در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۸، شماره ۴، (۱۳۹۷)۱۱-۱

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

تاثیر ویژگی تضاد رنگی بر قابلیت خوانایی

مرتضی امیدی نژاد[۱]، راضیه جعفری[۲*]، مرتضی نصیری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۶-۵۱۳۳۵.

۲- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۶-۵۱۳۳۵.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۷ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۷/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۱ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۷/۱۲/۲۱

چکیده

تضاد (تباین) رنگی در محیط‌های نمایش مختلف نظیر چاپ انواع متن و تصویر (پوستر، بیلبورد و کارت‌های ویزیت)، صفحه نمایشگرها (تلویزیون، موبایل، لپ‌تاپ) و محیط‌های مختلف طراحی تصویر و فیلم (در نرم افزارهای طراحی و نیز در وب‌گاه‌ها) بسیار کاربرد دارد. در مقاله حاضر، ویژگی تضاد رنگی در خصوص چگونگی انتخاب رنگ‌های متن و پس‌زمینه در محیط‌های نمایش مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، ویژگی تضاد رنگی، مشخصه‌های رنگی موثر و اثرات تضاد رنگی در تمایز متن از پس‌زمینه مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج این تاثیرات در محیط‌های متفاوت نمایش متون و تصاویر رنگی و غیررنگی بحث و بررسی می‌گردد. در بررسی ویژگی تضاد رنگی قابلیت‌هایی مثل خوانایی متن، وضوح و جذابیت با استفاده از ترکیب رنگ‌های مختلف مورد توجه است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از متن‌ها و پس‌زمینه‌های مختلف، با رنگ و یا بافتارهای متفاوت در قابلیت خوانایی، جذابیت و وضوح متن‌ها تاثیرگذارند. همچنین عواملی مانند نوع قلم، اندازه آن و فاصله بین کلمات و خطوط می‌توانند در قابلیت خوانایی متن چاپ شده تاثیرگذار باشند. در نهایت، عواملی نظیر تغییر در نوع منبع نوری و عامل گذر زمان می‌توانند سبب افزایش یا کاهش ویژگی تضاد رنگی شوند.

واژه‌های کلیدی

تضاد، تضاد رنگی، خوانایی، ارجحیت فامی.

چکیده تصویری

*نویسنده مسئول: jafari-ra@icrc.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 8, No.4, (2019) 1-11

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Effect of Color Contrast on Readability

Morteza Omidinezhad[1], Razieh Jafari [2*], Morteza Nasiri[1]
1- Department of Polymer Engineering, Sahand University of Technology, P. O. Box: 51335-1996, Tabriz, Iran.
2- Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

Abstract
Contrast has many applications in different medias; i.e., printing the texts and images (posters, billboards, business cards), screen displays (TVs, mobiles, laptops) and designing of software's and websites. In this article, the color contrast feature is studied to investigate the manner of selection of colors for text and background in different displaying medias. In this regard, the features of color contrast, effective color parameters and effects of color contrast to distinguish the text from the background are studied and results of these effects in different medias are discussed. Based on studies have been down on color contrast features, it was found that readability, resolution, and using of various color combination for charming effect of the text should be considered. The results show that using different textures and backgrounds with different colors or contexts, can affect the readability, attractiveness and resolution of the texts. Besides, different factors related to the text arrengment, i.e., font type, size and space between words and lines may affect the readability. Finally, parameters such as changing the type of light source and the time factor can increase or decrease the color contrast property.

Keywords
Contrast, Color Contrast, Readability, Resolution, Hue preference

Graphical abstract

Corresponding author: jafari-ra@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

نگارش متن روی پس زمینه‌های مختلف با اهداف و کاربردهای متفاوت، از گذشته تا به امروز اهمیت بسیاری داشته است. در گذشته، یکی از راه‌های انتقال پیام بین انسان‌ها و شاید ثبت و ضبط خاطرات از طریق ایجاد خراش بر روی سنگ، چوب و امثال آنها میسر می‌گردید. امروزه با پیشرفت علم و فناوری، تولید انواع دستگاه‌های چاپ و انواع نمایشگرها، انتقال پیام به شکل بسیار ساده‌ای در بین مردم رواج یافته است. در چند دهه اخیر چاپ متن سیاه بر روی کاغذ سفید کاربرد بسیار زیادی داشته است. متن‌ها، گروهی از نوشته‌ها هستند که با سبک و اندازه خاصی چاپ یا نمایش داده می‌شوند. متن‌ها، بخش اصلی انتقال پیام در تمامی فرهنگ‌ها و همچنین عنصر مهم برای یادگیری هستند که وضوح آنها یکی از عوامل مهم برای آسان‌تر شدن خوانایی و درک آنهاست. بدیهی است خوانایی متون در چاپ و در نمایش متون بر روی نمایشگرها متفاوت است. خوانایی متن بستگی بسیار زیادی به اختلاف رنگ بین متن و پس زمینه دارد [۱]. ویژگی‌های زیادی مثل فرهنگ کاربرد لغات، بافتار[1]، ترکیب کاربرد واژگان، نوع قلم و اندازه می‌توانند باعث بهبود خوانایی متن شوند. فاصله بین خطوط و بین واژگان نیز برای خوانایی متن بسیار قابل توجه است چرا که به چشم برای پیدا کردن کلمات کمک می‌کند و همچنین می‌تواند خواندن متن را تسریع کند. فاصله کم بین کلمات خوانایی آن را ضعیف می کند [۲].

