ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(3):149-159

A Digital Method For The Application Of Color In Muqarnas, Safavid Era

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Heidarizadi E.[1] *MA,*
Kaboli M.H.*[2] *PhD,*
Zare L.[1] *PhD*

How to cite this article
Heidarizadi E, Kaboli M.H, Zare L. A Digital Method For The Applicati-on Of Color In Muqarnas, Safavid Era. Naqshejahan- Bas-ic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(3):149-159.

[1]Architecture Department, Art & Architecture Faculty, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Architecture Department, Damavand Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Correspondence
Address: Architecture Department, Damavand Branch Islamic Azad University, Jilard, Damavand, Tehran, Iran. Postal Code: 3971878911
Phone: +98 (21) 44832657
Fax: -
hadikaboli@damavandiau.ac.ir

Article History
Received: July 14, 2018
Accepted: October 06, 2018
ePublished: December 20, 2018

ABSTRACT

Ornaments are inseparable elements of Iranian Architecture. They take a visual part in defining the quintessence of forms. Muqarnas, as one of these ornaments, stands on the summit of geometry and form of Iranian architecture. A multi-aspect study on Muqarnas is an important activity that can end to the construction of identifiable forms. The study of color, especially on the juxtaposition of colors in Muqarnas is in the scope of this paper. Color, as a vital element in visual perception, can arrange the taxonomy of forms. In comparison with other elements of form like shape, texture, and material, color is more independent in the way that it is not intertwined with non-visual elements like structure. This ends to a convenient application of color in contemporary forms. The juxtaposition of colors in Muqarnas of Safavid era is enquired in this paper; via this, a good tool for color patterns capable of creating Iranian original forms is provided. The quantitative method in the study and the comparison of frequencies of colors yields a quantitative color index applicable in identifiable forms. The data are collected on the field and two methods are applied for the analysis: visual and computational. The result is extracted on the basis of computer modeling and logical reasoning.

Keywords Iranian Architecture; Ornament; Color; Muqarnas; Digital; C#

CITATION LINKS

[1] Form architecture [2] The function of ornament [3] The meaning of form [4] Aesthetics in architecture [5] Basic design, theory and practice [6] Form, space & order in Iranian architecture [7] Color in decoration [8] Automatic 3D muqarnas architectural patterns reconstruction using plane representation [9] Recognition of Mystical Thoughts Effects on Blue Color in Tile Lining of Iran's Mosques [10] Understanding color: An introduction for designers [11] Bricks & their usage [12] From chaos of perception to architectural recognition [13] The art of color [14] The elements of color [15] Color: The secret influence

Copyright© 2018, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

روش‌های عددی برای توضیح الگوی کاربرد رنگ در مقرنس‌های دوره صفوی

احسان حیدری‌زادی MA
گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
محمدهادی کابلی* PhD
گروه معماری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
لیلا زارع PhD
گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده
در معماری ایرانی، آرایه‌ها عناصر جداناپذیر فرمی هستند به‌گونه‌ای که در بسیاری از موارد از نظر بصری بخش عظیمی از ماهیت فرم را به خود اختصاص می‌دهند، یکی از مهم‌ترین آرایه‌ها در معماری ایران مقرنس است که از نظر هندسه و فرم می‌توان گفت نقطه تعالی آرایه‌های معماری این سرزمین است. بنابراین بررسی همه‌جانبه آن به‌منظور شناخت بیشتر در راستای تولیدات امروزی مبتنی بر فرم با هویت، ضروری است. یکی از جنبه‌های مهم قابل بررسی در آرایه مقرنس، رنگ است که با دقت در هر مقرنس به اهمیت آن به‌ویژه در شیوه همنشینی آن پی می‌بریم. رنگ به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم فرم در ادراک دیداری آثار معماری و به‌طبع دسته‌بندی هم‌خانوادگی‌های آنها نقش مهمی ایفا می‌کند. این پارامتر مهم در فرم، از سایر پارامترهایی مانند شکل، جنس یا بافت مستقل‌تر است زیرا در ارتباط تنگاتنگ با پارامترهای غیربصری مانند سازه نیست و با آزادی بیشتری می‌توان آن را در فرم‌های امروز معماری مشارکت داد. این پژوهش با بررسی شیوه همنشینی رنگی در مقرنس‌های معماری ایرانی در دوره صفوی سعی دارد الگوی رنگی در بافت‌ها برای خلق فرم‌هایی اصیل در معماری امروز ایران را ارایه دهد و از طریق سنجش کمی فرکانس‌های رنگی، مطالعه و مقایسه آنها با هم، شاخص‌های ویژه رنگی و هویت‌بخش به‌صورت کمی استخراج کند. در پژوهش حاضر داده‌ها با مطالعات میدانی گردآوری شدند، برای تحلیل آنها دو شیوه دیداری و محاسبه‌ای- دیجیتالی با نرم‌افزارهای ویژه به کار رفت و مبتنی بر مدل‌سازی رایانه‌ای و سپس استدلال منطقی و تحلیل محتوا، نتایج نهایی به دست آمدند.
کلیدواژه‌ها: معماری ایرانی، آرایه، رنگ، مقرنس، دیجیتال، سی‌شارپ

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴
*نویسنده مسئول: hadikaboli@damavandiau.ac.ir

مقدمه

معماری ایران به‌عنوان الگویی قدرتمند همواره رهیافتی موثر و ویژه در پاسخگویی به چالش‌های معماری روز ایران بوده و براساس نیازهای مختلف همواره جنبه‌هایی از آن الگوبرداری شده است. تاکنون بسیاری از مسایل اقلیمی، چالش‌های سازه‌ای، مسایل شهری و کیفیت‌بخشی به فضاهای زیستی، از طریق همین الگوبرداری پاسخ داده شده است. یکی دیگر از چالش‌های معماری روز ایران، موضوع هویت است که بخشی از آن در قالب مسایل کالبدی پاسخ داده می‌شود که بیشتر متوجه فرم کالبدی و بیرونی معماری بوده است.

فرم کالبدی به‌عنوان اولین موضوع ادراکی توسط ذهن انسان در مواجه با معماری، تعریف‌کننده بخش عمده‌ای از شخصیت مکان است و می‌تواند هویت آن را دستخوش تغییرات اساسی کند. با نگاه به کالبدهای مهم فضاهای شهری در سرزمین‌های مختلف مانند میدان نقش جهان، مساجد و خانه‌های ایرانی، کاخ‌های معماری ژاپنی، معابد یونان و روم باستان، کلیساهای گوتیک و سایر سرزمین‌هایی با معماری قابل بیان، می‌توان این موضوع را مشاهده کرد. با نگاه به این قبیل آثار معماری به‌روشنی تفاوت‌های فرمی در آنها دریافت می‌شود اما تدوین الگو و قواعد این تفاوت‌های هویت‌بخش با یک نگاه ساده امکان‌پذیر نبوده و دریافت شاخصه‌ها و پارامترهای فرمی به تاملی دقیق و علمی نیاز دارد.

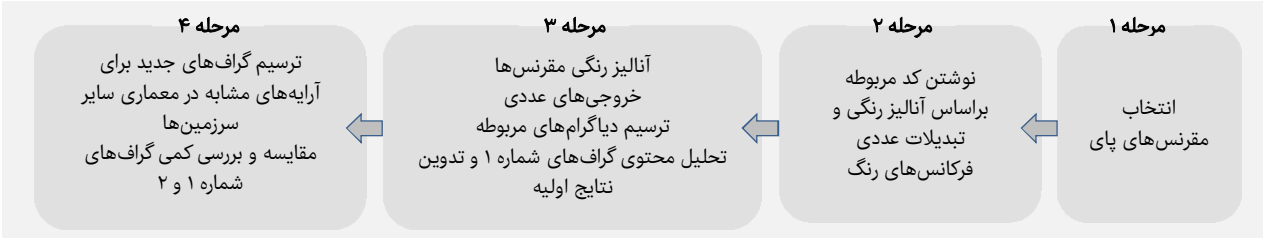
فرم (در این پژوهش مقصود جنبه‌های دیداری فرم است) ویژگی متمایز احجام است که می‌تواند براساس پارامترهای ویژه تشکیل‌دهنده خود، ماهیت، هویت و معنایی مشخص به خود یابد. جنس و ماده در معنای فرم بسیار تاثیرگذار است[1] که پارامترهایی مانند بافت، شفافیت را تشکیل می‌دهد، پارامترهای دیگری مانند شکل، رنگ و سایر موارد نیز می‌توانند به‌عنوان ژنوم ساختاری فرم در نظر گرفته شوند. موضوع فرم دربرگیرنده ساخته‌شده‌هایی است که سراسر اجزای خود را با هدف تولید تاثیر بصری به کار می‌گیرد[2]. بنابراین در تولید یک فرم همه پارامترها همراه با هم ایفای نقش می‌کنند. بنابراین هر فرم براساس پارامترهای ساختاری خود به‌عنوان ژن‌های سازنده آن تعریف شده و در هم خانوادگی‌های مشخصی قرار داده شود. از این‌رو می‌توان با استفاده از پارامترهای فرمی معماری گذشته، که قابلیت مشارکت در ساختارهای فرمی امروز را دارند، به‌عنوان ژنوم فرمی در تولید و بازآفرینی فرم‌های نو و اصیل معماری امروز ایران استفاده کرد. اما این پارامترها هر یک به میزانی، به سایر پارامترهای محیطی، اقلیمی و سازه‌ای وابسته هستند، برخی به میزان زیاد مانند شکل که به پارامترهای سازه‌ای اقلیمی بسیار وابسته است و برخی دیگر وابستگی کمتری دارند و تا حدی می‌توانند مستقل ظاهر شوند که در ساختارهای فرمی امروز قابلیت مشارکت بیشتری دارند. مانند آرایه‌ها که در استخراج پارامترهای فرمی آنها نقش مهم و موثر رنگ بر کسی پوشیده نیست.

