



## ارزیابی همانندسازی بافتار تصاویر به روش روان فیزیکی

فاطمه کریم پور<sup>۱</sup>، حسین ایزدان<sup>۲\*</sup>، سید عبدالکریم حسینی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۳- استاد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۳۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر طراحی بافتار طرح‌های استتاری به گونه‌ای است که بتوانند به طور موثرتری نسبت به طرح‌های استتاری مرسوم در زمینه‌های انتخابی پنهان شوند. برای انجام این کار، شش تصویر از محیط‌های مختلف جنگلی انتخاب و سپس در سطح خاکستری و با استفاده از روش فوریه فرکتالی شدند. سپس تعداد رنگ‌های تصاویر فرکتالی شده کاهش یافته و دیجیتالی شدند. آنگاه با بکارگیری یک نمایشگر LCD توصیف رنگی شده، آزمایش شبیه‌سازی تصویری انجام شد. در این آزمایش بیست و چهار مشاهده‌کننده با به کارگیری روش روان فیزیکی کشف و شبیه‌سازی تصویری، بازده پنهان‌سازی سه طرح استتاری حاصل یعنی طرح استتاری مرسوم، طرح فرکتالی و طرح دیجیتالی را ارزیابی نمودند. در این آزمایش روان فیزیکی از مشاهده‌کنندگان خواسته شد به مجرد دیدن طرح استتاری روی پس زمینه انتخابی، بر روی آن کلیک کنند. نتایج آزمون کشف، نشان داد که بازده پنهان‌سازی طرح‌های استتاری فرکتالی و دیجیتالی بسیار بهتر از طرح‌های استتاری مرسوم است و طرح‌های فرکتالی با اختلاف کمی دارای بازده پنهان‌سازی بهتری از طرح‌های دیجیتالی بودند.

واژه‌های کلیدی: استتار، بافتار تصویر، انتقال فوریه، فرکتال، بعد فرکتالی تصویر، روان فیزیک.

## Assessment of the Texture Matching of Images Using a Psychophysical Method

F. Karimpour, H. Izadan\*, S. A. Hosseini

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P.O.Box: 8415683111, Isfahan, Iran

Received: 28-10-2013

Accepted: 21-07-2014

Available online: 11-03-2015

### Abstract

This research is focused on designing the texture of a camouflage pattern in a way that it merges in a chosen background more effectively than a traditional camouflage pattern. To do so, six images of target area were chosen and the images were fractalised, in gray scale form, via Fourier technique. The colour of the fractalised images was reduced and digitalised. Employing a characterised LCD, a photo simulation experiment was made and by conducting a psychophysical method, detection technique, twenty-four observers assessed the hiding efficiency of the three camouflage patterns, named traditional, fractalised and digitalized patterns. In the psychophysical experiment, the observers were asked to click on the patterns as soon as they manage to see them. The experiment showed that the hiding efficiency of the fractalised and the digitalised patterns are much better than the traditional one, and the fractalised pattern outperforms the digitalised pattern, marginally. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 271-281©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Camouflage, Image texture, Fourier transform, Fractal, Fractal dimension of image, Psychophysics.

## ۱- مقدمه

استتار نفرات و ادوات جنگی یکی از موارد پنهان ماندن از دید دشمن است. استتار یکسان سازی با محیط با استفاده صحیح از عوارض طبیعی و مصنوعی است به طوری که کشف، تشخیص و شناسایی هدف توسط دشمن به سختی صورت گرفته یا با تأخیر انجام گیرد [۱]. به طور خلاصه استتار بایستی بر دو فرآیند بینایی کشف<sup>۱</sup> و شناخت غلبه کند. کشف به معنی درک چیزی مهم در میدان دید است. شناخت دو مرحله دارد: آیا آنچه دیده شده یک هدف واقعی است؟ و اگر آن یک هدف واقعی است، دقیقاً چه چیز است؟ [۲] در ناحیه مرئی امواج الکترومغناطیس کشف، تشخیص<sup>۲</sup> و شناسایی<sup>۳</sup> شی، توسط چشم انسان انجام می شود. درک چشمی شامل سه گام است [۳]:

گام اول: این مرحله به شی، خواص فیزیکی آن، زمینه ای که شی در آن قرار دارد، خصوصیات نوری و مدت زمان آشکارسازی وابسته است، گام دوم: این مرحله یک فرآیند فیزیولوژیکی است که به ساختار چشم و چگونگی تشکیل تصویر بر پرده شبکیه بستگی دارد. گام سوم: این مرحله نیز یک فرآیند فیزیولوژیکی است که تصویر بر پرده شبکیه تشکیل شده و توسط مغز به منظور شناسایی جسم تفسیر می گردد. در این مرحله، تصویر فیزیکی شبکیه به یک تصویر ذهنی<sup>۴</sup> بر پایه اطلاعات قبلی مغز تغییر داده می شود.

عوامل تشخیص استتار عبارتند از [۴]:

شکل و اندازه<sup>۵</sup>: شکل و اندازه نقش بسیار مهمی در تشخیص شی در محیط های مرئی و به خصوص شناسایی هوایی بازی می کند. اشیاء و مصنوعات ساخت بشر، دارای شکل و زوایای منظم و طرح و انحنای خاصی هستند. در حالی که پدیده های طبیعی از الگو و شکل خاصی تبعیت نموده و دارای شکل نامنظم و بی قاعده هستند.

رنگ: نور انعکاس داده شده توسط شی به رنگ آن بستگی دارد. اشیاء مختلف مقادیر و طول موج های مختلفی از انرژی نورانی را منعکس می کنند. تبیینی که توسط انعکاس های مختلف نور توسط اشیاء مختلف و زمینه آنها تولید می شود، به این تفسیر کمک می کند. بافتار<sup>۶</sup>: ممکن است دو شی رنگ یکسانی داشته باشند اما اگر بافتار آنها مختلف باشد، می توانند به صورت دو شی جداگانه تشخیص داده شوند. اثر نور و سایه انداختن توسط بافتار ایجاد می شود.

سایه: حتی زمانی که یک شی به طور واضح قابل دید نیست، می تواند به آسانی توسط سایه خود تشخیص داده شود. این مسئله به ویژه در تفسیر عکس های هوایی مفید و سودمند است.

