

# مروری بر روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی

## A Review on Methods of Measurement of Sensory Attributes

راضیه جعفری\*

تهران، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، صندوق پستی ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۹

### چکیده

یکی از مباحث عمده در حوزه علوم روان-فیزیک به اندازه‌گیری مقدار تغییرات در واکنش‌های حسی مربوط می‌شود. در سامانه حسی که محرک‌های فیزیکی، ورودی‌ها و احساسات خروجی‌ها را تشکیل می‌دهند توابع اندازه‌گیری فقط به شرط قابلیت اندازه‌گیری محرک‌ها و پاسخ‌های حسی قابل دستیابی هستند. از جمله کاربردهای چنین توابعی در علوم رنگ و نساجی می‌توان به بررسی فرمول‌های اختلاف رنگ، پژوهش درباره احساس رنگی افراد، ارائه شاخص‌های ارزیاب رنگ، بررسی ویژگی‌های ساختاری منسوج براساس پارامترهای حسی نظیر زبردست، نرمی و لطافت اشاره کرد که همگی مبتنی بر کمی کردن ویژگی‌های حسی درک شده است. بدیهی است، درک و بیان کمی چنین پدیده‌هایی که در ارتباط مستقیم با مفاهیم روان-فیزیک هستند به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر، برای پرهیز از خطاهای جدی، انجام محاسبات نامناسب و نیز نتیجه‌گیری غلط، ضروری است که پژوهشگر، شناخت کافی از روش اندازه‌گیری و نوع مقیاس لازم برای تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری‌ها را داشته باشد. در این راستا پژوهش حاضر، مروری کوتاه بر روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی و نحوه مقیاس‌دهی به آنها را ارائه می‌کند.

### مقدمه

کیفی کالای تولیدی نمود می‌یابد. از عمده‌ترین مشکلات صنعت مزبور کنترل مقدار رنگ‌همانندی پارچه‌های رنگرزی شده در دسته‌های مختلف تولیدی است. همچنین، کنترل ناپیکنواختی کالای تولیدی اعم از نخ یا پارچه، گاهی با یک مرحله رنگرزی مقدماتی و بررسی مقدار یکنواختی رنگی انجام می‌شود. افزون بر این، کنترل خواص ساختاری نظیر زبردست، زبری یا لطافت پارچه به‌جز از راه درک و دریافت ویژگی‌های حسی و لمس کردن کالا امکان‌پذیر نیست [۱، ۲، ۳]. این موضوع در حوزه علوم رنگ بسیار پرکاربردتر جلوه‌گر است. به‌ویژه زمانی که مسئله به شکل ارائه یک شاخص (index) ارزیابی برای سنجش ویژگی‌های رنگی نظیر بررسی مقدار سفیدی [۴-۶]، کنترل

از مشکلات قدیمی در علوم مربوط به روان-فیزیک (psychophysics) نحوه اندازه‌گیری مقدار اختلافات نسبی و مطلق در شرایطی است که محرک‌های مختلف به شکل حسی درک شوند. زیرا، تغییرات در واکنش‌های حسی به‌طور عمومی در تناظر یک‌به‌یک با تغییر در محرک‌ها نیستند، ضمن اینکه حد آستانه‌های ادراک حسی و نیز اختلاف در آنها قابل بیان‌شدن به شکل واحدهای حسی نیست [۱]. صرف‌نظر از جنبه علمی موضوع، این مسئله یعنی اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی و بیان کمی آن، از مشکلات رایج برخی صنایع است. در صنعت نساجی، این مشکل به‌ویژه در زمان ارزیابی‌های

### کلمات کلیدی

ویژگی‌های حسی، مقادیر مقیاس، روش مقایسه جفت‌ها، روش رتبه‌بندی منظم

\*مستول مکاتبات، پیام‌نگار: jafari-ra@icrc.ac.ir

قانون ارزیابی مقایسه‌ای را به‌عنوان مدل ریاضی برای تجزیه و تحلیل ارزیابی مقایسه‌ای جفت‌ها پیشنهاد کرد. بدین ترتیب، مقادیر مقیاس روانی برای دو محرکه، از نسبت تعداد دفعاتی که یک محرکه نسبت به دیگری در یک ویژگی خاص بزرگ‌تر ارزیابی شود، قابل محاسبه خواهد بود [۱]. کوشش‌های Thurstone و Fechner برای اندازه‌گیری حس‌ها با اندازه‌گیری تمایزها منجر به ایجاد مقیاس‌بندی غیرمستقیم مقادیر حسی شد. این اندازه‌گیری‌ها براساس داده‌هایی هستند که یک مشاهده‌کننده از بین دو محرکه یکی را برمی‌گزیند [۱].

متقابلاً آزمون‌هایی که مقیاس‌بندی مستقیم را استفاده می‌کنند، ارزیابی‌های حسی مشاهده‌کنندگان را به‌طور مستقیم به مقادیر حسی تبدیل می‌کنند. به‌طور مثال، اگر مشاهده‌کننده قادر باشد که بگوید یک لامپ چقدر درخشان‌تر از دیگری است، وی مقدار حسی دو لامپ را ارزیابی کرده و واکنش‌های او اندازه‌گیری مستقیم از دو درخشندگی است. از بهترین روش‌های مقیاس‌بندی مستقیم مقادیر حسی، روش مقیاس‌بندی نسبی است که در ۱۸۸۸ معرفی شد. در این سال Merkel از مشاهده‌کنندگان خواست یک محرکه را طوری تنظیم کنند که احساسی معادل دو برابر بزرگ‌تر از دیگری ایجاد کند. این روش تا ۱۹۵۰ که Stevens و همکاران شروع به تصحیح آن کردند، به‌طور جدی دنبال نمی‌شد. راه حل Stevens برای مقیاس‌بندی نسبی مستقیم از احساس، بسیار ساده بود. وی، محرکه‌ها را به مشاهده‌کنندگان ارائه کرد و از آنها خواست که اعدادی را که متناظر با احساس آنها بود را به محرکه‌ها نسبت دهند. این روش امروزه به‌عنوان برآورد مقدار شناخته می‌شود که در طرح پیشنهادی Stevens منجر به قانون جدید و جایگزین قانون لگاریتمی Fechner شد. قانون توانی Stevens بر این اساس است که برآوردهای مقادیر حسی گوناگون، به نسبتی که شدت محرکه‌ها به سمت یک برتری پیش می‌رود، افزایش می‌یابد. اندازه این برتری، بیانگر آن است که شدت کدام محرکه به حدی افزایش یافته که امکان برآورد مقدار آن وجود دارد. تغییرات در این برآوردها به چگونگی شرایط حسی و شرایط محرکه‌ها بستگی دارد [۱]. روش‌های متنوعی برای مقیاس‌بندی ویژگی‌های حسی وجود دارد که پیش از پرداختن به آنها، تعریف مفهوم اندازه‌گیری و توضیح بیشتر برای مقیاس‌هایی که براساس توانایی مشاهده‌کنندگان بر تمایز میان محرکه‌ها استوار هستند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

### اندازه‌گیری

مفهوم کلی اندازه‌گیری، اتخاذ روشی مناسب برای کمی کردن ویژگی‌های حسی است. درواقع، اندازه‌گیری به معنای تعیین و تخصیص اعداد همراه با قواعد ویژه، برای ارائه ویژگی‌ها یا ویژگی‌های مدنظر است. اگر خصوصیات سامانه اعداد، ویژگی‌های مدنظر را منعکس کند، اطلاعات جدیدی درباره ویژگی‌های اندازه‌گیری شده قابل کسب است [۱].