رنگ از پارامترهای فرمی موثر در ادراک و انتقال شخصیت است. بخشی از معنا و انرژی درونی شکل‌ها در سرمایه رنگی آنها ریشه دارد[3]. رنگ‌ها دارای وزن ادراکی هستند[4] و روی ادراک فرم و شناسایی آن نقشی ویژه دارند. اهمیت رنگ به گونه‌ای است که از عناصر طراحی در کنار فرم، بافت و شکل مطرح می‌شود[5] و می‌تواند در بازخورد معنایی و ارسال اطلاعت ماهیتی هر باشنده یا اثر هنری نقشی مهم ایفا کند. رنگ کاهگلی، فیروزه‌ای، زرد و همنشینی ویژه آنها و درخشندگی‌های قابل محاسبه آنها در سرزمین ایران، رنگ‌های با تضاد بالا در تولید فرم‌های شرق آسیا، همنشینی ویژه گوتیکی یا ترکیب‌بندی‌های دوران مدرن شخصیتی ویژه به احجام بخشیده است که به‌عنوان پارامتر مهم فرمی قابلیت ارزیابی را دارد. با توجه به اینکه رنگ به نسبت سایر پارامترهای فرمی از استقلال بیشتری برخوردار است، قابلیت بیشتری برای توسعه و مشارکت در فرم‌های جدید را دارد از این رو این پژوهش به بررسی این مهم پرداخته است.

ضرورت شناخت رنگ و روابط همنشینی آنها در معماری و هنر ایران به‌ویژه در آرایه‌های زیبایی به مثابه مقرنس، در شناخت و بازآفرینش فرم‌ها و فضاهای معماری روز ایران قابل تامل است. هر چند معمولاً اولین دریافت ما از فرم شکل است[6]، اما در فرم‌هایی با شکل‌های مشابه، سایر پارامترها است (مانند رنگ) که می‌تواند تعریف‌کننده ماهیت، معنا و اصالت فرمی باشد. امروزه تاثیر رنگ نه‌تنها بر تمام وجوه فرم، بلکه بر نظام رفتاری مخاطبین فرم و فضا نیز پذیرفته شده است. در ابتدای دوران مدرن با توجه به گرایش به احجام خالص مانند مکعب، این ماده بود که تفاوت‌های چشمگیری بین احجام مشابه ایجاد می‌کرد، مانند مکعب‌های

شفاف میس و ندر روهه و احجام صلب کوربوزیه‌ای اما رنگ عموماً خنثی استفاده می‌شد، ولی در عصر حاضر استفاده از رنگ و ترکیب رنگ‌ها در ابنیه به‌مراتب بیش از قرن بیستم است[7]، این رنگ‌ها می‌توانند برخاسته از هنر و معماری سرزمین ایران به‌عنوان سرچشمه‌های اصالت پیش‌روی هنرمندان قرار گیرد یا می‌تواند از منابعی دیگر وام گرفته شود. طبیعتاً در حالت نخست است که می‌تواند به فرم‌های با اصالت دست یافت. اما هنر و معماری ایران در حوزه‌های مختلف زمانی و مکانی، تنوع بسیاری دارد و از این رو انتخاب بستر و عنصر مورد مطالعه اهمیت می‌یابد که در این پژوهش عنصر مقرنس به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین آرایه‌های معماری ایران انتخاب شده و در بستر زمانی دوران صفویه بررسی خواهد شد چرا که این دوران مصادف با به اوج‌رسیدن این هنر است و آثار باقی‌مانده از آن به قدری بود که بتواند به‌عنوان میراث معماری ایران وزن مناسبی از نقش هویتی خود را در میان سایر عناصر معماری و پس‌زمینه ذهنی مردم ایفا کند. این پژوهش گامی برای ابهام‌زدایی از احساس رنگی و احساس آشنایی در مورد نوع همنشینی رنگی در آرایه مقرنس است.

روش مطالعه رنگ در این پژوهش بر پایه مدل‌سازی رایانه‌ای استوار است و از افزونه گراسهاپر و زبان برنامه‌نویسی "سی‌شارپ" (C#) به‌عنوان ابزارهای دیجیتال در بررسی و شناخت روابط کمی بین رنگ‌ها و ترسیم گراف‌های همنشینی رنگی براساس سنجش طول موج و بسامدهای همنشینی استفاده شده است. در این پژوهش با کمک ابزارهای گفته‌شده، به کشف روابط عددی بین طول موج و بسامد به‌عنوان متغیرهای موثر در هر رنگ در مجموعه کلان رنگیی که در آن قرار گرفته پرداخته خواهد شد. به‌طور خلاصه می‌توان روند پژوهش را در شکل ۱ خلاصه کرد.



شکل ۱) مراحل مختلف پژوهش از انتخاب مقرنس‌ها تا ترسیم گراف‌ها

آرایه‌های معماری ایرانی و مقرنس

آرایه‌ها در معماری به‌عنوان پارامترهای فرمی با استقلال نسبی بیشتر، قابلیت مشارکت‌پذیری بالایی در فرم‌های معماری روز ایران را دارند، بنابراین انتخاب آنها به‌عنوان بخشی از پارامترهای شاخص بصری در فرم معماری، به‌عنوان نمونه موردی برای مطالعه و پژوهش در راستای بازآفرینش فرم منطقی به نظر می‌رسد. در انتخاب آرایه‌ها، چند عامل نقش مهم و اساسی ایفا می‌کند، نخست نوع آرایه است که باید از ویژگی قابل قبولی برای تمایز نسبت به سایر سرزمین‌ها برخوردار بوده و واجد ارزش لازم برای بررسی و کنکاش در ویژگی‌های بصری آن باشد. هر چند اکثر آرایه‌های معماری ایرانی این ویژگی‌ها را دارند، اما به‌دلیل اهمیت مقرنس به‌عنوان شاهکار معماری ایرانی و حضور موثر آن به‌عنوان یکی از شاخصه‌های کالبدی هویت‌بخش به معماری ایرانی، به‌عنوان آرایه مورد مطالعه انتخاب شده است.

مقرنس یکی از شاخص‌ترین عناصر معماری ایران است که در معماری قبل از اسلام ایران ریشه دارد. تعدد حضور و فراوانی این عنصر در معماری ما و زیبایی منحصر به فرد آن، پژوهش در باب پارامترهای فرمی آن را موجه می‌سازد. هر چند در فرم مقرنس مهم‌ترین پارامتر شکل است اما سایر پارامترها مانند رنگ به‌واسطه تخلخل تکرارپذیر و ریتم ویژه آن، به موضوعی قابل تامل تبدیل می‌شود که این پژوهش سعی در شناخت منطقی آن دارد. حضور مقرنس در معماری ایران پیشینه‌ای طولانی دارد، اولین نمونه مقرنس‌ها که بیشتر جنبه کاربردی تا تزیینی دارد به دوره مادها مربوط است[8]. بنابراین طبیعی است معماری ایران با فراوانی زیادی از این آرایه روبه‌رو باشد، از این رو انتخاب بازه زمانی ویژه‌ای برای دسته‌بندی مقرنس‌های مورد مطالعه اهمیت می‌یابد.

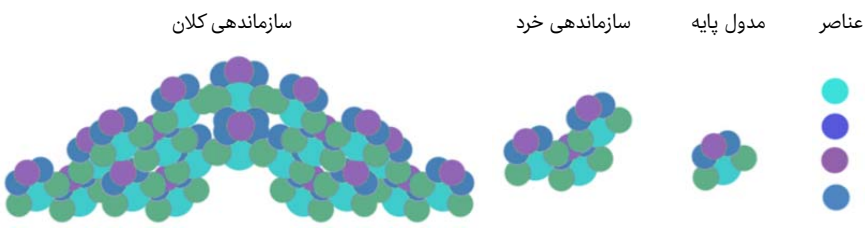
بستر زمانی انتخاب مقرنس‌ها دوره صفوی انتخاب شده است. دوره صفویه به‌عنوان دوران تعالی هنر ایران در دوران اسلامی به‌عنوان مناسب‌ترین بازه و بستر زمانی برای این پژوهش در نظر گرفته شده است. در این دوره استفاده از رنگ به اوج خود رسیده و آثار نفیس رنگی در همه هنرها وجود دارد. یکی دیگر از ظرفیت‌های این دوره، نزدیکی زمانی به دوران معاصر و به‌طبع فراوانی آثار برجای مانده است که حضوری قابل بیان و وزنی حس‌شدنی در منظر شهری و هویت کالبدی معماری ایرانی آفریده است. البته دوران بعد از صفوی از نظر فراوانی آثار و ماندن در پس‌زمینه ذهنی- بصری مردم دارای جنبه‌های قوی‌تری هستند اما در این دوران، جز مواردی اندک، افت کیفیت رنگ و نزول ارزش آن را می‌توان دریافت کرد و با توجه به روند کاهشی کیفیت فام رنگی و همنشینی آن در ترکیب‌های بیگانه، تنها تمرکز این پژوهش دوره صفوی قرار گرفته است. برای مثال در مورد استفاده از رنگ آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فام‌های مستخرج از لاجورد، شاهد افت کیفیت درخشندگی و میزان فام آبی آن هستیم. مرادی‌نسب در پژوهشی بر ویژگی‌های رنگ خالص لاجوردی و آبی، با نقد و بررسی کاشی‌کاری و همچنین منابعی از استاد *پیرنیا* و دکتر *هوشنگ رسولی*، بر اتمام منابع لاجورد خالص و فام آبی لاجوردی در دوران نزدیک به معاصر و ناخالصی سایر معادن تاکید داشته است[9]. فام رنگی و همنشینی رنگ‌ها در آرایه‌های مختلف براساس بستر رنگی آنها متفاوت ظاهر شده است و این موضوع در مورد مقرنس به‌واسطه هندسه و پیچیدگی ویژه خود حساسیت و اهمیتی دو چندان یافته است.

