Journal of Research on Archaeometry, 2020; 6 (2):127–140

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.52547/jra.6.2.127 URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Identify Hidden Designs in Antique Paintings Using Industrial Radiography

Mahdi Mirzapour[1]*, Effat Yahaghi[2], Maryam Ghiasi Limenjubi[3], Jose Antoni Madrid Garcia[4], Amir Movafeghi[5]

[1] *Assistant Professor, Department of Mathematics, Bu-Ali Sina University, Hamedan, IRAN*
[2] *Associate Professor, Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN*
[3] *Student, Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN*
[4] *Professor, University Institute of Repair, Valencia Polytechnic University, Valencia, SPAIN*
[5] *Associate Professor, Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, IRAN*

Received: 09/24/2020 **Accepted: 12/15/2020**

Abstract
In past centuries, to prevent exquisite paintings, new works of art were painted on them. To identify the hidden paintings on the board, using digital radiography as a non-destructive testing method is recommended. Some phenomenon such as photon scattering, different types of noises, etc. causes on the quality of output radiographs. In this paper, we use two pyramid-based techniques, i.e., the Gaussian pyramid method and the Laplacian pyramid method, to improve the quality of radiographs. The experimental results show the effectiveness of applied techniques for identifying the hidden paintings.
Keywords: Hidden designs, Antique paintings, Industrial radiography, Image processing, Gaussian Pyramid Method, Laplacian Pyramid Method.

Introduction

Artwork in museums is a major source of scientific, historical, and other research related to archeology. Different risks such as rupture, discoloration, and biodegradation threaten the paintings. Insect's attack, natural disasters, and temperature changes are some other risk factors [1-3].

Preservation of art pieces is an essential and challenging task during wars and different social events. In the past, new works of art were painted on existing paintings to prevent the burning of exquisite ones that were not compatible with the post-war social conditions [4-7]. Examples are including portraits of celebrities and leaders. This could also be done due to a lack of raw materials and the obsolescence of many paintings. In some cases, these works were painted by various artists, and there is no information about the process of their changes. There are various methods for detecting defects and hidden designs of boards [6-10]. Regarding the materials used in different layers that are different in each historical period, useful information can be obtained about the designs and other artwork properties. An important issue in art paintings is their preservation and identification of defects without damaging the painting. Various non-destructive techniques are used for this purpose [11-15]. Radiographic examination is an important part of non-destructive testing [16-19]. In radiography, latent patterns and serious damage are revealed due to the

* Corresponding author: m.mirzapour@basu.ac.ir

Copyright© 2020, the Authors | This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any - medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution NonCommercial .terms

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

penetration of X-rays into the underlying layers. X-rays can reveal the hidden image of a painting on different layers [20-22]. Before using the radiographic test, the thickness of the painting layers leads the experts to believe that the painting is not the original and another design has been drawn on it. Radiographic images may suffer from the photons scattering, different noises, geometrical unsharpness, and blurring effects. The quality of the radiographic images can be reduced by those phenomena. Image processing methods can be used to increase the quality of radiographs [23-27].

Methods

Gaussian and Laplacian Pyramids methods

In this research, by using the sub-sampling approach, we constructed an image pyramid, e.g., Fig. 1-A, which leads to two pyramid-based methods, namely the Gaussian pyramid and the Laplacian pyramid [28,29]. The Laplacian pyramid will be construct based on the Gaussian pyramid, i.e., there is a Relationship between Gaussian and Laplacian Pyramids, see Fig. 1-B for more details. The mentioned methods are user-friendly (due to the small number of input parameters), easy to implement and also have low computational cost [28]. Therefore, these methods can be used to improve the quality and reduce the opacity of radiographs. In the following, we briefly describe these methods. We begin with the Gaussian pyramid. Let $I = g_0$ be the input noisy image, i.e., the base of the pyramid. Each layer in the pyramid will be constructed by a reduction operator in the following form

$$\boldsymbol{g_\ell(i,j) = \sum_{m=-2}^{2}\sum_{n=-2}^{2} w(m,n) g_{\ell-1}(2i+m, 2j-n)},$$

where $\boldsymbol{w = \widehat{w} \times \widehat{w}^T}$ is a Gaussian window (filter). In this research, we set

$$\boldsymbol{\widehat{w}^T = [0.0625\ \ 0.25\ 0.375\ 0.25\ 0.0625]}.$$

It is known that the Laplacian pyramid provides an extra level of analysis as compared to the Gaussian pyramid by breaking the image into different isotropic spatial frequency bands [28]. Assume that $\boldsymbol{g_\ell}$ and $\boldsymbol{g_{\ell+1}}$ represent two successive layers (scales) of the Gaussian pyramid. The ℓth layer of the Laplacian pyramid is defined in the following form

$$\boldsymbol{L_\ell = g_\ell - expand(g_{\ell+1})}, \tag{2}$$

where the operator $\boldsymbol{expand(g_{\ell+1})}$ up-samples layer $\boldsymbol{g_{\ell+1}}$ by doubling its size and defined as follows

$$\boldsymbol{expand(g_{\ell+1}(i,j)) = 4\sum_{m=-2}^{2}\sum_{n=-2}^{2} w(m,n) g_{\ell+1}\left(\frac{i-m}{2}, \frac{j-n}{2}\right)}. \tag{3}$$

Therefore, the denoised image can be obtained in the following form

$$\boldsymbol{\widehat{g}_0 = L_0 + expand(g_1)}.$$

In this paper, to improve the contrast of radiographs and enhance their qualities, we use the background removal technique. In this technique, we consider the ℓth layer of an arbitrary pyramid, and using (3) we change its size to the size of original input image I, then by subtracting it from the original image, we obtain the denoised image $\boldsymbol{I_{denoised}}$.

The Gaussian pyramid method and the Laplacian pyramid method are summarized in Algorithm 1 and 2, respectively.

Algorithm 1: The background removal technique using the Gaussian pyramid method

1. Inputs:
   - Noisy image $\boldsymbol{I = g_0}$
   - Number of layers $\boldsymbol{S}$
   - Filter $\boldsymbol{w}$
2. For $\boldsymbol{\ell = 0, 1, \dots, S}$ do
   - Compute the ℓth layer of the Gaussian pyramid using (1)
3. Using expand operator (3) set
   $$\boldsymbol{\widehat{g}_0 = expand(g_S)}$$
4. Set

$\boldsymbol{I_{denoised} = I - \widehat{g}_0}$.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

Algorithm 2: The background removal technique using the Laplacian pyramid method

1. Inputs:
   - Noisy image $\boldsymbol{I} = \boldsymbol{g_0}$
   - Number of layers $\boldsymbol{S}$
   - Filter $\boldsymbol{w}$
2. For $\boldsymbol{\ell} = \mathbf{0}, \mathbf{1}, \dots, \boldsymbol{S}$ do
   - Compute the ℓth layer of the Gaussian pyramid using (1).
   - Compute the ℓth layer of the Laplacian pyramid using (2) and (3).
3. Using expand operator (3) set
$$\hat{\boldsymbol{L}}_{\mathbf{0}} = \boldsymbol{expand}(\boldsymbol{L_S}).$$
4. Set
$$\boldsymbol{I_{denoised}} = \boldsymbol{I} - \hat{\boldsymbol{L}}_{\mathbf{0}}.$$

For evaluating the reconstructed images and their similarity, the peak signal-to-noise ratios (PSNR) and mean squared error (MSE) of images are calculated. Given an original image $I \in \mathbb{R}^{M\times N}$ and its reconstructed image $\mathrm{I_{denoised}} \in \mathbb{R}^{M\times N}$, PSNR and MSE are defined as [29]:

$$\mathbf{PSNR} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{MN}}\mathbf{log}\left(\frac{\mathbf{MN}}{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{M}}\sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{N}}(\mathrm{I(i,j)}-\mathrm{I_{denoised}(i,j)})^2}\right), \tag{5}$$

and

$$\mathbf{MSE} = \sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{MN}}\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{M}}\sum_{\mathbf{j1}}^{\mathbf{N}}\left(\mathbf{I}(\mathbf{i},\mathbf{j}) - \mathbf{I_{denoised}}(\mathbf{i},\mathbf{j})\right)^{\mathbf{2}}}. \tag{6}$$

The radiography procedure

The employed X-ray unit is the TRANXPORTIX 50 X-ray machine made by General Electric®. It has 3 kW output power, a focal spot size of 2.3 mm, and a total filtration of 2 mm of aluminum. The range of high voltage variation is between 20 kVolt to 110 kVolt. The phosphor imaging plates (computed radiography, CR) and conventional industrial radiography films (AGFA® films) are used for X-ray detection and image generation.