### مقیاس‌های اندازه‌گیری

به‌طور کلی چهار نوع مقیاس اندازه‌گیری عبارت‌اند از [۱، ۲۷]:

مقدار سیاهی [۷-۱۱] یا ارائه فرمول‌هایی برای بیان اختلاف رنگ [۱۲] مطرح می‌شود. بدیهی است، صرف‌نظر از صنعت نساجی، سایر صنایع نظیر چاپ [۱۳]، خودروسازی [۱۷-۱۴] و دندانپزشکی [۱۸] برای بررسی پارامترهای رنگی و کنترل کیفی رنگ کالای تولیدی هر یک به نوعی با چنین مسئله‌ای روبه‌رو هستند. روش ساده‌ای که در صنایع مزبور برای بررسی رنگ‌همانندی و کنترل ویژگی‌های رنگی دنبال می‌شود، استفاده از نظرها و نتایج حاصل از قضاوت کارشناسان خبره است که در حد کیفی تا حدودی راهگشاست. اما، مسئله دقیقاً از جایی آغاز می‌شود که قرار بر کمی کردن نتایج حاصل از ارزیابی‌های کیفی است. چرا که افزون بر عوامل مختلف مؤثر بر جلوه ظاهری کالا، عوامل مختلفی از جمله فرهنگ، سن و جنسیت نیز بر ارجحیت فامی (hue preference) افراد [۱۹، ۲۰] و احساس رنگی [۲۱-۲۶] آنها اثرگذار بوده و منجر به درک و دریافت‌های حسی متفاوت در اشخاص مختلف می‌شود. بدیهی است، بیان کمی چنین ویژگی‌های حسی درک شده که در ارتباط مستقیم با مفاهیم روان-فیزیک هستند، به‌سادگی امکان‌پذیر نیست و اگر روش‌های اندازه‌گیری نامناسب به کار برده شود، قطعاً منجر به انجام محاسبات نامناسب و نیز ارائه نتایج اشتباه می‌شود. بنابراین، آشنایی با روش‌های صحیح اندازه‌گیری و برخورداری از دانش و آگاهی لازم برای کاربرد نوع مقیاس لازم برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها برای یک پژوهشگر ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا پژوهش حاضر با هدف آشنایی کلی با روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی و نحوه مقیاس‌دهی به آنها، به‌طور اجمالی به توصیف دو روش مقایسه جفت‌ها و رتبه‌بندی منظم می‌پردازد که در ارزیابی ویژگی‌های حسی بسیار پر کاربرد هستند.

اگر اطلاعات وارد شده به سامانه حسی، محرکه‌های فیزیکی باشند و خروجی‌ها را احساس تشکیل دهند، آنگاه تمام اندازه‌گیری‌ها در علوم کلاسیک وابسته به روان-فیزیک، بر مبنای ورودی‌های سامانه یعنی همان محرکه‌های فیزیکی خواهند بود. این ارتباط وابسته به روان-فیزیک که بزرگی یک ویژگی حسی را در برابر مقادیر فیزیکی نظیر آن از محرکه‌ها رسم می‌کند، با نام تابع اندازه روان-فیزیک (psychophysical magnitude function)، خوانده می‌شود. این توابع فقط زمانی قابل حصول هستند که هر دو عامل یعنی هم محرکه‌ها و هم واکنش‌های (پاسخ‌های) حسی به محرکه‌ها قابل اندازه‌گیری باشند. در حدود ۱۸۶۰، Fechner این مشکل را تشخیص داد. وی بر این اعتقاد بود که احساسات، به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند. طرح پیشنهادی او مبنی بر اینکه مقدار احساس با لگاریتم شدت محرکه‌ها افزایش می‌یابد، اشاره بر اندازه‌گیری هر دو عامل محرکه‌ها و واکنش‌های حسی داشت [۱].

اگر اندازه‌گیری و کنترل ویژگی‌های فیزیکی محرکه امکان‌پذیر نباشد، توابع مقدار روان-فیزیک قابل حصول نیستند. در این باره مطالعه Thurstone بسیار جالب بود. وی، نخستین روانشناسی بود که روش‌های اندازه‌گیری تجربیات حسی را در جایی توسعه داد که ویژگی‌های محرکه فیزیکی قابل تعیین نبودند. Thurstone همانند Fechner پیشنهاد کرد که حس‌ها فقط می‌توانند به‌طور غیرمستقیم از اندازه‌گیری تمایزهای محرکه‌ها اندازه‌گیری شوند. وی در ۱۹۲۷،

- مقیاس اسمی،
- مقیاس ترتیبی،
- مقیاس فاصله‌ای و
- مقیاس نسبی.

میان مقادیر خصوصیت اندازه‌گیری شده هستند. یک مثال از مقیاس فاصله‌ای، مقیاس دمای فارنهایت یا سلسیوس است. چرا که اختلاف میان دو مقدار مقیاس به‌طور معنی‌داری با اختلاف میان دو مقدار مقیاس دیگر قابل‌مقایسه است. به‌طور مثال اختلاف بین دو دمای ۴۰ و ۶۰°C مساوی اختلاف بین دو دمای ۷۰ و ۹۰°C است [۱،۲۷].

#### مقیاس نسبی

سامانه عددی یک مبدأ دارد که با صفر نشان داده می‌شود. این ویژگی که یک عدد ویژه چند بار بزرگ‌تر از یا کوچک‌تر از عدد دیگر است با توجه به صفر گفته می‌شود. به‌طور مثال در سامانه عددی، ۱۰ دو برابر ۵ و نصف ۲۰ است. مقیاس نسبی افزون بر ویژگی‌های نظم و فاصله، یک مبدأ طبیعی برای نمایش مقدار صفر یک خصوصیت را دارد. بدین ترتیب در این مقیاس، اندازه نسبت مقادیر مقیاس معنی‌دار است. به‌طور مثال دو توپ ۵۰ و ۲۵ پوندی از نظر ویژگی وزنی در یک نسبت ۲ به ۱ هستند. این مطلب درباره مقادیر مقیاس فاصله‌ای که نقطه صفر آن قراردادی بوده و نمی‌تواند مقدار صفر یک خصوصیت را نشان دهد، صادق نیست. به‌طور مثال، در مقیاس دمای سلسیوس یا فارنهایت، درجه صفر مقدار صفر گرما را نشان نمی‌دهد، اما مقیاس دمایی کلوین یک مقیاس نسبی به‌شمار می‌آید، چرا که درجه صفر کلوین بیانگر صفر مطلق برای جسمی است که هیچ گرمایی ندارد [۱،۲۷،۳۰].

#### تبدیل‌های مجاز در مقیاس‌های اندازه‌گیری

در مقیاس‌های اندازه‌گیری، اعداد می‌توانند به روش‌های معینی بدون اینکه معنی‌دار بودن آنها تغییر کند، تغییر یابند. منظور از تبدیل‌های مجاز، آن دسته از انتقال‌هایی هستند که روی یک مقیاس اعمال شوند و در عین حال آن را ثابت و بدون تغییر باقی بگذارند [۱]. در مقیاس اسمی اعداد صرفاً نشانه و علامت‌هایی برای تفکیک ویژگی‌ها از هم هستند. از آنجا که مقادیر در مقیاس اسمی مورد توجه نیستند یا به بیان دیگر اندازه عدد مهم نیست، بنابراین این مقیاس برای هر گونه انتقالی ثابت است، به شرط اینکه برای هیچ دو چیزی، شماره یکسانی معین نشده باشد (مانند تعویض شماره‌های دو بازیکن) [۱].

