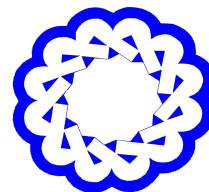


## موجک‌ها و جبرخطی

<http://wala.vru.ac.ir>



دانشگاه ولیعصر (عج)

رفسنجان

# نهان‌نگاری تصاویر رنگی مبتنی بر تبدیل موجک گسسته و تکنیک آلفابلندینگ بهینه امیر حقیقی\*آ، لادن سلیمی آ گروه ریاضی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

## چکیده

نهان‌نگاری عمل پنهان‌سازی مجموعه‌ای از اطلاعات در محدوده تصویر، صوت، ویدیو و یا هر سیستم رسانه‌ای دیگر در محیط کاری خود است. با توجه به اهمیت محافظت از حق کپی در سال‌های اخیر، محققان زیادی در زمینه نهان‌نگاری به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های پنهان‌سازی اطلاعات مشغول ارائه الگوریتم‌های جدید هستند. در این مقاله، یک الگوریتم نهان‌نگاری بهینه در حوزه تبدیل موجک گسسته روی تصاویر خاکستری و رنگی ارائه شده است. در الگوریتم ارائه شده، ابتدا یک تبدیل موجک گسسته سه سطحی روی تصویر میزبان اعمال شده و محتوای نهان‌نگاره در زیر باند فرکانس پایین حاصل از این تجزیه سه مرحله‌ای، جاسازی می‌گردد.

موجک‌ها و جبرخطی (۱۴۰۰) ©

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت شده: ۱۱ آبان ۱۳۹۸  
پذیرفته شده: ۲۵ مرداد ۱۳۹۹  
دسترسی آنلاین: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۰

ادیتور رابط: علی توکلی

کلمات کلیدی:

نهان‌نگاری، تبدیل  
موجک گسسته، تکنیک  
آلفابلندینگ، بهینه‌سازی  
مقید، نرم افزار گمز.

در این روش، جهت انجام فرایند جاسازی و استخراج تصویر از روش آلفابلدینگ با پارامترهای بهینه استفاده می‌شود. در این راستا، ابتدا برای کاهش پیچیدگی محاسباتی معیاری برای نزدیکی دو تصویر معرفی شده است. سپس براساس معیار بیان شده، با استفاده از مفاهیم بهینه‌سازی و با پیاده‌سازی در نرم افزار گمز مقادیر بهینه‌ای برای ضرایب روش آلفابلدینگ بدست می‌آید. انجام عملیات جاسازی و استخراج به ازای این مقادیر بهینه باعث می‌شود که یک تصویر نهان‌نگاری شده نامرئی با حفظ کیفیت اولیه تصویر میزبان بدست آورده شود. در انتها برای ارزیابی کیفیت تصاویر نهان‌نگاری شده، از معیارهای سنجشی PSNR، NC و MSE استفاده شده است. نتایج ارزیابی نشان دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی است.

## ۱. مقدمه

با توجه به رشد تکنولوژی دیجیتال در دو دهه اخیر، عمل پنهان‌سازی نامحسوس اطلاعات در محتوی دیجیتال رشد چشمگیری داشته است. نهان‌نگاری<sup>۱</sup> یکی از بهترین روش‌ها جهت تشخیص و محافظت از محتوای دیجیتال در بین دیگر روش‌های موجود چون رمزنگاری<sup>۲</sup> است. با وجود مزایای گسترده این روش، متأسفانه به کارگیری تکنیک‌های نهان‌نگاری می‌تواند باعث آسیب رساندن به اطلاعات حساس موجود در رسانه میزبان شود. این موضوع سبب عدم بازیابی دقیق اطلاعات جاسازی شده در سمت گیرنده خواهد شد. لذا، یک فاکتور مهم برای الگوریتم‌های نهان‌نگاری میزان برگشت‌پذیری آن‌هاست، به این مفهوم که اطلاعات جاسازی شده به طور کامل قابل استخراج باشد. در سال‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های نهان‌نگاری برگشت پذیر به علت کاربردهای حساس و مهم آن در اهداف نظامی، پزشکی و آموزشی محبوبیت چشمگیری داشته است. تکنیک‌های نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال عمدتاً در دو حوزه مکانی و فرکانسی انجام می‌شوند. حوزه فرکانسی در مقایسه با حوزه مکانی، از مقاومت بیشتری در مقابل انواع حملات و نویزها برخوردار است و قابلیت اطمینان بیشتری دارد [۳، ۵، ۱۲]. تبدیل موجک گسسته<sup>۳</sup> (DWT) [۳، ۱۳، ۱۵، ۱۸]، تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۴</sup> (DCT) [۱۷] و تبدیل فوریه گسسته

آدرس ایمیلها: a.haghighi@razi.ac.ir (امیر حقیقی)، salimi.ladan@stu.razi.ac.ir (لادن سلیمی).  
 موجک‌ها و جبرخطی (۱۴۰۰) © <http://doi.org/10.22072/wala.2020.115961.1254>

<sup>1</sup>Watermarking

<sup>2</sup>Cryptographic

<sup>3</sup> Discrete Wavelet Transform

<sup>4</sup> Discrete Cosine Transform

<sup>۵</sup> (DFT) [۱۴] از رایج‌ترین تبدیلات در حوزه فرکانسی هستند. سیر تکاملی روش‌های نهان‌نگاری از اواخر دهه نود میلادی و اوایل سال ۲۰۰۰ آغاز شد و اکثر تحقیقات انجام شده بعد از آن عمدتاً به صورت اصلاح و توسعه روش‌های پایه‌ای بوده است. یکی از اولین روش‌های کارآمد، طرح نهان‌نگاری ارائه شده توسط کاکس<sup>۶</sup> و همکاران است [۵]. آن‌ها برای تعبیه نهان‌نگاره از حوزه فرکانس در تبدیل کسینوسی گسسته استفاده کردند. با توجه به اینکه طرح‌های نهان‌نگاری مبتنی بر روش فرکانسی که نهان‌نگاره را در کل محدوده مکانی تصویر پخش می‌کنند، این دسته از روش‌ها مقاومت بیشتری در برابر حملات متداول همچون برش تصویر از خود نشان می‌دهند. جائو و همکاران [۱۰]، تکنیک‌های نهان‌نگاری نسبتاً مقاومی را برای تصاویر سایه روشن ارائه کردند. در [۲]، النبحانی<sup>۷</sup> و همکاران، یک روش نهان‌نگاری را بر اساس تبدیل موجک گسسته با فیلترهار و شبکه عصبی احتمالی ارائه کردند. در مقاله آن‌ها، تصویر میزبان از نوع خاکستری و تصویر نهان‌نگاره از نوع باینری در نظر گرفته شده و عملیات جاسازی نهان‌نگاره در بلوک‌های با فرکانس میانی در تجزیه سه سطحی تصویر میزبان انجام می‌شود. الگوریتم ارائه شده یک الگوریتم کور است، به این معنی که الگوریتم برای بازیابی تصویر به کلید نیازی ندارد. یین<sup>۸</sup> و همکاران در [۲۱]، روشی برای تشخیص نهان‌نگاره دیجیتال در حوزه فرکانسی با استفاده از دنباله کد تصویر و شبکه عصبی پس انتشار<sup>۹</sup> ارائه کردند. در این مطالعه تصاویر نهان‌نگاره، که تحت تأثیر تداخل نویز قرار گرفتند، با اعمال تبدیل کسینوسی گسسته در تصویر میزبان جاسازی شدند. برای از بین بردن اثر تخریبی ایجاد شده روی تصویر نهان‌نگاری شده از ترکیب تبدیل کسینوسی و شبکه عصبی پس انتشار استفاده شده است. انصاری و پنت<sup>۱۰</sup> [۳]، با استفاده از ترکیب تبدیل موجک گسسته، تجزیه SVD و الگوریتم بهینه‌سازی ABC (کلونی زنبورها) یک روش نهان‌نگاری ارائه کرده‌اند. روش ارائه شده در این مقاله، یک روش نهان‌نگاری دو منظوره است به این معنی که دو نوع درج نهان‌نگاره (ضعیف و مقاوم) در آن مورد بررسی قرار گرفته است. در نهان‌نگاری مقاوم از تبدیلات حوزه فرکانسی و در حالت شکننده یا ضعیف از روش LSB استفاده شده است. جوانشیری و مردانپور [۱]، با استفاده از تبدیل‌های موجک و قیچک گسسته و همچنین تجزیه مقادیر تکین، یک روش کارا برای نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال ارائه

<sup>5</sup> Discrete Fourier Transform

<sup>6</sup>Cox

<sup>7</sup>AL-Nabhani

<sup>8</sup>Yen

<sup>9</sup>Back-propagation neural network

<sup>10</sup>Pant

کردند. آن‌ها با مقایسه‌ی روش پیشنهادی با دیگر روش‌های شناخته شده در این حوزه نشان دادند، این روش علاوه بر تامین شفافیت، در برابر طیف گسترده‌ای از انواع حمله‌های هندسی و پردازش تصویری مقاوم است. در [۲۲]، زییر<sup>۱۱</sup> و همکاران بر اساس تجزیه کسینوسی گسسته، تبدیل موجک گسسته و همینطور تجزیه مقادیر منفرد، یک الگوریتم نهان‌نگاری دو منظوره (هم نهان‌نگاره متنی و هم تصویری)، ارائه کردند. در این مقاله، ابتدا تبدیل موجک گسسته بر روی تصویرهای میزبان و نهان‌نگاره اعمال شده و زیر باندهای فرکانسی منتخب جهت جاسازی متن و نهان‌نگاره تصویری در نظر گرفته می‌شوند. آنها به منظور افزایش ایمنی در حفظ اطلاعات متنی و همینطور کاهش نرخ خطای بیتی از روش کدگذاری ECC<sup>۱۲</sup> روی نهان‌نگاره متنی استفاده کردند. بعلاوه، در روش بیان شده در [۲۲]، از شبکه عصبی جهت بهبود کیفیت بصری تصاویر استخراج شده و همچنین کاهش اثرات ناشی از اعوجاج، استفاده شده است. در رویکردی دیگر سین<sup>۱۳</sup> و همکاران در [۱۹]، به منظور درج دو نهان‌نگاره متنی و یک نهان‌نگاره از نوع تصویری در تصویر میزبان، یک روش نهان‌نگاری چند منظوره ارائه کردند. فرایند درج نهان‌نگاره‌ها در تصویر میزبان به ترتیب شامل اعمال تبدیلات حوزه فرکانسی بر روی تصویر، استفاده از تجزیه مقادیر منفرد بر روی زیر باند مورد نظر، تعبیه نهان‌نگاره‌های تصویری و متنی در تصویر میزبان و در نهایت تبدیلات معکوس مراحل فوق است. در این مقاله، بر روی نهان‌نگاره متنی اول، قبل از جاسازی در داخل تصویر میزبان، نوعی کدگذاری حسابی اعمال می‌شود. همچنین برای بالا بردن امنیت روش، الگوریتم همینگ بر روی نهان‌نگاره متنی دوم، قبل از جاسازی انجام می‌گردد. در این الگوریتم، در فرایند استخراج نهان‌نگاره تصویری، علاوه بر آشکارسازی نهان‌نگاره از یک شبکه عصبی جهت بهبود کیفیت تصاویر استفاده شده است؛ به این معنی که تصویر استخراج شده به عنوان نرون‌های ورودی یک شبکه عصبی پس انتشار در نظر گرفته شده و کیفیت تصویر بوسیله آموزش نرون‌ها ارتقاء داده می‌شود.

