



## حذف اثر تاری ناشی از حرکت در تصاویر

زهرا دلخسته

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان

z.delkhasteh@yahoo.com

مهدی طالبی

دانشجوی دکتری، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان

mtalebi@eng.ui.ac.ir

### چکیده

یکی از انواع خرابی‌های رایج در تصویر، تاری است. رفع تاری تصویر یکی از بزرگ‌ترین و شایع‌ترین مسائل در حوزه‌ی پردازش تصویر است. در این مقاله روش مناسبی برای حذف تاری کور ناشی از حرکت در تصویر ارائه می‌دهیم که در آن علاوه بر بازیابی تصویر اصلی به بازیابی هسته تار که مجهول می‌باشد می‌پردازیم. هسته تار تابعی است که میزان و نوع تار شدن ناشی از تصویربرداری از منبع نقطه‌ای نور را شرح می‌دهد. روش پیشنهادی شامل دو فاز تخمین هسته تار نهایی و تخمین تصویر نهفته نهایی است. در فاز اول از دانش پیشین کانال سیاه (حداقل مقدار در تکه‌های تصویر) استفاده می‌شود و در یک پردازش چند مرحله‌ای، هسته تار به کمک تصویر نهفته میانی چند بار تخمین زده می‌شود و در نهایت هسته تار نهایی به دست می‌آید. در فاز دوم برای تخمین تصویر نهفته نهایی از کانولوشن تصویر با مجموعه فیلترهای مشتق شده بهره می‌گیریم و با توجه به هسته تار نهایی تخمین زده شده و تصویر تار اولیه به بازیابی تصویر نهفته نهایی می‌پردازیم. با این که تمرکز این مقاله بر روی رفع تاری ناشی از حرکت بر روی تصاویر طبیعی می‌باشد اما روش پیشنهادی قادر به رفع تاری در تصاویر متنی نیز می‌باشد و تاری متغیر با مکان را تا حدی پوشش می‌دهد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده و مقایسه با روش‌های موجود، روش پیشنهادی بالاترین مقدار کیفیت خروجی تصویر از لحاظ پارامتر نسبت سیگنال به نویز را داراست.

**واژگان کلیدی:** پردازش تصویر، رفع تاری تصویر، دکانولوشن کور



## چهارمین کنفرانس ملی

## فناوری اطلاعات، کامپیوتر و مخابرات

## 1- مقدمه

علوم تصویربرداری مدرن مانند تصویربرداری نجومی، تصویربرداری پزشکی و میکروسکوپی در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند. این تحولات سبب ایجاد تصاویر با وضوح بالا شده است. با این حال عوامل طبیعی و خارجی موجود در هر تکنیک، باعث تخریب در کیفیت تصویر می‌شود که تاری نمونه‌ای از این تخریب می‌باشد. (Wang and Tao, 2014)

تاری یک نوع خرابی در تصویر است که در اثر آن، اطلاعات یک پیکسل به پیکسل‌های همسایه سرریز می‌کند. این سرریز اطلاعات، بسته به نوع تاری می‌تواند در یک یا چند جهت اتفاق بیفتد. به عنوان مثال، اگر تاری در اثر عدم تنظیم لنز دوربین، تمرکز روی بخشی از صحنه، یا عمق محدود دید دوربین باشد سرریز اطلاعات در تمام جهات در پیکسل‌های همسایه اتفاق می‌افتد؛ اما اگر تاری در اثر حرکت دوربین یا صحنه به وجود آید این سرریز اطلاعات فقط در راستای حرکت اتفاق می‌افتد. به طور کلی با تار شدن یک تصویر، اختلاف بین شدت روشنایی پیکسل‌های همجوار آن کم می‌شود. لذا در اثر تاری، اطلاعات فرکانس بالای تصویر کاهش یافته و دیدن جزئیات در تصویر دچار مشکل می‌شود (عسکری جواران و همکاران، 1395). بنابراین دسترسی به تصاویر با وضوح بیشتر، منجر به تقاضای روز افزون برای الگوریتم‌های مؤثر و کارآمد در بهبود تصاویر برای رسیدن به تصاویر خروجی با کیفیت بالا در سیستم‌های عکاسی دیجیتال و برنامه‌های کاربردی شده است.