ساختار مقیاس ترتیبی، نیازمند به‌کارگیری قانونی است که اعداد را طوری آرایش‌مند سازد که نظم رتبه‌بندی آنها مطابق نظم ترتیبی ویژگی مورد اندازه‌گیری باشد. اشاره شد، در این مقیاس فقط دو ویژگی هویت و نظم سامانه عددی مهم هستند و اختلاف‌ها و نسبت‌های میان اعداد فاقد مفهوم هستند. بدین ترتیب، مقیاس ترتیبی برای هر گونه انتقالی که نظم رتبه‌بندی مقادیر مقیاس را حفظ کند، ثابت است. این تبدیل‌ها با نام تبدیل‌های یکنواخت نامیده می‌شوند که مشخصه ضروری آنها، یکسان نگاه‌داشتن نظم ترتیبی مقادیر تبدیل شده با نظم ترتیبی مقادیر مقیاس اصلی (اولیه) است [۱].

در اندازه‌گیری‌های مقیاس فاصله‌ای، اعداد به نحوی به ویژگی‌ها نسبت داده می‌شوند که اختلافات میان آنها بیانگر اختلاف‌های میان ویژگی‌ها در دنیای واقعی باشد. در چنین مقیاسی، تبدیلی به شکل

این مقیاس‌ها درجه‌های متفاوتی از تطابق‌ها را میان سامانه اعداد و سامانه ویژگی موضوعات ارائه می‌کنند. در تعیین اینکه کدام یک از انواع مقیاس‌های اندازه‌گیری باید استفاده شوند، لازم است برخی ویژگی‌های ضروری سامانه اعداد مورد ملاحظه قرار گیرند. این ویژگی‌ها عبارت از شناسایی، نظم، فاصله و نقطه شروع (مبدأ) هستند که در ادامه موضوع ضمن تعریف مقیاس‌های اندازه‌گیری، این مفاهیم نیز توضیح داده می‌شوند [۱].

#### مقیاس اسمی

همانند هر مجموعه‌ای از نشانه‌ها، سامانه عددی می‌تواند برای تفکیک، دسته‌بندی یا تعیین هویت به‌کار برده شود. به‌طور مثال، اعداد متفاوتی که برای بازیکنان مختلف در یک تیم ورزشی اختصاص می‌یابند، به هیچ عنوان بر درجه ویژگی‌هایی بازیکنان دلالت نمی‌کنند بلکه تنها برچسب‌هایی هستند که ما را قادر می‌سازند، افراد را از هم تشخیص دهیم. مقیاس‌های اسمی، اعداد را به‌طور کمی استفاده نمی‌کنند، بنابراین نمی‌توانند وسیله‌ای برای اندازه‌گیری باشند. تنها گاهی اوقات روی نتیجه‌ای که از این دسته‌بندی‌ها کسب می‌شود، اعمال برخی محاسبات ریاضی امکان‌پذیر است.

به‌طور مثال، در تفکیک جنسیت یک گروه انسانی به مرد و زن، می‌توان تعداد مردها در یک گروه را براساس مقیاس اسمی آنان معین کرد [۱،۲۷،۲۸].

#### مقیاس ترتیبی

در سامانه عددی، اعداد در ردیف‌های منظمی قرار داده شده‌اند، به‌طوری که میان اعداد مختلف ارتباطی به شکل بزرگ‌تر از و کوچک‌تر از برقرار است. مقیاس ترتیبی، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌هایی است که در آن مقدار ویژگی محرکه‌ها قابل رتبه‌بندی است. عدد رتبه به‌عنوان مقدار مقیاس برای هر اندازه‌گیری لحاظ می‌شود. درجه‌بندی رستوران‌ها، رتبه‌های افراد در یک مسابقه ورزشی یا یک رتبه‌بندی از درجه رضایت مثال‌هایی از این نوع هستند [۱،۲۷،۲۹]. بدیهی است، براساس رتبه‌بندی منظم، اخذ این نتیجه که اختلاف در کارایی میان رتبه‌های ۱ و ۲ لزوماً با اختلاف در کارایی میان رتبه‌های ۳ و ۴ یکی باشد (فاصله‌ای) یا اینکه رتبه ۴ دو برابر کارا تر از رتبه ۲ است (نقطه شروع)، قابل حصول نیست [۱،۲۷].

#### مقیاس فاصله‌ای

در این مقیاس، فاصله میان اعداد در سامانه عددی منظم شده‌اند، به‌نحوی که اختلاف میان هر جفت از اعداد، بزرگ‌تر، کوچک‌تر یا مساوی با اختلاف میان هر جفت دیگری از اعداد است. در مقیاس فاصله‌ای، فواصل میان مقادیر مقیاس، بیانگر اختلاف‌ها یا فاصله

غیر این حالت احتمال پدید آمدن خطاهای جدی، انجام محاسبات نامناسب روی داده‌ها و نیز نتیجه‌گیری غلط وجود دارد. خلاصه‌ای از ویژگی‌های چهار مقیاس اندازه‌گیری در جدول ۱ آمده است [۱].

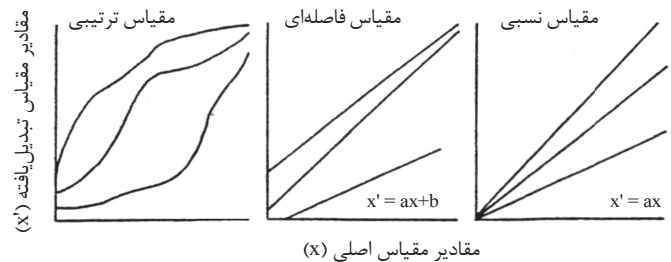
### روش‌های آماری درجه‌بندی

روش‌های درجه‌بندی متنوعی با هدف مقیاس‌بندی ویژگی‌های ارزیابی شده با آزمون‌های روان - فیزیک وجود دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۱]:

- آزمون رتبه‌بندی منظم (rank order experiment) [۳۰-۳۳].
  - درجه‌بندی گرافیکی (graphical rating).
  - روش دسته‌بندی (category scaling).
  - روش مقایسه جفت‌ها (pair comparison method) [۳۴-۳۷].
  - روش تخمین مقدار (magnitude estimation).
  - روش تفکیک کردن (partition scaling).
  - روش تخمین نسبت (ratio estimation production) و
  - روش مقداردهی محتمل‌ترین فاصله [۳۸].
- در این پژوهش، با توجه به کاربرد بیشتر دو روش مقایسه جفت‌ها و آزمون رتبه‌بندی منظم در آزمون‌های روان - فیزیک دو روش مزبور بحث و مطالعه شده‌اند.