روش‌های متداول و شناخته شده در حوزه نهان‌نگاری که برخی از آن‌ها تاکنون بیان شدند، عمدتاً در مقابل حملات تک‌گانه مقاوم هستند. بر خلاف این دست مطالعات، در مطالعاتی که اخیراً انتشار یافته‌اند [۶، ۱۱]، نویسندگان روش‌های موثری را برای بازیابی موفق نهان‌نگاره از یک تصویر تحت عملیات دوگانه مانند حملات صوتی یا چرخشی ارائه کرده‌اند. به عنوان مثال در منبع [۶]، جهت کاهش

<sup>11</sup>Zear<sup>12</sup>Error correction code<sup>13</sup>Singh

نویز در تصاویر، از تجزیه مقادیر تکین (SVD) و برای جاسازی نهان‌نگاره در تصویر میزبان، از تکنیک آلفابلندینگ استفاده شده است. نویسندگان این مقاله، به منظور ارتقا کیفیت تصویر استخراج شده از مفاهیم فیلترگذاری، نظیر فیلتر میانه بهره گرفته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه، همچنین نشان داد که استفاده از تبدیل موجک در ترکیب با مفاهیم اشاره شده می‌تواند مقاومت تصویر نهان‌نگاری شده را در برابر حملات دوگانه به طور قابل توجهی ارتقا دهد. اخیراً، نارانگ<sup>۱۴</sup> و همکاران [۱۶]، یک روش نهان‌نگاری با استفاده از تبدیل موجک گسسته یک سطحی ارائه کردند که در آن برای فاز جاسازی و استخراج تصویر پوششی از روش آلفابلندینگ<sup>۱۵</sup> استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که کیفیت تصاویر نهان‌نگاری شده و تصویر بازیابی شده (استخراج شده از تصویر پوششی) تا حد زیادی بستگی به ضرایب روش آلفابلندینگ دارد. آن‌ها در این مقاله به طور تجربی ضرایب مناسبی را برای روش آلفابلندینگ مشخص کرده‌اند. همچنین در سال ۲۰۱۶، آشا<sup>۱۶</sup> و همکاران [۴]، یک روش کارا برای نهان‌نگاری اثر انگشت بر اساس تبدیل موجک گسسته سه سطحی و روش آلفا بلندینگ ارائه کردند. مشابه تحقیقات پیشین مقدار ضرایب آلفابلندینگ که نقش اساسی در کیفیت تصاویر نهان‌نگاری شده و بازیابی شده دارند، به صورت تجربی و در واقع با استفاده از آزمون و خطا بکار گرفته می‌شوند که این موضوع باعث کاهش کارایی روش خواهد شد.

در مقاله حاضر، بر اساس مفاهیم بهینه‌سازی و تبدیلات حوزه موجک، یک روش نهان‌نگاری غیرکور و مقاوم در مقابل انواع حملات و نویزها برای تصاویر دیجیتال رنگی و خاکستری ارائه می‌شود. در این روش ابتدا، تبدیل موجک گسسته سه سطحی روی تصاویر میزبان و نهان‌نگاره اعمال شده و محتوای نهان‌نگاره در زیر باندهای فرکانسی پایین که حاوی اطلاعات اصلی تصویر هستند جاسازی می‌شود. در فاز جاسازی و استخراج تصویر پوششی، از روش آلفابلندینگ با ضرایب بهینه استفاده می‌شود. برتری روش ارائه شده نسبت به تحقیقات مشابه، در بکارگیری مفهوم بهینه‌سازی در تعیین ضرایب روش آلفابلندینگ است. در پژوهش‌های پیشین این مقادیر که نقش حیاتی در حفظ کیفیت تصاویر دارند بصورت آزمون و خطا تعیین می‌شوند که همین عامل باعث از دست دادن کیفیت تصاویر جاسازی و استخراج شده خواهد شد. کارایی روش ارائه شده با استفاده از معیارهای ارزیابی نظیر، NC PSNR و MSE مورد آزمون قرار می‌گیرد.

---

<sup>14</sup>Narang

<sup>15</sup>Alpha-Blending Technique

<sup>16</sup>Asha

در مورد نوآوری مقاله حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تعریف یک معیار جدید برای سنجش میزان نزدیکی دو تصویر بر اساس ترکیب خطی وزن‌دار تصاویر میزبان و نهان‌نگاره؛
- طراحی یک مدل ریاضی غیرخطی مقید بر حسب داده‌های موجود در تصاویر میزبان و نهان‌نگاره، به منظور تعیین ضرایب بهینه مورد استفاده در روش آلفابلدینگ برای نهان‌نگاری تصاویر رنگی در فازهای جاسازی و استخراج تصویر؛
- پیشنهاد یک راه حل عملی و کارا برای پیاده‌سازی مدل ریاضی غیرخطی بیان شده در قسمت قبل و یافتن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم مدل که همان ضرایب روش آلفابلدینگ برای نهان‌نگاری هستند؛
- روش بیان شده در این مقاله شامل یک کران بالای قابل قبول برای کنترل میزان نزدیکی دو تصویر میزبان و نهان‌نگار است که توسط کاربر به عنوان ورودی الگوریتم تعیین می‌گردد. وجود این پارامتر آزاد باعث افزایش انعطاف‌پذیری الگوریتم به منظور رسیدن به PSNR قابل قبول بین تصاویر میزبان و نهان‌نگاره خواهد شد.

بر این اساس ساختار مقاله به صورت زیر خواهد بود: در بخش ۲، تبدیلات موجک گسسته به صورت مختصر معرفی می‌شود. در بخش ۳، ابتدا روش جدید نهان‌نگاری برای تصاویر خاکستری به تفصیل بیان می‌گردد. سپس، الگوریتم نهان‌نگاری جدید برای تصاویر رنگی توسعه داده می‌شود. در بخش ۴، کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با دیگر روش‌ها تحلیل خواهد شد. سرانجام در بخش ۵، نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

## ۲. تبدیل موجک گسسته سه سطحی DWT

موجک‌ها دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه یک سیگنال به مؤلفه‌های فرکانسی آن به کار برده می‌شوند که ابعاد هر مؤلفه فرکانسی با مقیاس آن برابر است. منظور از یک تبدیل موجک، تجزیه یک تابع به صورت ترکیب خطی توابع موجک مناسب است. تبدیل موجک‌ها به دو دسته‌ی تبدیل موجک

پیوسته<sup>۱۷</sup> (CWT) و گسسته تقسیم‌بندی می‌شوند. با انجام نمونه‌برداری می‌توان یک سیگنال پیوسته را به یک سیگنال گسسته تبدیل کرد. تبدیل موجک گسسته را می‌توان بر اساس توابع مختلفی پیاده‌سازی کرد، این توابع اصطلاحاً فیلتر<sup>۱۸</sup> [۹]، نامیده می‌شوند. یکی از معروف‌ترین فیلترهای موجک گسسته، موجک هار<sup>۱۹</sup> است که به دلیل سادگی در پیاده‌سازی و همچنین بازدهی قابل قبول آن به صورت گسترده در حوزه‌ی پردازش تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تصاویر دو بُعدی، تبدیل موجک گسسته دو مرتبه مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این ترتیب که تبدیل ابتدا بر روی سطرها و سپس بر روی ستون‌های تصویر مورد نظر اعمال می‌شود. در این حالت تبدیل را تبدیل موجک گسسته دو بُعدی می‌نامند. تبدیل موجک گسسته دو بُعدی، یک تصویر را به چهار باند فرکانسی مختلف به نام‌های LL، LH، HL و HH تقسیم‌بندی می‌کند. باند LL حاوی اطلاعات فرکانس پایین (به کمک فیلتر پایین‌گذر)، باندهای HL و LH شامل اطلاعات فرکانس‌های میانی (به کمک فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر) و باند HH حاوی اطلاعات فرکانس بالا (به کمک فیلتر بالاگذر) است. باند LL در واقع یک تقریب از تصویر اصلی را ارائه می‌دهد و باندهای HL، LH و HH به ترتیب لبه‌های افقی، عمودی و مورب تصویر اصلی را نشان می‌دهند. به بیان دقیق‌تر، فرض کنید  $f(x, y)$  یک تصویر با اندازه‌ی  $M \times N$  باشد، در آن صورت برای تابع مقیاس‌گذاری  $\varphi$  و توابع موجک  $\psi^{HL}$ ،  $\psi^{LH}$  و  $\psi^{HH}$  تبدیل موجک گسسته‌ی دو بُعدی برای تصویر  $f$  به صورت زیر قابل بیان است:

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y), \quad (1.2)$$

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y), \quad (2.2)$$

که در آن  $i \in \{HL, LH, HH\}$ . در اینجا ضرایب  $W_{\varphi}(j_0, m, n)$ ، یک تقریب برای  $f(x, y)$  به ازای مقدار اولیه‌ی  $j_0$  ارائه می‌دهند [۹] که این تقریب در محاسبه‌ی زیر باند LL مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای  $j \geq j_0$  ضرایب  $W_{\psi}^i(j, m, n)$  متناظر با یکی از باندهای HL، LH و HH به ترتیب

