت میانگین نتایج این پنج بار اعتبارسنجی به‌عنوان تخمین نهایی برگزیده شد. طرحواره اعتبارسنج k-fold در شکل ۷ نشان داده شده است.

۳ـ نتایج و بحث

مطابق بخش (۲-۲)، تبدیل فوریه بر روی کلیه تصاویر تهیه شده از قالی‌ها در فضای دکارتی و قطبی اعمال شد و بردار شاخص فوریه از تصاویر استخراج گردید. در شکل ۸ مقادیر لگاریتم بیشینه هر ستون از تصویر فوریه در فضای دکارتی برای دو دسته طرح لچک ترنج و هندسی ترکمن به صورت مجزا و میانگین نشان داده شده است.

مطابق شکل ۸، طیف فوریه تصاویر متعلق به طرح لچک ترنج شیب کمتری نسبت به طرح هندسی ترکمن دارند. به علاوه، همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد تصاویر مربوط به طرح لچک ترنج در بسامدهای بالا از مولفه بسامدی بزرگ‌تری نسبت به طرح هندسی ترکمن برخوردار هستند. دلیل این امر به این خاطر است که مطابق شکل ۳، به طور کلی طرح لچک ترنج به دلیل وجود آرایه‌های نقش گل و بوته‌های به‌کار رفته در متن و حاشیه قالی از جزئیات بیشتری نسبت به طرح هندسی ترکمن برخوردار است. باتوجه به اینکه در طیف فوریه جزئیات در بسامدهای بالا و شکل کلی تصویر در فرکانس‌های پایین نشان داده می‌شود، بنابراین طیف فوریه طرح لچک ترنج به دلیل جزئیات بیش‌تر، مولفه بسامدی بزرگ‌تری در بسامدهای بالا خواهد داشت.

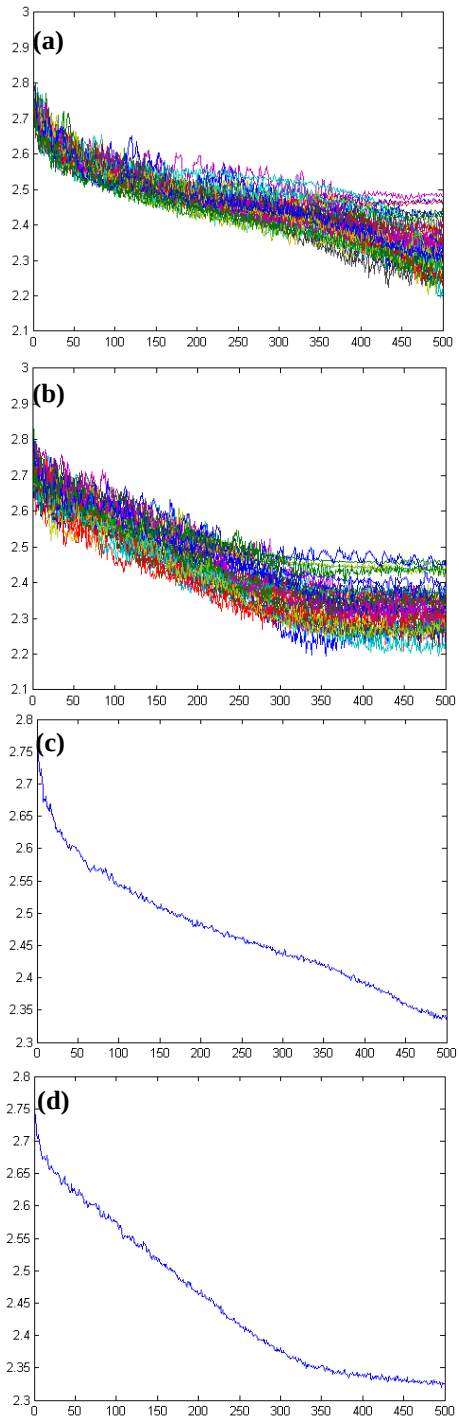
بردار شاخص فوریه در فضای قطبی برای دو دسته طرح لچک ترنج و هندسی ترکمن مطابق بخش (۲-۲) محاسبه و به صورت مجزا و میانگین در شکل ۹ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۹، تغییرات اندازه طیف فوریه در حالت قطبی رفتار متفاوتی در طرح‌های لچک ترنج و هندسی ترکمن نشان می‌دهد. در واقع، طیف فوریه این دو دسته طرح در زوایای مختلف مقدار متفاوتی دارد. دلیل این امر به نوع خطوط برجسته در قالی هندسی ترکمن و لچک ترنج بر می‌گردد. همانطور که در بخش (۱-۳) بیان شد، طیف فوریه تغییرات روشنایی در جهت‌های مختلف افقی، عمودی و مایل را در تصویر نشان می‌دهد و هر چقدر تغییرات روشنایی در تصویر بیش‌تر باشد، مقدار مولفه فرکانسی بیش‌تر خواهد بود. باتوجه به اینکه تغییرات روشنایی در دو طرح لچک‌ترنج و هندسی ترکمن در زوایا و بخش‌های مختلف متفاوت است، بنابراین تغییرات مولفه‌های بسامدی نیز در این زوایا متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال، در تصاویر طرح هندسی ترکمن خطوط مورب نسبت به طرح لچک ترنج بیشتر دیده می‌شود. در این خصوص، تغییرات شیب اندازه فوریه در بخش‌های مختلف به عنوان شاخص متمایزکننده این دو طرح بکار گرفته شد. در واقع، مقادیر مولفه‌های بسامدی در زوایای ۰ تا ۳۶۰ درجه محاسبه و به عنوان معیار جداسازی این دو گروه استفاده شد.