بستر رنگی مقرنس، به‌عنوان سطحی متخلل با بافتی ویژه و تکرارپذیر با مقیاسی کاهشی، بسیار متفاوت‌تر از سطوح وسیع کاشی‌کاری یا نقاشی‌شده در انواع بدنه‌های معماری در پذیرش رنگ عمل می‌کند. بدین‌گونه که هر عنصر می‌تواند برای خود ماهیتی ویژه داشته باشد و در عین حال در نظامی هماهنگ بتواند گشتالتی کلی بر مجموعه حاکم کند که نه‌تنها با الگی سازماندهی عناصر مقرنس مغایر نیست بلکه در راستای وحدت‌بخشی هر چه بیشتر آن است، بنابراین موضوع رنگ در مقرنس اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. بنابراین تنها فام رنگی نیست که ادبیات رنگی مقرنس را مشخص می‌کند، بیش از آن همنشینی آنها است که در نظام جز و

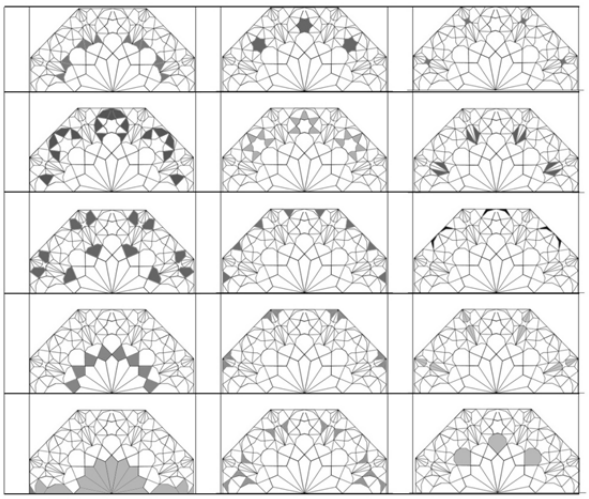
کل برحسب طبیعت شبه‌فراکتالی آن، نظمی ویژه می‌یابد که به نظر می‌رسد میزان تخلخل مقرنس و عمق یافتگی‌های چندمحوره آن، هارمونی رنگی ایجاد کند تا تضاد رنگی و محوشدن رنگ‌ها در هم و ایجاد طیف محوی‌رنگ را در این همنشینی به ارمغان آورد. در تعریف مقرنس به‌عنوان بستری هندسی برای قرارگیری فام‌های مختلف رنگی می‌توان چنین بیان کرد "مقرنس سازماندهی مجموعه‌های رنگی و تکرار آنها در نظمی کلان است. به عبارت دیگر هر عنصر از اعضا پایه مقرنس براساس ماهیت خود به‌صورت مستقل رنگی در کادر مشخص خود گرفته‌اند که با توزیع آن اعضا در مجموعه‌های یکسان، پراکندگی و تکرار آنها و همچنین مشارکت آنها در ساختاری کلان‌تر، خودبه‌خود همنشینی رنگی با شیوه هماهنگی و طیف‌های نزدیک به هم تولید خواهد شد. بنابراین اگر هر عنصر را که شامل چند زیرمجموعه است به‌عنوان یک رنگ مشخص کنیم، سازماندهی انتزاعی بسته‌های رنگی را می‌توان ترسیم کرد (شکل ۲).

این پراکندگی تنها در پلان نیست و هر کدام از سطوح معرف‌تر از ارتفاعی ویژه‌ای است که متناسب با پلان عمق یافته است، بنابراین می‌توانیم پراکندگی رنگی و همنشینی آن را تحت دیاگرام بالا در شکل ۲ مشاهده کنیم. حال در مقیاسی واقعی و در پلان مقرنسی ساده، اگر عناصر مشابه و توزیع‌شده در نظام کلان مقرنس به‌صورت جدا در پلان مشخص شود، به واقعیت به فراوانی این توزیع می‌توان دست یافت.

شکل ۳ پلان مقرنسی را نشان می‌دهد که عناصر مشابه آن با طیفی خاکستری‌رنگ تفکیک شده‌اند.



شکل ۲) ساده‌سازی مقرنس به دانه‌بندی‌های رنگی (منبع: نگارنده)



شکل ۳) عناصر سازنده مقرنس در سطوح افقی (منبع: نگارنده)

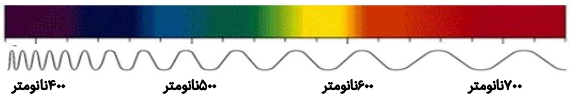
رنگ

نظریه‌های پیرامون رنگ و به‌طور کلی شیوه مطالعه رنگ‌ها را می‌توان در سه بازه زمانی کلی بررسی کرد. نخست قبل از قرن هجدهم به‌ویژه در دوران یونان باستان که زیبایی و هارمونی را در نظم طبیعی ریاضی باور دارند، به‌عبارتی اولین نویسندگان حوزه رنگ را فلاسفه یونانی می‌توان دانست[10]. همچنین در دوران رنسانس نیز توسط افرادی همچون *داوینچی* سعی در بررسی ابعاد مختلف رنگ از ترکیب رنگ‌ها گرفته تا معنی آنها داشته‌اند. مرحله بعدی را که آغاز نظریه رنگی می‌نامند در اروپا در اوایل قرن هجدهم می‌توان جست‌وجو کرد. مشاهدات و آزمایش‌های *نیوتن* و *گوته* پایه و اساس نظریه رنگی مدرن را بنا کرد و در نهایت با نوشتن کتاب *آلبرس* به نام تعامل رنگ‌ها، بر ناپایداری و عدم قطعیت در ادراک رنگ‌ها تاکید شد[10]. این پژوهش بر پایه آن دسته از نظریه‌های پیرامون رنگ است که نقش محاسبه عددی و ریاضی در آنها موثر است و بر بررسی فیزیولوژیک رنگ دلالت دارد.

نظریه‌های بعد از قرن هجدهم در حوزه‌های تفکیک‌نشده‌ای مطرح می‌شد و بسیار گسترده و متنوع و مبهم ظاهر شد تا در سال ۱۹۱۹ در باهاوس به این ابهامات پایان داده شد و روان‌شناسی، معنا و فیزیولوژیک رنگ از هم تفکیک شدند و هر کدام در حوزه مربوط به خود بررسی شدند. مفاهیم مربوط به مطالعات علمی رنگ، چرخه‌های رنگی، هارمونی و تضاد، رنگ‌های مکمل و سایر مفاهیم مربوط به رنگ محصول این رویکرد به بررسی مقوله رنگ است که در این پژوهش به‌عنوان دیدگاه اصلی در نظر گرفته شده است و گرایش غالب چهارچوب فکری به نسبت معنا و روان‌شناسی رنگ به سمت فیزیولوژیک رنگ میل می‌کند.

ادراک رنگی، دریافت و پردازش امواج رنگی توسط چشم و مغز انسان صورت می‌گیرد. به‌طور کلی رنگ عبارت است از امواج نوری که با چشم می‌بینیم و با مغز تشخیص می دهیم[11]. چشم انسان از مجموعه سلول‌های عصبی میله‌ای و مخروطی تشکیل شده است، سلول‌های مخروطی ابزار تشخیص رنگ هستند[12] که نور را با طول موج‌های متفاوت دریافت و برای سنجش به مغز ارسال می‌کنند. هر کدام از این طول موج‌ها به‌صورت رنگی مجزا یا همان فام دیده می‌شوند[10] و سازماندهی فام‌های رنگ براساس نظمی ویژه همنشینی رنگ‌ها نامیده می‌شود. هر چند برای ادراک رنگی اثری، عوامل متعددی مانند، فام رنگی، تن رنگ (*هولتس‌شو* تن را این گونه تعریف می‌کند "هیچ تعریف قابل قبولی برای تن وجود ندارد اما پرکاربردترین مفهوم آن رنگی با خلوص کاهش‌یافته، است")، درخشندگی، میزان اشباع‌شدگی آن، اثر افزایشی و کاهشی و سایر پارامترها نقش ایفا می‌کنند اما بررسی تمام آنها از حوصله پژوهش خارج بوده و تنها به همنشینی رنگی پرداخته شده است. طبق آنچه در بالا گفته شد می‌توان پارامترهای نظم‌دهنده به همنشینی فام‌های رنگ را معادل رابطه میان طول موج‌ها و بسامد رنگ‌های استفاده‌شده در مجموعه در نظر گرفت. بنابراین به نظر می‌رسد نوع کیفیت (منظور از کیفیت، پارامتری برای ارزش‌گذاری

نیست بلکه مقصود "چگونگی" است) این همنشینی را می‌توان با مطالعه روابط عددی بین هر طول موج بررسی کرد.
شکل ۴ نشان‌دهنده رابطه بین طول موج و نوع رنگ ادراکی توسط مغز انسان است که در مورد طول موج‌های مریی ترسیم شده است. چشم انسان می‌تواند طول موج‌هایی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰نانومتر را ادراک کند[13].