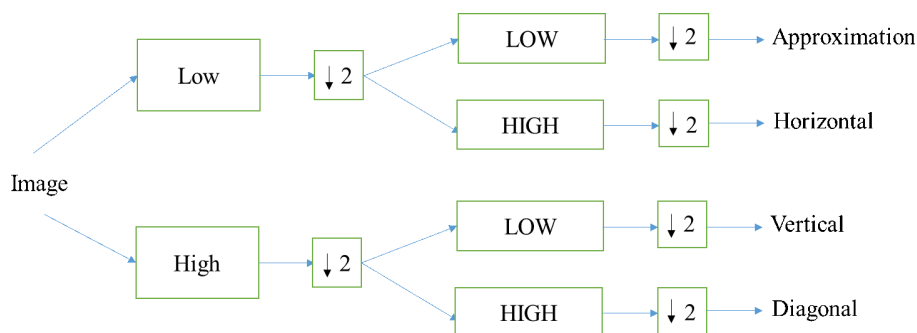
<sup>17</sup> Continuous Wavelet Transform

<sup>18</sup> filters

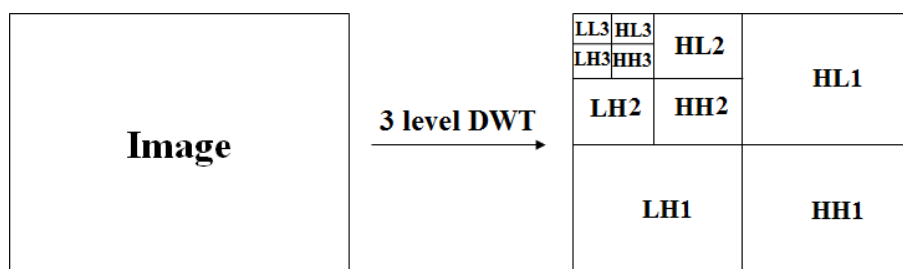
<sup>19</sup> Haar wavelet

برای مقادیر  $i \in \{HH, LH, HL\}$  هستند. با ادامه این روند، باند LL مشابه تصویر اصلی می‌تواند به چهار زیر باند دیگر تجزیه شود. اگر چه این روند را می‌تواند تا هر سطح دلخواهی ادامه داد، ولی معمولاً در عمل، یک تصویر حداکثر تا چهار سطح با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه می‌شود. معمولاً باندهای فرکانسی در  $-n$  امین سطح به صورت  $LL_n, HL_n, LH_n$  و  $HH_n$  نمایش داده می‌شوند، در اینجا اندیس هر باند سطوح تجزیه به کار رفته را مشخص می‌کند. در تبدیل موجک گسسته با یک تجزیه سطحی  $k$ ،  $3k + 1$  زیر باند وجود دارد که این زیر باندها به شکل  $HL, HH, LH$  و  $LL$  هستند. معمولاً در پردازش تصویر تقسیمات زیر باندها از ۴ سطح بیشتر نخواهد بود.

در شکل‌های ۱ و ۲، به ترتیب فرکانس‌های پایین‌گذر و بالاگذر در تبدیل موجک و همچنین شمای کلی یک تبدیل موجک گسسته سه سطحی بر روی یک تصویر نوعی نشان داده شده است. در شکل ۱، علامت ۲ ↓ به معنی نصف شدن ابعاد تصویر در هر مرحله است.



شکل ۱: فرکانس‌های پایین‌گذر و بالاگذر در تبدیل موجک گسسته.



شکل ۲: تجزیه تصویر تا ۳ سطح با استفاده از تبدیل موجک گسسته.

تبدیل موجک گسسته، یکی از کاراترین روش‌های تبدیل موجک در نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال است.



در این تبدیل به دلیل وجود زیرباندهای مختلف بالا و پایین گذر می‌توان نهمان‌نگاره  $2^\circ$  را با روش‌های مختلفی مانند روش آلفابندینگ، تعبیه و درج کرد. زیر باندهای تبدیل موجک گسسته‌ی سه سطحی به شکل  $LLL$ ،  $LHL$ ،  $HHL$ ، و  $HLL$  هستند که زیر باند  $LLL$  شامل اطلاعات مهم تصویر اصلی است. در اکثر طرح‌های نهمان‌نگاری حوزه موجک، نهمان‌نگاره در ضرایب زیر باندهای با فرکانس پایین و یا میانی درج می‌شود. این نحوه تعبیه به علت حذف فرکانس‌های بالا در اثر فیلترینگ پایین‌گذر است [۹].

### ۳. روش نهمان‌نگاری جدید

#### ۱.۳. جاسازی نهمان‌نگاره در تصویر میزبان برای تصاویر خاکستری

در این فرایند، در مرحله اول، یک تبدیل موجک گسسته سه سطحی بر روی تصویر میزبان اعمال و تصویر به باندهای با فرکانس پایین، میانی و بالا تجزیه می‌شود. به طریق مشابه، عملیات فوق روی تصویر نهمان‌نگاره خاکستری که قرار است در تصویر میزبان جاسازی شود، انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که در اینجا از فیلتر هار به دلیل سادگی و همچنین اثر بخشی آن استفاده شده است. در روش پیشنهادی، ما برای درج تصویر نهمان‌نگاره در تصویر میزبان از تکنیک آلفابندینگ استفاده می‌کنیم. در این تکنیک، باندهای فرکانسی پایین حاصل از تجزیه موجک گسسته سه سطحی تصویرهای میزبان و پوششی (نهمان‌نگاره) هریک در پارامترهایی مناسب ضرب شده و در نهایت باهم جمع می‌شوند و خروجی این عملیات به صورت یک تصویر نهمان‌نگاری شده است ارائه می‌شود. لازم به ذکر است، با توجه به اینکه اطلاعات اصلی یک تصویر در حوزه فرکانسی، در فرکانس‌های پایین قرار دارد و جزئیات در فرکانس‌های میانی و بالا هستند عملیات جاسازی روی زیر باندهای فرکانس پایین دو تصویر انجام شده است. با استفاده از تکنیک آلفابندینگ برای پارامترهای دلخواه چون  $q > 0$  و  $k \geq 0$ ، یک تصویر نهمان‌نگاری شده به صورت زیر ارائه می‌شود [۴، ۱۶]:

$$WMI = k \times LL^3 + q \times WM^3. \quad (1.3)$$

در رابطه‌ی (۱.۳)، نمادهای  $LL^3$  و  $WM^3$  به ترتیب زیر باندهای فرکانس پایین تصاویر میزبان و پوششی هستند که با استفاده از تبدیل موجک گسسته سه سطحی بدست آمده است. ضرایب  $k$  و  $q$  به

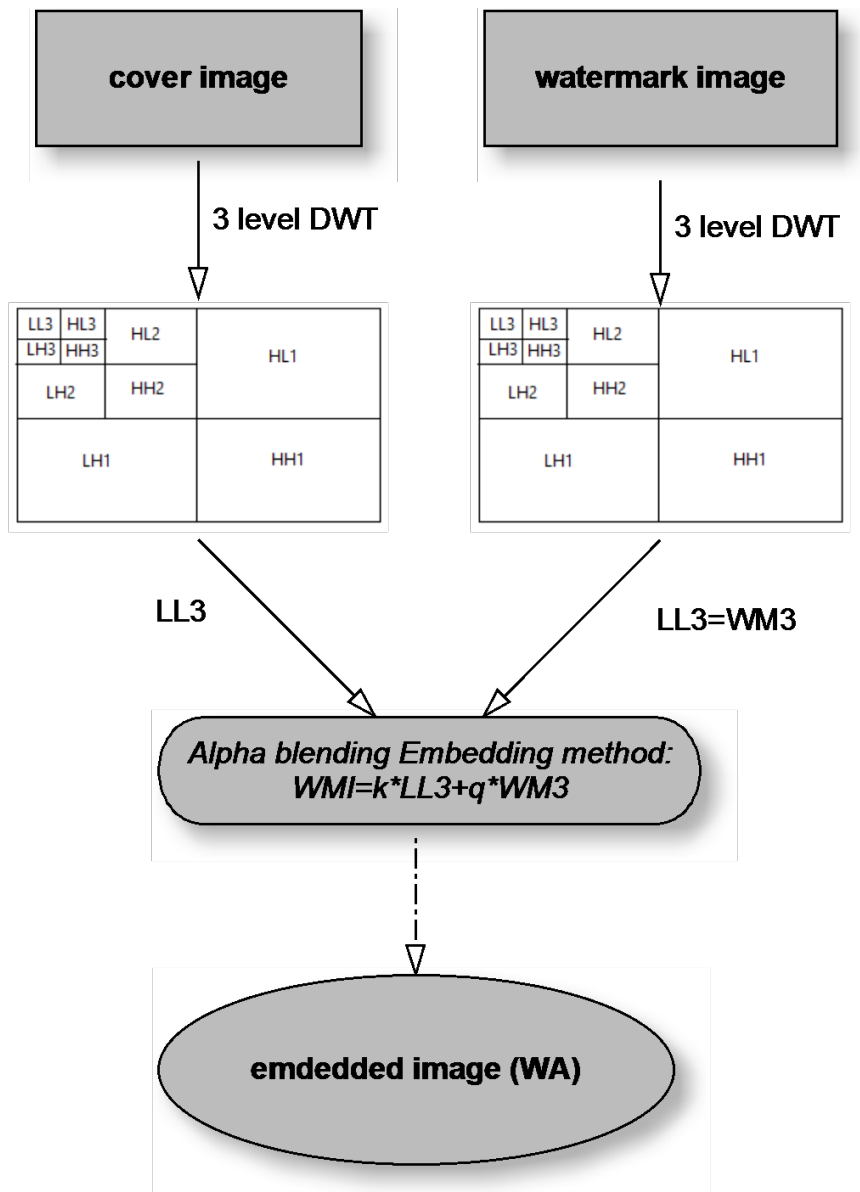
ترتیب ضرایب وزنی تصاویر میزبان و پوششی در روش آلفابلندینگ هستند. در اینجا،  $WMI$  به عنوان زیرباند فرکانس پایین تصویر نهان‌نگاری شده در نظر گرفته شده است. در شکل ۳، دیاگرام مربوط به مراحل جاسازی تصویر پوششی در تصویر میزبان نمایش داده شده است. در این دیاگرام، ابتدا نهان‌نگاره و تصویر میزبان هر دو تحت تبدیل موجک سه مرحله‌ای قرار می‌گیرند. سپس، زیر باندهای فرکانس پایین حاصل از این تبدیل سه مرحله‌ای،  $LL^3$ ، جهت انجام عملیات نهان‌نگاری و جاسازی نهان‌نگاره در تصویر میزبان انتخاب می‌شوند. با انتخاب مناسب ضرایب تکنیک آلفابلندینگ مطابق رابطه‌ی (۱.۳)، تصویر نهان‌نگار شده ایجاد می‌شود. پس از اتمام فرایند جاسازی، برای مشاهده تصویر نهان‌نگاری شده، باید عملیات معکوس تبدیل موجک گسسته سه سطحی انجام گیرد تا تصویر واضح و قابل مشاهده باشد. در شکل ۴ (آ) و ۴ (ب)، تصویر نهان‌نگاری شده به ترتیب قبل و بعد از اعمال تبدیل موجک گسسته‌ی معکوس نمایش داده شده است.