استتار سنتی بر پایه تعدادی از علائم بی قاعده با زوایای نرم و هموار است که مرز بین رنگ ها به خوبی مشخص است. اما امروزه با هدف پنهان سازی مؤثرتر، طرح های استتار دیجیتالی ارائه شده اند. استتار دیجیتالی می تواند مرز بین اهداف استتار شده را بشکند و کلیت آنها را پنهان سازد. در نتیجه با این روش اثر استتاری بهتری حاصل می شود [۱]. دانش استتار دیجیتالی باعث تولید طرح های استتاری بسیاری شده است. الگوریتم های ریاضی با توجه به طرح ها و رنگ های موجود در عکس های دیجیتالی محیط های طبیعی، می توانند الگوهای را تولید کنند که به طور بسیار مطلوبی آن ناحیه ویژه از محیط را همانند می کنند. از آنجا که محیط های طبیعی دستخوش تغییرات فصلی هستند و تجهیزات نظامی در پهنه وسیعی از محیط های طبیعی به کار گرفته می شوند، در نتیجه الگوهای استتاری نیز باید به طور مناسبی در این محیط ها تغییر کنند. استتار دیجیتالی از تلفیق الگوهای کوچک<sup>۷</sup> و الگوهای بزرگ<sup>۸</sup> برای به دست آوردن بالاترین کیفیت در استتار به وجود آمده است. از سال ۱۹۷۸ تا اوایل ۱۹۸۰ یک گردان زرهی امریکایی در اروپا همچنین ارتش استرالیا روی هلیکوپترهایش از طرح استتار دیجیتالی (۲ طرح در یک طرح) استفاده کردند. این طرح های دیجیتالی مثلاً در طرح معروف نیروهای امریکایی MARPAT تلفیقی از الگوی استتار ببری<sup>۹</sup> معروف در جنگ ویتنام و نمونه ای از الگوی DPM<sup>۱۰</sup> انگلیسی است، که لبه های الگوی ببری به وسیله پیکسل ها به صورت پله پله در آمده اند و از رنگ ها و طرح DPM در این استتار استفاده شده است. همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است این الگوهای دیجیتالی در فاصله نزدیک به صورت عنصرهای تصویری (شطرنجی) دیده می شوند ولی در فاصله دور به صورت طرح های معمولی و بزرگ مشاهده می شوند. این همان تلفیق دو طرح کوچک و بزرگ است [۵].

به طرح های استتار دیجیتالی، طرح های فرکتالی<sup>۱۱</sup> نیز گفته می شود [۶]. مبحث فرکتال ها معمولاً در مورد اشیاء هندسی مطرح می شود که دارای دو مشخصه خود تشابهی و ابعاد کسری هستند. فرکتال ها اشکال هندسی ناهموار و یا پراکنده ای هستند که اگر به قسمت های کوچک تر تقسیم شوند هر کدام از قسمت ها حداقل یک قسمت با مقیاس کوچک تر از کل است. به عبارتی فرکتال ها اشکال ناهموار و پیچیده ای هستند که میزان پیچیدگی آنها از اندازه گیری های معمولی تبعیت نمی کنند و معمولاً با بعد فرکتالی مربوطه شان مشخص می شوند [۶].

7- Micropattern  
8- Macropattern  
9- Tiger stripe  
10- Disruptive pattern material  
11- Fractal

1- Detection  
2- Recognition  
3- Identification  
4- Mental image  
5- Shape and size  
6- Texture



ب



الف



ج

شکل ۱: الف) طرح استتار ببری (ب) طرح استتار DPM (ج) طرح استتار دیجیتالی [۳].

در تصاویر طبیعی و بسیاری از تصاویر مصنوعی دارای طیف دامنه فوریبه<sup>۵</sup>  $(1/f^\beta)$  که  $f$  فرکانس است) منظمی هستند که بوسیله فرکتال‌های تصادفی تقلید می‌شوند. توان  $\beta$  جزو اماره‌های درجه دوم است که با بعد فرکتالی تصاویر رابطه‌ای خطی دارد. این خاصیت تصاویر، پایه استتار دیجیتالی را می‌سازد و این خاصیت است که تصاویر فرکتالی را قادر به تقلید تصاویر طبیعی و پس‌زمینه‌ها می‌نماید و سبب استتار بهتر آنها در این پس‌زمینه‌ها می‌گردد [۲]. فرکتال‌ها تصاویری هستند که در آنها ظاهر تصویر با تغییر بزرگ نمایی تصویر تغییر نمی‌نماید. مزیت چنین تصویری داشتن عناصری با اندازه‌های متفاوت است. بنابراین برای هر پس‌زمینه، عناصری از طرح استتاری وجود دارند که اندازه عناصر پس‌زمینه را همانند می‌نمایند [۸].

با وجود اینکه تعریف معناداری از بعد فرکتالی (D) نسبتاً ساده است اما تقریباً برای اکثر سطوح نمی‌توان آن را به دقت محاسبه کرد و بنابراین محاسبه آن عدد با روش‌های تقریبی انجام می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به استفاده از مزیت خود متشابهی، روش شمارش جعبه‌های تفاضلی [۹] و محاسبه بعد فرکتالی به روش طیف توان [۱۰] اشاره کرد. روشی که در این نوشتار از آن صحبت می‌شود

در تصویر معروف لنا<sup>۱</sup> نواحی‌ای وجود دارد که در مقیاس‌های متفاوتی مشابه هستند. بخشی از شانه اوبا بخش کوچک‌تری که تقریباً یکسان و همانند هستند بر روی هم قرار گرفته و همچنین بخشی از انعکاس کلاه او در آینه با قسمت کوچک‌تری از کلاه همانند است. در واقع تفاوت این تصویر با تصاویر خود متشابه ایده‌آل مانند مثلث سرپینسکی<sup>۲</sup> در این است که در مثلث سرپینسکی، تصویر نهایی شامل کپی‌هایی از کل تصویر است اما تصویر لنا شامل تکرارهایی از بخش‌هایی از خود است. در نتیجه در این‌گونه تصاویر به ناچار باید خطاهایی پذیرفته شود [۷]. نتایج حاصل از آزمایشات تجربی حاکی از آن است که اکثر تصاویر طبیعی مانند تصاویر درخت‌ها، چهره‌ها، خانه‌ها، کوه‌ها، ابرها و غیره این‌گونه‌اند.

انسان بدون هیچ زحمتی توانایی تشخیص تصاویری که دارای آماره‌های درجه دوم<sup>۳</sup> متفاوت هستند را داراست (پدیده‌ای که گاهی بیرون زدن<sup>۴</sup> نامیده می‌شود)، درحالی که تصاویری که دارای آماره‌های درجه دوم مشابه هستند به سادگی از هم تشخیص داده نمی‌شوند. اکثر

- 1- Lenna
- 2- Sierpinski Triangle
- 3- Second-order Statistics
- 4- Pop-out

5- Fourier amplitude spectra

طیف فوریه الگوی فرکتالی را ارائه می‌دهد و  $P_f$  نامیده می‌شود. حال با توجه به  $P_f$ ، دامنه و فاز جدیدی برای انتقال فوریه به نام‌های  $A_f$  و  $\Phi_f$  محاسبه می‌شوند. طیف دامنه جدید،  $A_f$ ، خواص فرکتالی مشابه تصویر اصلی را خواهد داشت. با ضرب عنصر به عنصر  $A_f$  و  $\Phi_f$  و اعمال عکس فوریه روی نتیجه این ضرب، تصویر نهایی فرکتالی شده به دست می‌آید [۱۰].

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- دستگاه‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور انجام آزمایش روان- فیزیکی، از یک نمایشگر توصیف رنگی شده LCD<sup>۳</sup> (با ابعاد  $۵۱۸,۴ \times ۳۲۴$  میلی‌متر مربع) مدل Lacie 324i ساخت شرکت Lacie در یک اتاق تاریک، استفاده شد. همچنین برای توصیف رنگی نمایشگر از یک دستگاه کالریمتر Lacie Blue eye pro ساخت شرکت Lacie استفاده شد.