Results

The X-ray radiography technique was used to examine hidden designs in valuable paintings. In Fig. 2, the radiographs of paintings of Fig. 1 are shown. It is noticeable that the designs of radiographs are completely different from the design on the canvas or the woods. Besides, the hidden construction detail, defects and damage of painting can also be recognized in radiography of paintings. Therefore, the radiography technique can reveal the hidden designs and help the restorer for better decision. The quality obtained hidden radiographs have been suffering from some blurriness. Digital image processing techniques has been implemented to enhance the quality of the images. For this purpose, the Gaussian and Laplacian Pyramids methods were applied to the images to improve the quality of assessment of hidden paintings. Fig. 4 shows the output of the Gaussian and Laplacian Pyramids methods for Fig. 2-A. It is difficult to find the best threshold level for an unknown dynamic noise and to remove the foggy component of the images. Therefore, a method of the background removal has been utilized. According to Figs. 4 and 5, the high levels of decomposition in the sub-sampling approach are caused a very foggy output images. We subtracted the original radiograph (Fig. 2-A) to the foggy component (Fig.4). The reconstructed images have higher contrast and sharper edges. The reconstructed images in this way are shown in Figs. 6-8 for the burial of the sardine, the scenery and two ladies paintings. It can be seen that the reconstructed images are clearer and have sharper edges in the content of the paintings. Two radiography experts and two restoration specialists evaluated the results. Table 2 shows experts' scores for original and reconstructed radiographs by Gaussian pyramid and Laplace pyramid methods. The professionals' opinions confirm that the reconstructed images are clear and have visualized better than the original ones.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

Conclusion

The results show that radiography is an effective method in identifying hidden paintings. Digital processing of radiographic images can also help for better identification of hidden designs. The effectiveness of the Gaussian Pyramid is to decompose the original radiograph into smoother and to extract the feature or structure of interest, and it can also attenuate the image noise. This goal can be achieved by two simple operations, i.e., smoothing and down-sampling which the former process can smooth the images with a sequence of smoothing filters and the latter operation reduces image size by half after each smoothing. Also, levels of the Laplacian pyramid will be constructed to evaluate the difference between two successive levels of the Gaussian pyramid. When the level of the Gaussian/Laplacian pyramid is obtained, the improved radiograph will be constructed by subtracting its values from the original radiographs. The mentioned methods are implemented on the several painting of the Valencia Museum. The results show the effectiveness of the radiography along with digital image processing techniques for image enhancement of the paintings specimens.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۹؛ ۶(۲): ۱۲۷-۱۴۰

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.52547/jra.6.2.127

URL: http://jra-tabriziau.ir/

دانشگاه هنر اسلامی تبریز ۱۳۷۸

مقاله پژوهشی

شناسایی طرح‌های پنهان در تابلوهای عتیقه با استفاده از پرتونگاری صنعتی

مهدی میرزاپور[۱*]، عفت یاحقی[۲]، سیده مریم قیاسی لیمنجوبی[۳]، خوزه آنتونی مادرید گارسیا[۴]، امیر موافقی[۵]

۱. استادیار و عضو هیئت‌علمی گروه ریاضی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲.دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳.دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۴. استاد و عضو هیئت‌علمی مؤسسه دانشگاهی مرمت و بازسازی، دانشگاه پلی‌تکنیک والنسیا، والنسیا، اسپانیا

۵. دانشیار و عضو هیئت‌علمی پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۵

چکیده

برای جلوگیری از تخریب و سوزاندن تابلوهای نفیس در زمان جنگ و حوادث اجتماعی در گذشته، بر آن‌ها اثر هنری جدید نقاشی می‌شده است. برای شناسایی لایه‌های پنهان تابلوها، استفاده از یک روش عمقی که بتواند طرح‌های زیرین را مشخص کند، مفید است. اشعهٔ ایکس که قابلیت نفوذ در مواد مختلف را دارد، می‌تواند تصویر نهان نقاشی را مشخص کند. قبل از استفاده از آزمون پرتونگاری، ضخیم بودن لایه‌های نقاشی کارشناسان را به این باور می‌رساند که نقاشی اصل نبوده و بر روی آن طرحی دیگر کشیده شده است. مسئلهٔ مهم در بررسی تابلوهای هنری، حفظ آن‌ها و شناسایی نواحی ناقص است. برای این امر فن‌های مختلف غیر مخرب به‌کار گرفته می‌شوند. آزمون پرتونگاری جزئی از آزمون‌های غیر مخرب است. در پرتونگاری به دلیل نفوذ پرتوایکس به لایه‌های زیرین، بدون تخریب و تغییر در نمونهٔ آزمایشی، الگوهای نهان و آسیب‌های عمقی آشکار می‌شوند. تصاویر حاصل از پرتونگاری به دلیل پراکندگی و تضعیف پرتو در قطعه و نیز اندازهٔ چشمه، واضح نیستند و کیفیت پایینی دارند، به این دلیل، شناسایی نواحی عیوب در پرتو نگاره‌ها دشوار است. برای افزایش کنتراست پرتو نگاره‌ها روش‌های پردازش تصویر می‌توانند به‌کار گرفته شوند. در این تحقیق از پرتونگاری برای تشخیص تصاویر پنهان تابلوهای نقاش‌های موجود در موزهٔ والنسیا، اسپانیا استفاده‌شده است. همچنین از دو روش هرم گوسی و هرم لاپلاسی برای بهبود کیفیت و کاهش عدم وضوح پرتو نگاره‌ها استفاده‌شده است که دارای پیچیدگی محاسباتی کم و سادگی بالا در پیاده‌سازی هستند. نتایج، نشان می‌دهند که پرتونگاری روش مؤثری در شناسایی نقاشی‌های پنهان است. با این روش بدون وارد شدن هیچ‌گونه آسیبی به تابلو می‌توان اطلاعات مهمی در مورد طرح‌های پنهان آن به دست آورد. استفاده از الگوریتم‌های پردازشی هرمی لاپلاسی و گوسین در تصاویر پرتونگاری نیز می‌تواند در شناسایی بهتر طرح‌های پنهان کمک کند.

واژگان کلیدی: طرح‌های پنهان، تابلوهای عتیقه، پرتونگاری صنعتی، روش هرم گوسی، روش هرم لاپلاسی

*مسئول مکاتبات: همدان، چهارباغ شهید احمدی روشن، دانشگاه بوعلی سینا، گروه ریاضی، صندوق پستی: ۳۸۶۹۵-۶۵۱۷۸

پست الکترونیکی: m.mirzapour@basu.ac.ir

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

۱. مقدمه

آثار هنری و باستانی ازنظر مادی، فرهنگی و تاریخی ارزش بسیار بالایی دارند و منبعی مهم و اصلی برای تحقیقات علمی، تاریخی و دیگر علوم مرتبط با باستان‌شناسی به شمار می‌روند. این آثار اغلب بسیار گران‌بها و غیرقابل جایگزین هستند و آیینهٔ تمام نمای هویت فرهنگی انسان‌ها در هر قبیله و جامعه‌ای محسوب می‌شوند. هنگامی‌که هنرمندی، کشیدن یک نقاشی را به پایان می‌رساند؛ این اثر هنری از همان لحظه در معرض تغییر و زوال قرار می‌گیرد. تغییرات شدت نور و دمای محیط، تأثیرات رطوبت، گذر زمان (پیری طبیعی)، آسیب‌های تصادفی، آلودگی باکتریایی، حشرات و سایر موارد از عوامل نابودی فیزیکی و تغییر شکل ظاهری آثار هنری به شمار می‌روند. این عوامل موجب ایجاد شوره‌زدگی در سطح نقاشی، گسترش و یا انقباض ترک‌ها، محو شدن رنگ‌دانه‌ها، تیره شدن و تغییرات رنگ، تخریب زیستی و پارگی در تابلوی نقاشی می‌شوند [1,2]. بامطالعه و تجزیه‌وتحلیل بسیاری از آثار هنری که در موزه‌های سراسر جهان وجود دارند، می‌توان اطلاعاتی مهم از نحوهٔ طراحی، نوع مواد به‌کار رفته، رنگ‌دانه‌ها و ساختار مولکولی رنگ‌ها به دست آورد، با استفاده از این اطلاعات، متخصصان می‌توانند روشی خاص برای حفاظت و مرمت آثار پیشنهاد کنند. روش‌های متفاوتی برای تشخیص عیوب و طرح‌های پنهان تابلوها وجود دارد. برای حفظ و نگه‌داری از آثار نقاشی، شناسایی ترکیب شیمیایی نمونه‌ها و دانستن اثرات مکانیسم‌های تخریب، از عوامل حیاتی به شمار می‌روند [3,4].

اگر آسیب‌های زیرسطحی و نقش‌های نهان موجود در تابلوی هنری شناسایی نشوند و جلوی تخریب آن‌ها گرفته نشود، باگذشت زمان صدمات غیرقابل‌جبران به تابلو وارد می‌شود و نقاشی اصلی قابل‌رؤیت نخواهد بود. همچنین در سال‌های گذشته گاهی برای جلوگیری از تخریب و سوزاندن تابلوهای نفیس در زمان جنگ و حوادث اجتماعی، بر آن‌ها اثر هنری جدیدی نقاشی می‌شده که طرح اصلی تابلو را پوشانده است. برای دستیابی به این اطلاعات، لازم است از روش‌های غیر مخرب استفاده شود تا با توجه به شناسایی مواد و طرح‌های زیرین تابلو که در هر دورهٔ تاریخی متفاوت هستند بتوان اطلاعات مفیدی در مورد آن‌ها به دست آورد [1,3,5].

جهت شناسایی عیوب موجود در تابلوهای هنری روش‌های متنوعی به‌کار گرفته می‌شوند و هدف تمام فن‌های مورداستفاده، کشف و آشکارسازی عیوبی است که واضح نیستند و با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. از مهم‌ترین روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای تشخیص آسیب‌ها در نقاشی‌ها، زدودن غبار روی سطح آن‌ها از طریق مکش، ضدعفونی کردن، استفاده از آب‌اکسیژنه و پودرهای پاک‌کننده را می‌توان نام برد، البته باید دقت شود که مواد شیمیایی به‌مرورزمان موجب نابودی آثار هنری می‌شوند و نمونه‌برداری از آثار هنری، موجب تخریب و از بین رفتن آن‌ها می‌شود.