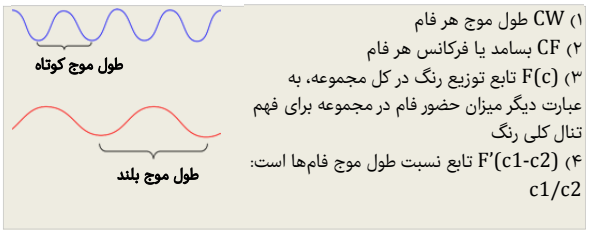


شکل ۴) طول موج‌های مریی و رنگ ادراکی هر کدام (منبع: نگارنده)

فیزیک رنگ و سنجش عددی رنگ‌ها

سنجش عددی روابط میان رنگ‌ها می‌تواند گامی موثر در شناخت نحوه همنشینی آنها باشد و از آن جهت اهمیت می‌یابد که می‌توان از این طریق، نه‌تنها به مجموعه‌ای مدارک از الگوهای مشخص برای بیان نحوه همنشینی رنگی در هنر مقرنس رسید بلکه به تفاوت‌های رنگی و ژنومی همنشینی رنگ در سایر سرزمین‌ها با ایران دست یافت. این موضوع زمانی اهمیت می‌یابد که در سایر سرزمین‌ها مشابهت‌های رنگی با ایران نیز دیده می‌شود و تشخیص تفاوت تعریف‌شده و تفکیک‌کننده آن اندکی دشوار خواهد بود. برای این منظور در این پژوهش تمامی اعداد حاصله از رنگ‌ها و روابط بین آنها در نمودار برده شد و با گرافی خاص، روابط حاصله را جلوه‌ای بصری داده است که بتوان فهم بهتری از روابط میان فام‌های رنگی دریافت کرد.
هر فام دارای طول موج و بسامد ویژه خود است که می‌توان آن را به دقت تعریف کرد[14]. بنابراین می‌تواند عددی را به خود نسبت دهد. همچنین هر رنگ با تعریف طول موج و بسامد، دارای انرژی خاصی می‌شود، در حقیقت هر موج الکترومغناطیسی انرژی خاصی دارد که در ارتباط با طول موج آن است، پس می‌توان گفت؛ انرژی حاصل از رنگ‌ها را می‌توان با پوست نیز حس کرد[15] و این خود دلیل دیگری بر ضرورت شناخت روابط بین رنگ‌ها است که حس دریافت‌شده از هر فضا و فرم را به انسان معرفی می‌نماید. بنابراین می‌توان با بررسی روابط اعداد رنگی هر پدیده و ترسیم گراف آنها، مقایسه و استدلال منطقی از هر کدام، به فهم نظام رنگی هر اثر و منطق تولید حس فضایی زمینه‌های آن، به شیوه‌ای منطقی دست یافت. برای این منظور در درجه اول انتخاب تصویر اهمیت پیدا می‌کند. هر تصویر از نظر دیجیتالی شامل طیف وسیعی از رنگ‌ها است که به دلایل مختلف ایجاد شده‌اند برای مثال در مدل سه‌رنگی (RGB)، با سه رنگ قرمز، سبز و آبی رنگ‌ها ساخته می‌شود و از هر کدام ۲۵۵ فام به وجود می‌آید در نتیجه شانزده میلیون رنگ قابلیت پردازش و تولید را دارند، بنابراین هر تصویر باید ساده‌سازی شود که تعداد رنگ‌های مشابه آن کاسته شده و به تعداد دلخواه برسد. این عمل اصطلاحاً ایندکس‌کردن نامیده می‌شود. این مرحله را می‌توان با نرم‌افزاری مانند فتوشاپ انجام داد اما راه بهتر آن است که کد آن به‌صورت پارامتریک نوشته شود که قابلیت تغییرات در مراحل بعدی را دارا باشد. بنابراین برای سنجش عددی رنگ ابزارهای محاسبه‌ای می‌توانند بسیار مفید باشند و از میان این ابزارها حوزه کدنویسی و نگاشت معادلاتی آن برای تبدیلات عددی سریع‌ترین و دقیق‌ترین گزینه است.
۱) نگارش کد مربوطه برای استخراج روابط عددی همنشینی رنگ‌ها برای تبدیل موضوعات مطرح‌شده فوق در خصوص روبط بین فرکانس‌های رنگ به عدد و پارامترهای کمی از برنامه‌نویسی سی‌شارپ (C#) در محیط برنامه گراس‌هاپر استفاده شده است. برای این منظور در ابتدا تصویر دیجیتالی انتخاب، پس از مرحله کاهش رنگ به‌عنوان مجموعه‌ای از اعداد و کدهای معرف تصویر به برنامه معرفی شده و کد مربوطه آن را پردازش می‌کند (شکل ۵).
برای تدوین کد پردازشی پژوهش، ابتدا باید متغیرهای موثر تعریف شده و برای هر کدام روابط مشخصی در نظر گرفته شود. بنابراین متغیرهای موثر در پژوهش در زیر تعریف می‌شوند (شکل ۶):
طبق فرضیه مطرح‌شده تناسبات فرکانس‌ها در همنشینی رنگی مقرنس به هم نزدیک است بنابراین می‌توان عبارت قبل را چنین ترجمه کرد: نسبت Cw هر فام به Cw فام پیکسل بعدی و هم‌جوار به عدد یک میل می‌کند. این یعنی عدد فام‌ها به هم نزدیک است (شکل ۷).

شکل ۵) مراحل پردازش داده‌های رنگی در توابع نوشته‌شده (منبع: نگارنده)



شکل ۶) معرفی توابع (منبع: نگارنده)

$$F(c) = \frac{Cw1}{Cw2} = \frac{CF1}{CF1} \longrightarrow 1$$

شکل ۷) تناسب فرکانس‌ها در همنشینی رنگی (منبع: نگارنده)

با توجه به اندازه طول موج طیف نورهای مریی در محدوده ۴۰۰ الی ۷۰۰نانومتر، F(c) در هر همنشینی رنگی بین دو عدد ۰/۵۷و ۱/۷۵ خواهد بود، بنابراین دقت در سنجش این نسبت و نزدیکی آن به عدد یک بسیار حساس است، بنابراین تنها با یافتن اعداد نمی‌توان به نسبت درست بین آنها پی برد زیرا تعدد آنها و فراوانی آنها از یک طرف و نزدیکی مقادیر آنها از طرفی دیگر از حوصله ذهن انسان خارج است و این سنجش در وهله اول باید به شیوه‌ای ساده‌تر و قابل فهم‌تر انجام شود، بنابراین کد مربوطه مبتنی بر ترسیم گراف‌های این همنشینی نگاشته شده که با مطالعه و مقایسه هر گراف می‌توان رفتار همنشینی فام‌ها و مقادیر تمایل نسبت‌های آنها را به عدد یک پی برد. بنابراین کد مربوطه براساس درنظرگرفتن یک نقطه به ازای هر پیکسل و جابه‌جایی آن به اندازه طول موج فام رنگی همان پیکسل در محور عمودی، و وصل‌کردن نقاط به هم توسط منحنی درجه سه (منحنی درجه سه یعنی خطی که با حالت نرم از میان نقاط مد نظر بگذرد و هر خط به‌عنوان نقطه پایه، کنترل‌کننده فرم نرم خط باشد، اگر نقاط به خط راست به هم وصل شوند، منحنی درجه یک نامیده می‌شود) و خروجی خطی به‌عنوان گراف نوشته شده است (شکل ۸).

بخش ۱

```
List<Color> colors = new List<Color>();
List<Point3d> points = new List<Point3d>();
```

بخش ۲

```
System.Drawing.Bitmap img = new System.Drawing.Bitmap(filename);

int width = img.Width;
int height = img.Height;
```

بخش ۳

```
int h = (int) (height * (double) row / 100.0);
for (int w = 0; w < width; w++)
{
  Color color = img.GetPixel(w, h);
  colors.Add(color);

  int r = color.R;
  int b = color.B;
  int g = color.G;

  double elevation = e * (double) (r + g + b);

  Point3d pt = new Point3d(w, h, elevation);
  points.Add(pt);
}
```

بخش ۴

```
A = points;
B = colors;
```

شکل ۸) کد نوشته‌شده در محیط سی‌شارپ (منبع: نگارنده)

بخش ۱) در اولین مرحله از نوشتن معادلات خروجی‌های اصلی باید تعیین شود. با توجه به خروجی خطی به‌عنوان گراف معرف هر رنگ، به نظر می‌رسد مجموعه‌ای از نقاط باید تعریف شود که هر کدام به میزان اندازه طول موج رنگی (CW) خود، بالا یا پایین رود و در نهایت با اتصال این خطوط به هم می‌توانیم درجه همنشینی آنها را مشخص کنیم. بنابراین لیستی از رنگ برای به‌دست‌آوردن عدد طول موج و لیستی از نقاط باید تعریف شود.

بخش ۲) در این مرحله تصویر و محل ذخیره دیجیتالی آن، با توجه به تعریف ابعاد آن به پیکسل تعریف شده است.

بخش ۳) تعریف مجموعه‌ای از نقاط به اندازه واحد هر پیکسل برای همپوشانی نقاط و پیکسل‌ها، به‌عبارتی به‌ازای هر پیکسل، نقطه‌ای با مختصات سه‌بعدی روی همان پیکسل برای اعمال حرکت به‌ازای اندازه طول موج در نظر گرفته شده است.