در ادامه، طبقه‌بندی تصاویر قالی باتوجه به شاخص فوریه به دست آمده و به کمک ماشین بردار پشتیبان انجام گرفت. به این منظور با بکارگیری روش 5-fold، نمونه‌های آموزشی و آزمایشی انتخاب شد. شکل ۱۰ طبقه‌بندی تصاویر متعلق به دو طرح لچک ترنج و هندسی ترکمن را در حالت دوبعدی نشان می‌دهد.

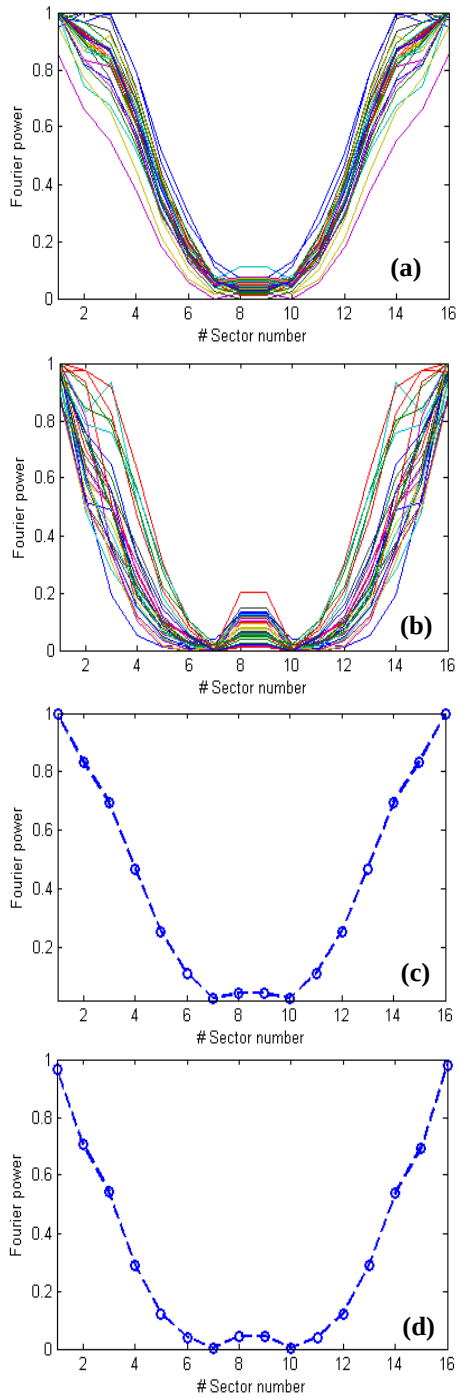
شکل ۷: طرحواره اعتبارسنج 5-fold. رنگ قرمز نشان دهنده نمونه‌های آزمایش و رنگ سفید نشان‌دهنده نمونه‌های آموزش می‌باشد.

Figure 7: Schematic of 5-fold cross validation. Red color shows test samples and white color shows training samples.



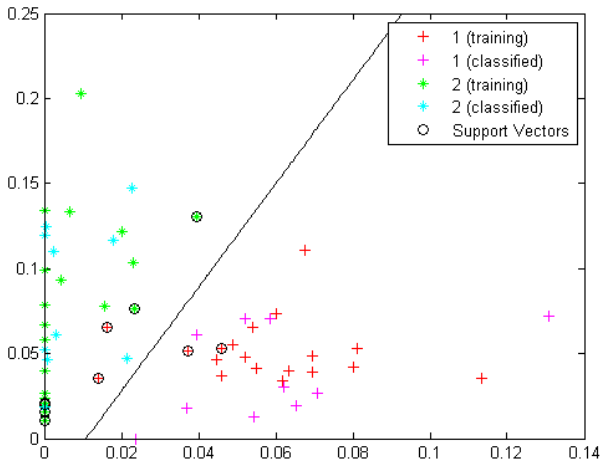
شکل ۸: مقادیر لگاریتم بیشینه هر ستون از تبدیل فوریه a) طرح لچک ترنج، b) طرح هندسی ترکمن، c) میانگین طرح لچک ترنج و d) میانگین طرح هندسی ترکمن (ابعاد تصاویر ۱۰۰۰×۱۵۰۰ می‌باشد که به دلیل تقارن از نیمی از ستون‌های طیف فوریه استفاده شده است).