### روش مقایسه جفت‌ها و قانون Thurstone

در روش مقایسه جفت‌ها هر نمونه با سایر نمونه‌ها در تمام حالت‌های ممکن جفت شده و ارزیابی می‌شود، به نحوی که اگر تعداد نمونه‌ها  $n$  باشد، در هر مجموعه آزمون هر مشاهده‌کننده  $\frac{n(n-1)}{2}$  جفت را ارزیابی می‌کند. در این آزمون، وظیفه هر مشاهده‌کننده این است که هر بار نمونه‌ای را انتخاب کند که ویژگی مدنظر که هدف ارزیابی است، در آن بزرگ‌تر به نظر می‌رسد (مثلاً روشن‌تر و بلندتر). گفتنی است، ارزیاب اجازه ندارد، اعلام کند دو نمونه در یک جفت یکسان‌اند و اختلافی ندارند [۴۱-۳۹، ۳۷-۳۴].



شکل ۱- مثال‌هایی از انتقال مقادیر مقیاس که مقیاس را ثابت (بدون تغییر) باقی می‌گذارند [۱].

شکل ۱- مثال‌هایی از انتقال مقادیر مقیاس که مقیاس را ثابت (بدون تغییر) باقی می‌گذارند [۱].  
 $x' = ax + b$  به طوری که  $x$  مقدار مقیاس اصلی و  $x'$  مقدار مقیاس انتقال یافته باشد، قادر به حفظ و ثابت نگاه‌داشتن همان معانی مقادیر مقیاس اصلی خواهد بود. مقدار مضرب ثابت  $a$  اندازه قراردادی واحد مقیاس و مقدار ثابت  $b$  نیز مکان قراردادی نقطه صفر را بر مقیاس مشخص می‌سازند. یک مثال از چنین انتقالی تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به فارنهایت با معادله  $f = 1.8c + 32$  است [۱، ۳۰].

در مقیاس نسبی، ضرورت تبدیل بدون تغییر، منحصرأ منجر به انتقالات خطی به شکل  $x' = ax$  می‌شود. مبدأ در صفر مطلق ثابت است. بنابراین، برخلاف مقیاس‌های فاصله‌ای مقدار ثابت نمی‌تواند به مقادیر مقیاس افزوده شود. اما، اندازه واحد مقیاس نسبی، قراردادی بوده و مقادیر مقیاس ممکن است در مقداری ثابت ضرب شوند. مثالی در این زمینه، تبدیل واحد طول از پا به اینچ با معادله  $\text{inches} = \text{feet} \times 12$  است. ویژگی بارز مقیاس نسبی، ثابت بودن نسبت‌های مقادیر مقیاس در تمام تبدیل‌های مجاز است. مقیاس‌های اندازه‌گیری از نظر نوع انتقال‌های مجاز، در شکل ۱ با هم مقایسه شده‌اند. محور افقی مقادیر مقیاس اصلی (اولیه)  $x$  و محور قائم مقادیر مقیاس تبدیل یافته  $x'$  را نشان می‌دهد [۱].

برای پژوهشگر، شناخت نوع مقیاسی که لازم است برای تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری‌ها به کار گرفته شود، بسیار مهم است. چرا که در

جدول ۱- چهار مقیاس اندازه‌گیری.

مقیاس	عملکرد	انتقال‌های مجاز	برخی آماره‌های مناسب
اسمی	شناسایی و دسته‌بندی	جابه‌جایی هر شماره با هر شماره دیگر	تعداد حالت‌ها مد همبستگی احتمالی
ترتیبی	رتبه‌بندی منظم	هر تغییری که نظم (ترتیب) را حفظ کند	میان درصد نظم همبستگی رتبه‌بندی منظم
فاصله‌ای	یافتن فاصله‌ها یا اختلاف‌ها	ضرب در مقداری ثابت افزودن مقداری ثابت	میانگین انحراف استاندارد
نسبی	یافتن نسبت‌ها کسرها مضربها	ضرب در مقداری ثابت	میانگین هندسی درصد تغییرپذیری

به دلیل تردید آنی که در لحظه ارزیابی برای هر مشاهده‌کننده به‌وجود می‌آید، اگر یک نمونه به تعداد دفعه‌های زیادی در مقابل یک مشاهده‌کننده قرار گیرد، بدیهی است هر بار یک مقدار را به‌عنوان کمیت آن ویژگی مورد ارزیابی، بیان کند. این فرض نظری است، چون عملاً در روش مقایسه جفت‌ها مشاهده‌کننده‌ها عددی را اعلام نمی‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود پس از  $n$  بار ارزیابی یک توزیع نرمال از مقادیر اعلام شده توسط ارزیاب، به‌دست آید [۳۴-۳۶]. میانگین این توزیع با عنوان مقدار مقیاس (scale value) و انحراف معیار آن با عنوان انحراف تمایزی (discriminal dispersion) شناخته می‌شود. به‌عنوان مثال، برای دو نمونه  $k$  و  $j$ ،  $s_k$  و  $s_j$  نشان‌دهنده مقادیر مقیاس و  $\sigma_k$  و  $\sigma_j$  نشان‌دهنده مقادیر انحراف تمایزی هستند. به همین ترتیب می‌توان گفت، اگر یک جفت نمونه به تعداد دفعه‌های زیادی ارزیابی شود، نتایج حاصل یک منحنی نرمال را تشکیل داده که میانگین این توزیع برابر  $S_k - S_j$  است و انحراف معیار آن از معادله (۱) به‌دست می‌آید:

$$\sigma_{d_k - d_j} = (\sigma_k^2 + \sigma_j^2 - 2r_{jk} \sigma_k \sigma_j)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

در این معادله،  $r$  ضریب همبستگی و  $d_k$  و  $d_j$  بیانگر فرایند تمایزی (discriminal process) در هر بار ارزیابی هستند. تمایز فرایندی است که به وسیله آن موجود زنده محرکه‌ای را شناخته یا تشخیص می‌دهد یا نسبت به یک محرکه واکنش نشان می‌دهد. شکل کلی قانون مقایسه جفت‌ها به شکل معادله (۲) است:

$$s_k - s_j = x_{jk} (\sigma_k^2 + \sigma_j^2 - 2r_{jk} \sigma_k \sigma_j)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$s_k$  و  $s_j$  مقادیر مقیاس دو نمونه  $k$  و  $j$ ،  $\sigma_k$  و  $\sigma_j$  مقادیر انحراف معیار دو نمونه  $k$  و  $j$ ،  $r_{jk}$  ضریب همبستگی بین جفت‌ها و  $x_{jk}$  انحراف نرمال که برابر است با نسبت نظری دفعاتی که محرکه  $k$  بزرگ‌تر از  $j$  ارزیابی می‌شود [۳۶، ۳۴].

قانون مقایسه جفت‌ها در شکل کامل خود قابل حل نیست، چرا که همواره تعداد معادله‌های آن  $2(n-1)$  عدد از تعداد مجهول‌های آن کمتر است ( $n$  تعداد نمونه‌هاست). بر همین اساس Thurstone قانون خود را به حالت‌های مختلف تقسیم کرد که بیانگر مجموعه معادله‌های ویژه‌ای است که از فرضیه‌های ساده‌کننده متنوعی به‌دست آمده‌اند [۳۴، ۳۹]. همچنین، برای بیان نوع و شرایط ارزیابی از اصطلاح کلاس و برای مشخص کردن مجموعه فرض‌های ساده‌کننده از اصطلاح شرایط استفاده می‌شود.

کلاس (۱) یک شخص واحد هر جفت نمونه را به تعداد دفعه‌های زیادی ارزیابی می‌کند.