### ۲-۲- روش کار

با استفاده از روش فوریه و با به کارگیری نرم افزار متلب، تصاویر فرکتالی شده شش تصویر خاکستری<sup>۴</sup> مختلف از محیط‌های جنگلی، با ابعاد فرکتالی مختلف، به دست آمد و نهایتاً تصاویر دیجیتالی گردیدند. برای کاهش رنگ این تصاویر از روش خوشه‌بندی میانگین K استفاده شد. شش تصویر مورد استفاده همراه با طرح فرکتالی تولیدی و نیز نمونه فرکتالی کاهش رنگ یافته دیجیتالی شده (نمونه دیجیتالی) همراه با  $\beta$  محاسبه شده آنها که با عدد فرکتالی D رابطه دارد، در شکل‌های ۲ تا ۷ نشان داده شده‌اند.

- 1- Scalar  $v$
- 2- Vector  $v$
- 3- Characterization
- 4- Gray scale

تخمین بعد فرکتالی از طیف فوریه سطح تصویر است. از این رو توضیح مفصل‌تری از آن در ادامه ارائه می‌گردد.

در بسیاری از کاربردهای انتقال فوریه، علاقه به استفاده از مربع طیف دامنه که به آن طیف توان گفته می‌شود، بیشتر است. در رابطه ۱ طیف توان یک سطح فرکتالی نشان داده می‌شود، که به سادگی به بعد فرکتالی آن سطح ارتباط پیدا می‌کند.

$$P(|g|) = \frac{c}{|g|^\beta} \quad (۱)$$

$$|g| = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (۲)$$

در رابطه ۱،  $P$  طیف توان،  $\beta$  توانی است که با بعد فرکتالی سطح تصویر به صورت  $\beta=8-2D$  ارتباط دارد،  $c$  عددی ثابت و  $\theta$  فرکانس است که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. در رابطه ۲،  $\theta_x$  فرکانس در راستای افق و  $\theta_y$  فرکانس در راستای عمود است. با لگاریتم گرفتن از دو طرف رابطه ۱، رابطه ۳ به دست می‌آید.

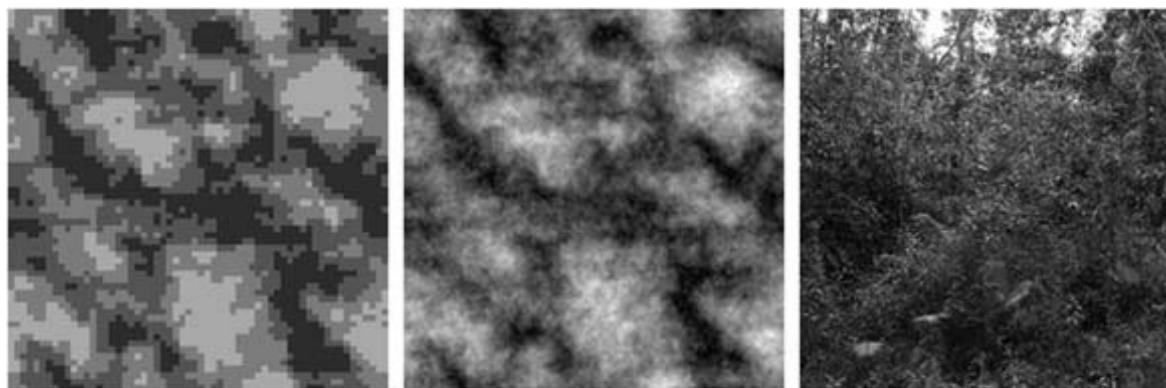
$$\ln P(\theta) = \ln c - \beta \ln |\theta| \quad (۳)$$

با جایگذاری مقدار ثابت  $\ln c$  با  $C$  رابطه ۴ حاصل می‌شود.

$$\ln P(|\theta|) = C - \beta \ln |\theta| \quad (۴)$$

سمت راست رابطه ۴ نشان دهنده یک خط با شیب  $\beta$  برای فرکانس عددی<sup>۱</sup> یا یک سطح مخروطی شکل با شیب مشابه برای فرکانس برداری<sup>۲</sup> دو بعدی است.

هدف اولیه، محاسبه یک مقدار لگاریتمی از طیف توان است. برای این منظور با استفاده از رابطه ۴ و روش حداقل مربعات ضریب‌های  $C$  و  $\beta$  محاسبه می‌شود. با محاسبه  $C$  و  $\beta$  و جایگذاری مجدد آنها در رابطه ۴، ماتریسی  $m \times n$  به دست می‌آید ( $m$  تعداد پیکسل‌ها در راستای طول تصویر و  $n$  تعداد پیکسل‌ها در راستای عرض تصویر) که

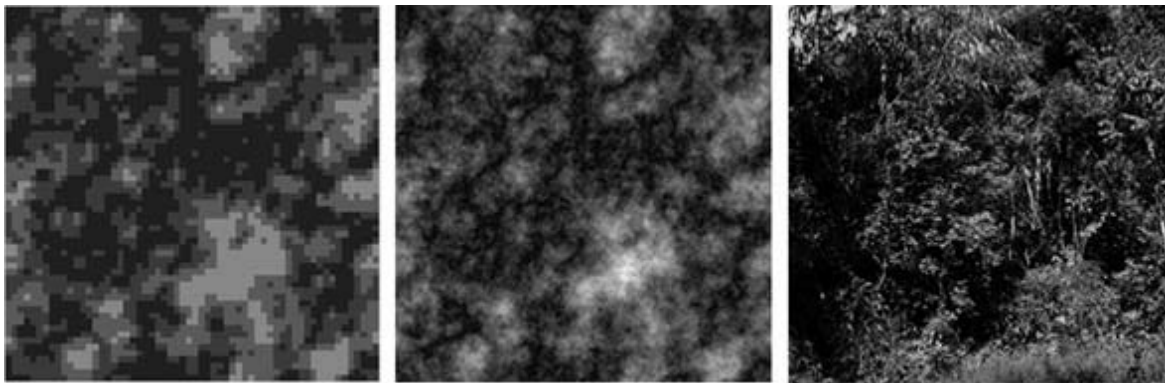


(ج)

(ب)

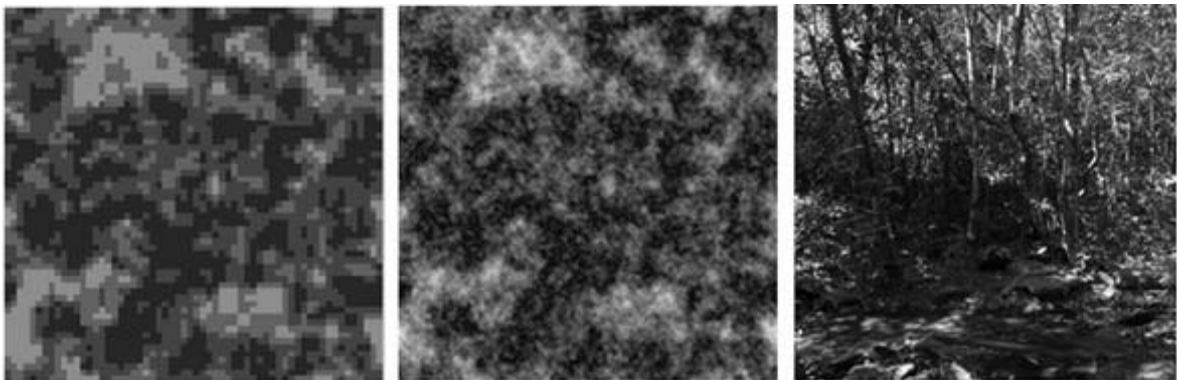
(الف)

شکل ۲: (الف) تصویر اول  $\beta = ۳,۲۰۲۲$ ، (ب) تصویر فرکتالی اول، (ج) تصویر دیجیتالی اول.