Figure 8: The logarithm of maximum values of each column of the Fourier transform a) Lachack Toranj design, b) Torkaman geometric, c) the average of Lachack Toranj design and d) the average of Torkaman geometric (the dimensions of images are 1500 ×1000. (Because of the symmetry only half of the columns of the Fourier spectrum were used).



شکل ۹: شاخص مقادیر طیف فوریه تصاویر در فضای قطبی a) طرح لچک ترنج b) طرح هندسی ترکمن c) میانگین طرح لچک ترنج d) میانگین طرح هندسی ترکمن (محور افقی زوایای ۰ تا ۳۶۰ درجه را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال بخش ۸ برابر زاویه ۱۸۰ درجه است).

Figure 9: Fourier spectrum values of images in polar space a) Lachack Toranj design, b) Torkaman geometric, c) the average of Lachack Toranj design and d) the average of Torkaman geometric (The horizontal axis shows angles from 0 to 360 degrees. For example, section 8 is equal to an angle of 180 degrees).



شکل ۱۰: نمایش طبقه‌بندی تصاویر قالی لچک ترنج و هندسی ترکمن به کمک ماشین بردار پشتیبان در فضای دوبعدی.

Figure 10: The classification of images of Lachack Toranj and Torkaman geometric rugs with the help of a support vector machine in two-dimensional space.

در شکل ۱۰، نقاط مشخص شده با دایره بردارهای پشتیبان هستند. در SVM فقط داده‌های قرارگرفته در بردارهای پشتیبان مبنای یادگیری ماشین و ساخت مدل قرار می‌گیرند. به بیان دیگر، این الگوریتم به سایر نقاط داده حساس نیست. در واقع، هدف SVM یافتن بهترین مرز در بین داده‌ها است به گونه‌ای که بیشترین فاصله ممکن را از تمام دسته‌ها (بردارهای پشتیبان آنها) داشته باشد. دقت طبقه‌بندی این دو گروه به کمک رابطه ۲ تعیین شد:

$$\text{Accuracy } \% = \frac{C_T}{T} \times 100 \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، C_T و T، به ترتیب تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی شده صحیح و تعداد کل نمونه‌ها را نشان می‌دهند.

متوسط بازده طبقه‌بندی برای ۵ بار طبقه‌بندی انجام شده توسط k-fold، ۸۹,۴ درصد حاصل شد. بنابرین می‌توان گفت ماشین بردار پشتیبان از عملکرد قابل قبولی برای طبقه‌بندی داده‌های دو کلاسه قالی ایرانی برخوردار است. لازم به ذکراست، روش های مبتنی بر آموزش به نمونه‌ها و نقشه‌های معرفی شده وابسته هستند و لذا در صورتیکه نقشه‌هایی متفاوت با الگوهای معرفی شده به منظور دسته بندی به آنها معرفی شوند جواب مناسبی حاصل نخواهد شد. در واقع استفاده از روش مذکور برای هر طرح قالی امکان پذیر نخواهد بود و به نوع داده وابسته است.

۴ـ نتیجه‌گیری

در این تحقیق طبقه بندی تصاویر قالی دو طرح متمایز لچک ترنج و هندسی ترکمن بر مبنای شاخص طرح صورت گرفت. به این منظور از هر دسته قالی تعداد ۳۰ تصویر جمع آوری و در حالت خاکستری ذخیره شد. بردار شاخص فوریه در حالت قطبی از مجموعه تصاویر استخراج و به عنوان شاخص تعیین کننده طرح تصاویر قالی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این خصوص، تغییرات مقادیر مولفه‌های بسامد در بسامدهای مختلف (بسامدهای بالا و پایین) تحلیل شد. در نهایت، از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان به منظور طبقه‌بندی تصاویر قالی بر مبنای شاخص استخراج شده استفاده گردید. به منظور تفکیک نمونه‌ها به دو دسته آموزشی و آزمایشی، از روش اعتبارسنج k-fold استفاده شد. براساس نتایج حاصله، روش SVM با دقت قابل قبولی قادر به طبقه‌بندی تصاویر قالی لچک ترنج و هندسی ترکمن بر مبنای شاخص فوریه می‌باشد. لازم به ذکر است باتوجه به اینکه روش بکار گرفته شده از جمله روش‌های مبتنی بر آموزش می‌باشد، بنابراین دقت طبقه‌بندی به نوع نمونه‌ها و نقشه‌های معرفی شده وابسته است. در واقع روش مذکور برای طبقه‌بندی هر طرح قالی امکان‌پذیر نخواهد بود و به نوع داده وابسته است.