روش‌های دیگری نیز برای شناسایی تخریب تابلوها و طرح‌های نهان آن‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از تصویربرداری چند طیفی[1] (MSI) است که یک روش غیر مخرب محسوب می‌شود [6-8]. این روش قادر است اطلاعاتی را آشکارسازی کند که توسط چشم انسان قابل‌مشاهده نیست. تصویربرداری چند طیفی علاوه بر واضح ساختن الگوهای پنهان، اطلاعاتی دربارهٔ مواد مورداستفاده در نقاشی و شناسایی رنگ‌دانه‌ها نیز در اختیار متخصصان مرمت قرار می‌دهد. این روش، وضوح طیفی محدودی دارد و استفادهٔ مؤثر از این تکنیک به اپراتورهای با تخصص بسیار بالا و دستگاه‌های مکانیکی ویژه‌ای نیاز دارد [9-12]. همچنین استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیز اسپکتروسکوپی پراش انرژی پرتوایکس[2] (SEM-EDS) یکی از انواع روش‌هایی است که برای شناسایی ترکیب شیمیایی نمونه‌ها و مشاهدهٔ ریزساختارها مورداستفاده قرار می‌گیرد [13].

علاوه بر روش‌های بالا، آزمایش‌هایی وجود دارند که بدون آسیب رساندن و ایجاد تغییر در شکلِ ظاهری و وضعیت فیزیکی آثار و قطعه‌های مورد آزمایش به شناسایی عیوب و نقوش و طرح‌های ریز و پنهان کمک می‌کنند که به آزمون‌ها یا ارزیابی‌های غیر مخرب[3]

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

(NDT or NDE) معروف هستند. انواع مختلف آزمون‌های غیرمخرب مانند تصویربرداری فرابنفش، تصویربرداری فروسرخ (مادون‌قرمز)، آزمون‌های فراصوتی و پرتونگاری به‌طور گسترده برای ارزیابی غیرمخرب تابلوهای هنری شناخته‌شده‌اند [8-11] و استفاده می‌شوند. بازرسی چشمی که جزئی از آزمون‌های غیر مخرب است، مهم‌ترین جزء هر تجزیه‌وتحلیل به شمار می‌رود و اطلاعات مربوط به شفافیت لاک و ترک‌های بزرگ رویهٔ نقاشی را ارائه می‌دهد ولی برای شناسایی الگوها و آسیب‌های نهان موجود در تابلوها قابل‌استفاده نیست [14-18].

آزمون پرتونگاری روش دیگری از آزمون‌های غیرمخرب است که علاوه بر کاربرد گسترده در صنعت و پزشکی، در علوم و مطالعات باستان‌شناسی برای شناسایی و تعیین نواحی عیوب پنهان در آثار باستانی هم کاربرد زیادی دارد. اساس آزمون پرتونگاری استفاده از پرتوهای ایکس (طول‌موج 10^{-2}– 10^{-5} میکرومتر) است که توانایی نفوذ بسیار بالایی در اجسام دارند، حتی اجسامی که نور مرئی از آن‌ها عبور نمی‌کند. در این فرایند قسمتی از پرتوها جذب قطعهٔ مورد آزمایش، قسمتی پراکنده و قسمتی نیز حین عبور از قطعه تضعیف و سپس خارج می‌شود؛ این پرتوهای خارج‌شده با برخورد به آشکارسازی که درست پشت نمونه آزمایش قرار دارد، پرتو نگاره‌ها (تصاویر حاصل از پرتونگاری) را ایجاد می‌کنند. آشکارسازها بسته به نوع پرتونگاری متفاوت هستند. به‌طور مثال در آزمون پرتونگاری سنتی از فیلم‌های مخصوص و در آزمون پرتونگاری محاسباتی[4] (CR) از صفحات فسفری[5] تصویرساز به‌عنوان آشکارساز استفاده می‌شود [19-22].

با پرتونگاری تابلوهای هنری می‌توان اطلاعاتی را در مورد تزئینات بوم، طرح‌های مقدماتی و نقوش پنهان بوم، نقایص زیرسطحی و مسیر حرکت قلم‌مو به دست آورد. پرتونگاری تابلوهای هنری به دلیل ضخامت کمِ آن‌ها امری دشوار است و انرژی مورداستفاده برای پرتونگاری به ابعاد تابلو و فاصلهٔ آن تا چشمه نور بستگی دارد، امّا به‌طورمعمول از پرتوهایی باانرژی بین ۲۰ تا ۶۰ کیلوولت برای پرتونگاری استفاده می‌شود.

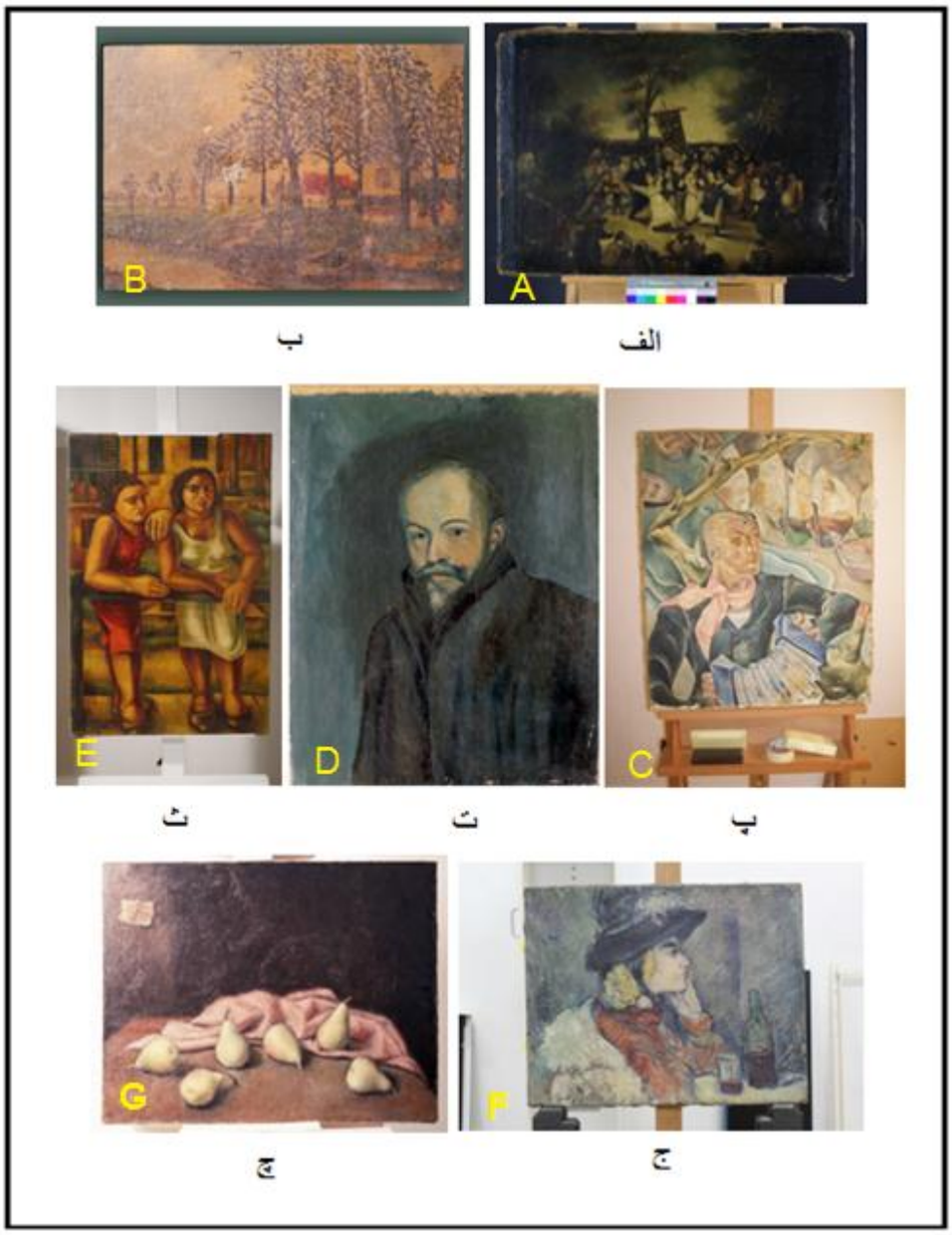
تفسیر صحیح و مناسب پرتو نگاره‌ها برای ارزیابی و به دست آوردن اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر جهت شناسایی الگوهای پنهان، ضروری است. تصاویر پرتونگاری به دلیل پراکندگی ذاتی پرتوایکس و عوامل دیگر مانند انواع نوفه[6] ایجادشده توسط قسمت الکترونیکی دستگاه و پرتوهای پراکنده، کیفیت پایین دارند و خیلی واضح نیستند. تفسیر صحیح آن‌ها نیازمند بهبود کیفیت و افزایش وضوح تصاویر است. به دلیل دیجیتالی بودن پرتو نگاره‌ها می‌توان از روش‌های مختلفی برای بهبود کیفیت آن‌ها استفاده کرد. کوچک کردن نقطهٔ کانونی چشمهٔ پرتوی تابشی، استفاده از صفحات فزون‌ساز و موازی کردن پرتوهای تابشی از روش‌های بهبود کیفیت پرتو نگاره‌ها به شمار می‌روند، اما این روش‌ها نیازمند ایجاد تغییراتی در دستگاه پرتونگاری هستند که هزینه زیادی در بردارند. دقیق‌ترین و مقرون به‌صرفه‌ترین روش برای بهبود کیفیت پرتو نگاره‌ها با حفظ جزئیات آن‌ها استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های پردازش تصویر است. روش‌های پردازش تصویر به‌طورمعمول با الگوریتم‌های مکانی، فرکانسی و فرکانسی–زمانی انجام می‌شود و هرکدام از این الگوریتم‌ها، به‌عنوان‌مثال الگوریتم تبدیل موجک [23-25]، صافی میانگین غیرخطی یا صافی گابور [26-28]، قادر به نمایان‌سازی ویژگی‌های خاصی از پرتو نگارهٔ تابلوهای نقاشی هستند.