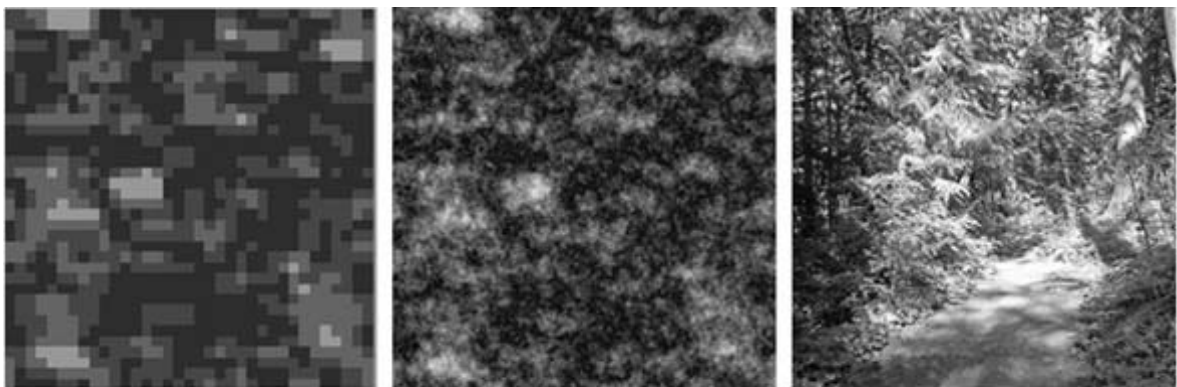
(الف) (ب) (ج)

شکل ۳: الف) تصویر دوم  $\beta=2.9095$ ، ب) تصویر فرکتالی دوم، ج) تصویر دیجیتالی دوم.



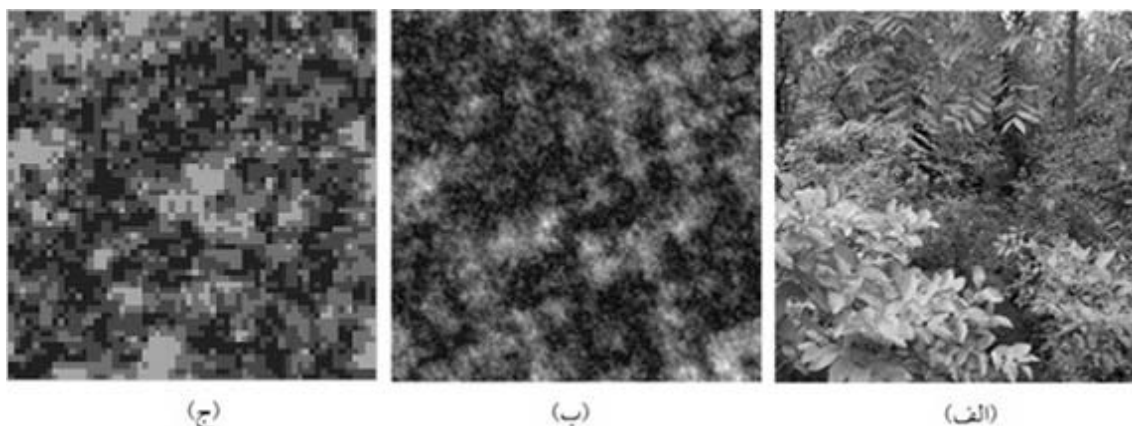
(الف) (ب) (ج)

شکل ۴: الف) تصویر سوم  $\beta=3.3353$ ، ب) تصویر فرکتالی سوم، ج) تصویر دیجیتالی سوم.

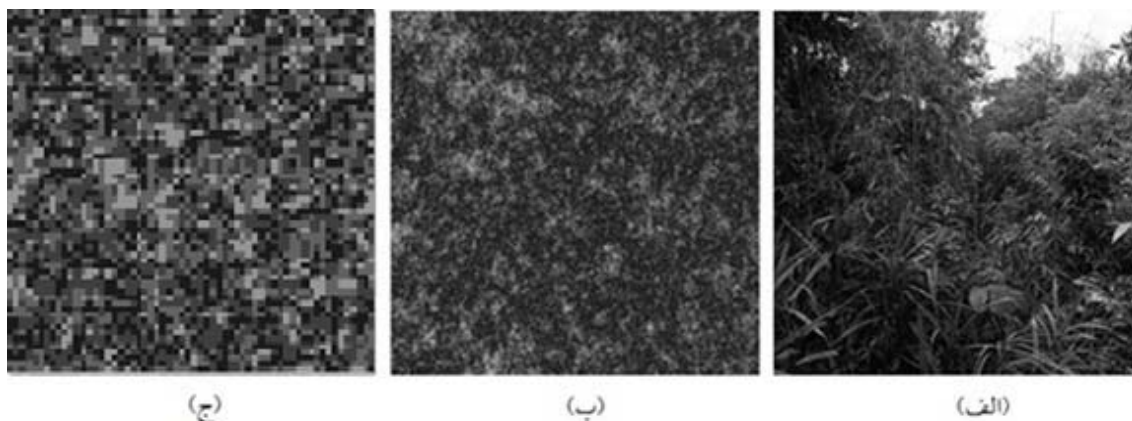


(الف) (ب) (ج)

شکل ۵: الف) تصویر چهارم  $\beta=2.6338$ ، ب) تصویر فرکتالی چهارم، ج) تصویر دیجیتالی چهارم.



شکل ۶: الف) تصویر پنجم  $\beta = 2,6409$ ، ب) تصویر فرکتالی پنجم، ج) تصویر دیجیتالی پنجم.



شکل ۷: الف) تصویر ششم  $\beta = 2,0694$ ، ب) تصویر فرکتالی ششم، ج) تصویر دیجیتالی ششم.

روان - فیزیکی، از یک نمایشگر LCD (با ابعاد  $4,518 \times 324$  میلی‌متر مربع) مدل Lacie324i ساخت کمپانی Lacie در یک اتاق تاریک، استفاده شد. روشنایی نمایشگر نیز در D65 تنظیم شد. تاریک بودن محیط باعث می‌شود که آزمایشات در شرایط کنترل شده‌ای از روشنایی انجام گیرند و هرگونه اثر نورهای اضافی محیط به حداقل برسد. سازنده دستگاه LCD شرایط گاما ۲,۲، دمای نقطه سفید  $k$  ۶۵۰۰ و لومینانس  $120 \text{ cd/m}^2$  را در شرایط روشنایی معمول مناسب می‌داند. اما با توجه به این که محیط کاربردی آزمایش، اتاق تاریک است، بهتر است لومینانس مقدار کمتری انتخاب شود. به کمک روش سعی و خطا (یعنی با تغییر سامان مند مقادیر گاما، لومینانس و نقطه سفید و انجام توصیف رنگی<sup>۱</sup>) بهترین شرایط برای داشتن کمترین اختلاف رنگ، گامای برابر ۱,۸، لومینانس برابر  $110 \text{ cd/m}^2$  و دمای نقطه سفید  $k$  ۶۵۰۰ به دست آمد. این مقادیر در تنظیمات اولیه توصیف رنگی مورد استفاده قرار گرفت [۱۳].