(Kheradmand and Milanfar, 2014)

تاری ناشی از حرکت یا بر اثر حرکت نسبی بین شیء در صحنه و دوربین و یا بر اثر لرزش دوربین اتفاق می‌افتد. تاری که بر اثر حرکت شیء به وجود می‌آید، معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که در حال عکس گرفتن از شیء ای هستیم که آن شیء با سرعت در حال حرکت است. تاری لرزش دوربین، ناشی از حرکت دوربین در زمان نوردهی می‌باشد. این امر مخصوصاً در عکاسی دستی در شرایط نوری کم اتفاق می‌افتد. در این مقاله به رفع تاری ناشی از حرکت در تصاویر می‌پردازیم.

هسته<sup>1</sup> تاری به عنوان تابع نقطه گستر<sup>2</sup>، تابعی است که میزان و نوع تار شدن ناشی از تصویربرداری از منبع نقطه‌ای نور را شرح می‌دهد. بر اساس معلوم یا مجهول بودن هسته تار، مسأله رفع تاری تصویر به دو بخش رفع تاری غیر کور و کور تقسیم می‌شود به طوری که اگر هسته تار مشخص و معلوم باشد رفع تاری غیر کور و اگر مجهول باشد رفع تاری کور است. مسأله تاری را می‌توان به صورت رابطه (1) بیان کرد:

$$b=i*k+n \quad (1)$$

که  $b$  تصویر تار شده،  $k$  هسته تاری،  $i$  تصویر واضح،  $*$  عملگر کانولوشن و  $n$  نویز تصویر می‌باشند. هدف اصلی در رابطه (1) یافتن یک تصویر  $i$  در رفع تاری غیر کور و یا تصویر  $i$  و هسته تاری  $k$  در رفع تاری کور از تصویر تار  $b$  است در حالی که به طور هم زمان به حذف اثر نویز  $n$  پرداخته می‌شود. همانطور که شکل 1 نشان می‌دهد حاصل کانولوشن یک تصویر واضح با یک هسته تار، یک تصویر تار شده می‌باشد (Yadav et al, 2016). اگر از رابطه (1)، تبدیل فوریه گرفته شود به رابطه (2) تبدیل می‌شود.

$$B=IK+N \quad (2)$$

اکثر الگوریتم‌های رفع تاری تصویر، وابسته به بهینه کردن یک تابع هزینه هستند که به فرم رابطه (3) می‌باشد که در آن  $I$  یک ماتریس از تصویر واضح،  $B$  تصویر تار و  $K$  هسته تار است. رابطه (3) از دو جمله تشکیل شده است که جمله اول  $(\|B-IK\|^2)$  برای درستی داده‌ها<sup>3</sup> است و جمله دوم  $(\eta R(I))$  به تنظیم مسائل بدوضع<sup>4</sup> اشاره می‌کند که  $R(I)$  عبارت تنظیم را مشخص

<sup>1</sup>Kernel

<sup>2</sup>Point spread function(PSF)

<sup>3</sup>Data fidelity

<sup>4</sup>Ill-Posed



شکل 1. تصویر تار حاصل شده از کانولوشن تصویر واضح با هسته تار (Yadav et al, 2016)