تقدیر و تشکر

از همکاری دانشگاه صنعتی امیرکبیر به سبب حمایت‌های معنوی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

۵ـ مراجع

1. Edwards A.C. The Persian carpet: a survey of the carpet-weaving industry of Persia, London: Duckworth, 1952, 60-70.
۲. ش. صور اسرافیل. طراحان بزرگ فرش ایران، سیری در تحول طراحی فرش، انتشارات سروش، تهران، ۱۳۷۱.
3. F. Mahyar, H. Izadan, L. Taghavi, S. Sadeghian Nodoushan, An investigation into the meaning of colour harmony using psychophysical techniques. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 85-92.
4. S. Ghanean, M. Ghanar Afjeh. Application of derivative spectrophotometry to determine the relation between color intensity and dye concentration of madder, *Prog. Color, Colorants Coat.* (2016), 1-14.
5. M. Hosseinnezhad, K. Gharanjig, Review on Metal and Natural Mordants for Dyeing Fibers. *J. Stud. Color World*, 10(2021), 21-30.
6. M. Vafaei and H. Pourghassem. Carpet map classification based on directional and textural features, 8th Internatinal Conference On Machine Vision and Image Processing, 2013.
۷. ح. غالبی، ا. کبیر و ه. داوودی. خوشه‌بندی آرایه‌های گل‌های قالی بابکارگیری

توصیفگر فوریه، ششمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ص. ۴۰۴-۴۰۸، ۱۳۸۹.

۸. 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*، سال هشتم، شماره ۱، ص. ۴۹-۵۶، ۱۳۸۹.

۹. ف. شیری و ا. کبیر. آشکارسازی خطوط نقشه‌های دستی فرش، ششمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ص. ۱۳۰-۱۳۶، ۱۳۸۹.

۱۰. ح. غالبی. بازشناسی خودکار گل‌های قالی با تاکید برتوصیفگرهای شکل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۱۳۹۰.

۱۱. م. خداکرمی و ا. کبیر. بازنمایی گل‌های قالی با استفاده از تبدیل‌های موجک و فوریه- ملین ، هوش محاسباتی در مهندسی برق، شماره ۴، ۱۳۹۱

۱۲. ص. شعبانی خطیب. فرهنگ‌نامه تصویری آرایه و نقشه فرش ایران، سپهر اندیشه، قم، ۱۳۸۷.

- ف. ترکمی آذر. مقدمه‌ای بر پردازش تصاویر دیجیتال، انتشارات ارکان، اصفهان، ۱۳۸۴.

13. R. Gonzalez, R. E. Woods. Digital Image Processing, 3nd edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2008.

14. J. Graham, C. Redies. Statistical regularities in art: Relations with visual coding and perception, *Vision Res.* 50(2010), 1503–1509.

15. C. Menzel, G. Hayn-Leichsenring, O. Langner, H. Wiese, C. Redies, Fourier power spectrum characteristics of face photographs: attractiveness perception depends on low-level image properties, *PLoS One* . (2015), 1-25.

16. C. Redies, J. Hanisch, M. Blickhan, J. Denzler. Artists portray human faces with the fourier statistics of complex natural scences. Network. 18(2007), 235-248.

17. D. J. Grahman, C. Redies. Relations with visual coding and perception. *Vision Res*., 50(2010), 1503-1509.

18. M. Koch, J. Denzler, C. Redies. 1/f2 characteristics and isotropy in the Fourier power spectra of visual art, cartoons, comics, mangas and different categories of photographs. *PLoS One*, 5(2010), 1-11.

19. G. Angiulli, M. Cacciola, M. Versac. Microwave devices and antennas modeling by support vector regression machines, *IEEE Trans. Magn.* (2007), 1589-1592.

20. R. Kohavi, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. Int. Joint Conference on Artificial Intelligence, 2(1995), 1137-1145.

How to cite this article:

T. Soleymanian Moghadam, M. Ghanbar Afjeh, S. H. Amirshahi, The Use of Support Vector Machine in The Classification of Lachack Toranj and Torkaman Geometric Rug Designs. *J. Color Sci. Tech.* 15, 4(2022), 317-327.

DOR: 20.1001.1.17358779.1400.15.4.1.2