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در ارتباط با وضوح و خوانایی متون صورت گرفته که بیشتر این تحقیقات بر ویژگی تضاد[2] به عنوان عامل مهم موثر بر خوانایی متمرکز بوده و هدف آن بهبود قابلیت خوانایی متن توسط افراد است [۸-۳]. در سال ۱۹۸۷، لگ[3] و همکارانش تاثیر تضاد و همچنین ویژگی اندازه کلمات را در قابلیت خوانایی متن بررسی کردند. در تحقیق مذکور، قابلیت خوانایی از طریق سرعت خواندن کلمات توسط افراد مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این تحقیقات نشان داده که بیشترین قابلیت خوانایی به متون با اندازه عادی کلمات تعلق دارد به نحوی‌که سرعت خواندن واژه‌ها به میزان ۳۵۰ کلمه در دقیقه تخمین زده شد. چنانچه اندازه کلمات بیشتر یا کمتر از حالت عادی تعریف شده توسط محققان باشد، سرعت خوانایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در بررسی اثر تضاد بر قابلیت خوانایی، محققان مذکور به این نتیجه رسیدند که خوانایی متن سفید روی پس‌زمینه سیاه و متن سیاه روی پس‌زمینه سفید تقریبا یکسان می‌باشد [۳]. لگ و همکارانش در سال ۱۹۹۰، با بررسی تضاد رنگی و تضاد روشنایی بر روی خوانایی متن حاوی ۶۰ کلمه، برای افراد با بینایی ضعیف دریافتند که تضاد روشنایی بین متن و پس‌زمینه، تاثیر بسیار بیشتری نسبت به تضاد رنگی بر روی خوانایی این افراد داشته است [۴]. در سال ۱۹۹۰، پاستور[4] ترجیح رنگی ۳۲ ارزیاب را در مورد انتخاب ترکیب رنگ متن و پس‌زمینه بر روی یک نمایشگر مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق وی نشان داد برخلاف آنکه ترکیب در رنگ زرد و آبی از میزان تضاد رنگی بالایی برخوردار است، اما استفاده از متون آبی بر روی پس‌زمینه زرد، از قابلیت خوانایی مطلوبی بر روی نمایشگر برخوردار نیست. وی در ادامه تحقیقات، کاربرد آکروماتیک‌ها (سیاه، سفید و خاکستری) را در متون و پس‌زمینه مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که استفاده از ترکیب سیاه، سفید و خاکستری در متن و پس‌زمینه از قابلیت خوانایی مطلوب‌تری نسبت به ترکیب رنگی برخوردار است. در این تحقیق، هیچ شواهدی مبنی بر تاثیر روشنایی بر خوانایی متن یافت نمی‌شود [۵]. در سال ۱۹۹۱، نوبلاک[5] و همکارانش با بررسی همزمان تاثیر تضاد رنگی و تضاد روشنایی بر خوانایی دریافتند که در حداکثر مقدار تضاد رنگی و تضاد روشنایی، خوانایی متن در حدود ۳۰۰ کلمه در دقیقه می‌باشد و هنگامیکه تضاد روشنایی تا آستانه خوانایی کاهش یابد، ولی تضاد رنگی همچنان در بیشترین مقدار خود باشد، در خوانایی متن تاثیر چندانی نداشته و همچنان در حدود ۳۰۰ کلمه در دقیقه می‌باشد [۶]. شارف[6] و همکارانش در سال ۲۰۰۲ با بررسی خوانایی متن و محاسبات عددی تضاد، دریافتند که می‌توان از محاسبات برای پیش‌بینی خوانایی استفاده کرد ولی دربرخی از موارد، این پیش‌بینی نتیجه صحیح نخواهد داشت. در این تحقیق، رابطه ۱ به عنوان تضاد متن و رابطه ۲ به عنوان تضاد پس‌زمینه تعریف شده است.

$$C_T=\frac{L_T-L_B}{L_B}=\frac{L_T}{L_B-1} \quad (۱)$$

L_T روشنایی متن و L_B روشنایی پس‌زمینه می‌باشد.

$$C_{RMS}=\frac{E[(L_i-L_B)^2]^{0.5}}{L_B}=\frac{\left(\left(\frac{Sum(L_i-L_B)^2}{n}\right)^{0.5}\right)}{L_B} \quad (۲)$$

E میانگین روشنایی تمام پیکسل‌های تصویر، L_i روشنایی پیکسل i (پیکسل انتخاب شده روی پس‌زمینه) و n تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده تصویر می‌باشد [۷].

در سال ۲۰۰۳، نتایج تحقیقی که توسط اوژانپا[7] و همکارانش صورت گرفت نشان داد که برای متن‌های کوچک‌تر از اندازه متوسط، صرف نظر از تضاد رنگی متن و پس‌زمینه، تضاد روشنایی در سرعت خوانایی تاثیر بسیار مهمی دارد. همچنین برای متن‌های با اندازه بزرگ‌تر، تضاد رنگی خوب می‌تواند خوانایی را برای متن در تضاد روشنایی کم نیز حفظ کند [۸]. تضاد رنگی به وقوع تفاوت مشخصه‌های رنگی (روشنایی، فام و خلوص) در تصویر اشاره دارد که ممکن است در اثر تفاوت در منبع نوری (تضاد منبع) و یا در نتیجه تغییر رنگ در طول زمان (تضاد رنگی زمانی) اتفاق بیفتد [۹]. هنگامی که منبع نوری دچار تغییرات شود، مثل تفاوت نور در شب و روز، تضاد و خوانایی دچار تغییرات بسیاری می شود و همچنین در طول زمان، هنگامی که متنی در مجاورت نور مستقیم خورشید قرار گیرد، دچار رنگ‌پریدگی شده، تضاد و خوانایی آن کمتر می‌شود [۱۰، ۱۱].

[1] Texture
[2] Contrast
[3] Legge
[4] Pastoor
[5] Knoblauch
[6] Scharff
[7] Ojanpa

مقاله

۲- بررسی انواع تضاد

۲-۱-تضاد در فضای آکروماتیک

فضای آکروماتیک[1] یا خنثی در حالت ایده‌آل فضایی تک‌بعدی است که در آن نمونه‌ها فاقد فام[2] و خلوص[3] هستند [۱۲، ۱۳]. این فضا شامل نمونه‌های سفید، سیاه و خاکستری است. به دلیل عدم وجود نمونه آکروماتیک ایده‌ال در محیط، اختلاف بین این نمونه‌ها علاوه بر روشنایی[4]، در مقدار ته‌رنگ آنها نیز می‌باشد [۱۴]. تضاد فضای آکروماتیک یا تضاد غیررنگی به صورت اختلاف بین روشنایی نمونه‌ها در فضای آکروماتیک تعریف می‌شود. تضادهای آکروماتیک ممکن است با تصاویر خاکستری، مانند عکس‌های سیاه و سفید، نشان داده شوند [۹، ۱۵]. شکل ۱ نمایی از تضاد غیررنگی را در فضای سفید، سیاه و خاکستری نمایش می دهد.