هر پیکسل با توجه به تعریف سه‌رنگی (RGB) دارای سه مولفه از رنگ است که نرم‌افزار می‌تواند هر سه مولفه رنگی را استخراج کند و به‌صورت جداگانه در اختیار پژوهشگر قرار دهد و می‌توان براساس این سه مولفه به حدود طول موج دست یافت.

بخش ٤) در این قسمت تمامی داده‌ها باید به‌عنوان خروجی با اسمی مشخص در نظر گرفته شوند که بتوان روی آنها عملیات تبدیل به گراف‌های رنگی را انجام داد.

برای امتحان این الگوریتم، ابتدا این موضوع در فضایی ساده‌تر و برای همنشینی‌های بسیار ساده بررسی شده است که ارتباط گراف‌ها با رنگ‌های متناظر مشخص شده و در ادامه برای تصاویر پیچیده‌تر با دقت و جزییات بیشتر بررسی خواهد شد (شکل ۹).

شکل ۱-۹ گراف نظیر همنشینی رنگی با کنتراست بالا را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر نسبت $Cw1/Cw2$ به سمت عدد ۰/۵ و ۱/۷۵ تمایل بیشتری دارد. بنابراین مشاهده می‌شود از هر رنگ به رنگ دیگر جهش صورت گرفته و اتصالات میانه‌ای وجود ندارد.

۰/۵ ⟵ $F(c)$ ⟶ ۱/۷۵

شکل ۲-۹ گراف نظیر طیف رنگی از آبی (راست) به سمت سفید (چپ) را نشان می‌دهد که این حرکت تدریجی است و فضاهای رنگی میانه و نقش آنها در تلطیف گراف دیده می‌شود.

شکل ۳-۹ طیف تبدیلی آبی به قرمز را نشان می‌دهد که در پنج مرحله تبدیلات رنگی به‌صورت طیف به گراف نظیر تبدیل شده که حرکتی سینوسی و نرم را نمایش می‌دهد. در این حالت نیز $F(c)$ به سمت یک تمایل بیشتری دارد زیرا در مورد دو فام رنگی همجوار بررسی می‌شود و بین دو فام قرمز و آبی با طول موج‌های متفاوت و با کنتراست قابل توجه، از آنجا که طیف میانه وجود دارد و رنگ آبی رفته‌رفته به قرمز تبدیل می‌شود، باز مشاهده می‌شود که این پارامتر به سمت عدد یک تمایل دارد هر چند این نسبت برای فام مبدا و مقصد به عدد بیشینه این نسبت گرایش دارد:

$F(c) \longrightarrow 1$

ترسیم این گراف‌ها به‌صورت دستی برای رنگ‌های ساده فوق دشوار نبوده و تخمین آن نیز با نگاه و مشاهده، ساده به نظر می‌رسد زیرا تعداد فام‌ها و همجواری‌های آنها زیاد نبوده و قابل حدس است و نوشتن معادله‌ای برای ترسیم گراف نظیر هر رنگ شاید در این موارد معقول به نظر نرسد، اما برای تصاویر پیچیده‌تر همراه با انبوهی از فام‌ها و به دنبال آن طول موج‌های مختلف و همجوارشدن پیچیده آنها، ابزار مشاهده تنها می‌تواند بیانگر حس و حالت آن مجموعه باشد و تفاوت آن را در ناخودآگاه بیننده به وجود آورد، اما برای آن، منطق یا الگویی از تفاوت نخواهد آفرید زیرا به محاسبه بسیار پیچیده‌ای نیاز دارد. بنابراین استفاده از معادله فوق خواهد توانست گراف‌های پیچیده‌تری برای بررسی کمی همنشینی رنگ‌ها بیافریند. برای بررسی تصاویر مقرنس‌ها و همنشینی رنگی آنها مراحل ذکرشده به گونه عملیاتی در زیر ذکر شده است:

مرحله اول انتخاب تصویر است که در این مرحله از پژوهش ذکر و توجه به چند نکته ضروری است:

نخست تمامی تصاویر باید به فاصله‌ای معین با اندازه‌ای برابر از ساختمان مربوط باشند. به عبارت دیگر، در یک تصویر با ابعاد ثابت، آلات مقرنس با تناسبات ثابتی در آن گنجانده شده باشند، مثلا اگر هر عضو با ابعاد a، b و c در مختصات X، Y و Z مشمول ۱۰۰پیکسل شود، تصویر دیگر از مقرنس بعدی نیز با همین تناسبات اصلاح تصویری شود. این موضوع در ترسیم دقیق گراف‌ها و سنجش آنها موثر است و یکی از مهم‌ترین پارامترهای دقت در ترسیم گراف‌ها است.

موضوع دیگر رزولوشن تصویر است که برای هر کدام به‌صورت پیش‌فرض ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰پیکسل در نظر گرفته شده و مرحله بعد از آن مجموع رنگ است که برای هر تصویر شامل مجموعه ۲۵۶رنگی

است که با کاسته‌شدن رنگی در هر تصویر این رقم به عدد ۱۰۰ کاهش یافته است. بنابراین پارامترهای مهم انتخاب هر تصویر را می‌توان چنین ذکر کرد:

۱) اندازه: به معنی برابری اندازه دو گوشه هر تصویر در مقایسه با اندازه واقعی هر مقرنس نسبت به مقرنس دیگری

۲) فاصله عکاسی: موضوع فاصله به محوشدگی تصویرها منجر شده و سبب می‌شود پیکسل‌های واسطه‌ای بدون وجود در واقعیت، در تصاویر به وجود آیند و سبب کاستن از دقت نتیجه پژوهش شوند.

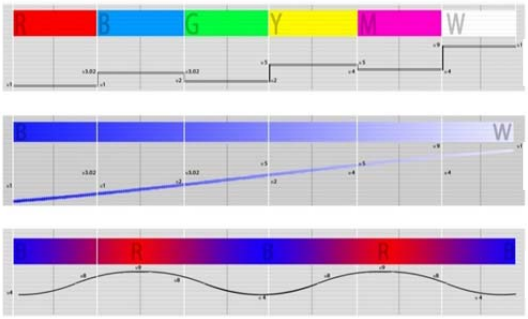
در حقیقت این موضوع را می‌توان چنین تعریف کرد که شفافیت و وضوح هر تصویر با فاصله، رابطه‌ای معکوس دارد.

میزان روشنی و زاویه تابش خورشید در تمام تصاویر باید برابر باشد. این موضوع سبب خواهد شد که سایه‌ها، انعکاس‌ها و درخشندگی‌های نسبی رنگ‌ها در تصاویر به‌دست‌آمده یکسان بوده و رنگ و بافت، از جهت نوع سایه دست‌خوش تغییر نشده باشد. بنابراین مقایسه به‌درستی صورت پذیرد.

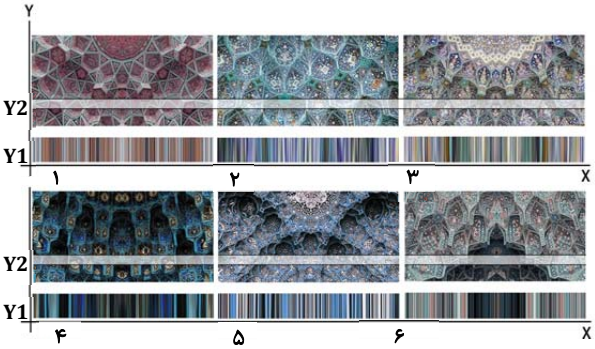
با توجه به موارد فوق، به‌عنوان نمونه‌های موردی این پژوهش، شش مقرنس مورد بررسی قرار گرفته‌اند که از نظر نوع فام و میزان گرمی و سردی رنگ‌های به‌کاررفته با هم تفاوت‌هایی دارند.

شکل ۱۰ نشان‌دهنده مقرنس‌های انتخاب‌شده و نحوه برداشت پیکسلی از آنها است. به عبارتی اگر صفحه مختصاتی عکس را صفحه X، Y فرض کنیم، نمودارهای ترسیمی در راستای محور Xها و در امتداد عمود بر هر تصویر یعنی محور Zها ترسیم می‌شوند. در شکل ۱۰ محور Y2 نشان‌دهنده پیکسل‌های برداشتی است و Y1 نمود دقیق پیکسل‌ها را نشان می‌دهد که برای خوانایی و وضوح در راستای محور Y کشیده شده است.

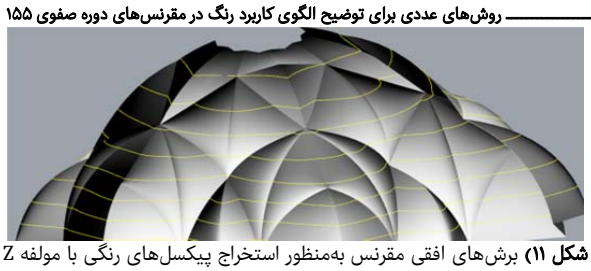
در شکل ۱۱ میزان سایه‌اندازی و هاله‌های تیره‌رنگ سایه که حالتی افزایشی متناسب با عمق دارند دیده می‌شود که منحنی‌های افقی محور Yها که وظیفه برداشت پیکسل‌های رنگی را به عهده دارند را در خود نشان می‌دهد.