برای اطمینان از سالم بودن دید رنگی مشاهده‌کنندگان، در ابتدای آزمایش از آنها آزمون ایشی‌هارا<sup>۲</sup> گرفته شد [۱۴]. سپس

همچنین از یک تصویر استتار غیرفرکتالی مرسوم (شکل ۸) جهت مقایسه زمان کشف آن با تصاویر فرکتالی شده استفاده شد.



شکل ۸: تصویر طرح استتاری مرسوم.

مقالات متعددی در مورد ارزیابی طرح‌های استتاری با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری وجود دارد که در آنها به جای آزمایش در محیط واقعی از تصاویر محیط و نمونه استتاری در نمایشگر استفاده می‌شود [۱۱، ۱۲]. در این تحقیق به منظور انجام آزمایش

1- Characterization  
2- Ishihara's test

### ۳- نتایج و بحث

#### الف) بررسی نمونه‌های فرکتالی

جدول ۱ میانگین و میانه نمونه‌های فرکتالی را همراه با بازده آنها نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که میانه و میانگین کل هر زمینه، از اطلاعات کل داده‌های مربوطه محاسبه شده‌اند. بازده نیز از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$(5) \quad \text{بازده} = \frac{\text{مقدار کل میانگین یا میانه}}{30} \times 100$$

در این محاسبات زمان ۳۰ ثانیه نشان‌دهنده آن است که مشاهده‌کننده قادر به پیدا کردن نمونه بر زمینه نبوده است. در نتیجه هر چه این اعداد به ۳۰ نزدیک‌تر باشند بازده بهتر است. در مقایسه ۶ تصویر انتخابی، زمینه سوم با میانگین ۲۳،۴۶ و میانه ۳۰ بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. مقدار  $\beta$  برای این تصویر برابر است با ۳،۳۳۵۳. اولویت بعدی مربوط به زمینه پنجم با  $\beta = ۳،۳۳۵۳$  است. سپس زمینه چهارم با  $\beta = ۲،۶۳۳۸$  در رتبه سوم قرار دارد. میانگین و میانه تصاویر اول و ششم تقریباً شرایط یکسانی را برای مشاهده‌کنندگان نشان می‌دهند.  $\beta$  به ترتیب برای تصاویر اول و ششم برابر است با ۳،۲۰۲۲ و ۲،۰۶۹۴. در نهایت کمترین بازده مربوط به زمینه دوم با  $\beta = ۲،۹۰۹۵$  است.

در مقایسه تصاویر فرکتالی در ۵ مکان مختلف روی پس زمینه‌های مربوطه می‌توان گفت که زمان کشف نمونه توسط مشاهده‌کنندگان به موقعیت و محل قرارگیری آن بستگی دارد که شکل ۱۰ نیز این مسئله را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه بعد فرکتالی کل تصویر (که در تولید تصویر فرکتالی از آن استفاده شد) با بعد فرکتالی قسمتی از آن که نمونه روی آن قرار دارد، متفاوت است، نتیجه به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. برای مثال  $\beta$  مکان ۱ در زمینه اول برابر ۲،۰۵۷ است اما برای کل تصویر  $\beta$  برابر است با ۳،۲۰۲۲.

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که موقعیت مکانی نمونه بر زمان کشف آن روی زمینه دوم با اختلاف ۶،۵۳ در میانگین و ۴،۰۲ در میانه بین کمترین و بیشترین مقدار، کمترین اثر را دارد. به طوری که دیدن نمونه فرکتالی بر این زمینه در هر کدام از ۵ مکان انتخاب شده، با توجه به بازده پایین به دست آمده از این تصویر، عملاً برای مشاهده‌کنندگان کار چندان دشواری نبوده است. اثر موقعیت مکانی نمونه بر زمان کشف آن روی زمینه ششم با اختلاف ۱۷،۵۱ در میانگین و ۲۶،۸۶ در میانه بین کمترین و بیشترین مقدار، بیشترین است. به طوری که میانه به دست آمده برابر ۳۰ در مکان دوم نشان از عدم توانایی مشاهده‌کنندگان در دیدن نمونه فرکتالی در این موقعیت را دارد در حالی که این مقدار در مکان ۱ برابر ۳،۱۴ است.  $\beta$  برای مکان ۲ روی زمینه ششم نیز محاسبه شد که برابر با ۲،۰۶ است.  $\beta$  کل تصویر ششم نیز برابر با ۲،۰۷ است. این نزدیکی زیاد در مقادیر  $\beta$  دلیل زمان زیاد کشف یعنی ۳۰ ثانیه برای مکان ۲ در این زمینه است.

مشاهده‌کنندگان در مقابل میزی که نمایشگر بر روی آن قرار داشت نشسته و آزمایش را انجام دادند. فاصله چشم مشاهده‌کننده با سطح نمایشگر در حدود ۵۰ سانتی‌متر تنظیم شد.

آزمایش برای هر مشاهده‌کننده در یک جلسه انجام شد که زمان آزمایش برای هر کدام از آنها حداکثر ۴۰ دقیقه به طول انجامید. در این آزمایش از مشاهده‌کنندگان خواسته شد در مقابل نمایشگر نشسته و به محض دیدن یکی از تصاویر استتار فرکتالی یا تصویر استتار دیجیتالی و یا تصویر استتار مرسوم روی پس زمینه مورد نظر، با استفاده از موس کامپیوتر روی آن کلیک کند. اندازه این سه تصویر استتاری به روش سعی و خطا بر روی پس زمینه بهینه شدند. قابل ذکر است که در این تحقیق اندازه تصویر استتاری بدون توجه به عمق ظاهری تصویر پس زمینه، ثابت در نظر گرفته شد. ترتیب نشان دادن این تصاویر روی پس زمینه کاملاً تصادفی بود. روی هر یک از شش زمینه، پنج مکان مختلف برای نمایش سه طرح مورد نظر انتخاب شد. بدین ترتیب عملاً مشاهده‌کنندگان روی هر زمینه، پانزده انتخاب داشتند. برنامه به طور خودکار زمان کشف آنان را ثبت می‌کرد. شمایی از آزمایش در شکل ۹ ارائه شده است. در این شکل مشاهده‌کننده باید تصویر استتار مرسوم را که در قسمت بالا سمت چپ تصویر وجود دارد کشف نماید.

مدت زمانی که طول می‌کشد تا مشاهده‌کننده یکی از سه نمونه فرکتالی، دیجیتالی و مرسوم را بر پس‌زمینه مورد نظر دیده و روی آن کلیک کند، زمان کشف نمونه توسط مشاهده‌کننده نامیده می‌شود. برای بررسی زمان کشف تصاویر، ۲۴ مشاهده‌کننده در آزمایش شرکت نمودند. از این تعداد ۱۲ نفر زن و ۱۲ نفر دیگر مرد بودند. محدوده سنی کلیه مشاهده‌کنندگان بین ۲۰ تا ۳۰ سال با متوسط سنی ۲۴،۳ بود.