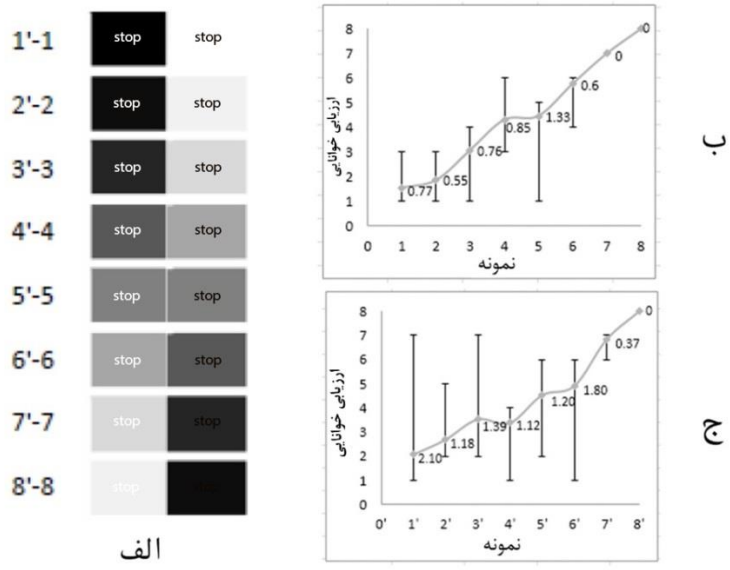
بطوری‌که پیشتر اشاره شد یکی از کاربردهای تضاد، افزایش قابلیت خوانایی است. در کاربرد تضاد در فضای غیررنگی (آکروماتیک)، در تحقیق انجام شده توسط سلیمانیان و قنبرافجه در سال ۲۰۱۵، قابلیت خوانایی متن سیاه و سفید، بر روی پس زمینه‌های خاکستری بررسی گردید. نتایج نهایی در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل (۲-الف) نشان دهنده نمونه‌های طراحی شده می‌باشد که به ترتیب از بالا به پایین، تضاد در حال کاهش است. به نحوی‌که در قسمت ۱و'۱، از پس زمینه‌های سفید و سیاه با بیشترین و کمترین روشنایی استفاده شده است و به همین دلیل، متن سفید با پس زمینه سیاه و متن سیاه با پس‌زمینه سفید در قسمت ۱و'۱ دارای بیشترین مقدار تضاد می‌باشند. در قسمت ۲ و '۲، روشنایی پس‌زمینه‌ها دچار تغییر شده و باعث شده میزان تضاد این قسمت، نسبت به قسمت ۱ و '۱ کمتر شود. بخش‌های ب و ج شکل ۲ نمودارهای بدست آمده از نتایج بررسی را نشان می‌دهد. در قسمت ب، نمونه ۱ دارای بیشترین تضاد و نمونه ۸ دارای کمترین تضاد می‌باشد همچنین در قسمت ج، نمونه '۱ دارای بیشترین تضاد و نمونه '۸ دارای کمترین تضاد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در بیشینه تضاد، قابلیت خوانایی متن سفید بر روی پس زمینه سیاه بیشتر است، ولی با تغییر کمی در روشنایی پس‌زمینه، خوانایی متن سیاه بهتر می شود. همچنین ممکن است با افزایش تضاد در برخی از نمونه‌ها، خوانایی آنها کاهش یابد (مشاهده می‌گردد که در نمونه ۳ نمودار ج، برخلاف روند افزایشی نمودار تضاد، خوانایی ارزیابان کاهش یافته است). نتایج همچنین نشان می دهد که در تضادهای بسیار کم، قابلیت خوانایی متن سفید بیشتر از متن سیاه می باشد [۱].

۲-۲- تضاد فضای کروماتیک

فضای کروماتیک[5] ، فضایی است که در آن نمونه‌ها دارای اختلاف در فام، فام، خلوص و روشنایی می‌باشند.

شکل ۱- تضاد در فضای آکروماتیک [۱۶].

[1] Achromatic
[2] Hue
[3] Saturation
[4] Lightness
[5] Chromatic



شکل ۲-الف) نمونه‌ها و نتایج آزمایش بررسی خوانایی متن سیاه و سفید (اعداد روی نمودار نشان دهنده انحراف معیار می‌باشند). همچنین برای این نمونه‌ها، نمره ۱ برای بیشترین خوانایی و نمره ۸ برای کمترین خوانایی در نظر گرفته شده است. سایر نمونه‌ها به همین ترتیب نیز در نمودار می‌باشند. نمودار ب برای نمونه های با متن سیاه و نمودار ج برای نمونه های با متن سفید می‌باشد [1].

به عنوان مثال، تغییرات در یک عکس سیاه و سفید در فضای آکروماتیک تعریف می‌شود، در حالیکه تغییرات یک عکس در فضای کروماتیک شامل تضادهای رنگی می‌باشد. تضاد رنگی می‌تواند در طول زمان یا در طی تغییر منبع نوری دچار تغییر شود [۹]. شکل ۳ نمونه‌ای از تضاد رنگی در فضای کروماتیک را نشان می‌دهد. مطابق شکل، پس زمینه‌های متون از رنگ‌های متفاوتی برخوردار هستند. بدیهی است تضاد رنگی حاصل، در قابلیت خوانایی متن‌ها، میزان وضوح آنها و نیز در جذابیت تصویر نهایی بسیار موثر است.

۲-۳-تضاد رنگ و لبه‌های[1] رنگ

تضاد در نتیجه ایجاد لبه‌های رنگی (یا تضاد لبه رنگی) یک نوع خاص از تضاد در فضای رنگی است. اختلاف رنگ لبه نمونه نسبت به رنگ اصلی نمونه باعث تشخیص بهتر آن نمونه در پس زمینه‌های مختلف می‌گردد. در نتیجه، در حالی که اصطلاح کروماتیک به حساسیت نسبت به تضادهای رنگی به طور کلی تمرکز می‌کند، مفهوم لبه‌های کروماتیک ارتباط بین بیننده و محیط بصری خود را برجسته‌تر می‌سازد [۱۸]. شکل ۴ نمایی از تضاد ایجاد شده در اثر کاربرد لبه‌های رنگی را نمایش می‌دهد. مطابق شکل۴، پارچه‌ها به‌دلیل وجود تضاد لبه، هم از پس‌زمینه و هم از یکدیگر بهتر تشخیص داده می‌شوند. بدیهی است در صورت عدم وجود این تضاد، تشخیص آنها سخت‌تر می‌شد. این نوع تضاد، گاها در لبه‌های برگه‌های دفترچه‌ها نیز به کار برده می‌شود. نوعی از ایجاد تضاد رنگی در کنار برگه‌های سفید که می‌توان آن را نوعی از تضاد کروماتیک در فضای آکروماتیک دانست.

۲-۴- تضاد ناشی از براقیت[2]

در یک مطالعه، رابطه بین ضریب تضاد تصویر و براقیت آن بررسی شد. طبق نظر هانتر[3] و یک گزارش فنی CIE[4]، مجموع ظاهر یک شی توسط رنگ آن شی ، براقیت آن، شفافیت و بافتار آن توصیف می شود. براقیت در تضاد به معنی تفاوت در پوشش روی سطح، بین نواحی برجسته و براق و سایر نواحی سطح شی گفته می‌شود. هنگامی که روی شئ از یک متن براق استفاده شود، تضاد آن ناحیه به دلیل پوشش براق موجود روی سطح و با توجه به نور محیط و بازتاب نور، دچار تغییر می‌گردد [۲۰].