با توجه به اینکه پرتونگاری، اغلب برای اهداف صنعتی و پزشکی طراحی‌شده‌اند و پردازش تصویر در این حوزه‌ها قدمت طولانی‌تری نسبت به تابلوهای هنری دارد ولی می‌توان با تغییر مؤلفه‌های الگوریتم‌های پردازش تصویر، کارایی آن‌ها را برای تابلوهای هنری افزایش داد و یا از الگوریتم‌هایی استفاده کرد که کارایی مؤثری در افزایش وضوحِ پرتو نگاره‌های صنعتی و پزشکی ندارند.

در این تحقیق، برای بهبود کیفیت تصاویر پرتونگاری جهت تشخیص الگوهای پنهان موجود در تابلوی هنری از الگوریتم‌های هرم گوسی و هرم لاپلاسی استفاده‌شده است. هدف از ساخت هرم‌های تصویر، نمایش استخراج ساختار و ویژگی‌های تصویر اصلی در مقیاس‌های مختلف برای کاهش نوفه است. در این روش‌ها، با رویکرد نمونه‌کاهی[7]، یک دنباله از تصاویر با ابعاد کوچک‌تر تولید

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

می‌شوند که به تولید هرم تصویر منجر می‌شوند. در روش هرم گوسی، برای ساخت هرم در هر مرحله، از میانگین‌گیری گوسی استفاده می‌شود درحالی‌که در روش هرم لاپلاسی، از یک تبدیل لاپلاس برای ساخت هرم تصویر استفاده می‌شود. در این هرم‌های تصویر، هر لایه نسبت به لایهٔ پایین‌تر خود ابعاد کوچک‌تر و همواری بیشتری دارد. پس از ساخت هرم، برای بازسازی تصویر نوفه‌زدایی شده، ابتدا فیلتری را بر روی هریک لایه‌های هرم اعمال می‌کنند و سپس با رویکرد نمونه‌افزایی[8] تصویر شفاف‌تر هنری است تا با شناسایی بهتر نواحی آسیب‌دیده و نقوش پنهان در پرتو نگاره‌ها، دقیق‌ترین اطلاعات در اختیار مرمتگران قرار گیرد. با این اطلاعات



شکل ۱: تصاویر تابلوها الف- دفن ساردین، ب – چشم‌انداز، پ- مردی با آکاردئون، ت- پرتره انسان، ث- دو زن ج- بانو، د- هنوز زندگی با گلابی

Fig. 1: Painting: A(The burial of the sardine, B) Scenery, C) Man with Accordion, by Genaro Lahuerta, D(Portrait of man, E) Two ladies, F(Lady G) Still Life with Pears by Valentine Durban

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

مرمتگران می‌توانند مناسب‌ترین روش را برای ترمیم و حفظ و حراست از بازسازی می‌شود [28,29]. هدف از این تحقیق، ارائهٔ روشی برای بالا بردن کیفیت پرتو نگاره‌های تابلوهای نقاشی‌ها ارائه کنند. تابلوهای هنری نفیس استفاده‌شده در این تحقیق متعلق به موزهٔ هنری والنسیا در کشور اسپانیا است. الگوریتم هرم گوسی و هرم لاپلاسی بر پرتو نگاره‌های این تابلوها برای وضوح و بالا بردن کیفیت پرتو نگاره‌ها و تعیین نواحی الگوها و نقاشی‌های نهان اعمال‌شده است.

۲. روش‌ها

۲-۱. معرفی تابلوها

هفت تابلو از آثار هنری و تاریخی موزهٔ والنسیا در اسپانیا برای این بررسی انتخاب‌شده که در شکل ۱ نشان داده‌شده‌اند. شکل ۱- الف تابلوی دفن ساردین است که نقاش آن ناشناخته و تکنیک نقاشی، رنگ روغن است. شکل ۱- ب تابلوی چشم‌انداز است که با رنگ‌روغن روی بوم، منظرهٔ زیبای پاییزی را نشان می‌دهد. شکل ۱- پ تابلوی مردی با آکاردئون، اثر جنارو لاهوئرتات را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱- ت، ث و ج تابلوهای پرترهٔ انسان، دو زن و یک بانو را نشان می‌دهند. شکل ۶- چ تابلوی «هنوز زندگی با گلابی» را که توسط والنتین دوربان کشیده شده است، نشان می‌دهد.

۲-۲. پرتونگاری

پرتونگاری با یک دستگاه ترانس پورتیکس ®50 انجام شده که دارای تیوب اشعهٔ ایکس با توان ۳kW و اندازهٔ نقطهٔ کانونی۲/۳ mm با صافی آلومینیومی ۲ mm است. محدودهٔ تغییرات ولتاژ این تیوب بین ۲۰ تا ۱۱۰ کیلوولت است. این دستگاه مولد پرتوایکس، یک سیستم تابش نور مرئی دارد که با پرتوایکس خروجی هم‌راستا شده است و از آن برای مشخص کردن محل بیم روی تابلو استفاده می‌شود. برای پرتونگاری تابلوها از روش پرتونگاری سنتی و پرتونگاری محاسباتی استفاده‌شده است. درروش سنتی از فیلم آکفا و درروش محاسباتی از صفحات CR فسفری استفاده‌شده است. صفحات فسفری تصویرساز برای آشکارسازی اشعهٔ ایکس عبوری از جسم استفاده‌شده است که بعد از پرتوگیری با اسکنر لیزری مخصوص CR 30-X تا ابعاد ۴۰۹۶×۴۰۹۶ پیکسل می‌تواند تصویر دیجیتال تولید کند. با توجه به اینکه ابعاد تابلوها متفاوت هستند، پارامترهای تصویربرداری مانند فاصلهٔ چشمه تا فیلم، جریان و ولتاژ برای ایجاد بهترین پرتو نگاره انتخاب‌شده‌اند. در جدول ۱ مقادیر انتخابی برای پرتونگاری هر تابلو نوشته‌شده است.

۲-۳. الگوریتم‌های هرم گوسی و هرم لاپلاسی

یکی از روش‌های شناسایی و استخراج ویژگی‌های یک تصویر، استفاده از رویکرد نمونه‌برداری است که منجر به تغییر ابعاد تصویر می‌شود. در این رویکرد، یک مجموعه از تصاویر مشابه با ابعاد مختلف جمع‌آوری می‌شود که به این مجموعه، هرم تصویر گفته می‌شود. دلیل این نام‌گذاری این است که وقتی تصاویر این مجموعه با یک ترکیب نزولی (ازلحاظ ابعاد تصویر) در لایه‌های مختلف مرتب می‌شوند، یک‌شکل به‌صورت هرم باقاعدهٔ مربعی شکل ظاهر می‌شود. شکل ۱-الف بیانگر یک هرم تصویر است [29]. دو نوع هرم وجود دارد، هرم گوسی و هرم لاپلاسی. در ادامه به‌طور مختصر این دو نوع هرم و ارتباط بین آن‌ها شرح داده می‌شود.

فرض کنیم تصویر نوفه $I = g_0$ داده‌شده باشد. در هرم گوسی از دو عملگر کاهش (reduce) و افزایش (expand) ابعاد تصویر استفاده می‌کنیم که در عملگر کاهش، تصویر فعلی به یک تصویر با نصف اندازهٔ تصویر اصلی تبدیل می‌شود و در عملگر افزایش، تصویر فعلی به یک تصویر با ابعاد دو برابر اندازه آن تبدیل می‌شود. بنابراین سطح ℓ-ام هرم گوسی به‌صورت $g_\ell = reduce(g_{\ell-1})$ بیان می‌شود و درایه‌های آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شوند:

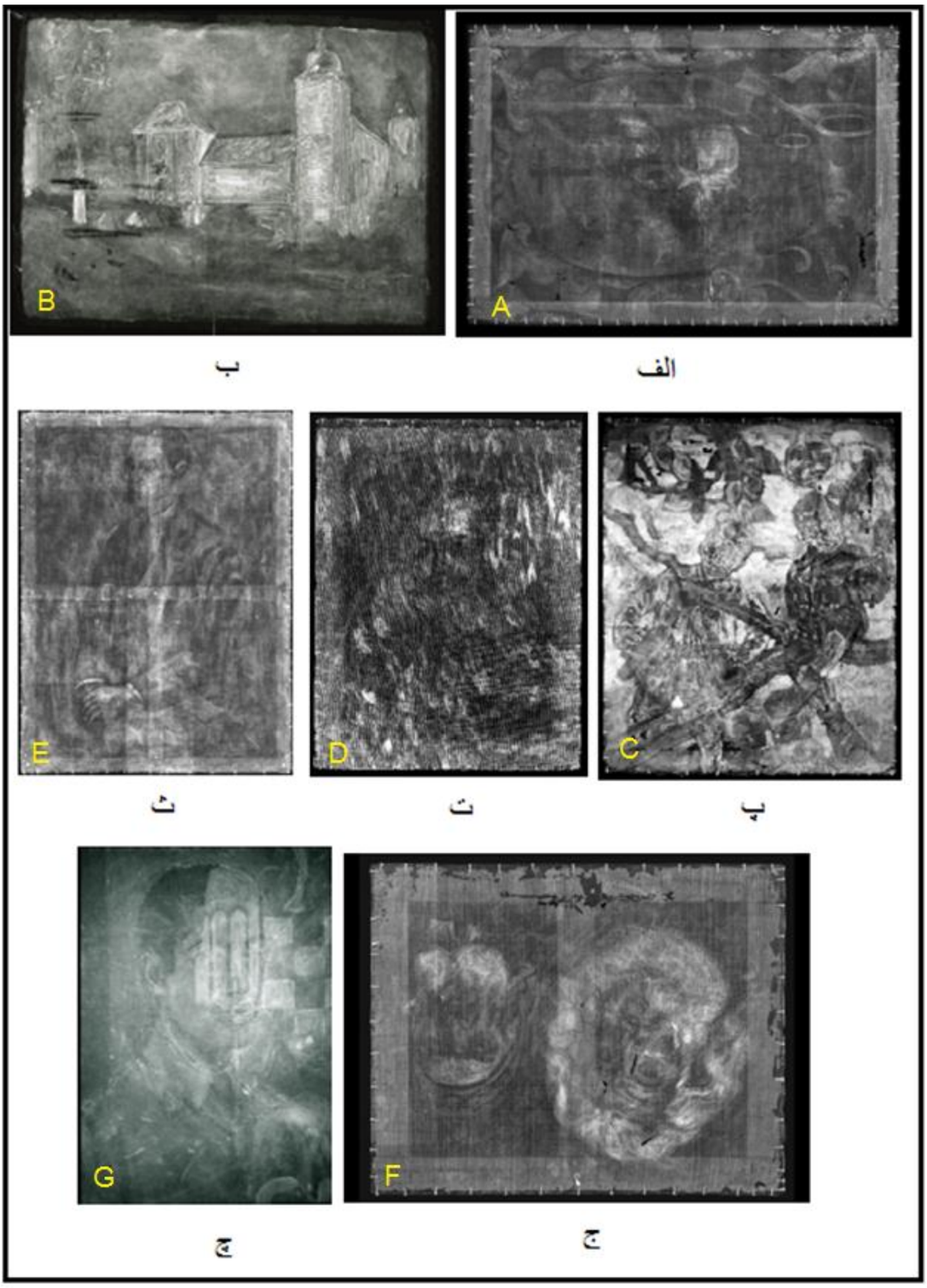
$$g_\ell(i,j) = \sum_{m=-2}^{2}\sum_{n=-2}^{2} w(m,n)\, g_{\ell-1}(2i+m, 2j-n) \quad (۱)$$

که در آن $w = \hat{w} \times \hat{w}^T$ یک پنجرهٔ (فیلتر) گوسی 5×5 است. ما در نتایج تجربی این تحقیق قرار می‌دهیم:

$$w\hat{}\hat{}T = [0.0625\ \ 0.25\ 0.375\ 0.25\ 0.0625]$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هرم گوسی ابتدا

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]



شکل ۲: پرتو نگاره‌های تصاویر تابلوهای شکل ۱ الف- دفن ساردین، ب – چشم‌انداز، پ- مردی با آکاردئون، ت- پرتره انسان، ث- دو زن، ج- بانو، د- هنوز زندگی با گلابی

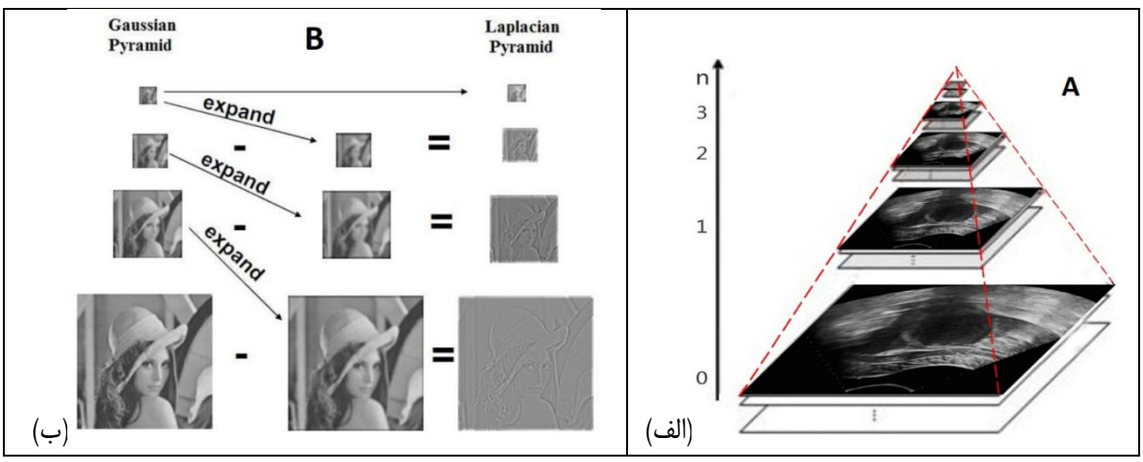
Fig. 2: The radiography of the Paintings in Fig. 1: A) The burial of the sardine, B) Scenery, C) Man with Accordion, by F) Lady G) Still Life with Pears by Valentine Durban Genaro Lahuerta, D) Portrait of man, E) Two ladies,

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

جدول ۱ : مشخصات پرتونگاری تابلوها

Table 1. The parameters of exposure for the painting

Name of painting	Detector type	SFD (cm)	time (Second)	electric current (mA)	voltage (kV)
The burial of the sardine, B-,	CR	300	3	20	51
Scenery	Film	120	1265	20	36
Man with Accordion, by Genaro Lahuerta,	Film	190	600	20	36
Portrait of man,	CR	200	3	20	37
Two ladies,	CR	90	3	20	59
Lady	CR	90	3	20	35
Still Life with Pears by Valentine Durban	Film	196	175	20	32



شکل ۳: الف: یک هرم تصویر [28]، ب: ارتباط بین هرم‌های گوسی و لاپلاسی [29]

Fig. 3: A) An image pyramid [28], B) Relationship between Gaussian and Laplacian Pyramids [29]

فیلتر اعمال و سپس رویکرد نمونه‌کاهی استفاده می‌شود. درنتیجه در زمان افزایش ابعاد، که با رویکرد نمونه‌افزایی انجام می‌پذیرد، پیکسل‌های جدید با وزن دهی گوسی به پیکسل‌های قبلی ساخته می‌شوند.

در هرم لاپلاسی، از یک عملگر لاپلاس بر روی هرم گوسی استفاده می‌شود، بدین معنی که لایه‌ها یا سطوح هرم لاپلاسی از محاسبهٔ اختلاف دو سطح هرم گوسی به دست می‌آیند. ازآنجاکه دو سطح هرم گوسی دارای ابعاد برابری نیستند، سطح با ابعاد کوچک‌تر را با استفاده از عملگر افزایش به یک تصویر هم‌اندازه با تصویر سطح قبلی تبدیل می‌کنیم و اختلاف آن‌ها را به‌عنوان یک سطح از هرم لاپلاسی در نظر می‌گیریم، شکل ۳-ب را ملاحظه کنید. به‌طور دقیق‌تر اگر g_ℓ و $g_{\ell+1}$ بیانگر دو سطح متوالی از هرم گوسی باشند آنگاه سطح ℓ-ام از هرم لاپلاسی به‌صورت زیر ساخته می‌شود [29]

$$L_\ell = g_\ell - expand(g_{\ell+1}) \qquad (۲)$$

که در آن درایه‌های $expand(g_{\ell+1})$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$expand(g_{\ell+1}(i,j)) = 4\sum_{m=-2}^{2}\sum_{n=-2}^{2} w(m,n)\, g_{\ell+1}\left(\frac{i-m}{2},\frac{j-n}{2}\right) \qquad (۳)$$

بنابراین تصویر نوفه‌زدایی شده $\hat{g}_0$ را می‌توان به‌صورت زیر به دست آورد:

$$\hat{g}_0 = L_0 + expand(g_1). \qquad (۴)$$

در این تحقیق برای افزایش کنتراست و شناسایی تصاویر پنهان، از تکنیک حذف زمینهٔ تصویر استفاده شد؛ بدین‌صورت که پس از به دست آوردن یک تصویر مات در لایهٔ ℓ-ام و تغییر ابعاد آن به‌اندازهٔ ابعاد تصویر اصلی

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

$\boldsymbol{I}$، این تصویر مات، از تصویر اصلی کم می‌شود تا تصویر با وضوح بیشتر $I_{denoised}$ به دست آید. نحوهٔ پیاده‌سازی هرم‌های گوسی و لاپلاسی به ترتیب در الگوریتم‌های ۱ و ۲ خلاصه شده است.

الگوریتم ۱: الگوریتم هرم گوسی

۱- ورودی‌ها:
- تصویر نویزی $I = g_0$
- تعداد لایه‌ها S
- فیلتر w

۲- برای $\ell = 0,1,\dots,S$ سطح ℓ–ام هرم گوسی (g_ℓ) را با استفاده از (۱) محاسبه کن.

۳- با استفاده از عملگر افزایش ابعاد (۳)، قرار دهید $g\hat{}_0 = expand(g_S)$

۴- قرار دهید $I_{denoised} = I - \hat{g}_0$.

الگوریتم ۲: الگوریتم هرم لاپلاسی

۱- ورودی‌ها:
- تصویر نویزی $I = g_0$
- تعداد لایه‌ها S
- فیلتر w

۲- برای $\ell = 0,1,\dots,S$
- سطح ℓ–ام هرم گوسی (g_ℓ) را با استفاده از (۱) محاسبه کن.
- سطح ℓ–ام هرم لاپلاسی (L_ℓ) ر با استفاده از (۲) و (۳) محاسبه کن.