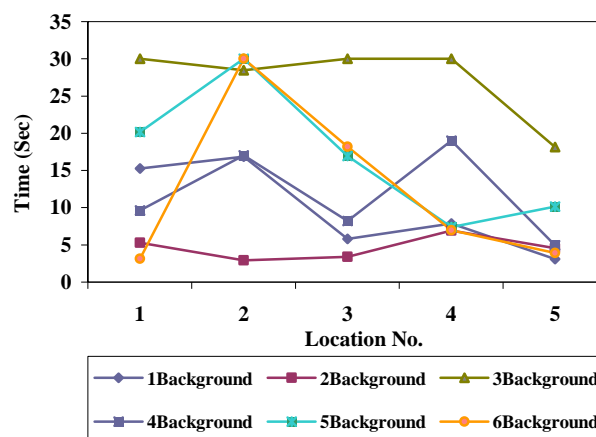
شکل ۹: شمایی از صفحه آزمایش روان فیزیکی زمان کشف تصویر استتاری در نمایشگر LCD.

جدول ۱: میانگین و میانه نمونه‌های فرکتالی بر شش زمینه انتخابی.

موقعیت	زمینه اول		زمینه دوم		زمینه سوم		زمینه چهارم		زمینه پنجم		زمینه ششم	
	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه
۱	۱۷,۱۶	۱۵,۲۵	۶,۱۴	۵,۲۹	۲۵,۲۲	۳۰	۱۲,۱۱	۹,۶۴	۱۸,۱۱	۲۰,۱۶	۴,۰۰	۳,۱۴
۲	۱۷,۲	۱۶,۸۷	۳,۲۱	۲,۹۱	۲۱,۲۲	۲۸,۴۷	۱۸,۹۰	۱۷,۰۴	۲۵,۱۹	۳۰	۲۱,۵۱	۳۰
۳	۷,۳۵	۵,۸۰	۶,۴۴	۳,۴۰	۲۷,۸۶	۳۰	۱۱,۰۸	۸,۲۱	۱۸,۳۰	۱۶,۹۲	۱۹,۳۹	۱۸,۱۹
۴	۱۰,۱۸	۷,۸۵	۹,۷۴	۶,۹۳	۲۳,۷۴	۳۰	۱۸,۷۷	۱۹,۰۲	۹,۵۹	۷,۳۹	۱۱,۲۰	۶,۹۷
۵	۷,۰۴	۳,۰۹	۶,۲۹	۴,۵۷	۱۹,۲۷	۱۸,۱۳	۹,۱۳	۴,۹۵	۱۳,۴۹	۱۰,۱۵	۵,۰۵	۳,۹۱
کل	۱۱,۳۹	۷,۹۷	۶,۳۶	۴,۲۱	۲۳,۴۶	۳۰	۱۴	۱۰,۵۹	۱۶,۹۴	۱۳,۲۵	۱۲,۲۳	۷,۱۷
بازده (%)	۳۸,۰۰	۲۶,۶	۲۱,۲	۱۴,۰۳	۷۸,۲	۱۰۰	۴۶,۷	۳۵,۳	۵۶,۴۷	۴۴,۱۷	۴۰,۷۷	۲۳,۹

نشان داده شده است. این مسئله نیز به اختلاف در بعد فرکتالی کل تصویر نسبت به ناحیه‌ای کوچک از تصویر پس‌زمینه که نمونه بر آن جایگزین شده نسبت داده می‌شود. باید توجه نمود که سعی شده است همه عوامل موثر در قابلیت استتار برای طرح‌ها یکسان باشد و فقط تغییر در بعد فرکتالی طرح‌ها و اثر آن بر قابلیت استتار (با در نظر گیری زمان کشف آنها) بررسی گردد. قابل ذکر است که با این آزمایش، شکست لبه‌ها، ادغام سوژه در زمینه و نیز کاهش تباین بافتار اتفاق می‌افتد که همه از نتایج فرکتالی نمودن تصویر استتاری است.

اثر مکان نمونه بر زمان کشف آن روی زمینه چهارم با اختلاف ۷,۲۶ در میانگین و ۵,۵۸ در میانه بین کمترین و بیشترین مقدار، کمترین است. اثر مکان نمونه بر زمان کشف آن برای زمینه‌های اول و ششم زیاد است. به طوری که اختلاف ۱۷,۵۲ در میانگین و ۲۴,۲۳ در میانه زمینه اول و اختلاف ۱۵,۷۹ در میانگین و ۲۶,۷۴ در میانه زمینه ششم بین کمترین و بیشترین مقدار، وجود دارد.



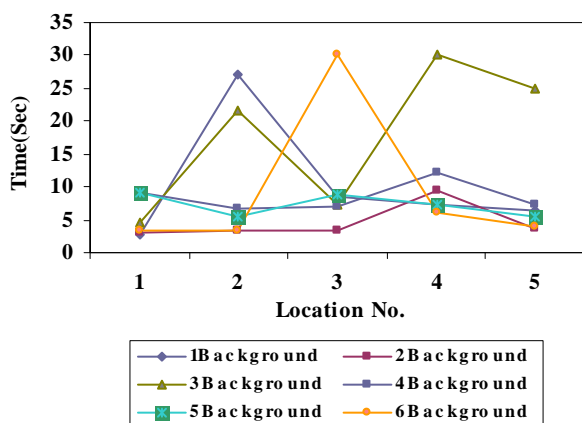
شکل ۱۰: نمودار زمان کشف طرح فرکتالی بر ۵ مکان مختلف روی شش زمینه انتخابی.

### ب) بررسی نمونه‌های دیجیتالی

جدول ۲ میانگین و میانه زمان کشف برای نمونه‌های دیجیتالی را همراه با بازده آنها روی شش زمینه انتخابی نشان می‌دهد.

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، زمینه سوم در نمونه دیجیتالی با بازده برابر ۵۴,۷٪ در میانگین و ۴۱,۷٪ در میانه عملکرد بهتری از پنج زمینه دیگر دارد. در این آزمایش زمینه دوم کمترین بازده را نشان می‌دهد. این نتایج مشابه نتایج حاصل از کاربرد نمونه فرکتالی شده ارائه شده در جدول ۱ است که در آن نیز زمینه سوم با بازده برابر ۷۸,۲٪ در میانگین و ۱۰۰٪ در میانه عملکرد بهتری از پنج زمینه دیگر دارد. اما به طور کلی مقادیر زمانی حاکی از آن هستند که مشاهده‌کنندگان تصاویر دیجیتالی را راحت‌تر از نمونه‌های فرکتالی دیده‌اند که این مسئله به شباهت بیشتر رنگ تصاویر فرکتالی به رنگ پس‌زمینه نسبت به تصاویر دیجیتالی نسبت داده می‌شود.

مکان و موقعیت قرارگیری نمونه‌های دیجیتالی نیز بر زمان کشف آنها توسط مشاهده‌کنندگان اثرگذار بوده است که این امر در شکل ۱۱



شکل ۱۱: نمودار زمان کشف طرح دیجیتالی بر ۵ مکان مختلف روی شش زمینه انتخابی.

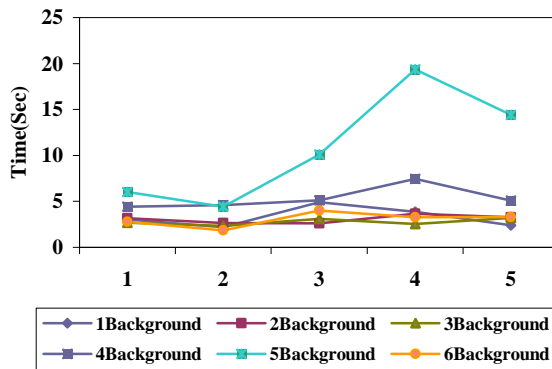


جدول ۲: میانگین و میانه نمونه‌های دیجیتالی بر شش زمینه انتخابی.