کلاس (۲) تعداد افراد زیادی هر کدام یک بار یک جفت نمونه را ارزیابی می‌کنند.

کلاس (۳) چند نفر هر کدام چند بار یک جفت نمونه را ارزیابی می‌کنند. در هر مجموعه آزمون، انتخاب هر یک از این کلاس‌ها بستگی به موارد زیر دارد:

- هدف آزمون،  
- مقدار تفاوت‌های فردی و  
- ماهیت نمونه.

اگر شخص آزمون‌کننده علاقه‌مند باشد که اظهارات یک فرد واحد را درجه‌بندی کرده یا بین افراد مقایسه انجام دهد، کلاس ۱ از سایر کلاس‌ها مناسب‌تر است. اگر تفاوت‌های فردی مشخص و معلوم باشد، یا بتوان از آنها صرف‌نظر کرد، هر یک از سه کلاس نامبرده را بسته به اینکه در هر مورد کدام یک مناسب‌تر است، می‌توان استفاده کرد. درنهایت، اگر شخص علاقه‌مند باشد که یک متوسط از ارزیابی کل افراد را به‌دست آورد، کلاس ۲ مناسب‌ترین حالت است [۳۹، ۳۴].

### شرایط ساده‌کننده قانون Thurstone

شرایط A: در این حالت فرض می‌شود که در قانون کامل مقایسه جفت‌ها کوواریانس ( $r$ ) برای تمام جفت نمونه‌ها مقدار ثابت  $c$  باشد.

$$s_k - s_j = x_{jk} (a_j^2 + a_k^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$a_j^2 \equiv \sigma_j^2 - c$$

$$a_k^2 \equiv \sigma_k^2 - c$$

شرایط B: در این حالت فرض می‌شود که در قانون کامل مقایسه جفت‌ها کوواریانس ( $r$ ) برای تمام جفت نمونه‌ها برابر بوده و اختلاف میان  $\sigma$ ها کوچک است.

$$s_k - s_j = x_{jk} \left[ \frac{1}{2}(1-r) \right]^{1/2} (\sigma_k + \sigma_j) \quad (4)$$

شرایط C: در این حالت فرض می‌شود که در قانون کامل مقایسه جفت‌ها انحراف معیار توزیع برای دو نمونه‌ای که جفت را تشکیل می‌دهند، برابر باشد. اگر این مقدار ثابت با حرف  $c$  نشان داده شود، معادله (۲) به شکل معادله (۵) درمی‌آید:

$$s_k - s_j = c x_{jk} \quad (5)$$

با فرض یکسان بودن مقادیر انحراف معیار  $\sigma_j = \sigma_k = \sigma$  و  $r = 0$ ، معادله (۵) به معادله (۶) تبدیل می‌شود که با نام حالت پنجم از قانون Thurstone شناخته می‌شود [۳۴، ۳۹]:

$$s_k - s_j = x_{jk} \sigma \sqrt{2} \quad (6)$$

### روش رتبه‌بندی منظم

به‌نظر می‌رسد ارائه محرکه‌ها به مشاهده‌کننده در یک نظم تصادفی، هر گونه اثر در ارزیابی فرد را برای آرایش‌مند کردن نهایی نمونه‌ها حذف کند. داده‌های جمع‌آوری شده به این روش، شامل یک شماره از رتبه‌بندی (یا مرتب‌کردن) است که برای هر محرکه معین شده



جدول ۲- داده‌های خام حاصل از آزمون رتبه‌بندی منظم، عنصر  $a_{ji}$  رتبه معین شده برای محرکه  $j$ ام را در تکرار  $i$ ام (یا توسط فرد  $i$ ام) نشان می‌دهد.

		افراد (تکرارها) $i = 1, 2, \dots, N$					
		1	2	...	$i$	...	$N$
محرکه (نمونه)ها $j = 1, 2, \dots, m$	1	$a_{11}$	$a_{12}$	$\dots$	$a_{1i}$	$\dots$	$a_{1N}$
	2						
	$\vdots$						
	$j$	$a_{j1}$	$\dots$	$a_{ji}$	$\dots$	$a_{jN}$	
	$m$	$a_{m1}$	$\dots$	$a_{mi}$	$\dots$	$a_{mN}$	

است. در حالت عمومی در روش رتبه‌بندی منظم، هر محرکه به‌طور هم‌زمان با سایر محرکه‌ها رتبه‌بندی و مرتب می‌شود. رتبه نسبت داده شده به هر محرکه توسط هر مشاهده‌کننده (یا در تکرار  $i$ ام یک تک مشاهده‌کننده) در جدول ۲ آمده است [۵،۳۰].

در جدول ۲ سطرها ( $j=1,2,\dots,m$ ) بیانگر محرکه‌ها (نمونه‌ها) هستند و ستون‌ها ( $i=1,2,\dots,N$ ) تعداد مشاهده‌کنندگان یا اگر که این آزمون چند مرتبه برای یک مشاهده‌کننده انجام شود، تکرار  $i$ ام را نشان می‌دهند. عنصر  $a_{ji}$  نیز رتبه‌ای را که محرکه  $j$ ام توسط ارزیابی مشاهده‌کننده  $i$ ام (یا در تکرار  $i$ ام برای یک مشاهده‌کننده تک) اخذ کرده است، نشان می‌دهد [۵،۳۰].

#### محاسبه مستقیم مقادیر مقیاس

مقدار مقیاس هر محرکه به‌سادگی با یک میانگین از رتبه‌های معین شده برای آن به‌دست می‌آید. ابتدا باید فراوانی رتبه‌های نسبت داده شده به محرکه‌ها مشخص شود. نتایج داده‌های حاصل از جدول ۲ در یک ماتریس فراوانی، به شکل نشان داده شده در جدول ۳ خلاصه‌بندی

جدول ۳- ارزیابی رتبه‌بندی، عنصر  $f_{jg}$  تعداد دفعاتی را که محرکه  $j$ ام در رتبه  $g$  ارزیابی شده است، نشان می‌دهد.

		رتبه $g = 1, 2, \dots, m+1$					
		1	2	...	$g$	...	$m+1$
محرکه (نمونه)ها $j = 1, 2, \dots, n$	1	$f_{11}$	$f_{12}$	$\dots$	$f_{1g}$	$\dots$	$f_{1,m+1}$
	2						
	$\vdots$						
	$j$	$f_{j1}$	$\dots$	$f_{jg}$	$\dots$	$f_{j,m+1}$	
	$n$	$f_{n1}$	$\dots$	$f_{ng}$	$\dots$	$f_{n,m+1}$	

می‌شود [۵،۳۰،۳۲].

در جدول ۳، سطرها ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) مجدداً محرکه‌ها را نشان می‌دهند و ستون‌ها ( $g = 1, \dots, m+1$ ) نیز بیانگر رتبه‌ها هستند. عنصر  $f_{jg}$  در تقاطع سطر  $j$ ام و ستون  $g$ ام تعداد دفعاتی را نشان می‌دهد که نمونه  $j$ ام، رتبه  $g$  را کسب کرده است [۵،۳۵].