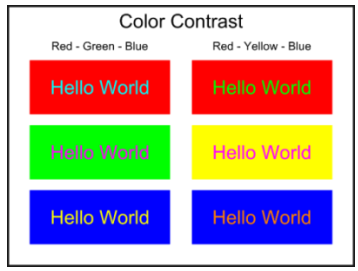
[1] Edge Contrast
[2] Glossiness
[3] Hunter
[4] International Commission On Illumination

۲-۵-تضاد منبع نوری و تضاد زمان[5]

تضاد رنگی ممکن است از طریق تغییرات در منبع نوری یا در طول زمان رخ دهد. تضاد رنگی از نوع منبع نوری، به ایجاد تفاوت‌های رنگی در اثر تغییر منبع نوری گفته می‌شود. نظیر این تغییرات را می‌توان در تغییرات رنگی که ناشی از تغییر نور در طول شبانه روز است مشاهده کرد. از سوی دیگر، تضاد رنگی زمانی به تغییرات رنگی در طول زمان اشاره می کند. در هر دو مورد، قدرت تضاد به اندازه تفاوت رنگی ایجاد شده مربوط می‌گردد [۹]. شکل ۵-الف تضاد زمانی و ۵- ب تضاد منبع نوری را نشان می‌دهد. در شکل ۵-الف ، پس از مدت زمانی کپسول آتش‌نشانی در نور مستقیم آفتاب دچار رنگ پریدگی شده و تضاد دچار تغییر می‌شود و در شکل ۵-ب، در زیر منبع نوری قرمز، رنگ‌ها و در نتیجه تضاد رنگی نهایی دچار تغییر شده است.

۳- عوامل موثر بر قابلیت خوانایی[6]

عوامل متعددی نظیر اندازه قلم، فضای خالی، فاصله خطوط، طول خط و طول کلمات بر قابلیت خوانایی متون تاثیرگذارند که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.



شکل ۳- تضاد در فضای کروماتیک [۱۷].

شکل ۴- تضاد لبه های رنگی [۱۹].

[5] Temporal Contrast
[6] Readability

شکل ۵- الف) تضاد زمانی و ب) تضاد منبع نوری [۲۱].

مقاله

۳-۱- تاثیر قلم[1]

قلم‌ها، سبک‌های خاصی برای چاپ و یا نمایش حروف هستند. در گذشته، در زبان انگلیسی، برای رسانه‌های چاپی نظیر مجلات، روزنامه‌ها و غیره، قلم تایمزنیورومان[2]، زیرمجموعه قلم‌های سِریف[3] استفاده می‌شد. امروزه، برای صفحه نمایش‌های رایانه‌ای همچنین در رسانه‌های چاپی، قلم وردانا، زیرمجموعه قلم‌های سن‌سِریف[4] استفاده می‌شود[۲]، زیرا بسیار ساده‌تر و سریع‌تر خوانده می‌شوند. کیفیت صفحه نمایش کامپیوتر بسیار متفاوت از اسناد چاپ شده است، زیرا در آنها وضوح [5] پایین‌تر از ۷۲ نقطه در اینچ استفاده می شود، در حالیکه در اسناد چاپی از ۱۸۰ نقطه در اینچ، ۳۰۰ نقطه در اینچ یا بالاتر استفاده می کنند. در سال ۲۰۱۴ در یک مطالعه، با بررسی و ارزیابی چشمی قلم‌های وردانا[6] و تایمزنیورومان بر روی صفحه نمایشگر، از ارزیابان خواستند از میان این دو قلم، هرکدام که دارای خوانایی بهتری نسبت به دیگری است را انتخاب کنند. به طورکلی پاسخ‌دهندگان این مطالعه، قلم وردانا (از زیرمجموعه‌های قلم سن سریف) را بیشتر از قلم تایمزنیورومان (از زیرمجموعه‌های قلم سریف) ترجیح دادند. وردانا بهتر خوانده می‌شود زیرا ساده و به شیوه‌ای می‌باشد که لبه‌های حروف آن با یکدیگر در تماس نیستند و این ویژگی منحصر به فرد، دلیل بهتر شدن خوانایی آن می‌شود [۲]. شکل ۶ متنی که با قلم‌های سِریف و سن‌سِریف نوشته شده‌اند را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۶، حروف قلم سن‌سریف، با یکدیگر در تماس نیستند و این ویژگی منحصر به فرد، دلیل بهتر شدن خوانایی آن می شود.

[1] Font
[2] Times New Roman
[3] Serif
[4] San Serif
[5] Resolution
[6] Verdana

۳-۲- تاثیر فاصله[7] و اندازه قلم

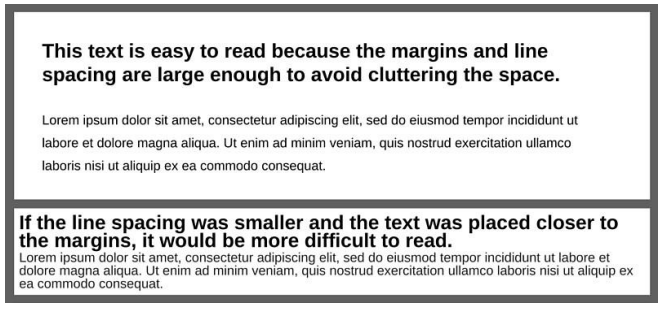
یکی از عوامل مهم برای خوانایی متن اندازه قلم آن به همراه فاصله بین خطوط آن متن است. در سال ۲۰۱۶، در بررسی تاثیر اندازه قلم نوشته و فاصله بین خطوط آن، لوزرلو و همکارانش با بررسی مقالات موجود در وبگاه ویکیپدیا، به این نتیجه رسیدند که حداقل اندازه قلم ۱۸ برای متن وب‌گاه‌ها مناسب است و افزایش اندازه قلم به بیش از ۲۲، تاثیر چندانی بر بهبود خوانایی ندارد[۲۳]. همچنین در سال ۱۹۳۲، ترسون[8] و تینکر[9] [۲۴] فاصله بین خطوط در متن چاپ شده را مورد بررسی قرار دادند. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، آنها دریافتند که فاصله‌های بزرگتر بین خطوط (۱/۲ و ۱/۴ در مقایسه با ۱/۱) باعث افزایش خوانایی می‌گردد. با این حال محققان اشاره می کنند که نتایج ممکن است به عوامل دیگر مانند نوع قلم و عرض ستون، اندازه قلم و غیره بستگی داشته باشد.

۳-۳-تاثیر بافتار پس‌زمینه بر خوانایی

در سال ۲۰۰۰ هیل[10] و شارف[11] در تحقیقی [۲۶] به بررسی تاثیر بافتار و تضاد پس زمینه بر روی خوانایی پرداختند.آنها از پس‌زمینه‌های متخلخل با بافتارهای متفاوت و همچنین از سه متن خاکستری، خاکستری تیره و سیاه با سه سطح تضاد ۰/۱۵، ۰/۳۵ و ۰/۹۵ استفاده کردند که این متن‌ها حاوی کلمات مربع، مثلث و دایره بودند.

[7] Space
[8] Paterson
[9] Tinker
[10] Hill
[11] Scharff

شکل ۶- قلم‌های سریف و سن‌سِریف [۲۲].