۳- با استفاده از عملگر افزایش ابعاد (۳)، قرار دهید $\hat{L}_0 = expand(L_S)$

۴- قرار دهید $I_{denoised} = I - \hat{L}_0$.

برای ارزیابی تصاویر ایجادشده، از نسبت بیشترین مقدار سیگنال به نوفه[9] (PSNR) و خطای میانگین مربعی[10] (MSE) استفاده‌شده است. فرض کنیم تصویر اصلی $\boldsymbol{I}$ و تصویر بعد از حذف نوفه $I_{denoised}$ که هر دو دارای ابعاد $M \times N$ هستند، داده‌شده باشند. PSNR که بیانگر میزان انرژی سیگنال اصلی در برابر انرژی نوفهٔ موجود در سیگنال است به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{PSNR} = \frac{1}{\mathrm{MN}}\log\left(\frac{\mathrm{MN}}{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left(I(i,j)-I_{denoised}(i,j)\right)^2}\right) \quad (۵)$$

مقدار بیشتر PSNR نشان‌دهندهٔ نزدیک‌تر بودن تصویر به تصویر اصلی است. به‌عبارت‌دیگر هرچه این معیار دارای عدد بزرگ‌تری باشد نشان‌دهندهٔ کمتر بودن نوفهٔ موجود در سیگنال دوبعدی و یا تصویر است [29]. MSE که کاربرد وسیعی در ارزیابی انواع سیگنال یک‌بعدی و دوبعدی (تصویر) دارد به‌این‌ترتیب تعریف می‌شود:

$$\mathrm{MSE} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{MN}}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j1}^{N}\left(I(i,j) - I_{denoised}(i,j)\right)^2} \quad (٦)$$

مقدار کمتر MSE نشان‌دهندهٔ شباهت تصویر به تصویر اصلی است.

هر دو الگوریتم هرم گوسی و هرم لاپلاسی با استفاده از نرم‌افزار متلب۲۰۱۶[11] پیاده‌سازی شده‌اند. برای اجرای برنامه‌ها از یک رایانه با پردازندهٔ Intel Core i7-7500U 3.6 GHz و حافظه 8 GB استفاده‌شده است.

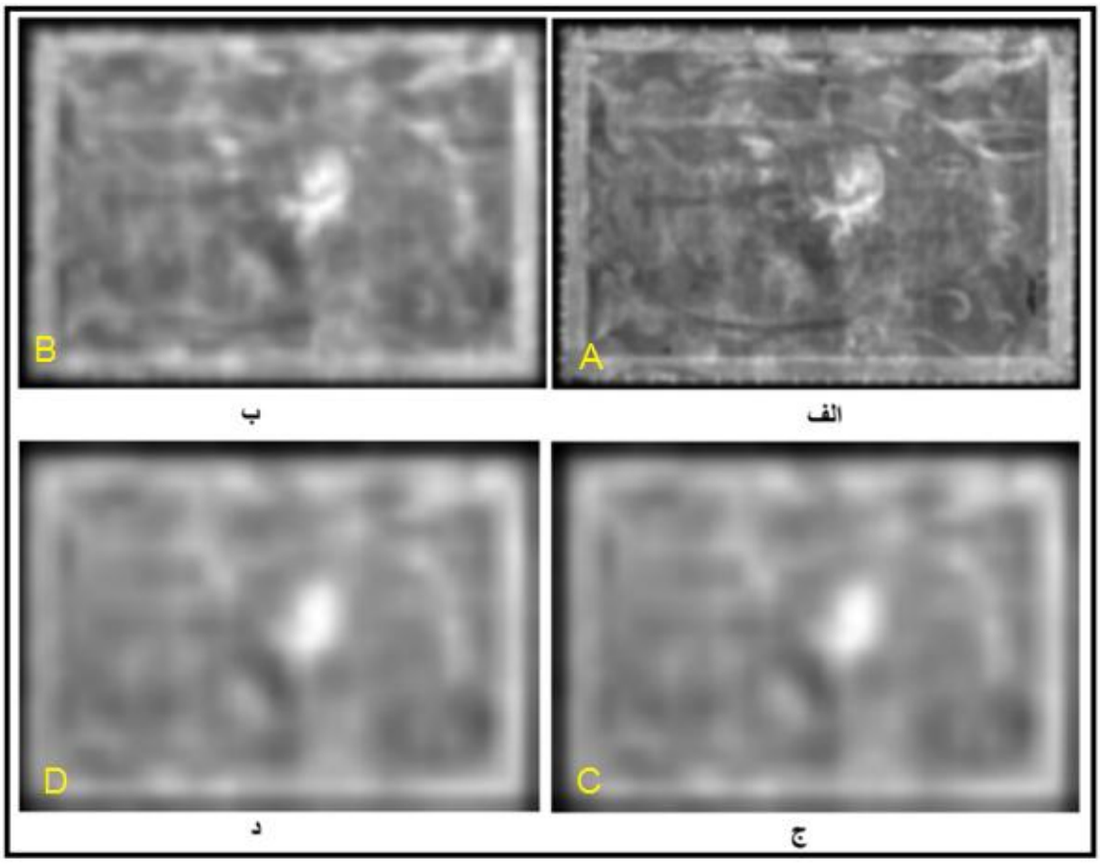
٤. نتایج و یافته‌ها

در این تحقیق برای شناسایی تصاویر پنهان تابلوهای نفیس از پرتونگاری استفاده‌شده است. تابلوها مطابق بخش ۲-۱، پرتونگاری شده‌اند. در شکل ۲ پرتو نگاره‌های تابلوهای شکل ۱ نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تصاویر پرتو نگاره‌ها شباهتی به طرح تابلوهای شکل ۱ ندارند. این نتایج نشان می‌دهند که به علت مسائل مختلف مانند تغییرات اجتماعی و سیاسی جامعه، کمبود امکانات و مواد، اثر دیگری روی تابلوها کشیده شده است. در بعضی از موارد هم شاید عواملی مانند دل‌زدگی طرح در این امر تأثیر داشته‌اند. از روی تصاویر پرتو نگاره می‌توان علاوه بر شناسایی آسیب‌های لایه‌های زیرین به اطلاعاتی در مورد چگونگی کشیده شدن طرح و سابقهٔ تاریخی آن

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

دست پیدا کرد. درروی پرتو نگاره‌های شکل ۲ علاوه بر طرح کلی نقاشی قبلی، محل‌های آسیب به بوم و خراشیدگی نیز دیده می‌شوند. برای استخراج اطلاعات بیشتر و بالا بردن کنتراست تصاویر از دو روش تجزیهٔ هرم گوسی و هرم لاپلاسی استفاده‌شده است. در این دو روش مطابق الگوریتم توضیح داده‌شده در بخش ۲-۲ پرتو نگاره‌ها در چند سطح نمونه‌برداری شده‌اند که هرچه تعداد نمونه‌برداری‌ها بیشتر باشد تصاویر خروجی مات‌تر می‌شود. یعنی در هر دو الگوریتم هرم گوسی و هرم لاپلاسی اساس کار بر نمونه‌برداری تصویر با پنجره‌های مختلف است که به‌طور متوالی در چند سطح انجام و یک پنجره در هر مرحله در تصویر درهم‌پیچیده می‌شود. در شکل ۴ –الف و ج تصاویر حاصل از اجرای الگوریتم هرم گوسی برای پنج و شش سطح و در شکل ۴- ب و د تصاویر برای الگوریتم هرم لاپلاسی برای شکل ۲-الف نشان داده‌شده است. برای بررسی اثر تعداد سطوح در نمونه‌برداری از تصویر از پارامترهای PSNR و MSE استفاده شد. در شکل ۵ نمودار تغییرات PSNR و MSE برای سطوح مختلف نمونه‌برداری برای روش هرم لاپلاسی از تصویر شکل ۲-ب نشان داده‌شده است. برای روش هرم گوسی نیز تغییرات برای این تصویر به همین شکل بوده است. نتایج، نشان می‌دهند که تغییرات PSNR و MSE هر دو صعودی هستند ولی از حدود ۵ سطح به بالا تغییرات کمتر می‌شوند.