در ماتریس فراوانی فوق میانگین برای نمونه  $j$ ام از معادله (۷) قابل محاسبه است:

$$S_j = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^{m+1} C_g f_{jg} \quad (7)$$

به‌طوری که  $S_j$  مقدار مقیاس میانگین مشاهده شده برای نمونه  $j$ ،  $N$  تعداد رتبه‌های نمونه  $j$  (مجموع افراد که ارزیابی را انجام داده‌اند یا تعداد تکرارها برای یک تک مشاهده‌کننده)،  $m+1$  تعداد دسته‌بندی‌ها (رتبه‌بندی‌ها)،  $C_g$  مقدار دسته‌بندی  $g$  (مقدار رتبه  $g$ ) و  $f_{jg}$  تعداد دفعاتی است که محرکه  $j$ ، رتبه  $g$  را کسب کرده است. این مقادیر به‌عنوان مقادیر مقیاس ترتیبی برای رتبه‌بندی منظم نمونه‌ها در نظر گرفته می‌شوند [۵،۳۰،۳۲].

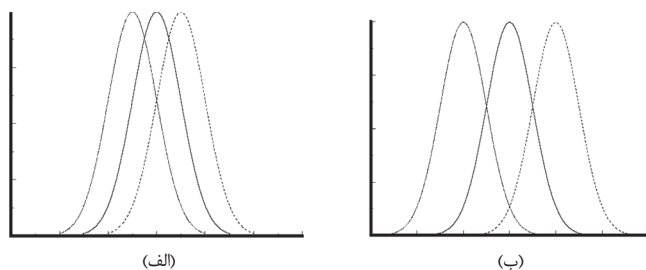
در هر حال باید گفت، از آنجا که در روش مقایسه جفت‌ها هر جفت نمونه به‌طور جداگانه ارزیابی می‌شود و احتمال گیج‌شدن مشاهده‌کننده بسیار کمتر است، دقت این روش به‌طور نسبی بیشتر از روش رتبه‌بندی منظم است که در آن مشاهده‌کننده باید تمام نمونه‌ها را در یک نظم، تحت ویژگی مورد ارزیابی از کم به زیاد مرتب کند. در این روش، به دلیل وجود سایر نمونه‌ها و اثر هم‌زمان آنها ممکن است موقعیت درست محرکه در بین سایر نمونه‌ها چندان درست درک و معین نشود. گفتنی است، اگر تعداد نمونه‌ها زیاد باشد، به دلیل ویژگی خاص روش مقایسه جفت‌ها که در آن همه نمونه‌ها به‌طور جفتی با هم مقایسه می‌شوند این روش بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده و عملاً غیرقابل اجراست. بنابراین، در مواردی که تعداد نمونه‌ها زیاد باشد، با وجود دقت کمتر روش رتبه‌بندی منظم نسبت به روش مقایسه جفت‌ها، از روش رتبه‌بندی منظم برای کسب مقیاس ترتیبی استفاده می‌شود [۵،۸].

#### تکرارپذیری و دوباره تولید [۴۲-۵۰]

در صنایع تولیدی برای کنترل کیفی و کمی کارایی نیاز به دو نوع سنجش وجود دارد:

- اندازه‌گیری ویژگی‌های محصول تولیدی و
- اندازه‌گیری چگونگی فرایند [۴۲].

در حقیقت، تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده هم از تغییرات محصول و هم از تغییرپذیری دستگاه اندازه‌گیری ناشی می‌شوند [۴۳،۴۴] در نتیجه، ارزیابی محصول و بهبود فرایند نیازمند اندازه‌گیری دقیق و صحیح است. از آنجا که همه اندازه‌گیری‌ها ناگزیر با خطا همراه است (به بیان ریاضی مقدار مشاهده شده = مقدار صحیح + خطای اندازه‌گیری)، درک و مدیریت خطای اندازه‌گیری که به‌طور کلی تحلیل سامانه اندازه‌گیری



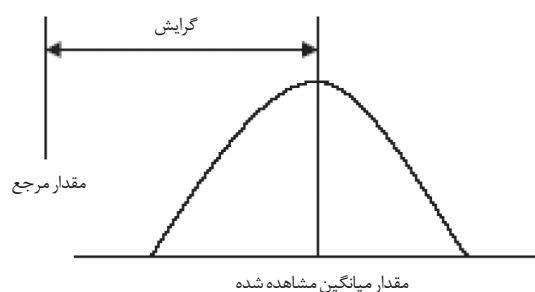
شکل ۴- تفاوت قابلیت دوباره تولید دو سامانه اندازه‌گیری [۴۷].

مربوط به سنجش یک ویژگی یکسان توسط چند ارزیاب با یک دستگاه است. از آنجا که قابلیت دوباره تولید به مفهوم تفاوت در مقادیر اندازه‌گیری شده یک ویژگی یکسان در اثر تفاوت در رفتار ارزیاب‌ها یا عملگرهای سامانه اندازه‌گیری است، بنابراین با افزایش تعداد عملگرها در یک سامانه اندازه‌گیری، تغییرات کلی در آن سامانه افزایش می‌یابد [۴۴-۴۷]. شکل ۴، توابع چگالی احتمال اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سه عملگر با مقیاس یکسان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، تفاوت مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده در شکل ۴-ب بیشتر از ۴-الف است و در نتیجه خطای قابلیت دوباره تولید سامانه نشان داده شده در شکل ۴-ب نیز بیشتر از سامانه نشان داده شده در شکل ۴-الف است [۴۷].

به‌عنوان مثال در آزمون ارزیابی چشمی منظور از تکرارپذیری، بررسی مقدار تفاوت در مقادیر اعلام شده توسط یک فرد ارزیاب در آزمون‌های تکراری است. همچنین، منظور از قابلیت دوباره تولید مقدار تغییرات در مقادیر میانگین اطلاق شده به نمونه‌های ارزیابی شده توسط افراد مختلف است. در واقع، در چنین آزمون‌هایی دوباره تولید نتایج به نوعی بیانگر دقت مشاهده‌کننده بوده و به بررسی تفاوت ارزیابی هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به نتایج حاصل از مجموع مشاهدات می‌پردازد [۴۸،۴۹]. یکی از روش‌های کمی کردن دو فاکتور تکرارپذیری و دوباره تولید، استفاده از معیار تصمیم‌گیری اشتباه (wrong decision) است [۵۰-۵۲]. به‌عنوان مثال، در بررسی دوباره تولید نتایج یک آزمون ارزیابی چشمی، نتیجه قضاوت هر یک از مشاهده‌کنندگان با نتایج نهایی حاصل از ارزیابی کل مشاهده‌کنندگان مقایسه شده و در صورت مغایرت، یک تصمیم اشتباه به فرد نسبت داده می‌شود. بدیهی است، بیشتر بودن درصد تصمیم‌های اشتباه به مفهوم دقت کمتر ارزیابان در ارزیابی‌های تکراری و عدم توافق بیشتر آنان با یکدیگر است. ضمن اینکه در شرایط بهینه، خطای تصمیم‌گیری برابر با صفر است [۱۳].

### نتیجه‌گیری

از مشکلات عمده در حوزه پدیده‌های روان-فیزیکی چگونگی اندازه‌گیری ادراک حسی به ازای محرک‌های گوناگون است. بدیهی است انتخاب روش مناسب برای مقیاس‌دهی به چنین پدیده‌هایی

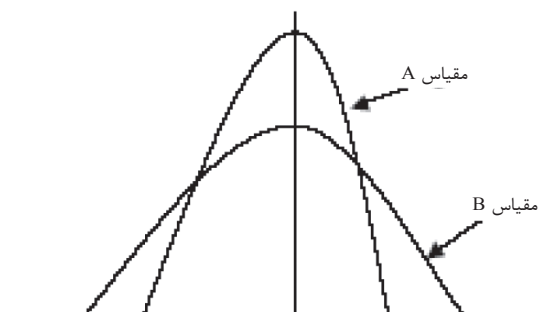


شکل ۲- مفهوم آماری گرایش (بیش‌ارزش) [۴۵].