شکل ۷- تاثیر فاصله بین خطوط بر روی خوانایی [۲۵].

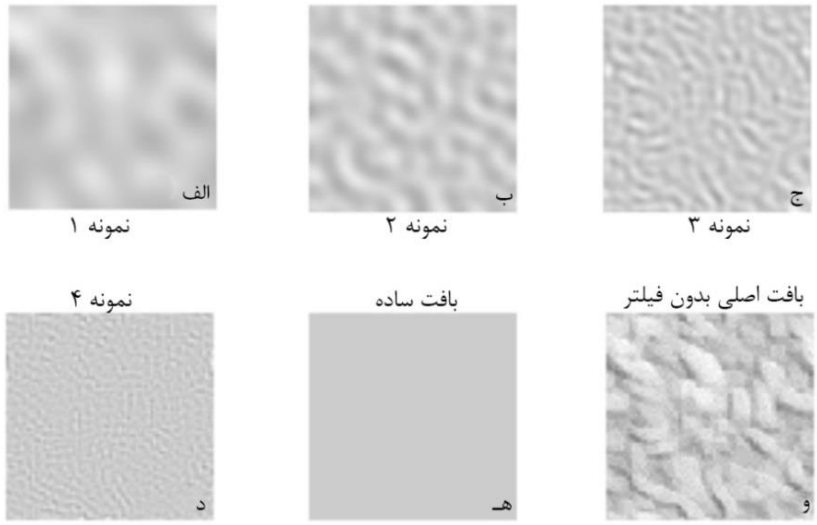
میانگین روشنایی هر پس‌زمینه ۶۲/۵ بود. از شرکت‌کنندگان خواسته شد که این کلمه‌ها را در کوتاه‌ترین زمان تشخیص دهند. هدف این آزمایش بررسی زمان جستجوی کلمات بود. شکل ۸ تصاویر سطوح پس‌زمینه‌های بکار رفته در تحقیق انجام شده توسط اسکارف و هیل را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۸ مشخص است، الگوهای پس زمینه با بافتارهای متفاوت جهت بررسی خوانایی متون بکار رفته در پس زمینه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحقیق فوق در شکل ۹ و در قالب نمودار ارائه شده است. محور افقی این نمودار زمان جستجو و محور عمودی آن معرف پس زمینه‌های استفاده شده در آزمایش می‌باشد. مطابق شکل ۹، نتایج تحقیق فوق در قالب نکات الف تا د قابل ارائه هستند:

الف- خوانایی متن خاکستری به میزان قابل توجهی کمتر از دو متن سیاه و خاکستری تیره است.

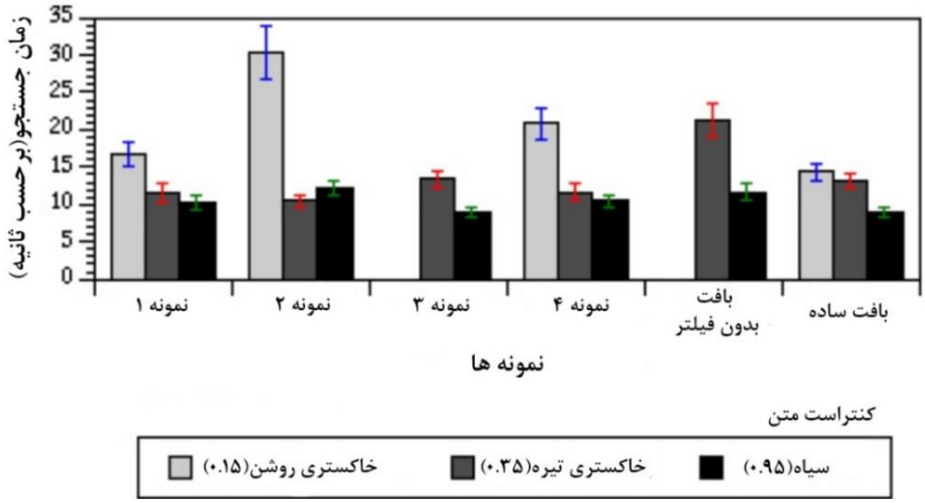
ب- بافتار پس زمینه به میزان قابل توجهی بر زمان خواندن واژگان تاثیرگذار است. به عنوان مثال نمونه ۲ در زمان طولانی‌تری نسبت به نمونه‌های ۱ و ۴ و پس‌زمینه با بافتار ساده خوانده می‌شود.

ج- در پس زمینه ساده، متن سیاه به طور قابل توجهی سریعتر از هر دو متن خاکستری تیره و خاکستری خوانده می شود. این نتیجه به یک نوع اثر تضاد به وجود آمده میان پس‌زمینه با بافتار ساده و متن موجود در آن نسبت داده شد.

د- برخلاف تاثیر قابل توجه بافتار پس‌زمینه بر خوانایی واژگان، بافتارهای مورد استفاده در آزمایش ذکرشده تاثیر چندانی بر زمان جستجو در یافتن متن سیاه نداشتند. به بیان دیگر بنظر می‌رسد، در شرایطی که به دلیل استفاده از متن سیاه، تضاد بالایی بین متن و پس‌زمینه وجود دارد، بافتار پس‌زمینه تاثیر چندانی بر قابلیت خوانایی متون سیاه نخواهد داشت.



شکل ۸- نمونه‌های طراحی شده توسط طراحان. شکل (و) نمونه اصلی و بدون فیلتر است. شکل‌های (الف تا د) نمونه‌های فیلتر شده‌ی نمونه (و) هستند. شکل (ه) نمونه کاملا ساده و بدون فیلتر است [۲۶].



شکل ۹- زمان خوانایی بر حسب پس‌زمینه‌های با بافتارهای مختلف و متون با روشنایی‌های مختلف [۲۶].

۳-۴- تاثیر ارجحیت رنگی[1]

در بررسی اثرات خصوصیات رنگی نظیر فام، خلوص و روشنایی، مطالعات بیانگر آن است که رنگ‌های با خلوص بالاتر بیشتر ترجیح داده می‌شوند. ضمن آنکه فام آبی مورد پسند بیشتر افراد واقع می‌شود [۲۷]. در مطالعه‌ای که بر روی تعداد زیادی تصویر دارای متن در جاده‌ها، تابلوهای راهنمایی و رانندگی، بیلبوردها و تابلوهای تبلیغاتی فروشگاه‌های گوناگون، بر روی میزان تضاد رنگی بین متن و پس‌زمینه انجام شد چنین نتیجه‌گیری شد که تعداد بسیار کمی از متن‌ها هستند که فام یکسانی با پس‌زمینه دارند. به بیان دیگر از یکسان بودن فام متن و پس‌زمینه در بسیاری موارد اجتناب می شود. در صحنه‌های طبیعی، متن تاریک و پس زمینه روشن است یا برعکس که ترکیب هر یک از اینها، دید را آسانتر می‌کند. متون تیره با پس‌زمینه روشن بیشتر از متون روشن با پس‌زمینه تیره کاربرد دارند. در مواردی که از فام‌های یکسان برای متون و پس‌زمینه استفاده می شود، از خلوص در راستای ایجاد تضاد بالاتر استفاده می‌کنند. به این ترتیب که متون با خلوص بالا با پس‌زمینه با خلوص پایین ترکیب می‌شود و برعکس. این ترکیب نوشته را جذاب‌تر می‌کند [۲۸].