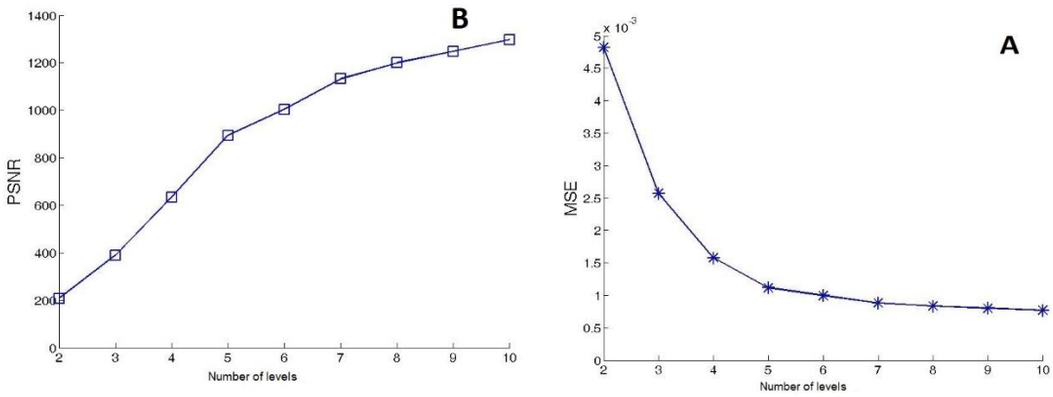
در الگوریتم هرم گوسی و هرم لاپلاسی از یک پنجره با مقدار مشخص استفاده می‌شود که به‌طور متوالی در چند سطح با تصویر کانولوشن می‌شود و تصاویر کوچک‌تری را به وجود می‌آورد. این تصاویر به علت ترکیب پیکسل‌های مجاور، مات شده‌اند که می‌توان باکم کردن آن‌ها از تصویر پرتو نگارهٔ اصلی



شکل ۴: تصویر خروجی (برای شکل ۲- الف): الف و ج- روش هرم گوسی ب و د- روش هرم لاپلاسی برای نمونه‌برداری در سطوح ۵ و ۶

Fig. 4: Output image (for Fig.2-A): A and C) Gaussian pyramid method, B and D) Laplace pyramid method for sampling at levels 5 and 6

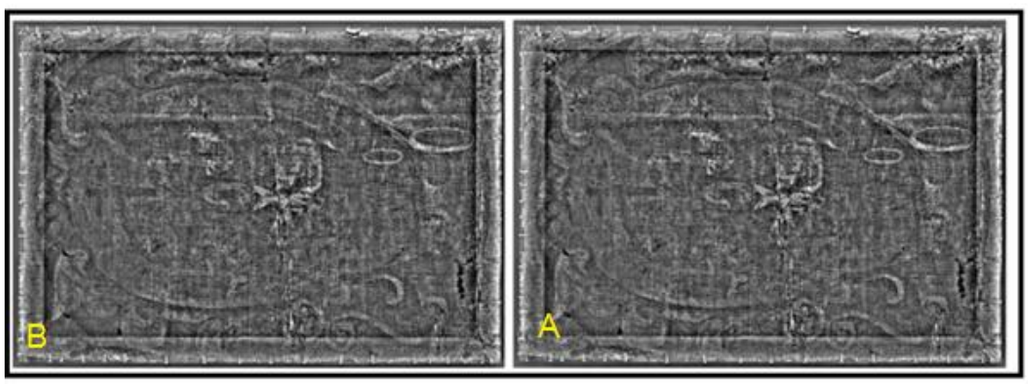
[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]



ب الف

شکل ۵. نمودار تغییرات الف- MSE و ب- PSNR برحسب سطح برای شکل ۲- الف برای روش هرم لاپلاسی

Fig. 5. The variation of A) MSE and B) PSNR with different level for Fig. 2-A for the Laplacian pyramid method.



ب الف

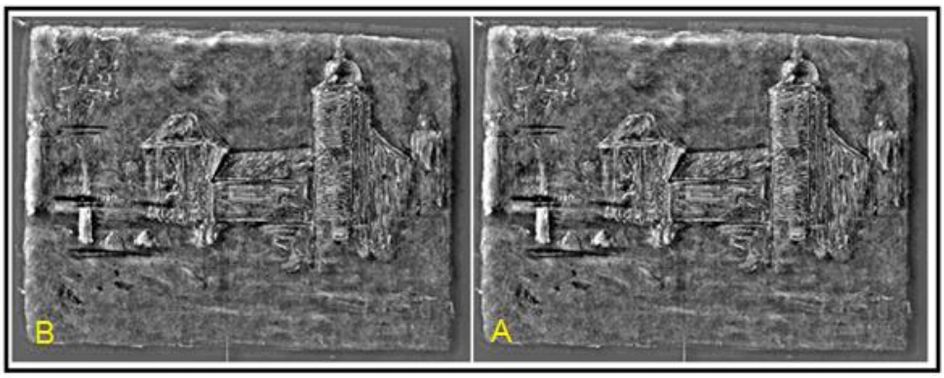
شکل ۶. تصویر ساخته‌شده از کم کردن (شکل ۲- الف) از تصاویر شکل ۳ الف - روش هرم گوسی ب- روش هرم لاپلاسی

Fig. 6: The reconstructed image by subtracting (Fig. 2- A) from the images Fig. 3 A) Gaussian pyramid method, B) Laplacian pyramid method.

تصاویری با وضوح بهتر به دست آورد. بررسی الگوریتم‌های گوسین و لاپلاسین هرمی برای تأثیر تعداد سطوح، نشان می‌دهد که زیادشدن تعداد سطوح نمونه‌برداری سبب ترکیب پیکسل‌ها و کوچک‌تر شدن تصاویر می‌شود که اگر تصاویر، در اندازهٔ تصویر اولیه دیده شوند مات خواهند بود. در شکل ۳ تصاویر خروجی الگوریتم برای شکل ۲-الف در پنج سطح با دو الگوریتم هرم گوسی و هرم لاپلاسی نشان داده‌شده است. مشاهده می‌شود که درهم‌آمیختگی پیکسل‌ها در الگوریتم هرم لاپلاسی بیشتر است و تصویر مات‌تر شده است. در شکل ۶ تصویر حاصل از کم کردن پرتو نگاره شکل ۲-الف از شکل ۴ نشان داده‌شده است. تصاویر حاصل تیزتر از پرتو نگارهٔ اصلی هستند و لبه‌ها در آن‌ها با وضوح بیشتری نشان داده‌شده است. مسیر کشیده شدن قلم‌مو، نواحی کوبیده شدن میخ در بوم، آسیب در نواحی بوم و رنگ‌ها در تصاویر شکل ۶ واضح‌تر از شکل ۲-الف دیده می‌شوند. صلیب و طرح تزئیناتی گل و ساقه نیز بهتر قابل‌تشخیص هستند. برای بهتر دیده شدن نواحی، لازم است آن‌ها را با بزرگنمایی بالا ببینید.

نمونه‌های تصاویر بازسازی‌شده در شکل ۷ و ۸ نشان داده‌شده‌اند. در شکل ۷ تصویر بازسازی‌شدهٔ پرتو نگاره‌های شکل۲- ب برای پنج سطح نشان داده‌شده است. ملاحظه می‌شود که نقوش واضح‌تر شدند و جزئیات بهتر دیده می‌شوند. در شکل۸ تصویر بازسازی‌شدهٔ پرتو نگاره شکل ۲-ث نشان داده‌شده است.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

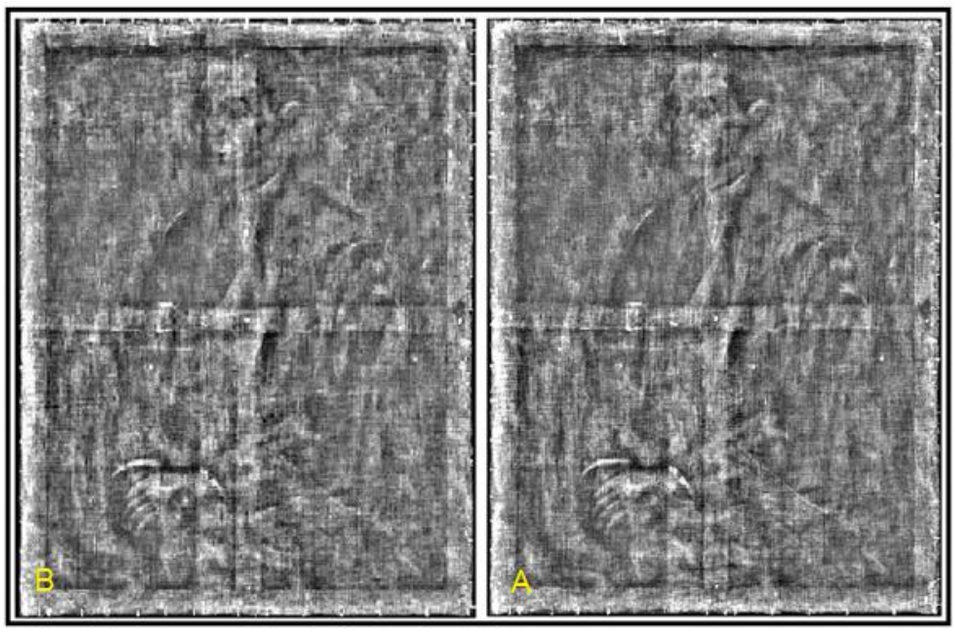


ب الف

شکل ۷: تصویر بازسازی‌شدهٔ پرتو نگاره‌های (شکل۲- ب) برای پنج سطح الف - روش هرم گوسی ب- روش هرم لاپلاسی

Fig. 7: The reconstructed image of radiographs (Fig. 2-b) for five levels, A) The Gaussian pyramid method, B) the Laplacian pyramid method

برای ارزیابی نتایج حاصل، تصاویر بازسازی‌شده به رؤیت سه متخصص پرتونگاری و یک متخصص مرمت و بازسازی آثار باستانی رسید و از آن‌ها خواسته شد که امتیازاتی بین یک تا پنج، به تصاویر پرتو نگارهٔ اصلی و تصاویر بازسازی‌شده با دو روش، اختصاص دهند. نتایج این ارزیابی برای هفت تابلوی مذکور برحسب درصد در جدول ۲ ثبت‌شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تابلوهای مردی با آکاردئون و پرترهٔ انسان بعد از پردازش بهبود زیادی نیافته‌اند. علت این امر، پردازش تصاویر بعد از اسکن شدن آن‌ها با اسکنر فیلم بوده است. این دو تصویر به روش پرتونگاری سنتی تهیه‌شده‌اند ولی برای سایر تابلوها تصاویر بهبودیافته‌اند و جزئیات آن‌ها ازنظر داوران بهتر دیده می‌شوند.