همانطور که پیش‌تر بیان شد، یکی از مشکلات روش آلفابلندینگ پیدا کردن مقدار مناسب برای پارامترهای وزنی  $k$  و  $q$  در فرمول (۱.۳) است. علیرغم نقش بسیار مهمی که این پارامترها در کیفیت تصویر نهان‌نگاری شده دارند، تا جایی که نویسندگان مقاله اطلاع دارند، این پارامترها به صورت تجربی و در واقع با استفاده از آزمون و خطا بکار گرفته می‌شوند که این موضوع بدون شک باعث کاهش کارایی روش خواهد شد. لذا، تعیین مقدار بهینه آن‌ها برای حفظ کیفیت تصویر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ادامه ما در این مقاله سعی می‌کنیم با تعریف یک مساله بهینه‌سازی مناسب و به کمک نرم افزار گمز<sup>۲۱</sup> یک رویکرد بهینه برای تعیین پارامترهای  $k$  و  $q$ ، در روش آلفابلندینگ ارائه دهیم.

### ۱.۱.۳. بهینه سازی پارامترهای $k$ و $q$ :

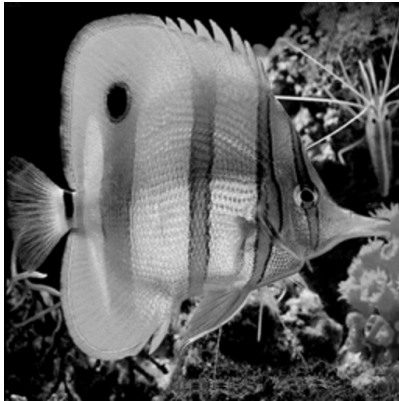
در این قسمت پارامترهای  $k \geq 0$  و  $q > 0$ ، در روش آلفابلندینگ چنان تعیین می‌شوند که به ازای این مقادیر تصویر نهان‌نگاری شده تا حد ممکن به تصویر میزبان نزدیک باشد. به وضوح هرچه این مهم به درستی انجام شود، عمل پنهان‌سازی به خوبی انجام گرفته است. در این حالت، تصویر پوششی با چشم قابل رویت نیست و کیفیت تصویر میزبان بعد از درج تصویری دیگر در داخل بدنه‌اش حفظ شده است. با در نظر گرفتن این موضوع، ما در ادامه سعی می‌کنیم معیاری مناسب بر حسب پارامترهای  $k$  و  $q$  برای بیان نزدیکی تصاویر نهان‌نگاری شده و میزبان ارائه دهیم. در واقع، این معیار در ادامه به عنوان

<sup>21</sup> GAMS software



شکل ۳: دیاگرام جاسازی تصویر پوششی در تصویر میزبان.

تابع هدف یک مساله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفته خواهد شد. به طور کلی، معیارهای زیادی برای اندازه‌گیری شباهت بین دو تصویر دیجیتال وجود دارند، به عنوان مثال، در این راستا می‌توان به همبستگی بین ماتریس‌های متناظر با دو تصویر اشاره کرد. در حالت کلی چنین معیارهایی نه تنها به بزرگی ابعاد دو تصویر وابسته است، بلکه آن‌ها شامل جملات غیرخطی پیچیده و متعددی نیز در خود هستند. چنین فاکتورهایی به خودی خود می‌توانند در فرایند محاسبه جواب‌های بهینه به منظور نزدیکی دو ماتریس،



(آ) قبل از اعمال تبدیل موجک گسسته وارون (ب) بعد از اعمال تبدیل موجک گسسته وارون

شکل ۴: تصویر نهان‌نگاری شده.

بسیار پر هزینه باشند. در این راستا، در ادامه یک تابع هدف خطی‌سازی شده تعریف می‌شود که نشانگر نزدیکی تصویر میزبان و نهان‌نگاره است.

از آنجایی که هدف یافتن مقادیر  $k$  و  $q \neq 0$  چنان است که تا حد ممکن  $WMI$  مقداری نزدیک به  $LL^3$  داشته باشد، با در نظر گرفتن رابطه (۱.۳)، به ازای  $1 \leq i \leq M$  و  $1 \leq j \leq N$  می‌توان نوشت

$$WMI(i, j) - LL^3(i, j) = (k - 1)LL^3(i, j) + qWM^3(i, j). \quad (2.3)$$

در نتیجه

$$|WMI(i, j) - LL^3(i, j)| \leq |k - 1|LL^3(i, j) + |q|WM^3(i, j). \quad (3.3)$$

رابطه‌ی بالا نشان می‌دهد، برای  $k \simeq 1$  و  $q \simeq 0$ ، جمله‌ی  $|WMI(i, j) - LL^3(i, j)|$  به صفر نزدیک خواهد بود. حال به ازای  $k \simeq 1$ ، رابطه‌ی (۲.۳) به صورت زیر بازنویسی و تقریب زده می‌شود

$$\begin{aligned} WMI(i, j) - LL^3(i, j) &= k(LL^3(i, j) + \frac{q}{k}WM^3(i, j) - \frac{1}{k}LL^3(i, j)) \\ &\sim \frac{q}{k}WM^3(i, j). \end{aligned} \quad (4.3)$$

بعلاوه، به منظور ارائه یک مدل ساده و کارآمد، جمله  $q/k$  را با استفاده از بسط تیلور تابع  $1/k$  حول یک، به صورت  $q(2-k)$  خطی‌سازی می‌کنیم. متغیرهای تصمیم باید در جواب بهینه بگونه‌ای باشند که به ازای آن‌ها تصاویر نهان‌نگاری شده و میزبان به هم نزدیک‌ترین حالت ممکن را داشته باشند. ما این موضوع را با اعمال قیدهای زیر تضمین می‌کنیم

$$|WMI(i, j) - LL^3(i, j)| = |kLL^3(i, j) + qWM^3(i, j) - LL^3(i, j)| \leq \epsilon,$$

که در آن  $\epsilon$  یک کران بالای قابل قبول از پیش تعیین شده است. با توجه به مطالب بیان شده، مساله‌ی یافتن پارامترهای بهینه روش آلفابندیگ را به صورت مدل ریاضی زیر بیان می‌کنیم

$$\begin{aligned} \min_{p, k} F(p, k) &= q(2-k) & (5.3) \\ \text{subject to } |q| &\geq \epsilon, \\ |\lambda - k| &\leq \epsilon, \\ |(k-1)kLL^3(i, j) + qWM^3(i, j)| &\leq \epsilon, \\ \forall i = 1, \dots, M \quad \text{and} \quad \forall j = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

### ۲.۳. استخراج تصویر پوششی از تصویر میزبان در تصاویر خاکستری

در این فرایند، ابتدا تبدیل موجک گسسته سه سطحی بر روی تصاویر نهان‌نگاری شده و میزبان اعمال و این تصاویر را به زیر باندهایی تقسیم می‌نماید. سپس، تصویر پوششی توسط فرمول آلفابندیگ به صورت زیر استخراج خواهد شد

$$RW = \left(\frac{1}{q}\right) WMI - \left(\frac{k}{q}\right) LL^3, \quad (6.3)$$

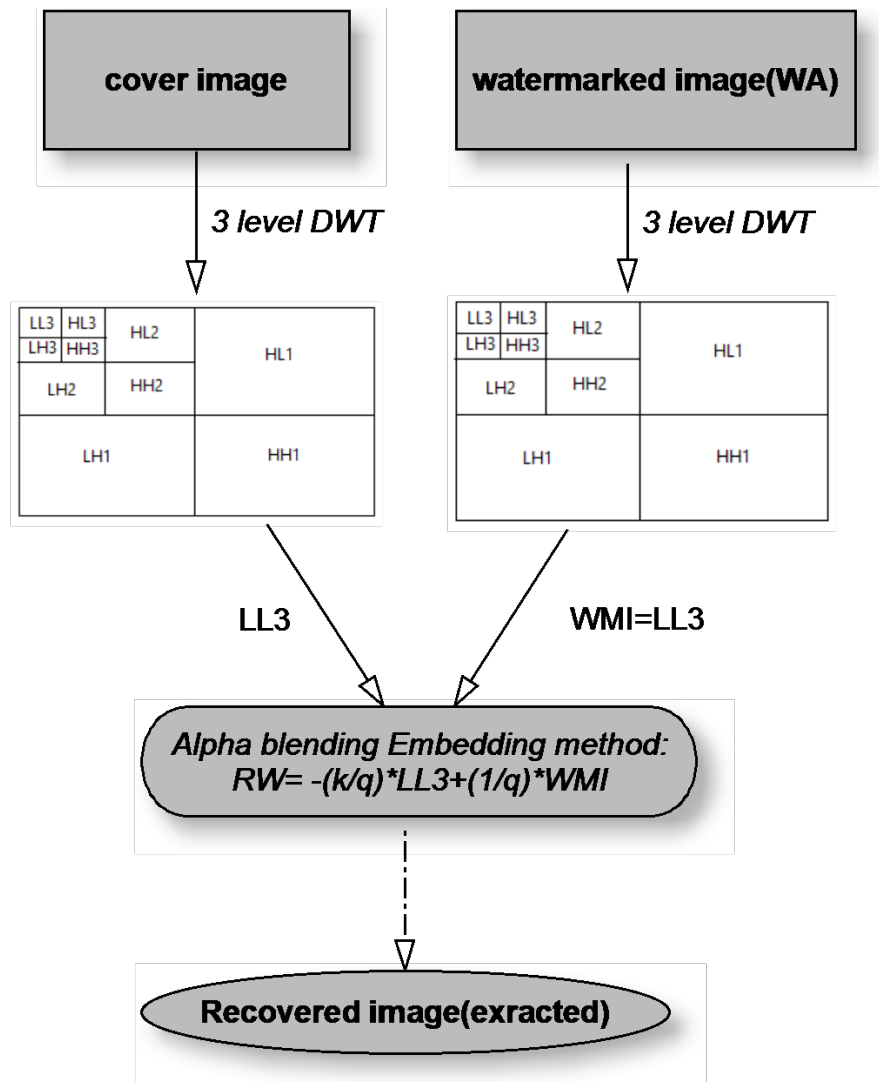
که در آن  $RW$  و  $LL^3$  به ترتیب تقریب‌هایی از زیرباند فرکانس پایین تصاویر پوششی و بازیابی شده هستند و  $WMI$  زیرباند فرکانس پایین تصویر نهان‌نگاری شده است. در اینجا  $k$  و  $q$  مقادیر بهینه محاسبه