موقعیت	زمینه اول		زمینه دوم		زمینه سوم		زمینه چهارم		زمینه پنجم		زمینه ششم	
	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه
۱	۳,۳۴	۲,۸۹	۳,۰۶	۳,۰۰	۷,۱۳	۴,۶۲	۱۱,۶۱	۹,۰۰	۱۲,۲۱	۹,۰۴	۵,۰۷	۳,۳۵
۲	۲۰,۸۶	۲۷,۱۲	۳,۴۱	۳,۳۰	۱۹,۱۴	۲۱,۶۴	۷,۹۹	۶,۶۸	۷,۵۰	۵,۵۹	۸,۵۷	۳,۲۶
۳	۱۱,۹۸	۸,۶۳	۴,۱۸	۳,۲۵	۱۰,۱	۷,۳۹	۷,۸۷	۶,۸۹	۱۳,۹۷	۸,۹۲	۱۹,۹۹	۳۰
۴	۸,۴۵	۷,۴۱	۱۱,۸۰	۹,۳۰	۲۵,۵۴	۳۰	۱۴,۸۱	۱۲,۲۶	۱۱,۹۸	۷,۲۷	۱۰,۱۱	۶,۰۳
۵	۷,۷۷	۶,۴۱	۵,۳۳	۳,۷۵	۲۰,۱۹	۲۵,۰۸	۷,۵۵	۷,۲۱	۷,۳۷	۵,۵۵	۴,۲۰	۳,۸۶
کل	۱۰,۴۸	۷,۱۳	۵,۶۰	۳,۶۰	۱۶,۴۲	۱۲,۵۱	۹,۹۷	۷,۴۲	۱۰,۶۱	۶,۳۹	۹,۵۹	۵,۱۶
بازده (%)	۳۴,۹۳	۲۳,۸	۱۸,۷	۱۲	۵۴,۷	۴۱,۷	۳۳,۲۳	۲۴,۷۳	۳۵,۴	۲۱,۳	۳۲	۱۷,۲

جدول ۳: میانگین و میانه نمونه استتاری مرسوم بر شش زمینه انتخابی.

موقعیت	زمینه اول		زمینه دوم		زمینه سوم		زمینه چهارم		زمینه پنجم		زمینه ششم	
	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه	میانگین	میانه
۱	۳,۲۴	۳,۰۲	۳,۱۲	۳,۱۶	۲,۸۲	۲,۶۷	۶,۰۴	۴,۴۲	۶,۱۸	۶,۰۱	۲,۹۵	۲,۷۸
۲	۲,۳۱	۲,۲۰	۲,۹۰	۲,۶۴	۲,۶۲	۲,۳۳	۷,۶۸	۴,۵۸	۴,۴۶	۴,۴۱	۲,۴۲	۱,۸۶
۳	۶,۲۵	۴,۹۰	۲,۹۲	۲,۶۰	۳,۲۸	۳,۱۰	۷,۱۳	۵,۱۳	۱۳,۳۱	۱۰,۰۹	۵,۱۰	۴,۰۰
۴	۴,۱۹	۳,۸۸	۳,۶۲	۳,۶۷	۳,۰۴	۲,۵۴	۷,۶۶	۷,۴۴	۱۸,۷۱	۱۹,۳۶	۳,۷۳	۳,۲۷
۵	۲,۹۴	۲,۴۰	۳,۲۳	۳,۲۹	۳,۷۷	۳,۲۱	۶,۶۶	۵,۰۷	۱۵,۰۳	۱۴,۴۳	۳,۸۱	۳,۳۰
کل	۳,۷۸	۳,۲۵	۳,۱۵	۳,۰۳	۳,۱۱	۲,۷۷	۷,۰۳	۵,۰۷	۱۱,۹۴	۸,۰۲	۳,۶۰	۲,۹۹
بازده (%)	۱۲,۶	۱۰,۸	۱۰,۵	۱۰,۱	۱۰,۴	۹,۲۳	۲۳,۴	۱۶,۹	۳۹,۸	۲۶,۷	۱۲	۹,۹۷



شکل ۱۲: نمودار زمان کشف طرح استتاری مرسوم بر ۵ مکان مختلف روی شش زمینه انتخابی.

مربوط است به زمینه اول با ۳,۹۴ اختلاف در میانگین و ۲,۷ در میانه. این امر شاید بدین دلیل باشد که تصویر استتاری مرسوم وابسته به بعد فرکتالی تصویر نیست و در هر مکانی که قرار گیرد شرایط تقریباً یکسانی دارد زیرا اصلاً با توجه به بعد فرکتالی تصویر انتخاب نشده است. در تحقیق حاضر با استفاده از روش طیف فوریه و بهره‌گیری از روش‌های پردازش تصاویر رنگی سعی در تولید طرح‌های استتار

ج) بررسی نمونه استتاری مرسوم

جدول ۳ میانگین و میانه زمان کشف نمونه استتاری مرسوم را به همراه بازده آنها برای شش زمینه انتخابی نشان می‌دهد. بررسی نمونه استتاری مرسوم نشان از کاهش قابل توجه زمان کشف در مقایسه با نمونه‌های فرکتالی و همچنین نمونه‌های دیجیتالی دارد. این موضوع به معنای توانایی مشاهده‌کننده در تشخیص سریع نمونه استتاری مرسوم بر شش زمینه انتخابی و در نتیجه بازده استتاری پایین این نمونه‌ها است. همچنین تفاوت میان میانه و میانگین به جز در زمینه پنجم، بسیار ناچیز است که نشان می‌دهد مشاهده‌کنندگان با زمان کشف نسبتاً یکسانی نمونه‌ها را دیده و داده با زمان کشف کم یا زیاد بسیار اندک است یا وجود ندارد.

اختلاف زمان کشف بین پنج مکان قرار گیری نمونه استتاری مرسوم نیز بسیار کم است که شکل ۱۲ این موضوع را نشان می‌دهد. اگر اختلاف بین کمترین و بیشترین مقدار در زمینه پنجم که برابر ۱۲,۵۳ برای میانگین داده‌ها و ۱۴,۹۵ برای میانه داده‌های آن است را جدا کنیم، در ۵ زمینه دیگر کمترین اختلاف مربوط به زمینه دوم با اختلاف بین ۰,۷۲ در میانگین و ۱,۰۷ در میانه و بیشترین اختلاف

تصویر استتاری مرسوم دارد. برای زمینه پنجم در همه مکان‌ها به جز مکان‌های ۴ و ۵ تصویر دیجیتالی نتیجه بهتری از تصویر استتاری مرسوم دارد. البته مقادیر  $\beta$  در این مکان‌های ۴ و ۵ به طور اتفاقی مشابه طرح استتاری مرسوم است که افزایش زمان کشف می‌تواند با این مسئله مرتبط باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