۳-۴-۱- ارتباط میان شکل و هندسه[2] اجسام با ترجیح رنگی آنها

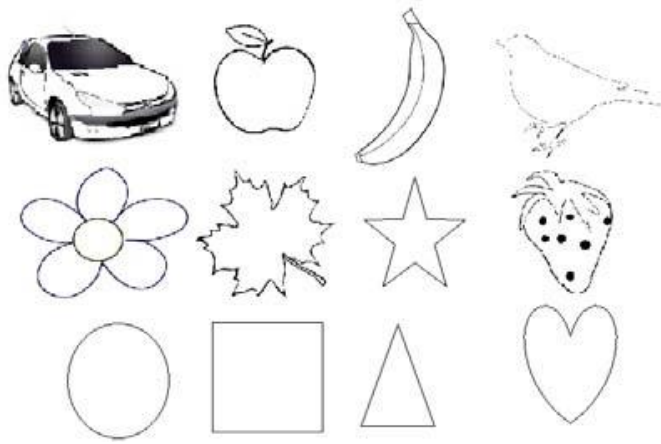
شکل و هندسه اجسام، با ترجیح رنگی آنها مرتبط است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۵ توسط موسوی و گرجی انجام شد، با استفاده از ۲۶ دانشجو (۱۵ خانم و ۱۱ آقا) با میانگین سنی ۲۲سال که تمامی آنها دارای بینایی رنگی طبیعی بودند، رنگ مناسب با توجه به شکل و هندسه اجسام انتخاب شد. با بررسی نمونه‌ها در زیر منبع نوری D65 و کابینت نوری استاندارد، در یک اتاق تاریک، ۱۲ شکل مورد بررسی قرار گرفت. از دانشجویان خواسته شد که برای هر شکل، رنگی را که ترجیح می دهند انتخاب کنند. برای شکل مربع، مثلث و دایره که هیچ رنگ مخصوصی ندارند، رنگ‌های متفاوتی انتخاب شد. بیشتر ارزیابان برای مربع و مثلث رنگ قرمز و برای دایره رنگ فیروزه ای را انتخاب کردند. برای خودرو چون مدل آن پژو ۲۰۶ بود و همچنین به دلیل عدم کاربرد سفید و سیاه در آزمون، ناظران اکثرا رنگ‌های قرمز و آبی را انتخاب کردند. برای شکل پرنده، رنگ فیروزه‌ای انتخاب شد. همچنین برای شکل‌های قلب، سیب، گل و توت‌فرنگی رنگ قرمز ترجیح داده شد. شکل ۱۰ نتایج این تحقیق و تاثیر شکل و هندسه اجسام بر ترجیح رنگی آنها را نشان می دهد [۲۹].

۴- کاربرد چرخ رنگ[3] تضاد رنگی

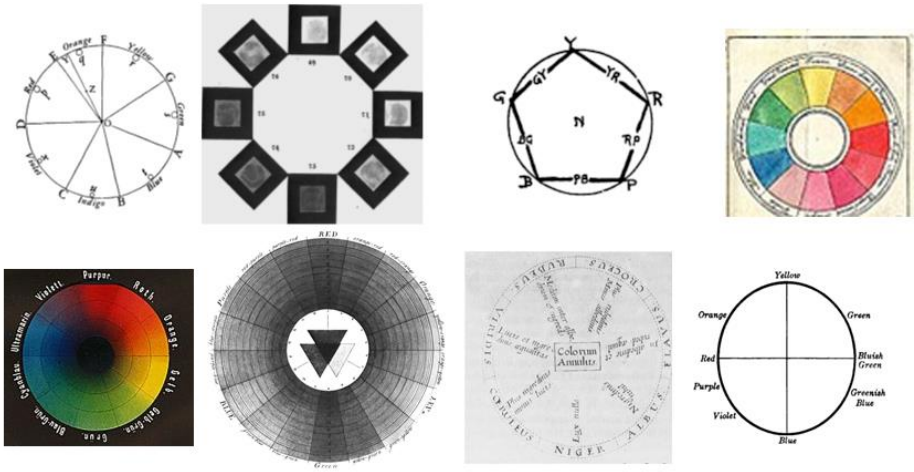
در طول تاریخ، چرخ رنگ به صورت‌های مختلف که در شکل ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد، توسط افراد معرفی شد. در سال ۱۷۰۴، چرخ رنگ نیوتن شامل رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش معرفی شد که به دایره هفت رنگ معروف بود. در سال ۱۷۰۸، بوتت[4] دو نوع چرخ رنگ معرفی کرد. اولین چرخه شامل هفت رنگ و دومین چرخه شامل دوازده رنگ می‌باشد. چرخ رنگ بعدی که توسط مانسل[5] در سال ۱۹۰۵ معرفی شد، شامل رنگ‌های قرمز، زرد، سبز، آبی و بنفش بود. دایره نقاشی قرمز، زرد و آبی، در سال ۱۹۰۹ توسط ماراتا[6] معرفی شد. در سال ۱۹۱۶، اسوالد دایره چهار رنگ را معرفی کرد که شامل رنگ‌های قرمز، زرد، سبز و آبی بود و به همین ترتیب چرخه رنگ برای کاربردهای مختلف معرفی شد [۳۰].

یکی از مباحث مورد بررسی در تنظیم تضاد رنگی، انتخاب رنگ‌های به کار برده شده در تصاویر است. یکی از راه‌ها، انتخاب از میان رنگ‌های موجود در چرخ رنگ (شکل ۱۲) می باشد. در این فضای رنگی بزرگ که اغلب برای کدگذاری صفحات وب کاربرد دارد، عموما ۵ دسته‌بندی جهت انتخاب رنگ‌ها به کار برده می شود که عبارتند از [۳۱]:

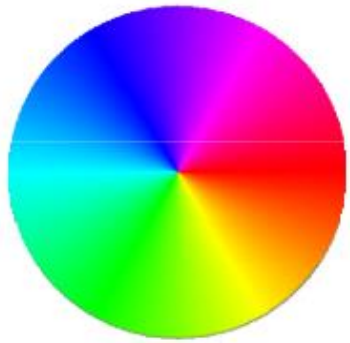
[1] Color prefrence
[2] Shape and Geometry
[3] Color Wheel
[4] Boutet
[5] Munsell
[6] Maratha



شکل ۱۰- اشکال مختلف مورد استفاده در آزمون ترجیح رنگی [۲۹].