نامیده می‌شود، از مهم‌ترین توابع کاربردی در بهبود فرایند است. این تحلیل که موضوعاتی همچون کنترل آماری فرایند، تجزیه و تحلیل کارایی و تکرارپذیری و دوباره تولید نتایج وسیله سنجش را شامل می‌شود، به دو مقوله دستگاه‌های فیزیکی و ارزیابی‌های چشمی که مبتنی بر قضاوت‌های انسانی از ویژگی‌های محصول است، می‌پردازد. در مبحث تحلیل سامانه اندازه‌گیری، عواملی همچون گرایش (bias)، تکرارپذیری و قابلیت دوباره تولید نتایج لحاظ می‌شوند [۴۲]. بنابراین ابتدا این مفاهیم از منظر آماری تعریف می‌شوند:

گرایش عبارت است از خطای سیستماتیک در اندازه‌گیری که از آن به صحت اندازه‌گیری هم یاد می‌شود [۴۲]. این مقدار که مشخصه دستگاه اندازه‌گیری است، در واقع، اختلاف میان مقدار میانگین اندازه‌گیری شده را با مقدار مرجع بیان می‌کند. بدیهی است، کمیت مرجع، متوسط اندازه‌گیری‌هایی است که به کمک تجهیزات استاندارد به دست آمده است [۴۵]. شکل ۲ مفهوم آماری گرایش (بیش‌ارزش) را به‌طور کلی نشان می‌دهد.

تکرارپذیری که به خطای عملگر (within operator error) اطلاق می‌شود، عبارت از مقدار تفاوت در مقادیر اندازه‌گیری شده با یک مقیاس یا مقادیر بیان شده توسط یک فرد در اندازه‌گیری‌های تکراری یک ویژگی یکسان است. در واقع، تکرارپذیری که در مباحث آماری به‌عنوان خطای تصادفی لحاظ می‌شود، به دقت ذاتی دستگاه اندازه‌گیری یا نتایج اعلام شده توسط ارزیاب می‌پردازد [۴۴-۴۷]. همان‌طور که توابع چگالی احتمال دو مقیاس A و B در شکل ۳ نشان می‌دهند، تکرارپذیری مقیاس A بیشتر از مقیاس B است [۴۷،۴۵]. قابلیت دوباره تولید که به عنوان خطای بین عملگرها تعبیر می‌شود،



شکل ۳- توابع چگالی احتمال دو مقیاس A و B و مقایسه تکرارپذیری آنها [۴۳،۴۷].

رتبه‌بندی منظم مشاهده‌کننده باید تمام نمونه‌ها را در یک نظم، تحت ویژگی مورد ارزیابی از کم به زیاد مرتب کند. در نتیجه، دقت روش مقایسه جفت‌ها به‌طور نسبی بیشتر از روش رتبه‌بندی منظم است. هرچند در مواردی که تعداد نمونه‌ها زیاد باشد، با وجود دقت کمتر روش رتبه‌بندی منظم، به دلیل وقت‌گیر بودن یا غیرعملی بودن روش مقایسه جفت‌ها از روش رتبه‌بندی منظم برای کسب مقیاس ترتیبی استفاده می‌شود.

بسته به هدف نهایی پژوهشگر، متفاوت خواهد بود. از بین روش‌های مختلفی که با هدف کمی کردن واکنش‌های حسسی دریافت شده از محرکه‌های فیزیکی به‌کار برده می‌شوند استفاده از دو روش مقایسه جفت‌ها و رتبه‌بندی منظم به دلیل کاربرد بیشتر بحث شد. در روش مقایسه جفت‌ها ویژگی مدنظر در هر جفت نمونه به‌طور جداگانه ارزیابی می‌شود. بنابراین، احتمال سردرگمی و عدم قطعیت در تصمیم‌گیری شخص ارزیاب بسیار کمتر است. در حالی که در روش

## مراجع

1. Gescheider G.A., *Psychophysics: The Fundamentals*, 3rd ed., Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1997.
2. Mahar T.J. and Wang H., Measuring fabric handle to define luxury: An overview of handle specification in next-to-skin knitted fabrics from Merino wool, *Anim. Product. Sci.*, 50, 1082-1088, 2010.
3. Pan N., Yen K.C., Zhao S.T., and Yang S.R., A new approach to the objective evaluation of fabric handle from mechanical properties, Part I: Objective measure for total handle, *Text. Res. J.*, 438-444, 1988.
4. Ghane M., Determination of desired white by using the whiteness formulae and visual assessments, MSc Thesis, Isfahan University of Technology, 2005.
5. Jafari R., Comparing the selected whiteness formulae to assess the samples laid out of boundaries of CIE1982 whiteness formula, MSc Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, 2006.
6. Uchida H., A new whiteness formula, *Color Res. Appl.*, 23, 202-209, 1998.
7. Aghayan S., Assessment of black samples to determine the preferred black, MSc Thesis, Amirkabir University of Technology, Iran, 2008.
8. Jafari R., Spectral and colorimetric analysis of black samples, PhD Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, 2013.
9. Clonts Haslup J.R., Shamey R., and Hinks D. The effect of hue on the perception of blackness using munsell samples, *Color Res. Appl.*, 38, 423-428, 2013.
10. Clonts J.R., Shamey R., and Hinks D., Effect of colorimetric attributes on perceived blackness of materials, Proceeding of the 4th European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, Finland, 83-87, 2010.
11. Clonts R. and Shamey R., Perceptual assessment of blackness, Proceeding of the ISCC Special Topics Meeting Black and White, 20-22, 2008.
12. Shamey R., Hinks D., Melgosa M., Luo M., Cui G., Huer-tas R., Cardenas L., and Lee S.G., Evaluation of performance of twelve color-difference formulae using two NCSU experimental datasets, Proceeding of the 4th European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, Finland, 423-428, 2010.
13. Westland S., Cheung T.L.V., and Lozman O.R., A metric for predicting perceptual blackness, Proceeding of the 14th Color Imaging Conference Final Program and Proceedings, Society for Imaging Science and Technology, 14-17, Arizona, 2006.
14. Mirjalili F., Moradian S., and Ameri Shahrabi F., The appearance of automotive finishes. Part 1: A review on most important appearance attributes, *J. Studi. Color World*, 2, 29-40, 2013.
15. Mirjalili F., Moradian S., and Ameri Shahrabi F., The appearance of automotive finishes. Part 2: Measurement, Methods and Instruments, *J. Studi. Color World*, 3, 3-12, 2014.
16. Ameri F. and Khalili N., Effect of illumination/observation geometries on visual assessment of certain geometric attributes of automotive paints, *J. Color. Sci. Tech.*, 7, 323-330, 2014.
17. Ameri F., Khalili N., and Mirjalili F., Determination of tolerance regions for assessment and quality control parameters of automotive appearance, *J. Color. Sci. Tech.*, 12-2013-1487, 2014.
18. Luo W., Westland S., Ellwood R., and Pretty I., Evaluation of whiteness formulae for teeth, Proceeding of the 10th Congress of the International Colour Association, 839-842, 2005.