می‌کند و پارامتر  $\eta$ ، میزان تنظیم را کنترل می‌کند تا تخمین نهایی را از خطای سیگنال نادرست نزدیکی لبه حفظ نماید. مسأله بدووضع یکی از مشکلات موجود در رفع تاری تصویر است. برای رفع این مشکل از عبارات تنظیم<sup>5</sup> استفاده می‌شود. در مسائل بدووضع مجموعه جواب‌های زیادی وجود دارند که در رابطه (2) صدق می‌کنند ولی برای به دست آوردن جواب صحیح در بین جواب‌های زیادی که وجود دارد از منظم‌سازی در تابع هزینه رابطه (3) استفاده می‌شود. تنظیم یا دانش پیشین<sup>6</sup>، اشاره به یک روند معرفی اطلاعات اضافی به منظور حل یک مسأله بدووضع و یا برای جلوگیری از بیش‌برازش<sup>7</sup> دارد.

$$E(I) = \|B - IK\|^2 + \eta R(I) \quad (3)$$

هدف از این مقاله، ارائه الگوریتم دکانولوشن کور مناسبی جهت رفع تاری ناشی از حرکت در تصویر می‌باشد که در آن تصویر واضح از نسخه تار شده آن بازیابی می‌شود و هسته تار مجهول، تخمین زده می‌شود. روش پیشنهادی با استفاده از به‌کارگیری دانش پیشین به نام کانال سیاه<sup>8</sup>، در تخمین هسته تار نهایی و استفاده از کانولوشن تصویر با مجموعه فیلترهای مشتق شده در تخمین تصویر نهفته نهایی، سبب بهبود نتیجه حاصل از رفع تاری ناشی از حرکت در تصویر می‌شود. در این مقاله در بخش دوم به‌طور مختصر به توضیح کارهای مرتبط در این زمینه می‌پردازیم. در بخش سوم روش پیشنهادی در رفع تاری کور ناشی از حرکت در تصویر شرح داده می‌شود و سپس در بخش چهارم نتایج و مقایسه کمی و دیداری بین روش پیشنهادی و سایر روش‌های موجود را ارائه می‌دهیم. در بخش آخر هم به نتیجه‌گیری و پیشنهادها جهت کارهای آینده می‌پردازیم.

## 2- کارهای مرتبط

به دلیل بدووضع بودن مسأله رفع تاری تصویر، روش‌های زیادی به وجود آمدند که فرض‌هایی را بر روی هسته تار یا تصویر نهفته و یا هر دو در نظر می‌گرفت که این فرض‌ها همان عبارات تنظیم در توابع هزینه هستند. به‌طور کلی انتخاب عبارت تنظیم در معادلات نقش مهمی هم در تخمین هسته تار و هم در تخمین تصویر نهفته نهایی دارد تا تصویر خروجی، عاری از هرگونه نویز یا آرتیفکت<sup>9</sup> باشد.

(Fergus et al, 2006) و (Shan et al, 2008) از توزیع دم کلفت<sup>10</sup> تصاویر (دسته‌ای از توابع توزیع احتمال هستند که کشیدگی بزرگی دارند) جهت تنظیم در معادلات تابع هزینه خود استفاده می‌کنند. هیستوگرام قرمز رنگ در شکل 2، توزیع اندازه گرادیان یک تصویر طبیعی را نشان می‌دهد و هیستوگرام آبی رنگ در شکل 2، توزیع اندازه گرادیان تصویر تار شده آن را نشان می‌دهد. همانطور که شکل 2 نشان می‌دهد توزیع اندازه گرادیان یک تصویر طبیعی از یک توزیع دم کلفت تبعیت می‌کند و (Fergus et al, 2006) جهت تقریب توزیع دم کلفت، مطابق شکل 3، ترکیبی از توزیع گوسین‌های<sup>11</sup> دارای میانگین صفر را