ب الف

شکل ۸: تصویر بازسازی‌شدهٔ پرتو نگاره‌های (شکل۲- ث) برای پنج سطح الف -روش هرم گوسی ب- هرم لاپلاسی

Fig. 8: The reconstructed image of radiographs (Fig. 2-c) for the five levels A) Gaussian pyramid method, B) Laplace pyramid

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

جدول ۲: درصد امتیازات متخصصان به پرتو نگاره‌های اصلی و بازسازی‌شده با دو روش هرم گوسی و هرم لاپلاسی
Table 2: Percentage of experts' scores on original and reconstructed radiographs by Gaussian pyramid and Laplace pyramid methods

Name of painting	Original radiograph	Reconstructed by Gaussian Pyramid method	Reconstructed by Laplacian Pyramid method
The burial of the sardine, B-,	68%	92%	91%
Scenery	72%	93%	94%
Man with Accordion, by Genaro Lahuerta,	92%	92%	92%
Portrait of man,	93%	92%	91%
Two ladies,	81%	96%	96%
Lady	81%	96%	95%
Still Life with Pears by Valentine Durban	79%	91%	91%

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، از پرتونگاری برای بررسی نقش‌های پنهان تابلوهای اثری استفاده‌شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که استفاده از این روش در آشکارسازی نقوش، بدون ایجاد اثرات تخریبی روی تابلو کارایی خوبی دارد. همچنین برای بهتر دیده شدن نقوش از روش‌های پردازشی هرم گوسی و هرم لاپلاسی استفاده‌شد که بر اساس ترکیب پنجره‌ای پیکسل‌ها کار می‌کنند. با این دو روش قسمت مات‌کننده تصویر استخراج‌شده و با کم کردن از تصویر اصلی، تصویری با جزئیات بهتر به‌دست‌آمده است. نتایج نشان می‌دهند که هر دو روش پردازشی کارایی یکسانی دارند و ازنظر متخصصان هردو به یک اندازه در بهبود تصویر تأثیر دارند.

پی‌نوشت‌ها

1. Multi Spectral Imaging
2. Scanning Electron Microscope Equipped with X-ray energy Diffraction Spectroscopic
3. analysis
4. Non-destructive testing or Non-destructive evaluation
5. Computed Radiography
6. Phosphor plate
7. Noise
8. Down-sampling
9. Up-sampling
10. Peak Signal to Noise Ratio
11. Mean Square Error
12. MATLAB

References

[1] Hadadi M, Mohammdi M, Study the repair documents of Golestan, Saheb-gheranieh and Farah Abad Palace Tableaus, Ganjine-ye Asnad, Spring 2013; 23(1):86-99. [in Persian]
[حدادی محمد.، محمدی آچاچلویی محسن.، بررسی اسناد تعمیرات تابلوهای کاخ گلستان، صاحبقرانیه و فرح آباد، فصلنامهٔ گنجینهٔ اسناد، سال بیست و سوم، دفتر اول، بهار ۱۳۹۲.]

[2] Maev RG, Gavrilov D, Maeva A, Vodyanoy I. Modern non-destructive physical methods for paintings testing and evaluation. In Proceedings of the 9th International Conference on NDT of Art 2008 May 25 (pp. 25-30).

[3] Gavrilov D, Maev RG, Almond DP. A review of imaging methods in analysis of works of art: Thermographic imaging method in art analysis. Canadian Journal of Physics. 2014; 92(4):341-64.

[4] Ghanooni M. Report on the maintenance and restoration of the painting of the camp by the river by Kamal Ol-Molk. Library, Museum and Document Center Islamic Consultative Assembly, 2019.
[قانونی محسن.، گزارش نگاهداشت و مرمت تابلو نقاشی منظره اردوگاه در کنار رودخانه اثر کمال الملک، کارگاه مرمت موزه مجلس، کتابخانه موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی؛ ۱۳۹۸.]

[5] Afzali N, Vatan-Parast R. Pathology and erosion analysis of oil paintings on Kamal-ol-Molk canvas in Golestan Palace. Athar Journal. Spring 2017, 38(76): 3-76.
[افضلی نرگس.، وطن‌پرست رسول، آسیب‌نگاری،

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]
[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]
[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

آسیب‌شناسی و تحلیل فرسودگی‌های نقاشی‌های رنگ‌روغن روی بوم کمال الملک در کاخ گلستان، اثر فصلنامه علمی فنی هنری؛ بهار ۱۳۹۶.]

[6] Baronti S, Casini A, Lotti F, Porcinai S. Multispectral imaging system for the mapping of pigments in works of art by use of principal-component analysis. Applied optics. 1998 Mar 10; 37(8):1299-309.

[7] Casini A, Lotti F, Picollo M, Stefani L, Buzzegoli E. Image spectroscopy mapping technique for noninvasive analysis of paintings. Studies in conservation. 1999 Jan 1; 44(1):39-48.

[8] Balas C, Papadakis V, Papadakis N, Papadakis A, Vazgiouraki E, Themelis G. A novel hyper-spectral imaging apparatus for the non-destructive analysis of objects of artistic and historic value. Journal of Cultural Heritage. 2003 Jan 1; 4: 330-7.

[9] Fischer C, Kakoulli I. Multispectral and hyperspectral imaging technologies in conservation: current research and potential applications. Studies in Conservation. 2006 Jun 1; 51(sup1):3-16.

[10] Vilaseca M, Pujol J, Arjona M, de Lasarte M. Multispectral system for reflectance reconstruction in the near-infrared region. Applied optics. 2006 Jun 20; 45(18):4241-53.

[11] Cristoforetti G, Legnaioli S, Palleschi V, Salvetti A, Tognoni E. Optical chemical sensors for cultural heritage. InOptical Chemical Sensors 2006 (pp. 515-526). Springer, Dordrecht.

[12] Bonifazzi C, Carcagnì P, Fontana R, Greco M, Mastroianni M, Materazzi M, Pampaloni E, Pezzati L, Bencini D. A scanning device for VIS–NIR multispectral imaging of paintings. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. 2008 May 1; 10 (6):064011.

[13] Arbabi F. Restoration of several pins excavated from Salmabad village in Khosf (South Khorasan). Bi-annual Journal of Restoration Science and Culture Heritage; Spring 2018, 5(9):1-11. [in Persian]

[اربابی فائزه، مرمت چند نمونه سنجاق مکشوفه از سلم آبادِ خوسف (خراسان جنوبی). دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی؛ ۱۳۹۷.]

[14] Taft WS, Mayer JW. The science of paintings. Measurement Science and Technology, 2001.

[15] Berezhnoy IE, Postma EO, van den Herik HJ. Authentic: computerized brushstroke analysis. In2005 IEEE International Conference on Multimedia and Expo 2005 Jul 6 (pp. 1586-1588).

[16] B. Raj, "Practical N.D.T.", Alpha Science, 3th edition, 2007.

[17] Cortz L. Non-Destructive Testing. ASM International; 1995.

[18] Toyserkani H. Nondestructive evaluations, Jahad Daneshgahi, Isfahan, 2015. [in Persian]

[تویسرکانی ح.، بررسی‌های غیرمخرب. اصفهان: جهاد دانشگاهی؛ ۱۳۹۴.]

[19] Bridgman CF. The amazing patent on the radiography of paintings. Studies in Conservation. 1964 Nov 1; 9(4):135-9.

[20] Nacereddine N, Drai R, Benchaala A. Weld defect extraction and identification in radiograms based neural networks. InProc. IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications, Crete, Greece 2002 Jun 25 (pp. 38-43).

[21] Movafeghi A, Kargarnovin MH, Soltanian-Zadeh H, Taheri M, Ghasemi F, Rokrok B, Edalati K, Rastkhah N. Flaw detection improvement of digitised radiographs by morphological transformations. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. 2005 Oct 1; 47(10):625-30.

[22] Felisberto MK, Lopes HS, Centeno TM, De Arruda LV. An object detection and recognition system for weld bead extraction from digital radiographs. Computer Vision and Image Understanding. 2006 Jun 1; 102(3):238-49.

[23] Daubechies I, Defrise M, De Mol C. An iterative thresholding algorithm for linear inverse problems with a sparsity constraint. Communications on Pure and Applied Mathematics: A Journal Issued by the Courant Institute of Mathematical Sciences. 2004 Nov; 57(11):1413-57.

[24] Carrasco MA, Mery D. Segmentation of welding defects using a robust algorithm. Materials Evaluation. 2004; 62(11):1142-7.

[25] Carvalho AA, Suita RC, Silva RR, Rebello

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]

JM. Evaluation of the relevant features of welding defects in radiographic inspection. Materials Research. 2003 Jun; 6(3):427-32.

[26] Lampert CH, Blaschko MB, Hofmann T. Efficient subwindow search: A branch and bound framework for object localization. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2009 Jul 17; 31(12):2129-42.

[27] Mery D, Riffo V, Zuccar I, Pieringer C. Automated X-ray object recognition using an efficient search algorithm in multiple views. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops 2013 (pp. 368-374).

[28] Liao X, Yuan Z, Zheng Q, Yin Q, Zhang D, Zhao J. Multi-scale and shape constrained localized region-based active contour segmentation of uterine fibroid ultrasound images in HIFU therapy. PloS one. 2014 Jul 25; 9(7):e103334.

[29] Leavline EJ, Sutha S. Design of FIR Filters for Fast Multiscale Directional Filter Banks. International Journal of u- and e-Service, Science and Technology. 2014; 7(5):221-34.

[Downloaded from jra-tabriziau.ir on 2023-03-17]

[DOR: 20.1001.1.24764647.1399.6.2.10.6]

[DOI: 10.52547/jra.6.2.127]