شده در فاز درج هستند. پس از اتمام فرایند استخراج، به منظور مشاهده تصویر بازیابی شده، باید تبدیل موجک گسسته سه سطحی وارون را روی  $RW$  به کار برد. دیاگرام مربوط به فرایند استخراج در شکل ۵ قرار داده شده است. در این بلوک دیاگرام، تصاویر میزبان و نهان نگاری شده به عنوان ورودی فرایند استخراج در نظر گرفته می‌شود. سپس، تبدیل موجک سه سطحی روی هریک از آن‌ها اعمال و زیر باندهای فرکانس پایین حاصل از این تبدیل سه مرحله‌ای محاسبه می‌گردد. در ادامه، با استفاده از روش آلفابندینگ متناظر با ضرایب بهینه که پیشتر محاسبه شدند، مطابق رابطه (۶.۳) زیر باند فرکانس پایین نهان‌نگاره بدست آورده می‌شود. در انتها، با اعمال تبدیل موجک سه سطحی وارون تصویر نهان‌نگاره حاصل می‌گردد.

### ۳.۳. جاسازی و استخراج نهان‌نگاره برای تصاویر رنگی

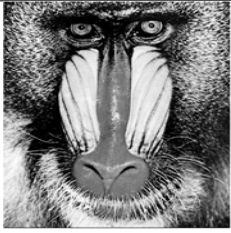
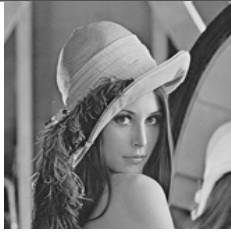
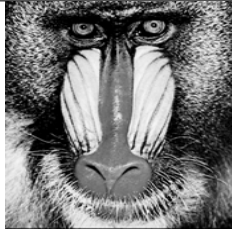




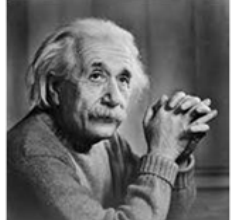

در این بخش، ایده‌ی به کار رفته برای نهان‌نگاری تصاویر خاکستری را به تصاویر رنگی توسعه می‌دهیم. در این راستا، در فاز جاسازی هر یک از تصاویر میزبان و نهان‌نگاره رنگی، به سه کانال قرمز، آبی و سبز تجزیه می‌شوند. در نتیجه، برای هر یک از تصاویر میزبان و نهان‌نگاره، سه تصویر خاکستری بدست خواهد آمد. حال برای هر یک از کانال‌های رنگی، روش آلفابندینگ ارائه شده را به صورت جداگانه به منظور درج نهان‌نگاره در تصویر میزبان متناظرش بکار می‌بریم. نتیجه‌ی این کار سه تصویر خاکستری نهان‌نگاری شده است که با الحاق این تصاویر در مقیاس خاکستری، تصویر نهان‌نگار شده اصلی به دست می‌آید. در شکل ۶ بلوک دیاگرام روش ارائه شده برای تصاویر رنگی نشان داده شده است. بنابر این بلوک دیاگرام، ابتدا یک تصویر رنگی به سه کانال مجزا تقسیم شده و هر کانال تبدیل به یک تصویر دو بُعدی می‌شود. سپس طبق الگوریتم جاسازی برای تصاویر خاکستری، شکل ۳، هر کانال از تصویر نهان‌نگاره و میزبان تحت تبدیل موجک سه مرحله‌ای قرار خواهند گرفت و در نهایت عملیات جاسازی با استفاده از فرمول آلفابندینگ (۱.۳) برای هر کانال انجام می‌شود.

بعد از جاسازی مجزای هر سه کانال، مجدداً این سه کانال با هم ادغام شده و تصویر نهان‌نگاری شده رنگی تشکیل می‌گردد. برای استخراج تصویر نهان‌نگاره، تصویر میزبان و نهان‌نگاری شده به ۳ کانال (RGB) تقسیم می‌شوند. سپس با استفاده از تکنیک آلفابندینگ با پارامترهای بهینه (۶.۳)، تصویر نهان‌نگاره را از هر کانال رنگی به طور جداگانه استخراج می‌کنیم. در اینجا سه تصویر خاکستری وجود دارد که با قرار دادن آنها بر روی هم، تصویر نهان‌نگاره رنگی بدست خواهد آمد. بلوک دیاگرام فاز استخراج



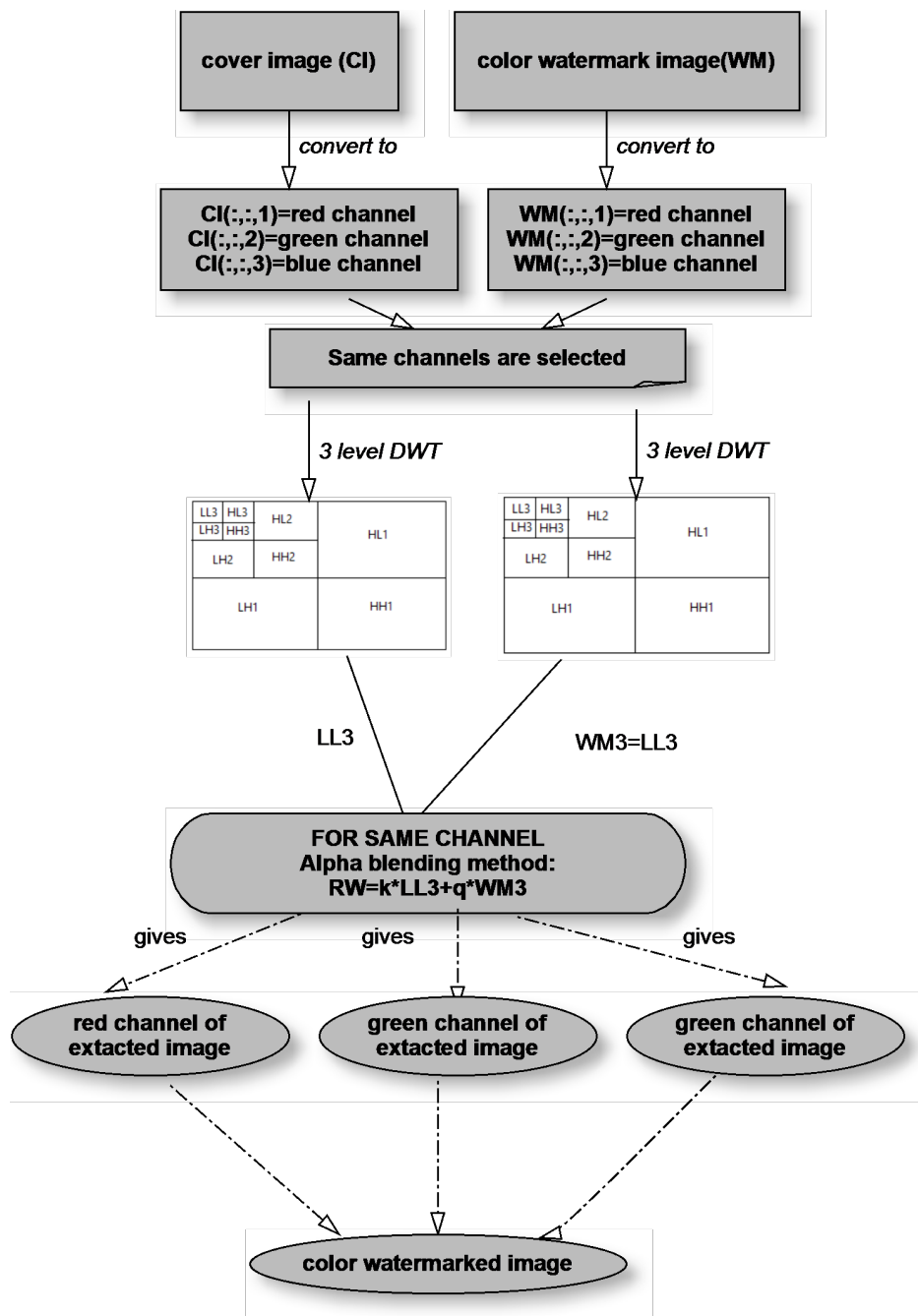
شکل ۵: دیاگرام استخراج تصویر پوششی از تصویر میزبان.

تصویر رنگی در شکل ۷ ارائه شده است. در این بلوک دیاگرام، تصاویر رنگی میزبان و نهان‌نگاری شده به عنوان ورودی فرایند استخراج در نظر گرفته می‌شود. سپس، هریک از آنها به سه تصویر خاکستری در کانال‌های قرمز، سبز و آبی تجزیه می‌گردد. در این مرحله برای هریک از کانال‌های رنگی، یک جفت تصویر متناظر با تصاویر میزبان و نهان‌نگاری شده در دست است. هریک از این زوج تصاویر، به عنوان ورودی به فرایند بیان شده در شکل ۵ داده شده و زیر باند فرکانس پایین نهان‌نگاره در هریک از کانال‌های رنگی بدست آورده می‌شود. با ادغام این سه تصویر خاکستری در هریک از باندهای رنگی تصویر نهان‌نگاره بدست می‌آید.