<sup>5</sup>Regularization term

<sup>6</sup>Prior

<sup>7</sup>Over-fitting

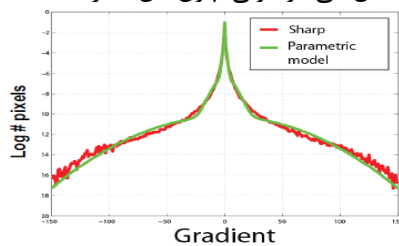
<sup>8</sup>Dark channel

<sup>9</sup>Artifact

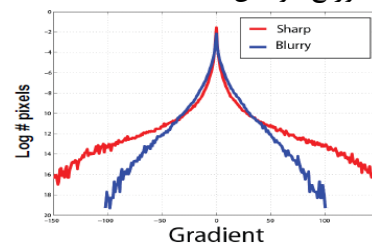
<sup>10</sup>Tailed distribution

<sup>11</sup>The mixture of Gaussians

پیشنهاد می‌دهد و از تئوری بیز<sup>۱۲</sup> که براساس بیشترین قیاس بنا نهاده شده است جهت تخمین هسته تار استفاده می‌کند. (Shan et al,2008) نیز یک مدل پارامتری جهت تقریب توزیع دم کلفت از گرادیان تصاویر طبیعی ارائه می‌دهد. (Levin et al,2009) از عبارت تنظیم هایپر لاپلاسیان<sup>۱۳</sup> جهت تقریب گرادیان تصویر طبیعی استفاده می‌کند. در (Cho and Lee,2009) فرآیند تخمین هسته تار با استفاده از استراتژی درشت به ریز<sup>۱۴</sup> مطابق شکل 4 انجام می‌شود که جهت تخمین در هر بار تکرار از فیلتر دو جانبه و آستانه‌گیری لبه استفاده می‌شود تا تیزی لبه‌ها حفظ گردد. در این روش از عبارت تنظیم توزیع گوسین استفاده شده است که سبب سرعت در امر تخمین می‌شود ولی چون این عبارت ماهیت اسپارس<sup>۱۵</sup>



شکل 3. تقریب توزیع دم کلفت تصویر (Fergus et al,2006)



شکل 2. توزیع دم کلفت گرادیان تصویر طبیعی (Fergus et al,2006)



شکل 4. استراتژی درشت به ریز در تخمین هسته تار در روش (Cho and Lee,2009)

(اسپارس، به ماتریس یا آرایه‌ای اطلاق می‌شود که دارای تعداد زیادی درآیه صفر است) هسته را حفظ نمی‌کند گاهی منجر به نتیجه نویزی می‌شود.

ساختار لبه‌های تصویر نقش مهمی در تخمین هسته ایفا می‌کنند. روش ترکیب فیلتر شوک با دیگر فیلترها همانند فیلتر دو جانبه<sup>۱۶</sup> به طور گسترده استفاده شده است (Alvarez and Mazorra,1994)؛ (Money and Kang,2008)؛ (Pan et al,2013). در (Xu and Jia,2010) روش مؤثری جهت انتخاب لبه‌هایی که در تخمین هسته مؤثر هستند ارائه شده است. (Xu et al,2013) از نرم صفر جهت تخمین هسته تار در معادلات خود استفاده می‌کنند. از عبارت تنظیم نرم صفر در رفع تاری‌های ناشی از حرکت در تصاویر طبیعی و متنی استفاده می‌شود زیرا تأثیر خوبی بر روی نویز دارد و از خطاهایی که در اطراف لبه‌ها ظاهر می‌شود جلوگیری می‌کند.

### 3- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی از دو فاز تخمین تشکیل شده است که فاز اول مربوط به تخمین هسته تار نهایی و فاز دوم مربوط به تخمین تصویر نهفته نهایی می‌باشد. شکل 5 روند کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. ابتدا تصویر تار را به تصویر خاکستری تبدیل و آن را downsample می‌کنیم و از آن به‌عنوان ورودی در فاز تخمین هسته تار نهایی استفاده می‌کنیم. در فاز اول جهت تخمین هسته تار نهایی، الگوریتمی تکرارشونده وجود دارد که میزان تکرار آن را اندازه هسته تار مشخص می‌کند. در هر بار تکرار این الگوریتم، تصویر تار upsample می‌شود و با استفاده از آن و هسته تار تخمین‌زده شده در مرحله قبل در قسمت