شکل ۹) گراف‌های اولیه تولیدشده براساس انواع همنشینی رنگی (منبع: نگارنده)



شکل ۱۰) مقرنس‌های انتخاب‌شده و تصاویر آماده‌سازی‌شده (منبع: نگارنده)



شکل ۱۱) برش‌های افقی مقرنس به‌منظور استخراج پیکسل‌های رنگی با مولفه Z یکسان (منبع: نگارنده)

بنابراین با جابه‌جایی هر پیکسل متناسب با طول موج رنگی آن در راستای Z که عمود بر صفحه عکس است، نمودارهای شکل ۱۲ حاصل می‌شوند. در انتخاب تصاویر دو دسته مقرنس انتخاب شده‌اند، نخست دسته اول از شماره ۱ تا ۳ که شدت نور زیاد و سایه‌اندازی کم است و ردیف بعد که دارای عمق قابل توجهی هستند و سایه‌اندازی با تضاد بالایی را دارند که بتوان تاثیر عوامل بیرونی بر رنگ را نیز به‌عنوان پارامتر ثانویه موثر بر پژوهش بررسی کرد.

با اتصال این نقاط به هم در راستای محور X نمودار مورد نظر حاصل می‌شود. بنابراین می‌توان گفت در این نمودارها هر چه میزان اختلاف بیشینه و کمینه محور Zها بیشتر باشد، با تفاوت فام رنگی بیشتری در نمونه مورد مطالعه روبه‌رو هستیم و هر چه این عدد کمتر باشد به معنی این است که نمونه مورد مطالعه فام‌های رنگی مشابه دارد. البته با تعدد اعداد مختلف در هر واحد مختصاتی نیز می‌توان این‌گونه استنباط کرد که نمونه مورد مطالعه دارای تنوع فام رنگی بیشتری است. البته این بدان معنا نیست که اثر دارای کنتراست یا تضاد است، تنها گویای تعدد فام‌های رنگی است که می‌توانند هم‌جنس یا متفاوت باشند و تنها در صورتی این پارامتر می‌تواند معرف تضاد فام‌ها باشد که این عدد در فاصله افقی ثابتی، مقیاس سنجش برای دو یا چند مقرنس صورت گیرد. به عبارت دیگر در فاصله X ثابت، تفاوت CWهای بالا در هر مجموعه نشان‌دهنده تضاد در آن مجموعه است که خود این عدد هم به‌نحوی می‌تواند بیانگر نوع همنشینی باشد اما کیفیت آن را به‌خوبی نمی‌تواند نشان دهد زیرا نوع توزیع رنگ نیز در صفحه افق مهم است که با چه کیفیتی هارمونی‌ها و تضادها را برای بیننده به ارمغان می‌آورد، بنابراین ترسیم گراف‌ها اهمیتی دو چندان می‌یابد.

بسامد هر نمودار میزان جابجایی مقادیر محور Z در واحد محور X است ، یعنی رنگ‌هایی که درست کنار هم قرار داده شده‌اند به چه میزان فام رنگی متفاوتی دارند. هر چه این بسامد بیشتر باشد معرف تفاوت بیشتر فام است و هر چه بسامد کمتر باشد معرف هماهنگی بیشتر. است. البته اندازه تغییرات در محور Z نیز پارامتر موثر دیگری بر این تفاوت است. بنابراین در تعریف دقیق‌تر می‌توان این‌گونه عنوان کرد:

هر چه نمودار دارای بسامد با تغییرات Z بیشتری باشد تفاوت فام رنگی بیشتر است و برعکس. با توجه به توضیحات فوق برای نمودارهای نظیر هر کدام از تصاویر در شکل ۱۳ ترسیم شده‌اند:

بی‌گراف‌های بالا دو دسته از اطلاعات را در مورد تجزیه رنگ‌ها می‌توان بررسی کرد:

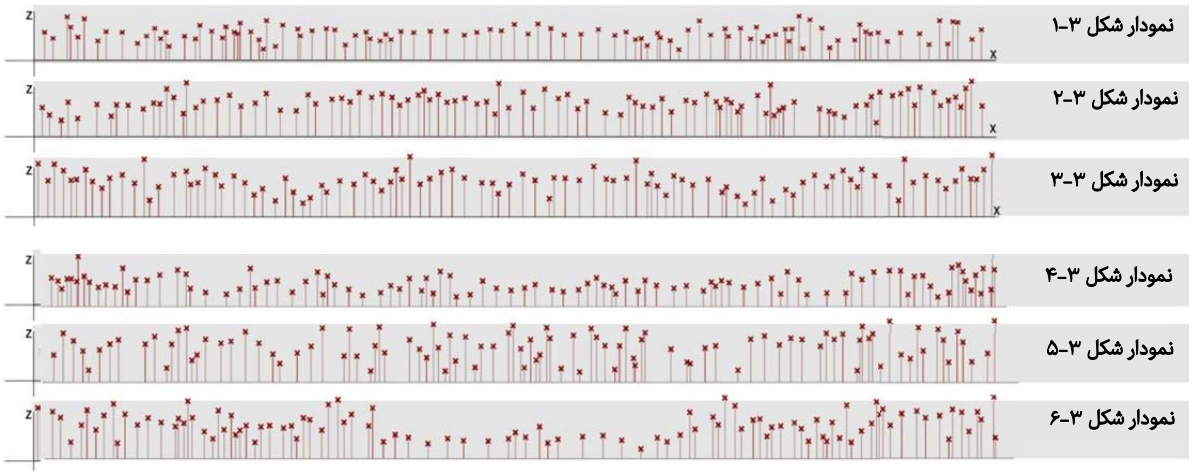
۱) میزان تفاوت کرومای رنگی با اختلاف بیشینه و کمینه میزان جابه‌جایی نمودار در محور عمودی (Z)

این موضوع را می‌توان از طریق بررسی اختلاف مقادیر عددی محور عمودی محاسبه کرد بنابراین هر چه عدد این پارامتر بیشتر باشد می‌توان گفت رنگ‌های بیشتری در این مقرنس استفاده شده است

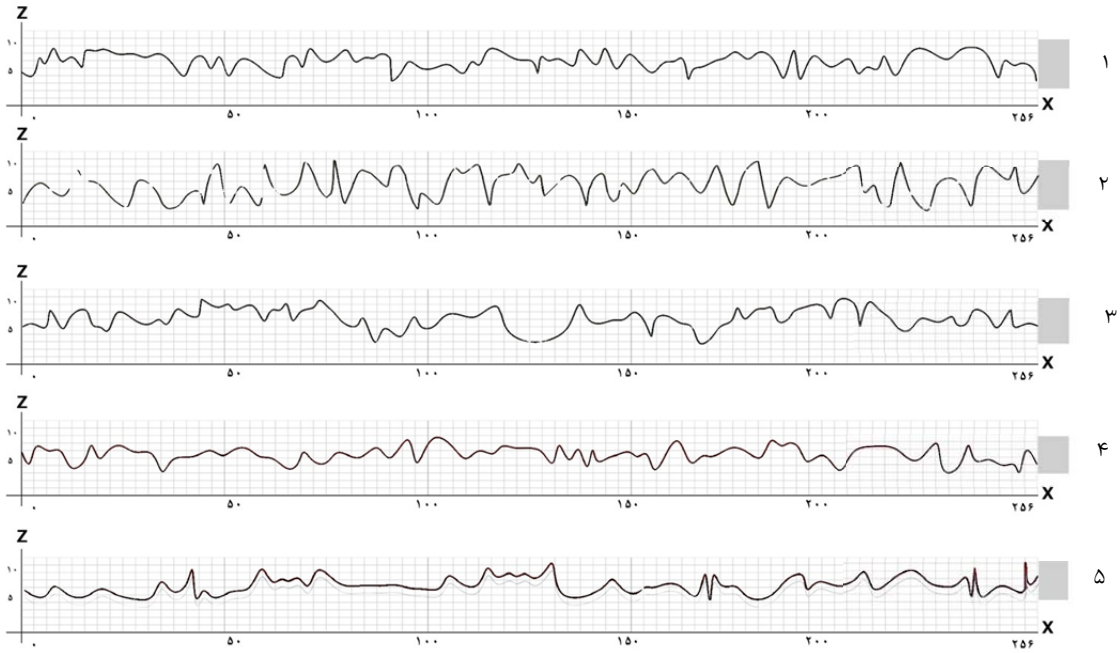
اما این موضوع به معنای وجود تضاد رنگی نیست و تنها به فراوانی کروما اشاره دارد.

۲) میزان هماهنگی و تضاد کنار هم قرارگیری رنگ‌ها در پیوستار شکلی گراف

به این ترتیب که هرچه منحنی نرم‌تر باشد، رنگ‌های مجاور کروما هماهنگ و مشابهی دارند و هر چه از نرمی آن کاسته شود و گراف خطی شود (همان‌گونه که در شکل مشاهده شد)، تضاد در کرومای رنگ‌های مجاور بیشتر نمود دارد.