شکل ۱۱- اشکال مختلف چرخ رنگ در طول تاریخ [۳۰].



شکل ۱۲- چرخ رنگ [۳۱].

انتخاب تک‌فام‌ها[1]: این رنگ‌ها به‌صورت تک فام و با روشنایی و خلوص متفاوت می‌باشند. انتخاب این رنگ‌ها در نقاشی، عکاسی و طراحی کاربرد بسیاری دارند.

انتخاب رنگ‌های همسایه[2]: رنگ‌های همسایه در چرخه رنگ در کنار یکدیگر قرار دارند نظیر زرد و سبز. رنگ‌های همسایه اغلب در طبیعت نیز یافت می‌شوند.

انتخاب رنگ‌های مکمل[3]: رنگ‌های مکمل با اختلاف ۱۸۰ درجه نسبت به هم در چرخ رنگ قرار دارند. ترکیب این رنگ‌ها با هدف تضاد، مناسب و بسیار جذاب می‌باشد.

انتخاب رنگ‌های سه‌گانه[4]: این رنگ‌ها، در چرخه رنگ بصورت سه‌تایی با با اختلاف ۱۲۰ درجه نسبت به هم قرار می‌گیرند. یک ترکیب رنگ جذاب و هیجان‌انگیز می‌باشند.

انتخاب رنگ‌های تکمیلی[5]: حاوی دو رنگ همسایه و رنگ سوم است که با اختلاف ۱۸۰ درجه نسبت به رنگ‌های همسایه در چرخ رنگ قرار دارد.

تسلط به این چرخه و شناخت کامل هماهنگی رنگ‌ها، می‌تواند در انتخاب یک تضاد خوب و متناسب، تاثیر به‌سزایی داشته باشد.

۵- اندازه گیری تضاد در تصاویر دیجیتال[6]

یکی از نخستین روش‌های اندازه‌گیری تضاد که توسط کینگ‌اسمیت[7] و کولیکواسکی[8] در سال ۲۰۱۷ ارائه شد، بر اساس بیشترین و کمترین میزان روشنایی در صحنه بوده است [۳۲، ۳۳] که توسط رابطه ۳ نشان داده شده است.

$$C^{KK}= \frac{L_{Max}-L_{Min}}{L_{Ave}} \qquad (۳)$$

در رابطه ۳، L_{Max} بیشینه روشنایی تصویر، L_{Min} کمینه روشنایی تصویر و L_{Ave} میانگین روشنایی تصویر می‌باشد.

مطالعات بعدی نشان داد که تضاد می‌تواند به دلیل روشنایی‌های مختلف در تصویر باشد و حضور براقیت[9] و درخشش[10] نیز در میزان تضاد موثر خواهد بود [۳۴]. تحت تعاریف ذکرشده، تضاد پلی[11] با رابطه ۴ تعریف می‌شود [۳۵].

$$c_i(x.y)=\frac{a_i(x.y)}{l_i(x.y)} \qquad (۴)$$

که در آن از هر مکان پیکسل (x.y) در تصویر، $a_i(x.y)$ روشنایی در مکان (x.y) است و l_i (x.y) روشنایی در یک سطح[12] پایین‌تر نسبت به a_i در تصویر است.

در مدل پیشنهادی داگ[1] که توسط تادمور[2] و تولهارست[3] ارائه گردید، در هر مکان پیکسل (x.y) در تصویر، تضاد c(x.y) با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

[1] Monochrome Colors
[2] Neighbour Colors
[3] Complementary Colors
[4] Triadic Colors
[5] Split Complementary

[6] Digital Images
[7] King-Smith
[8] Kulikowski
[9] Gloss
[10] Glare
[11] Peli
[12] Low-pass-filtered

مقاله

$$c(x.y)=\frac{R_c(x.y)-R_s(x.y)}{R_c(x.y)+R_s(x.y)} \quad (۵)$$

بطوری‌که R_c و R_s به ترتیب اجزا مرکز و محیط هستند.

در مدل تعریف شده در رابطه ۵، مولفه مرکزی به‌صورت رابطه ۶ تعریف می‌گردد:

$$Center(x.y)=\exp[-\left(\frac{x}{r_c}\right)^2-\left(\frac{y}{r_c}\right)^2] \quad (۶)$$

که r_c شعاع مولفه مرکزی است. همچنین مولفه محیط به‌صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$Surround(x.y)=0{\cdot}85\left(\frac{r_c}{r_s}\right)^2\exp\left[-\left(\frac{x}{r_s}\right)^2-\left(\frac{y}{r_s}\right)^2\right] \quad (۷)$$

که rs نیز شعاع محیط است [۳۶].

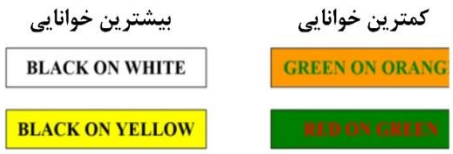
اجزا محیط Rc و Rs از رابطه‌های ۸ و ۹ محاسبه می‌گردند.

$$R_c(x.y)=\sum_{i=x-3r_c}^{i=x+3r_c}\sum_{j=y-3r_c}^{j=y+3r_c}Center(i-x.j-y)I(i.j) \quad (۸)$$

$$R_s(x.y)=\sum_{i=x-3r_s}^{i=x+3r_s}\sum_{j=y-3r_s}^{j=y+3r_s}Surround(i-x.j-y)I(i.j) \quad (۹)$$

۶- تضاد رنگی در چاپ

تحقیقات انجام شده در مورد خوانایی نشان می‌دهد میزان خوانایی متن‌های چاپ شده با میزان خوانایی آنها در نمایشگرها دارای ارتباط مستقیم است. نتایج نشان می‌دهد (شکل ۱۳) که ترکیبی از متن سیاه و پس زمینه سفید دارای بهترین خوانایی و متن قرمز و پس زمینه سفید دارای کم‌ترین میزان خوانایی می‌باشند [۳۷].



شکل ۱۳- نمایش بیشترین و کمترین میزان خوانایی [۳۷].

۷- نتیجه گیری

تضاد یا تضاد رنگی، اختلاف رنگ بین دو نمونه یا اختلاف رنگ یک نمونه و پس زمینه آن می‌باشد. هرچه این اختلاف بیشتر باشد، تشخیص نمونه‌ها از هم یا از پس‌زمینه بهتر می‌شود.