تصویر میزبان	تصویر پوششی	تصویر نهان‌نگاری شده	q	k
			$-۱/۱۸ \times ۱۰^{-۱۳}$	۱
			$-۱/۰۴ \times ۱۰^{-۱۲}$	۰٫۹۹۳
			$-۱/۲۰ \times ۱۰^{-۶}$	۰٫۹۸۳

جدول ۱: تصاویر مربوط به انجام عملیات جاسازی به همراه مقادیر بهینه پارامترها.

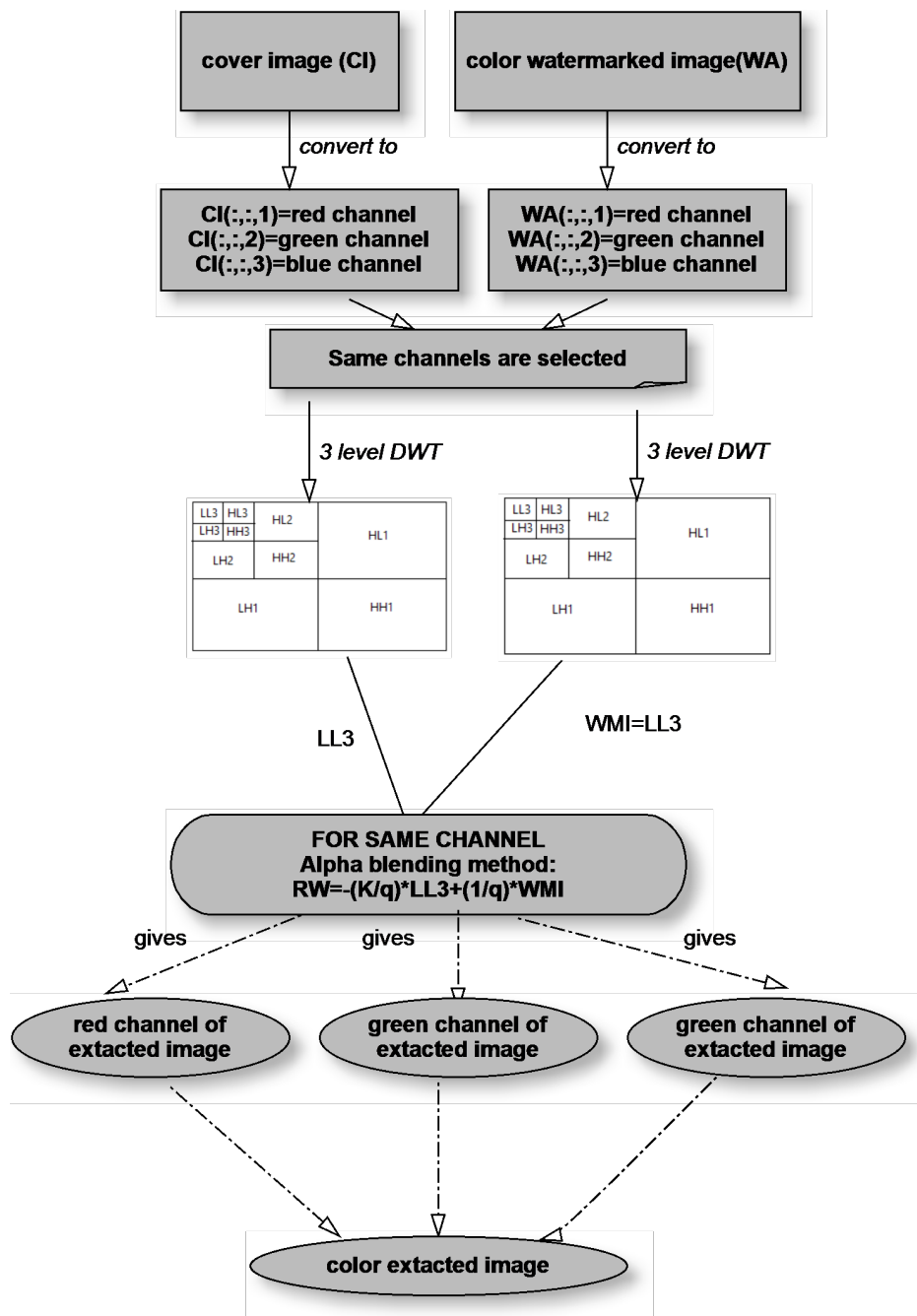




شکل ۶: دیاگرام جاسازی تصویر نهان‌نگاره در تصویر میزبان رنگی.


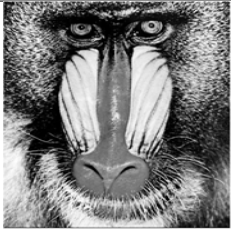


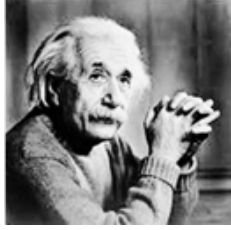

#### ۴. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، عملکرد روش نهان‌نگاری ارائه شده با استفاده از شاخص‌های آماری PSNR، NC و MSE برای بررسی کیفیت تصاویر نهان‌نگاره و بازیابی شده، ارزیابی می‌شود. تصاویر میزبان و نهان‌نگاره



شکل ۷: دیاگرام استخراج تصویر نهان‌نگاره از تصویر میزبان رنگی.

با اندازه‌ی  $512 \times 512$  و از تصاویر استاندارد پردازش تصویر در نظر گرفته شده‌اند. در این بخش در تمام مثال‌های ارائه شده برای فاز جاسازی و استخراج تصاویر مختلف، پارامترهای  $k$  و  $q$  با استفاده از حل مدل (۵.۳) با نرم افزار گمز تعیین شده است. در جدول ۱، تعدادی از تصاویر خاکستری به عنوان

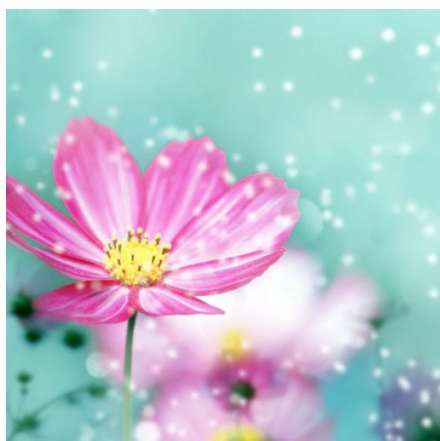
تصویر پویشی بازیابی شده	تصویر پویشی اصلی	تصویر نهان‌نگاری شده	PSNR
			۴۶٫۱۶dB
			۴۴٫۰۲dB
			۴۰٫۱۶dB

جدول ۲: تصاویر بازیابی شده به ازای پارامترهای بهینه به همراه مقادیر PSNR.

تصاویر میزبان و نهان‌نگاره در نظر گرفته شده‌اند. در جدول ۲، تصاویر بازیابی شده به ازای پارامترهای بهینه به همراه مقادیر PSNR نمایش داده شده است. در رویکردی دیگر، چگونگی پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی را در نهان‌نگاری تصاویر رنگی با یک مثال بیان می‌کنیم. در شکل ۸(آ) و ۸(ب) به ترتیب تصاویر میزبان و نهان‌نگاره که هر دو رنگی هستند در نظر گرفته شده‌اند. بنابر رویکرد الگوریتم پیشنهادی، همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، ابتدا هر یک از تصاویر ۸(آ) و ۸(ب) به سه کانال قرمز، آبی و سبز تجزیه می‌شوند. سپس، هر یک از کانال‌های هم نام که از تصاویر میزبان و نهان‌نگاره بدست آمده‌اند به صورت مجزا مطابق الگوریتم پیشنهادی نهان‌نگاری می‌شوند. طبق روش ارائه شده در الگوریتم، مقادیر بهینه روش آلفابلندینگ برای هر جفت تصویر بدست آمده در جدول ۳ گزارش شده است. در شکل ۱۱(آ) و ۱۱(ب)، به ترتیب تصاویر نهان‌نگاری شده حاصل از جداسازی و تصویر بازیابی شده نمایش داده شده است. در جدول ۴، مقادیر شاخص‌های کیفیت برای چندین تصویر مختلف گزارش شده است. در ادامه روش بیان شده در این مقاله را با برخی دیگر از روش‌های متداول و نوین در حوزه‌ی نهان‌نگاری مورد مقایسه قرار می‌دهیم. در گام اول مقایسه در جدول ۵، روش پیشنهادی را با روش بیان شده در

مقدار بهینه $q$	مقدار بهینه $k$	کانال
$-1.49 \times 10^{-8}$	۰.۸۶۳	قرمز
$-1.6 \times 10^{-13}$	۰.۹۹۹	سبز
$-1.35 \times 10^{-12}$	۰.۹۹۳	آبی

جدول ۳: نتایج نهان نگاری تصاویر رنگی (آ) و (ب) .



(ب) تصویر نهان نگاره



(آ) تصویر میزبان

شکل ۸: نهان نگاری تصاویر رنگی.



(ج) کانال آبی



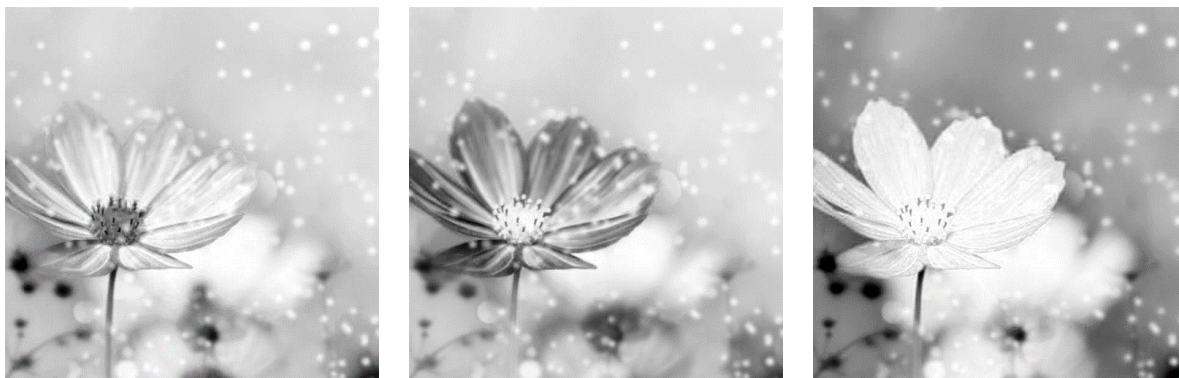
(ب) کانال سبز



(آ) کانال قرمز

شکل ۹: تفکیک تصویر میزبان رنگی (آ) در سه کانال مجزا.