شکل ۱۲) جابه‌جایی پیکسل‌های رنگی براساس طول موج هر کدام در راستای محور Z (منبع: نگارنده)



شکل ۱۳) گراف‌های رنگی مقرنس‌های انتخابی توسط کد مربوطه به‌دست‌آمده از آنالیز (منبع: نگارنده)؛ شکل۱۳-۱) مقدار F(c) کم با بسامد کم معرف فام‌های رنگی مشابه، همنشینی هماهنگ و هارمونی بیشتر، شکل ۱۳-۲) مقدار F(c) به نسبت زیاد، بسامد هم قابل توجه، می‌توان گفت فام رنگی و همنشینی دارای تضاد نسبی بیشتری است، شکل۱۳-۳) مقدار F(c) قابل توجه اما بسامد کم، یعنی با وجود تعدد فام‌های رنگی، همنشینی‌های آنها هماهنگ است و هارمونی بیشتری به نسبت تضاد در آنها وجود دارد، شکل ۱۳-۴) مقدار F(c) کم با بسامد کم معرف فام‌های رنگی مشابه، همنشینی هماهنگ و هارمونی بیشتر، شکل ۱۳-۵) مقدار F(c) قابل توجه اما بسامد کم، البته در برخی نواحی به‌صورت خاص جهش رنگی مشاهده می‌شود که احتمالاً مربوط به سایه یا رنگ‌های سفید لبه‌های مقرنس است. اما در کل هارمونی و هماهنگی بیشتری در این نمونه به چشم می‌خورد

بنابراین می‌توان در مورد هر گراف چنین استنباط کرد:

با بررسی نمودارهای بالا براساس پارامترهای ذکرشده در قبل می‌توان به نتایج زیر در مورد هر شکل از زیرمجموعه‌های شکل بالا دست یافت:

اما با بررسی دقیق همه این نمونه‌ها می‌توانیم وجه مشابهت‌های آنها را به‌خوبی درک کنیم:

در تمامی آنها تغییرات یکنواخت مشاهده می‌شود و به‌صورت آنی و جهشی، تغییر فام رنگی با تضاد خیلی بالا را مشاهده نمی‌کنیم.

همچنین حرکات نرم و تبدیلات نرم فام‌های رنگی در آنها دیده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد در مجموع هارمونی و مشابهت همنشینی رنگی در نمونه‌ها دیده می‌شود.

با بررسی نمودارها در مورد رنگ‌های به‌کاررفته در مقرنس این‌گونه به نظر می‌رسد که جنسیت رنگ‌ها یا به عبارتی کروماهای آنها در بیشتر موارد مشابه است و هماهنگی بیشتری تا تضاد دارند زیرا گراف‌های به‌دست‌آمده منحنی‌هایی هستند که درجه نرمی قابل توجهی دارند. برای روشن‌ترشدن موضوع این عملیات در مورد

تصاویر مشابهی دیگر از آرایه‌های معماری سایر سرزمین‌ها با اندازه‌های تقریبی تصویر بررسیشده که نتایج آن در گراف‌های زیر آمده است.

در شکل ۱۴ تصاویری از آرایه‌های معماری شرق و آفریقا ذکر شده است که تضاد رنگی بیشتر به چشم می‌خورد.

در زیر شکل ۱۵، گراف هر کدام از تصاویر را به‌ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین نشان می‌دهد. با دقت در این نمودارها می‌توانیم به‌راحتی تفاوت همنشینی آنها با رنگ‌های استفاده‌شده در مقرنس‌های معماری ایران را مشاهده کنیم. که در بخش بعدی به تفصیل در این موضوع صحبت خواهد شد:

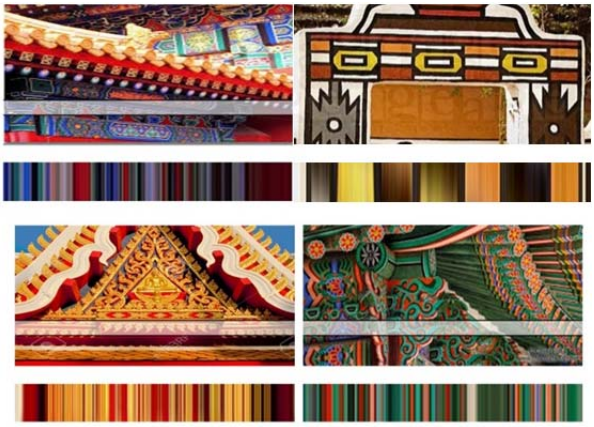
۱) بررسی گراف‌ها و مقایسه آنها با یکدیگر

۱-۱- همان‌طور که ذکر شد با مطالعه و بررسی گراف‌های ترسیم‌شده، می‌توان فراوانی رنگی و نوع همنشین‌شدن آنها را بررسی کرد. گراف‌های ترسیم‌شده برای همنشینی رنگی در مقرنس‌ها دارای طیفی نرم، نزدیک به هم و با تغییراتی ملایم هستند، به عبارتی برای رسیدن نقاط بیشینه و کمینه محور Zها، مقدار قابل توجهی از نمودار Xها طی خواهد شد که روند تبدیل را تدریجی و با واسطه می‌کند. اما این موضوع در مورد همنشینی‌های رنگی با تضاد بالا، صدق نمی‌کند، گراف‌ها با نوسان و بسامد بیشتری، جهش‌های آنی و لحظه‌ای دارند. بنابراین برای بررسی بهتر می‌توان با انطباق گراف‌ها روی هم و مشاهده رابطه آنها، به تفاوت و ماهیت هر کدام دست یافت (شکل ۱۶).

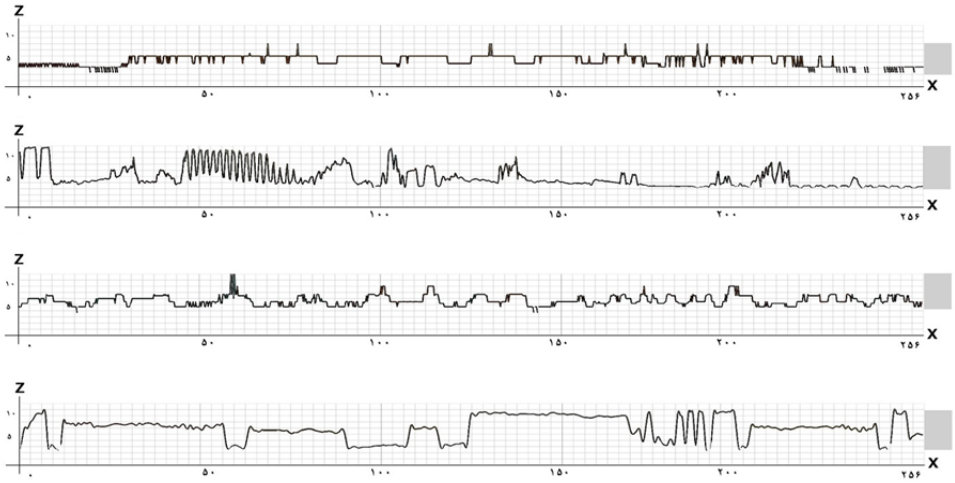
۱-۲- در تصویر فوق، گراف سیاه‌رنگ به مقرنس شماره ۵ از شکل ۱۳ مربوط است و سایر گراف‌های قرمز و آبی‌رنگ از شکل ۱۵ گرفته شده‌اند، مشاهده می‌شود رفتار گراف مقرنس، نرم‌تر و همنشینی لطیف‌تری میان فام‌های آن است، از طرفی، برخلاف گراف آبی‌رنگ، تعدد فام در آن مشاهده می‌شود و این به معنی اختلاف بالا در انواع فام‌ها و به عبارت دیگر CWهای رنگ‌ها است اما با این حال، همنشینی دارای هارمونی با لطافت قابل توجهی است، و این درحالی است که گرف آبی‌رنگ، تعدد فام کمتری دارد اما تمامی همنشینی‌های آن جهشی است، بنابراین، تضاد رنگی بالایی در این مجموعه وجود دارد. بعد از مقایسه گراف‌ها در زمینه‌های کاملاً متفاوت، بررسی خود گراف در زمینه‌های مشابه نیز ضروری است، یعنی تعمق روی خود گراف و به‌ویژه نقاط جهشی در محور Xها که هر چند جهش‌ها ملایم صورت گرفته اما به نسبت لطافت کل گراف، به‌صورت شوک‌هایی در طول مسیر مشاهده می‌شوند. شکل ۱۷ گراف ترسیم‌شده در قبل را نشان می‌دهد که چهار نقطه شوک در آن دیده می‌شود:

شوک‌های موجود در نمودارها و نمودار فوق به‌عنوان نمونه موردی، می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد ولی مهم‌ترین آنها، بعد و عمق مقرنس است که به‌واسطه آن، سایه‌اندازی با درجات شدت بیشتری می‌تواند ایجاد شود. این موضوع بیانگر تفاوت گراف‌های ترسیم‌شده برای یک مقرنس در زمان‌های متفاوت روز است که شدت تابش و زاویهِ آن، و به‌واسطه آن شدت و طول سایه ایجادشده متفاوت ظاهر می‌شود، همچنین حرکت ناظر نیز روی این موضوع می‌تواند موثر باشد (یا به عبارت دیگر زاویه تصویربرداری). بنابراین نقاط شوک در سراسر گراف‌های ترسیم‌شده طبیعی است و با تغییر زاویه دید ناظر می‌تواند جابه‌جا شود یا در ساعات مختلف روز، شدت و توزیع متفاوت‌تری به خود بگیرد.