19. Tao L., Westland S., and Cheung, V., Blackness: Preference and perception (Hue), Proceeding of the 19th IS&T/ SID Color and Imaging Conference, San Jose, 270-275, 2011.
20. Tao L., Westland S., and Cheung V., Blackness: Preference and perception (Value and Chroma), Proceeding of the 6th European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, Amsterdam, 253-258, 2012.
21. Ou L.C., Luo M.R., Woodcock A., and Wright A., A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours, *Color Res. Appl.*, 29, 232-240, 2004.
22. Ou L.C., Luo M.R., Woodcock A., and Wright A., A study of colour emotion and colour preference. Part II: Colour emotions for two-colour combinations, *Color Res. Appl.*, 29, 292-298, 2004.
23. Ou L.C., Luo M.R., Sun P.L., Hu N.C., Chen H.S., Guan S.S., Woodcock A., Cavano J. L., Huertas R., Tremeau A., Billger M., Izadan H., and Richter K., A cross-cultural comparison of colour emotion for two-colour combinations, *Color Res. Appl.*, 37, 23-43, 2012.
24. Rostami M., Izadan H., and Mahyar F., Iranians' colour emotional dimensions, *J. Text. Polym.*, 2, 51-55, 2014
25. Rostami M., Izadan H., and Mahyar F., Colour emotion: Dimensions and Relations; A case study among Iranian Students, Proceeding of the 12th Congress of the International Colour Association, 839-842, 2005.
26. Mahyar F., Izadan H., Taghavi L., and Sadeghian Nodoushan S., An investigation into the meaning of colour harmony using psychophysical techniques, *J. Color Sci. Tech.*, 8, 85-92, 1393.
27. Scales of measurement, <http://psych.csufresno.edu/psy144/content/measurement/scales.html>, (Last visited 30 April 2014).
28. Chapter 1. Principles of measurement part 2, <http://faculty.vassar.edu/lowry/PDF/c1p2.pdf> (Last visited 30 April 2014).
29. Distance for ordinal variables, [http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/similarity/ordinal\\_variables.html](http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/similarity/ordinal_variables.html) (Last visited 5 May 2008)
30. Torgerson W.S., *Theory and Methods of Scaling*, Wiley, New York, 1958.
31. Fairchild M.D., *Color Appearance Models*, Addison Wesley, Massachusetts, 1998.
32. Jafari R. and Amirshahi S.H., Variation in the decisions of observers regarding the ordering of white samples, *Color Technol.*, 124, 127-131, 2008.
33. Jafari R. and Amirshahi S.H., Using the rank ordering method in visual evaluation of whiteness formulae, The 6th National Iranian Textile Engineering Conference, Isfahan University of Technology, 2007.
34. Thurstone L.L., A law of comparative judgment, *Psychol. Rev.*, 34, 273-286, 1927.
35. Guilford J.P., *Psychometric Methods*, McGraw-Hill, New York, 1954.
36. Montag E.D., Empirical formula for creating error bars for the method of paired comparison, *J. Electron. Imag.*, 15, 1-3, 2006.
37. Jafari R. and Amirshahi S.H., A comparison of the CIE and Uchida whiteness formulae as predictor of average visual whiteness evaluation of textiles, *Text. Res. J.*, 77, 756-763, 2007.
38. Maloney L.T. and Yang J.N., Maximum likelihood difference scaling, *J. Vision*, 3, 573-585, 2003.
39. Agahian F., Matching color appearance of a fabric on grays with different lightness values using color appearance models, MSc Thesis, Amirkabir University of Technology, 2004.
40. Mahmoodi Nahavandi A., Presenting a method to measure the fabric gloss by using digital camera and comparing the results with those of goniometer, MSc Thesis, Amirkabir University of Technology, 2005.
41. Mosteller F., Remarks on the method of paired comparisons: III. A test of significance for paired comparisons when equal standard deviations and equal correlations are assumed, *Psychometrika*, 16, 207-218, 1951.
42. Smith R.R., McCray S.W., and Callahan R.N., Gauge repeatability and reproducibility studies and measurement system analysis: a multimethod exploration of the state of practice, *J. Industrial Techno.*, 23, 1-11, 2007.
43. Pan J., Tonkay G. L., Storer R. H., Sallade R.M., and Leandri D.J., Gauge repeatability and reproducibility study for a 3-D solder paste inspection system, Report No. 99T-07. [http://www.lehigh.edu/ise/documents/99t\\_007.pdf](http://www.lehigh.edu/ise/documents/99t_007.pdf)
44. Miller J.C. and Miller J.N., *Statistics for Analytical Chemistry*, (Translated by Golabi S.M.) Tabriz University, Tabriz, Iran, 1994.
45. Gage repeatability and reproducibility, [مجله علمی - ترویجی علوم و فناوری نساجی، سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳ ۲۱](http://www.godzil-</a></li>
</ol>
</div>
<div data-bbox=)

- lah.com/storage/Library/Gage %20R&R.ppt
46. Measurement assurance repeatability and reproducibility, <http://www.qualitycouncil.com/repeatab.asp>.
47. Repeatability and Reproducibility, Copyright©by Engineered Software, Inc., [http://www.engineeredsoftware.com/papers/msa\\_rr.pdf](http://www.engineeredsoftware.com/papers/msa_rr.pdf).
48. Wang H., Cui G., Luo M.R., and Xu H., Evaluation of colour-difference formulae for different colour-difference magnitudes, *Color Res. Appl.*, 37, 316-325, 2012.
49. Luo M.R., Minchew C., Kenyon P., and Cui G., Verification of CIEDE2000 using industry data, Proceeding of Interim Meeting of the International Colour Association (AIC 2004 Colour and Paints), 97-102, Brazil, 2004.
50. McLaren V.K., *The Colour Science of Dyes and Pigments*, Adam Hilger Ltd., Bristol, England, 1983.
51. McLaren K., Colour passing-visual or instrumental?, *J. Soc. Dyers Colour*, 86, 389-392, 1970.
52. McDonald R., *Color Physics for Industry*, 2th ed., Dyers Company Publication Trust, Bradford, 1997.

# A Review on Methods of Measurement of Sensory Attributes

Razieh Jafari\*

Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received 23 July 2014; Accepted 9 January 2015

## Abstract

One of the most important discussions in psychophysics is related to the measurement and quantifying of the variations in sensory reactions. In a sensory system which physical stimuli are entries and sensations are the outcomes, the measurement functions will be achievable while both the stimuli and sensory reactions are measurable. In color science, the mentioned functions could be applied to investigate the color difference formulae, the color emotion of observers, the way of representing an index to evaluate the objects' color and so on. The application of these functions in textile area is related to investigate the fabric structural properties based on sensory parameters, i.e., fabric handle attribute, softness and fineness. It is noticeable that the final result is based on quantifying of perceived sensory attributes. Clearly, it is difficult to perceive and quantify these psychophysical phenomena. On the other hand, in order to avoid serious errors, unsuitable computation and incorrect results, it is necessary for a researcher to know the measurement methods and the corresponded scales to analyze the achieved data. In this way, the paper tries to review the measurement methods as well as the manner of allocation of scales to sensory attributes.

## Keywords

sensory attributes,  
scale values,  
pair comparison method,  
rank ordering method

(\*) Address Correspondence to R. Jafari, Email: jafari-ra@icrc.ac.ir