استفاده از طرح‌های استتاری در البسه و تجهیزات نظامی به منظور بالا بردن ضریب امنیت از اهمیت بسزایی برخوردار است. با بررسی استتار در طبیعت این نتیجه حاصل آمده که جهت مخفی‌شدن در محیط علاوه بر مشابهت رنگی با محیط پیرامون، همسانی در بافتار نیز ضروری است و حتی به اعتقاد برخی مسئله بافتار مهم‌تر است. یکی از مزایای مهم یکسان‌سازی بافتار در تصاویر فرکتالی محو لبه‌ها، ادغام سوژه در زمینه و نیز کاهش کنتراست بافتار جسم مستتر در پس زمینه است که امکان کشف آن را کاهش می‌دهد. با این وجود با توجه به اطلاعات نویسندگان مقاله حاضر تاکنون مطالعات جامع و دقیقی برای همانندی بافتار محیط‌های طبیعی ایران انجام نشده و تنها به کپی‌برداری از طرح‌های استتاری کشورهای دیگر بسنده شده است یا حداقل نتایج این تحقیقات منتشر نشده‌اند. در تحقیق حاضر با استفاده از روش فوریه و روش‌های پردازش رقومی تصویر روی تصاویر خاکستری از محیط‌های جنگلی، تصاویر دیجیتالی و فرکتالی از تصاویر اصلی به دست آمد و با به کارگیری شبیه‌سازی کامپیوتری و آزمایشات روان - فیزیکی روش کشف، بازده استتاری هر یک از این طرح‌ها برای شش تصویر جنگلی انتخابی محاسبه و با بازده یک طرح استتاری مرسوم مقایسه شد. نتایج نشان داد که فرکتالی نمودن تصاویر باعث افزایش قابل توجه بازده استتاری نسبت به طرح‌های مرسوم و دیجیتالی شده و طرح‌های دیجیتالی نیز نسبت به طرح‌های استتاری مرسوم از بازده بالاتری برخوردارند.

#### تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه صنعتی اصفهان برای انجام این تحقیق قدردانی می‌شود. هم چنین از مشاهده‌کنندگانی که در آزمایشات روان - فیزیکی این تحقیق شرکت نمودند، سپاسگزاریم.

دیجیتالی شده است تا بتوان برای نمونه‌های استتاری علاوه بر رنگ، بافتار زمینه را نیز همانند نمود. برای کلیه نمونه‌ها مقادیر میانگین و میانه زمان کشف محاسبه شد. اختلاف بین میانگین و میانه در طرح استتاری مرسوم کمتر از طرح‌های فرکتالی و دیجیتالی است. این امر با توجه به عدم وابستگی طرح استتاری مرسوم به بعد فرکتالی تصویر قابل توجیه است. در بررسی نمونه‌های فرکتالی، زمینه سوم با  $\beta = 3,3353$ ، بهترین بازده را نشان می‌دهد. به طوری که میانه دارای بازده ۱۰۰ درصد و میانگین دارای بازده ۷۸,۲٪ هستند. کمترین بازده طرح فرکتالی مربوط به زمینه دوم با  $\beta = 2,9095$  است. در این تصویر میانه بازده مقدار ۱۴,۰۳ و میانگین بازده مقدار ۲۱,۲ را دارد. مقایسه تصاویر فرکتالی در پنج مکان مختلف روی زمینه‌های مربوطه، وابستگی زمان کشف این تصاویر به مکان و موقعیت قرارگیری روی زمینه را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه احتمالاً بعد فرکتالی کل تصویر (که در تولید تصویر فرکتالی از آن استفاده شد) با بعد قسمتی که نمونه روی آن قرار دارد، متفاوت است، نتیجه به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. در بررسی نمونه‌های دیجیتالی نیز بالاترین بازده مربوط به زمینه سوم با بازده ۴۱,۷ درصد در میانه و ۵۴,۷۳ درصد در میانگین است. که البته از بازده طرح فرکتالی نظیر کمتر است.

زمینه دوم در نمونه‌های فرکتالی دیجیتالی نیز کمترین بازده را دارد. بررسی میانه، بازده ۱,۲٪ و میانگین بازده ۱۸,۶۷٪ را نشان می‌دهد. مکان قرارگیری نمونه‌های دیجیتالی نیز بر زمان کشف آنها اثرگذار است. این مسئله همانند آنچه برای نمونه‌های فرکتالی توضیح داده شد به اختلاف در بعد فرکتالی کل تصویر نسبت به محلی که نمونه بر آن جایگزین شده، برمی‌گردد. البته با توجه به مباحث سواد چشمی که در مورد نحوه حرکت چشم در قسمت‌های مختلف تصویر صحبت می‌کند [۱۵] امکان تاثیر این مبحث بر زمان کشف وجود دارد که این موضوع مبحث تحقیقات جدید مولفان مقاله حاضر است. نتایج طرح استتاری مرسوم نشان از کاهش قابل توجه زمان کشف در مقایسه با دو طرح دیگر دارد. این موضوع به معنای توانایی مشاهده کننده در تشخیص سریع طرح استتاری مرسوم بر شش زمینه انتخابی است. به طور کلی، مقادیر میانگین و میانه کل طرح فرکتالی برای هر یک از شش زمینه، نتیجه مطلوب‌تری را ایجاد کرده است. طرح دیجیتالی نیز به جز در زمینه پنجم، بازده نهایی بهتری نسبت به

#### ۵- مراجع

1. B. Wanmin, Q. Mengoi, Research on digital camouflage characteristics of color vision, in Proceedings of 2012 Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), Xian, China, (2012), 14-16.
2. V. A. Billock, D. W. Cunningham, B. H. Tsou, What visual discrimination of fractal textures can tell us about discrimination of camouflaged targets, in Proceedings of Human Factors Issues in Combat Identification, Farnham, UK, (2009), 99-112.
3. M. Friskovec, H. Gabrijelcic, B. Simoncic, Design and evaluation of a camouflage pattern for the Slovenian urban environment. *J. Imaging Sci. Technol.* 54(2010), No. 2,

- 20507-1-20507-11.
4. R. Nambiar, Modern camouflage techniques, <http://www.scribd.com/doc/20980569/Modern-Camouflage-Techniques>, accessed online Nov. 2012.
  5. <http://www.centralclubs.com/topic-t54603.html>, accessed online May 2012.
  6. H. O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe, Chaos and fractals new frontiers of science, *Springer*, New York, 2004.
  7. Y., Fisher, Fractal image compression: Theory and application, Springer, New York, 2004.
  8. A. Toet, M. A. Hogervorst, Urban camouflage assessment through visual search and computational saliency. *Opt. Eng.* 52(2013), 041103-1- 041103-8.
  9. A. Mohammadi, M. Jamzad, Estimation of fractal dimension using quad-tree approach for texture segmentation, in Proceedings of 12<sup>th</sup> International Conference of Iranian Computer Society, Tehran, Iran, (2006), 214-219.
  10. Imagetexture and fractals, [http://forum.sources.ru/index.php?act=Attach&type=post&id=2785450&attach\\_id=5464](http://forum.sources.ru/index.php?act=Attach&type=post&id=2785450&attach_id=5464), accessed online 26/3/2012.
  11. S. Shafiei, S. Gorji Kandi, M. Amani Tehran, Providing a designing assistant software for predicting effectiveness of camouflage patterns. *Passive Defence Sci. Tech.* 2(2011), 231-239.
  12. Photosimulation camouflage detection test, US Army Report NATICK/TR-09/021L, 2009.
  13. B. Labbaf, Investigation into the colour emotion of single colour samples, MSc thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, 2012.
  14. S. S. Ishihara, Ishihara's test for color deficiency 38 plates, Kanehara Trading, 1997.
  15. D. O. Dondis, A primer in visual literacy, MIT Press, Massachusetts, USA, 1973.