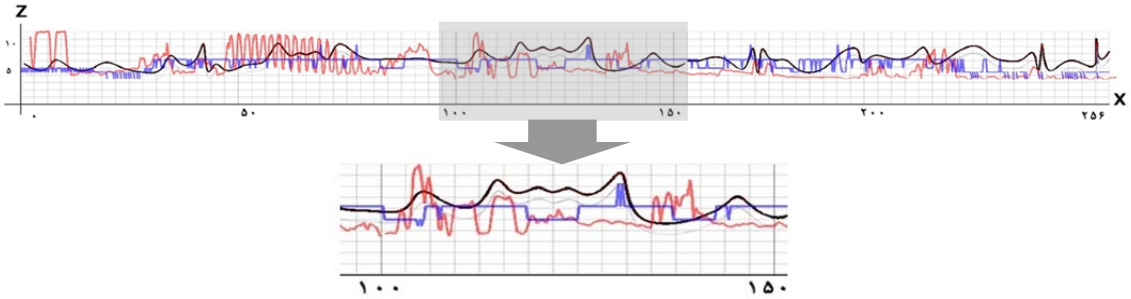
۱-۳- پس از بررسی شوک‌های موجود در هر گراف برای مقرنس،موضوع قابل تامل دیگر تقعرهای مرحله‌ای است که هر چند با موضوع ذکرشده در مورد همنشینی فام‌ها و هارمونی نزدیک به آنها منافاتی ندارد اما به‌عنوان موضوعاتی قابل تامل باید بررسی شود، این تناوب موجود در کلیت گراف، علی‌رغم پیوستگی و نرمی منحنی آن، به‌دلیل گودی‌های درونی خود مقرنس است که فام‌های مشابه در مجموعه‌های تشکیل‌دهنده مقرنس، هر چه بیشتر به عمق رفته باشند، تیره‌تر دیده خواهند شد در نتیجه با فام یکسان، اثر سایه را پذیرفته و متفاوت ظاهر شده‌اند. و همین دلیل تناوب طولی در محور Xها شده است. این موضوع به‌صورت منظم در تمام گراف‌ها دیده می‌شود اما نظمی نه با تقارن و تعادل، بلکه قابل مشاهده، زیرا زاویه تابش بر نوع تقارن و تعادل تاثیرگذار است (شکل ۱۸).



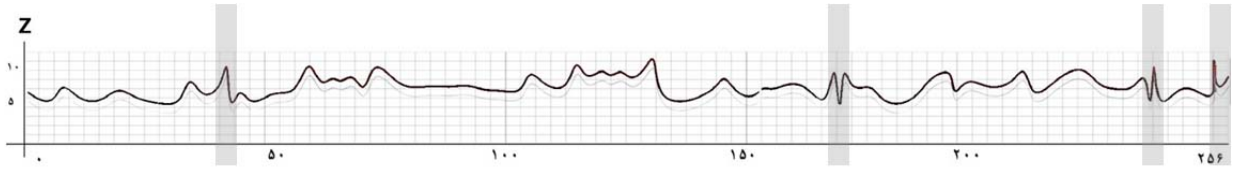
شکل ۱۴) تصاویر آرایه‌های رنگی هم مقیاس در سایر سرزمین‌ها (منبع: نگارنده)



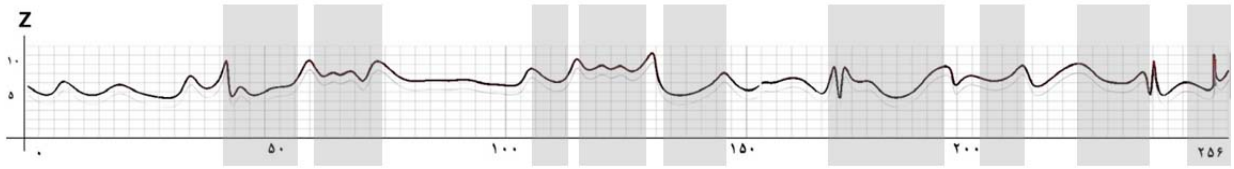
شکل ۱۵) تصاویر آرایه‌های رنگی هم مقیاس در سایر سرزمین‌ها (منبع: نگارنده)



شکل ۱۶) مقایسه گراف‌های حاصل‌شده در شکل ۱۵ و ۱۳ (منبع: نگارنده)



شکل ۱۷) جهش رنگی گراف در تفاوت با طیف نرم سراسری گراف (منبع: نگارنده)



شکل ۱۸) تاثیر سایه‌اندازی بر عدم تقارن گراف‌های ترسیم‌شده (منبع: نگارنده)

نتیجه‌گیری

با بررسی گراف‌ها، تحلیل، سنجش و مقایسه آنها می‌توان چنین بیان کرد که ماهیت همنشینی رنگی که برای این منظور استفاده شده، همنشینی با هارمونی است و تضاد قابل ملاحضه‌ای در آن دیده نمی‌شود یا لطافت همنشینی در این اشکال بیش از تضاد در آنها دیده می‌شود. به عبارت دیگر، موضوعی که در مقرنس دیده می‌شود به گشتالت رسیده مجموعه‌ای از رنگ‌ها است که به‌واسطه رنگ‌های میانه با فام‌های مشابه، در هم محو شده‌اند و مراحل تبدیل‌های هر فام به فام دیگر با مفهوم تضاد شکل نمی‌گیرد. به نظر نگارنده نوع فام هر چه که باشد، همنشینی آنها است که می‌تواند حالتی آشنا ایجاد کند. نکته قابل توجه دیگر هارمونی و همانگی کلان در نظام مجموعه‌های رنگی است که در مقرنس دیده می‌شود، یعنی به‌جای دیدن یک شی رنگی، انسان با مجموعه‌ای نظام‌مند رنگی برخورد می‌کند که هر کدام عقب‌تر از دیگری قرار گرفته و به طبع طیفی تیره‌تر را پذیرفته است، این طیف نه‌تنها در کل مجموعه دیده می‌شود، بلکه در هر جز نیز نقش موثر خود را در محوی و تیرگی رنگی در ارتباط مستقیم با عمق، بازی می‌کند.

محو رنگی و روابط رنگ‌ها است که حرف اول را در این همنشینی می‌زند زیرا تمامی نمودارها در نگاه کلی به هم بسیار شبیه هستند و نمودارهای شکل با هم تفاوت‌های کلانی دارند. در مقرنس، رابطه فرکانس‌ها و همنشینی رنگی و عمق تناوبی و مجموعه‌ها و زیرمجموعه‌ها است که معرف محوی و تیره روشنی است، بنابراین با حفظ تناسب و رابطه ثابتی بین طول موج‌های رنگی، با تغییر فام رنگ، پدیده غریبی به وجود نخواهد آمد و به قدری آشنا است که نمی‌توان نمونه اصلی را از سایرین تمیز داد اما در بسیاری از آرایه‌های دیگر، خود فام رنگ است که همتراز یا بیشتر از همنشینی‌های آنها اهمیت می‌یابد و این تاکیدی به وحدت مجموعه تک‌تک عنصرها است. این مجموعه بیانگر دیده‌شدن مجموعه‌ای است و هیچ عنصری نیست که به‌صورت مطلق و قوی‌تر از سایر اعضا خودنمایی کند، و این در صورتی است در مقرنس به‌عنوان مجموعه‌ای واحد متشکل از اجزایی هم‌سو به رنگ آمیخته می‌شود. رنگ به‌عنوان مجموعه‌هایی نظام‌مند سعادت حضور در بدنه بی‌مثال مقرنس را می‌یابد. صورت مطلق و قوی‌تر از پس‌زمینه رنگی وجود دارد و که در آن فام رنگی بسیار مهم است زیرا به‌صورت شاخص و در تضاد با آرایه‌های درونی آن نمایان می‌شود، بنابراین مهم است که فام رنگی چه باشد، اما در مقرنس به‌دلیل محوشدگی‌های رنگی و اندازه‌های ریز آنها به نسبت فاصله و محوشدگی‌های مضاعف، اهمیت فام رنگی، جای خود را به همنشینی رنگی می‌دهد.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.
تاییدیه‌اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.
تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.
سهم نویسندگان: احسان حیدری‌زادی (نویسنده اول)، نگارنده مقاله/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی (۵۰%)؛ محمدهادی کابلی (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۳۰%)؛ لیلا زارع (نویسنده سوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۲۰%)
منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

منابع

1- Pirdavari M. Form architecture. 4th Edition. Tehran: Ganj Honar; 2011. [Persian]
2- Moussavi F, Kubo M. The function of ornament. Barcelona: Actar; 2006.
3- Hashemi M. The meaning of form. Azimi Sh, editor. Tehran: Mirdashti Cultural Center Publishing; 2014. [Persian]

4- Grutter JK. Aesthetics in architecture. Pakzad J, Homayoon A, translators. 4th Edition. Tehran: Shahid Beheshti University; 2007. [Persian]
5- Ataoglua NC. Basic design, theory and practice. Procedia Soc Behav Sci. 2015;197:2051-7.
6- Feyzi M, Khakzand M. Form, space & order in Iranian architecture. Tehran: Iran University of Science and Technology; 2015. [Persian]
7- McCloud k. Color in decoration. Sadeghi S, translator. Tehran: Avvaloakhar; 2016.
8- Senhaji M, Benslimane R. Automatic 3D muqarnas architectural patterns reconstruction using plane representation. J Caltural Heritage. 2018 Aug.
9- Moradi Nasab H, Bemanian Mr, Etesam E. Recognition of Mystical Thoughts Effects on Blue Color in Tile Lining of Iran's Mosques. J Res in Islamic Archit. 2017;14:32-48. [Persian]
10- Holtzschue L. Understanding color: An introduction for designers. Hoboken: John Wiley & Sons; 2012.
11- Maheronnaghsh M. Bricks & their usage. Tehran: Samt; 2011. [Persian]
12- Eftekharzadeh S. From chaos of perception to architectural recognition. Tehran: Simaye Danesh; 2013. [Persian]
13- Itten J. The art of color. Van Haagen E, translator. New York: Wiley; 1974.
14- Itten J. The elements of color. Birren F, editor. Hoboken: John Wiley & Sons; 1970.
15- Fehrman K, Fehrman C. Color: The secret influence. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall; 2004.