مرجع [۱۶] مورد مقایسه قرار داده‌ایم. با مشاهده نتایج بدست آمده از جدول ۵، به وضوح بر اساس مقادیر PSNR و MSE می‌توان نتیجه گرفت که روش آلفابندینگ ارائه شده با پارامترهای بهینه در مقایسه با روش [۱۶] از کارایی بهتری برخوردار است. در روش بیان شده در [۱۶]، نویسندگان مقادیر

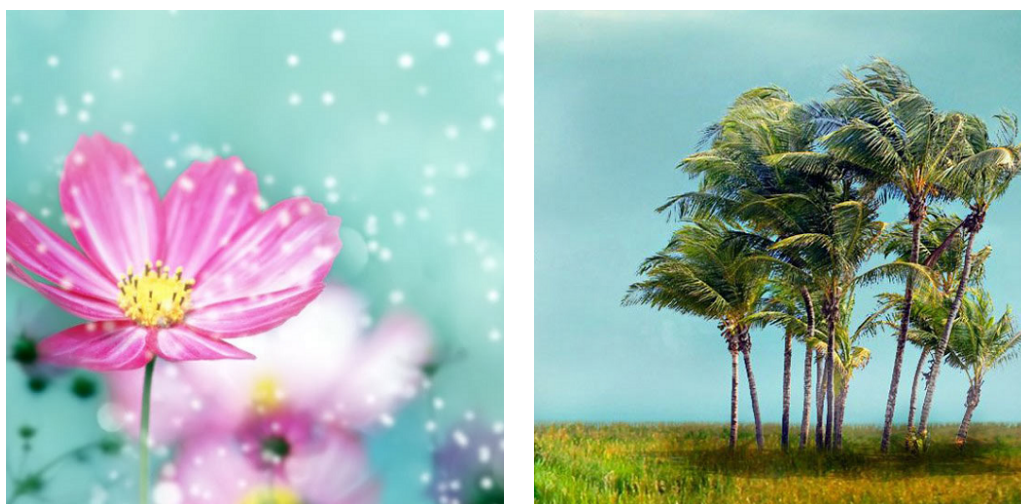


(ج) کانال آبی

(ب) کانال سبز

(آ) کانال قرمز

شکل ۱۰: تفکیک تصویر نهان‌نگاره رنگی ۸(ب) در سه کانال مجزا.



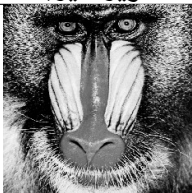
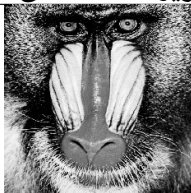




(آ) تصویر نهان‌نگاری شده

(ب) تصویر نهان‌نگاره بازیابی شده

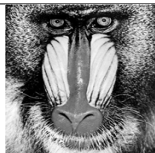


شکل ۱۱: نهان‌نگاری و بازیابی تصاویر رنگی ۸(آ) و ۸(ب)

ضرایب روش آلفابلدینگ را به صورت تجربی و با آزمون و خطا در نظر گرفته‌اند. در جدول ۶،

بر اساس معیار PSNR روش ارائه شده در این مقاله با روش‌های [۱۹]، [۲۰] و [۲۲] مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این جدول بخوبی نشان می‌دهند که روش ارائه شده در این مقاله از کیفیت قابل قبولی در تصاویر نهان‌نگاری شده نسبت به دیگر روش‌های مطرح شده برخوردار است. در جدول ۷، مقادیر PSNR تصویر نهان‌نگاری شده، پس از جاسازی تصویر نهان‌نگاره در آن، با استفاده از سیستم

تصویر میزبان	تصویر نهان‌نگاری شده	PSNR	MSE
		۴۰/۸۸	۵/۳۵
		۴۵/۱۱	۲/۰۲
		۴۵	۲/۰۷

جدول ۴: اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت روش ارائه شده برای تصاویر رنگی و خاکستری.

روش ارائه شده در مرجع [۱۶]				روش ارائه شده				تصویر نهان‌نگاری شده
PSNR	MSE	q	k	PSNR	MSE	q	k	
۱۵/۵۴	۱۸۲۹/۱۲	۰/۰۰۹	۰/۹۸	۱۵/۷۰	۱۷۶۳/۶۹	$-1/18 \times 10^{-13}$	۱	
۱۲/۸۲	۳۴۲۰/۶۶	۰/۰۰۹	۰/۹۸	۲۱/۲۷	۴۴۹/۰۰	$-1/04 \times 10^{-12}$	۰/۹۹۳	
۲۳/۸۰	۲۷۲/۹۵	۰/۰۰۹	۰/۹۸	۲۵/۸۹	۱۶۸/۹۷	$-1/20 \times 10^{-6}$	۰/۹۸۳	

جدول ۵: مقایسه‌ی فاکتورهای MSE و PSNR برای روش پیشنهادی و روش ارائه شده در مرجع [۱۶].

روش پیشنهادی	روش [۲۲]	روش [۱۹]	روش [۲۰]
۴۷/۱۳	۴۳/۹۵	۳۴/۷۸	۳۹/۸۶

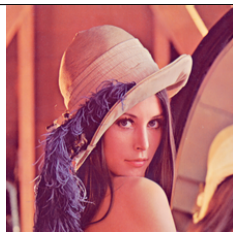
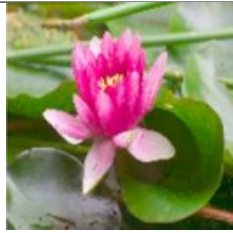
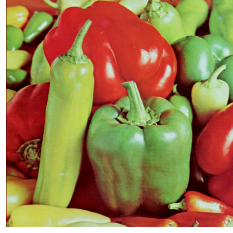

جدول ۶: مقایسه‌ی ماکسیم PSNR روش پیشنهادی با دیگر روش‌های متداول.

های پیشنهادی در منابع [۶، ۱۱، ۷]، و همچنین روش پیشنهادی در این مقاله گزارش شده است. در این جدول نماد NA نشان دهنده عدم مقایسه روش متناظر است. مطابق نتایج ارائه شده در این جدول، به وضوح مقادیر PSNR سیستم پیشنهادی در مقاله بالاتر از دیگر روش‌های مورد مقایسه است. دلیل این تفاوت معنادار در مقادیر PSNR را می‌توان به استفاده از یک رویکرد بهینه در فرایند محاسبه‌ی ضرایب روش آلفابندینگ نسبت داد. همانطور که پیشتر بیان شد، انتخاب مناسب این ضرایب نقش حیاتی و تعیین کننده‌ای در کیفیت تصاویر نهان‌نگاری شده دارند که به وضوح منجر به افزایش PSNR می‌گردد. در شکل ۱۲، یک ارزیابی گرافیکی بین روش پیشنهادی در این مقاله و روش‌های بیان شده در [۶، ۱۱]، آورده شده است. لازم به ذکر است، اگر چه هر دو روش از تکنیک آلفابندینگ برای جاسازی تصویر استفاده می‌کنند، با این حال روش پیشنهادی از PSNR بالاتری نسبت به سیستم موجود در [۶] و [۱۱]، برخوردار است که بوضوح نشان دهنده کارایی روش ارائه شده است.

#### تست مقاومت روش ارائه شده:

در ادامه در رویکردی دیگر، مقاوت طرح پیشنهادی در این مقاله را تحت حملات متداول مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. از جمله این حملات می‌توان به فشردن‌سازی JPEG، فیلتر میانه، نویز لفل و نمک و همچنین نویز گاوسی اشاره کرد. در جدول ۷، نتایج به دست آمده پس از استخراج از نهان‌نگاره مقایسه شده است. در این جدول، از فاکتور همبستگی نرمال (NC) برای ارزیابی مقاومت نهان‌نگاره با مقایسه نهان‌نگاره اصلی و استخراج شده (پس از حمله به تصویر علامت گذاری شده) استفاده شده است. به طور معمول،  $NC > 0.85$  حاکی از شباهت قابل توجهی بین علامت اصلی و استخراج شده است [۷].