این اختلاف رنگ ممکن است در فضای کروماتیک و یا آکروماتیک رخ دهد. تضاد در انواع بیلبورد و بنرهای تبلیغاتی، انواع طراحی‌های گرافیکی و انواع چاپ (مجلات، پوسترها، کاتالوگ و غیره) کاربرد بسیاری دارد. با تسلط بر هماهنگی رنگ‌ها، تضاد و ارجحیت رنگ‌ها، می‌توان از یک ترکیب رنگ بسیار جذاب و متناسب با کاربردهای مختلف استفاده کرد. استفاده از یک تضاد مناسب می‌تواند خوانایی متن را بهتر کند. معمولا در کاربردهای مختلف مانند کپسول‌های آتش‌نشانی، تابلوهای هشداردهنده و غیره، برای بهتر خوانده‌شدن متون باید از یک تضاد بسیار خوب استفاده شود.

[1] DOG
[2] Tadmor
[3] Tolhurst

۷- مراجع

1. T. Soleymanian, M. Ghanbar Afjeh,"A primary study on text readability", The 6th International Color and Coating Congress, 10-12, Tehran, **2015**.
2. N. Hojjati, B. Muniandy, "The effects of font type and spacing of text for online readability and performance", Cedtech, 5, 161-174, **2014**.
3. E. Legge, S. Rubin, A. Luebker, "Psychophysics of reading-V. the role of contrast in normal vision", Vision Res. 27, 1165-1177, **1987**.
4. E. Legge, H. Parish, A. Luebker, H. Wurm, "Psychophysics of reading. Xi. comparing color contrast and luminance contrast", J. Opt. Soc. Am. 7, 2002-2010, **1990**.
5. S. Pastoor, "Legibility and subjective preference for color combinations in text", Hum. Factors, 32, 157-171, **1990**.
6. K .Knoblauch, A .Arditi, J. Szlyk, "Effects of chromatic and luminance contrast on reading", J. Opt. Soc. Am, 8, 428-439, **1991**.
7. V. Scharff, J. Ahumada, "Predicting the readability of transparent text", J. Vis. 2, 653-666, **2002**.
8. Helena Ojanpa, R. Nasanenb, "Effects of luminance and colour contrast on the search of information on display devices", J. Displays, 24, 167–178, **2003**.
9. C. Witzel, K. Gegenfurtner,"*Chromatic Contrast Sensitivity*", Springer Science Business Media, Encyclopedia of Color Science And Technology, New York, **2015**.
10. M. Diez-Ajenjo, P. Capilla, "Spatio-Temporal contrast sensitivity in the cardinal directions of the colour space. a review", J. Optom. 3, 2–19, **2010**.
11. K. Mullen, "The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings", J. Physiol. 359, 381–400, **1985**.
۱۲. ر. جعفری، "مروری بر مطالات انجام شده در خصوص سیاهی"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۴، ۳۲-۲۱، **۱۳۹۳**.
13. S. Westland, V. Cheung, R. Lozman, "A metric for predicting perceptual blackness", In Proceeding Of the 14th Color Imaging Conference Final Program and Proceedings, 4, 14-17, **2006**.
14. B. Laurie A. B. Garo, "Perceptual Aspects Of Color", **2011,** http://Mapmaker.Rutgers.Edu/356/Garo_Colortheory/_Lesson 2/Lesson 2perceptualaspectsof_Color.Html.
15. L. Tao, S. Westland, V. Cheung, "Black",Colour in Art, Science, Design, Conservation, Research, Printmaking, Digital Technologies, Textiles Conference, 4, 272-275, **2010**.
16. B. Laurie A. B. Garo, "Perceptual aspects of color", **2013**, http://Lettersondesign.Com/Wp-Content/Uploads/ 2014/02/ Grayscale.Png.

17. L .Accords, R. Montchaud, "Playing with colors", **2015**, http://Bgd.Lariennalibrary.Com/Index.Php?N=GuidePnpgame designpagea04.
18. C. Schütz, A. Braun, D. Kerzel, R. Gegenfurtner, "Improved visual sensitivity during smooth pursuit eye movements", Nat. Neurosci. 11, 1211–1216, **2008**.
19. R. John , "Contrast color edge linen napkin", **2016**, https://Www.Schoolhouse.Com/Products/Contrast-Color-Edge-Linen-Napkin
20. A. Oksman, M. Juuti, "Sensor for the detection of local contrast gloss of products", J. Opt. Soc. Am. 33, 654-656, **2008**.
21. A. Kausa,"Red colour", **2011**, http://Everystockphoto.S3. AmazonawsCom/Seattle_Library_ Koolhaas _49164_O.Jpg.
22. R. Millington, " Serif and San Serif", **2016**, https://Thenextweb.Com/Wp-Content/Blogs .Dir/1/ Files/ 2011/03/ Serifvssans.Jpg.
23. L. Rello, M. Pielot, M. Marcos, "The Effect of font size and line spacing on online readability", Chi, 16, 7-12, **2016**.
24. D. Paterson and M.Tinker, "Studies of typographical factors influencing speed of reading", J. Appl. Psychol. 15, 241-247, **1932**.
25. R. Zhu, "What is readability", **2009**, http:// Thecontentauthority.Com/Blog/Content-Readability-The-Success-Factor-You-Cant-Ignore.
26. V. Scharff, L. Hill, "Discriminability measures for predicting readability of text on textured backgrounds", Opt. Express, 14, 81-91, **2000**.
27. N. Camgoz, C. Yener, D. Guvenc, "Effects of hue, saturation, and brightness on preference", Color. Res. Appl, 3, 199-207, **2001.**
28. R. Gao, S. Eguchi, S. Uchida, "True color distributions of scene text and background", International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 506-510, France, **2015.**
29. H. Mousavi, S. Gorji, "Effects of shape and geometry on the most preferred color", International Color and Coating Congress (ICCC), 10-12, Esfahan, **2015.**
30. J. Wolfgang, "Color wheel", **2018**, Https://En. Wikipedia .Org/Wiki/Color_Wheel.
31. F. Sandes, A. Zhao, "A contrast colour selection scheme for wCAG2.0-compliant web designs based on hsv-Half-planes", IEEE, 1233-1237, United States, **2015**.
32. Michelson, "*Studies in Optics*", University of Chicago Press, 1852-1931, Chicago, **1927**.
33. P. Whittle, "Increments and decrements: luminance discrimination", Vision Res. 26, 1677–1691, **1986**.
34. J. Mccann, "*The Art and science of Hdr imaging*", John Wiley & Sons, 709-719, **2012**.
35. E. Peli, "Contrast in complex images", J. Opt. Soc. Am. **7**, 2032–2040, **1990**.
36. J. Thomasi, J. Hardeberg, G. Simone, "Image contrast measure as a gloss material descriptor", College Conference of Illinois & Wisconsin(CCIW), 233–245, Augustana, **2017**.
37. A. Zorko, S. Valenko, M. Tomisa, D.Kecek, D. Cerepinko, "The impact of the text and background color on the screen reading experience", Teh. glas. 11, 78-82, **2017**.