همانطور که به وضوح در نتایج جدول ۸ مشاهده می‌شود، روش ارائه شده در برابر بیشتر حملات از مقاومت بالاتری نسبت به دیگر روش‌های مورد مقایسه برخوردار است. در این جدول، تنها در حمله چرخش مقدار NC متناظر با روش بیان شده در مقاله [۸] اندکی بیشتر از مقدار NC در روش پیشنهادی است. نمودار شکل ۱۳، مقایسه روش ارائه شده را با سیستم‌های موجود در [۸، ۷، ۱۱] برای حمله‌های مختلف بر روی تصاویر یکسان نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر در نمودار فوق نشان می‌دهد که روش ارائه

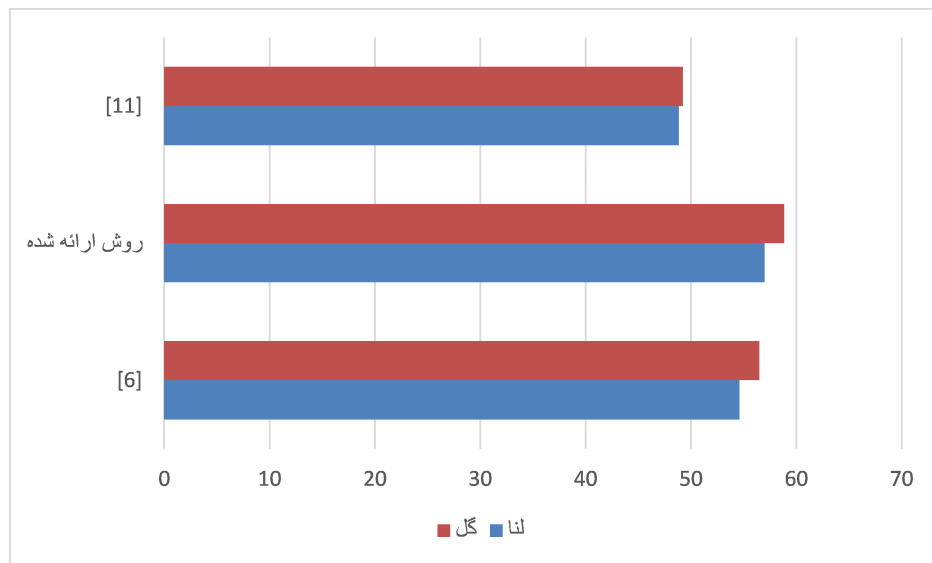
تصویر میزبان	نهان نگاره	مرجع [۷]	مرجع [۱۱]	مرجع [۶]	روش پیشنهادی
	<b>A</b>	NA	۴۸/۸۴	۵۴/۶	۵۶/۹۸
	<b>C</b>	NA	۴۹/۲۳	۵۶/۴۹	۵۸/۸۴
		۳۹/۷۲	NA	NA	۴۵/۱۵

جدول ۷: مقایسه فاکتور PSNR روش پیشنهادی با برخی روش‌های دیگر در این حوزه

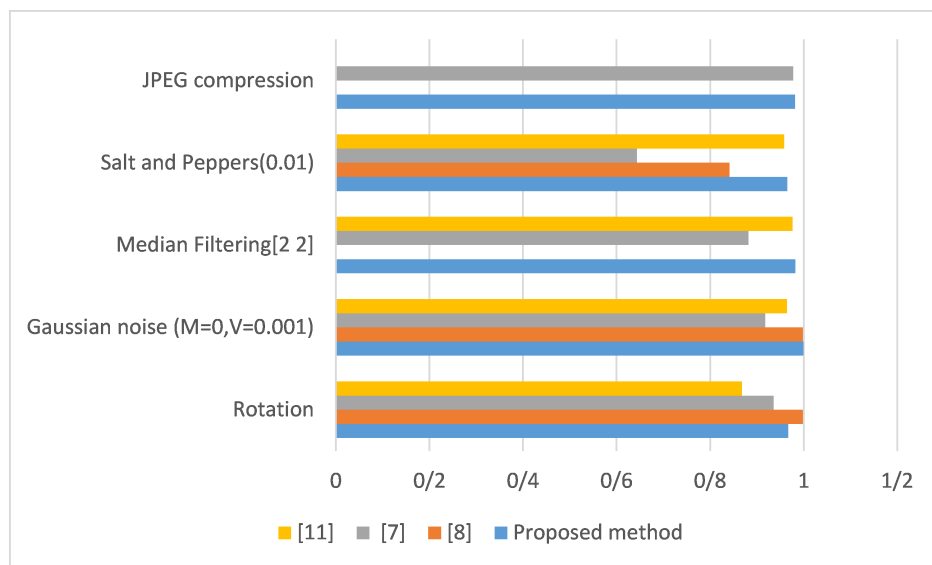
مرجع [۸]	مرجع [۷]	مرجع [۱۱]	روش پیشنهادی	حملات
۰/۹۹۸۳	۰/۹۳۰۵۷	۰/۸۶۷۸	۰/۹۶۶۸	چرخش
۰/۹۹۸۵	۰/۹۱۸۰۰	۰/۹۶۴۵	۰/۹۹۹۳	نویز گاوسی
NA	۰/۸۸۲۱	۰/۹۷۶۴	۰/۹۸۲۶	فیلتر میانه
۰/۸۴۱۶	۰/۶۴۳۷	۰/۹۵۸۱	۰/۹۶۴۷	نویز فلفل و نمک
NA	۰/۹۷۷۵	NA	۰/۹۸۱۹	فشرده سازی JPEG

جدول ۸: مقایسه فاکتور NC روش پیشنهادی با برخی روش‌های دیگر در این حوزه





شکل ۱۲: مقایسه شاخص PSNR روش پیشنهادی با برخی دیگر از تکنیک‌های موجود در منابع [۶] و [۱۱].



شکل ۱۳: مقایسه مقاومت روش ارائه شده با برخی روش‌های موجود در برابر حملات با شاخص NC.

شده در مقایسه با دیگر روش‌های موجود، از مقاومت بالاتری در برابر نویزهای رایج پردازش تصویری مانند چرخش، فیلتر میانه، نویز گاوسی، نویز فلفل و نمک برخوردار است. در مجموع نتایج شبیه سازی ارائه شده، روش پیشنهادی در این مقاله را به عنوان یک روش کارا در حوزه نهان‌نگاری تصاویر رنگی معرفی می‌کند.

## ۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش نهان‌نگاری در حوزه فرکانسی مبتنی بر تبدیل موجک گسسته سه سطحی ارائه گردید. در این روش، برای فرایند جاسازی و استخراج از تکنیک آلفابلدینگ استفاده شده است. نتایج نشان داد که ضرایب این تکنیک نقش بسیار مهمی در حفظ کیفیت تصویر نهان‌نگاری شده و همچنین تصویر نهان‌نگاره بازیابی شده دارند. بر این اساس، یک رویکرد بهینه برای مقادیر پارامترهای روش آلفابلدینگ با استفاده از ارائه‌ی یک مدل ریاضی به همراه پیاده‌سازی در محیط نرم افزار گمز، بیان گردید. به منظور مقایسه‌ی روش پیشنهادی در این مقاله با دیگر روش‌های موجود در این حوزه، از معیارهای ارزیابی PSNR، NC و MSE استفاده شد. نتایج حاصل شده نشان دادند که روش ارائه شده در مقایسه با روش‌های مورد مقایسه از کارایی بالاتری برخوردار است.

## مراجع

- [۱] ح. جوانشیری، م. مردانیور، طرح نهان‌نگاری تصویر بهبودیافته ترکیبی در حوزه قیچک و موجک، مجله موجک‌ها و جبرخظی، ۴(۳) (۱۳۹۷)، ۵۵-۷۹.
- [2] Y. AL-Nabhani, H.A. Jalab, A. Wahid and R.M. Noor, Robust watermarking algorithm for digital images using discrete wavelet and probabilistic neural network, *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.*, **27**(4) (2015), 393–401.
- [3] I.A. Ansari and M. Pant, Multipurpose image watermarking in the domain of DWT based on SVD and ABC, *Pattern. Recognit. Lett.*, **94** (2017), 228–236.
- [4] N. Asha and P. Bhagya, An efficient fingerprint watermarking approach using 3 levels DWT and Alpha blending technique, *Imp. J. Interdiscip. Res.*, **2**(13) (2016), 56–61.
- [5] I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton and T. Shamoon, Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE Trans. Image Process.*, **6**(12) (1997), 1673–1687.
- [6] S.D. Degadwala, M. Kulkarni and D. Vyas, Novel image watermarking approach against noise and RST attacks, *Procedia. Computer. Science.*, **167** (2020), 213–223.
- [7] K. Fares and K. Amine and E. Salah, A robust blind color image watermarking based on Fourier Transform domain, *Optik*, **208** (2020), 164562.
- [8] Y. Gangadhar, V.S. Akul and P.C. Reddy, An evolutionary programming approach for se-

- curing medical images using watermarking scheme in invariant discrete wavelet transformation, *Biomed. Signal. Process. Control.*, **43** (2018), 31–40.
- [9] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Pearson, New York, 2018.
- [10] J.M. Guo, Watermarking in dithered halftone images with embeddable cells selection and inverse halftoning, *Signal. Process.*, **88**(6) (2008), 1496–1510.
- [11] S. Han, J. Yang and R. Wang, A robust color image watermarking algorithm against rotation attacks, *Optoelectron. Lett.*, **14** (2018), 61–67.
- [12] M.S. Hsieh, D.C. Tseng and Y.H. Huang, Hiding digital watermarks using multiresolution wavelet transform, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **48**(5) (2001), 875–882.
- [13] R. Keshavarzian and A. Aghagolzadeh, ROI based robust and secure image watermarking using DWT and Arnold map, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **70**(3) (2016), 278–288.
- [14] Y. Liu and J. Zhao, A new video watermarking algorithm based on 1D DFT and Radon transform, *Signal. Process.*, **90**(2) (2010), 626–639.
- [15] N. Makbol and B.E. Khoo, Robust blind image watermarking scheme based on redundant discrete wavelet transform and singular value decomposition, *Int. J. Electron. Commun.*, **67**(2) (2013), 102–112.
- [16] N. Narang and S. Vashisth, Digital watermarking using Discrete Wavelet Transform, *Int. J. Comput. Appl.*, **74**(20) (2013), 34–38.
- [17] S. Roy and A.K. Pal, A blind DCT based color Watermarking Algorithm for Embedding Multiple Watermarks, *Int. J. Electron. Commun.*, **72** (2017), 149–161.
- [18] L. Salimi, A. Haghighi and A. Fathi, A novel watermarking method based on differential evolutionary algorithm and wavelet transform, *Multimed. Tools. Appl.*, **79** (2020), 11357–11374.
- [19] A.K. Singh, B. Kumar, S.K. Singh, S.P. Ghreera and A. Mohan, Multiple watermarking technique for securing online social network contents using back propagation neural network, *Future. Gener. Com. Sy.*, **86** (2018), 926–939.
- [20] D. Singh and S.K. Singh, Block truncation coding based effective watermarking scheme for image authentication with recovery capability, *Multimed. Tools. Appl.*, **78**(4) (2019), 4197–4215.
- [21] C.T. Yen and Y. Huang, Frequency domain digital watermark recognition using image code sequences with a back-propagation neural network, *Multimed. Tools. Appl.*, **75**(16) (2015),

9745–9755.

- [22] A. Zear, A.K. Singh and P. Kumar, A proposed secure multiple watermarking technique based on DWT, DCT and SVD for application in medicine, *Multimed. Tools. Appl.*, 77(4) (2018), 4863–4882.