<sup>12</sup>Bayes' theorem

<sup>13</sup>Hyper-Laplacian

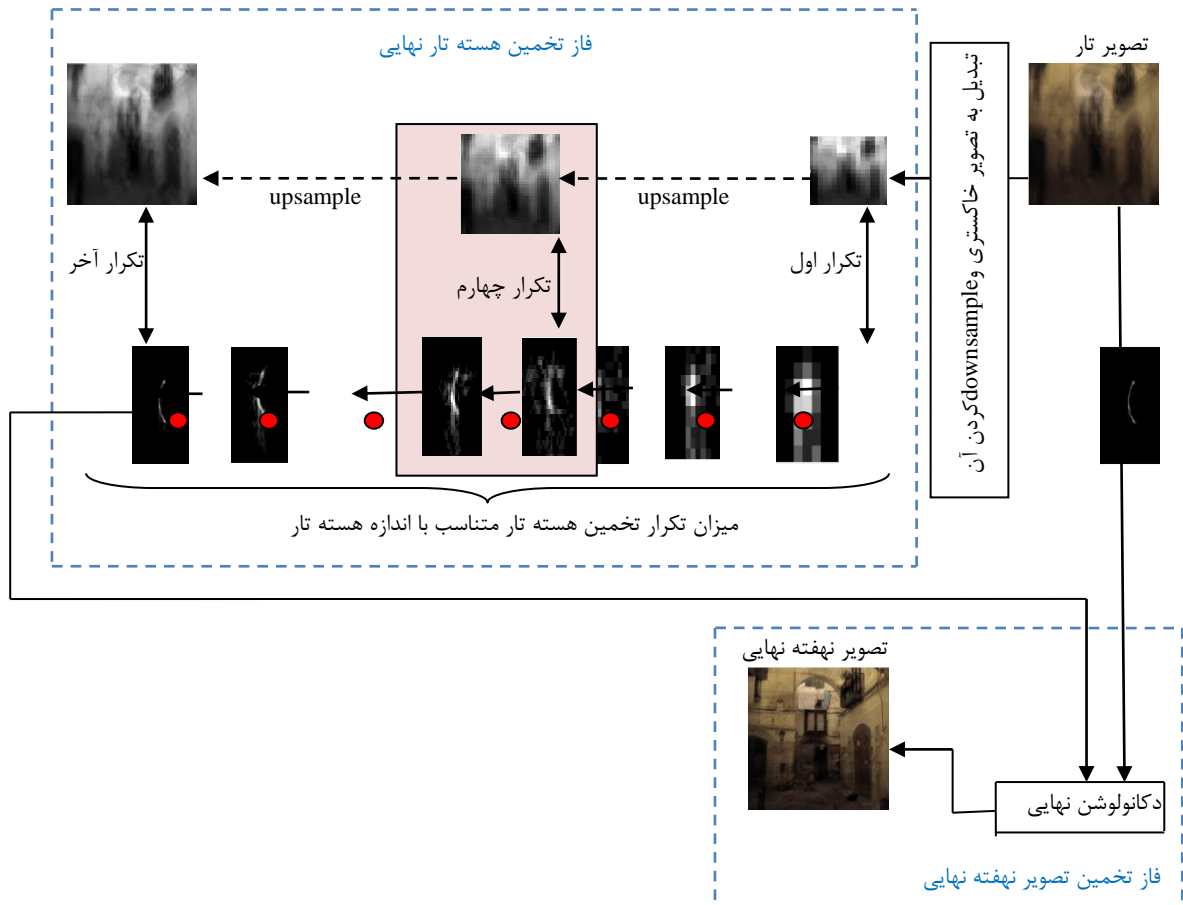
<sup>14</sup>Coarse to fine

<sup>15</sup>Sparse

<sup>16</sup>Bilateral

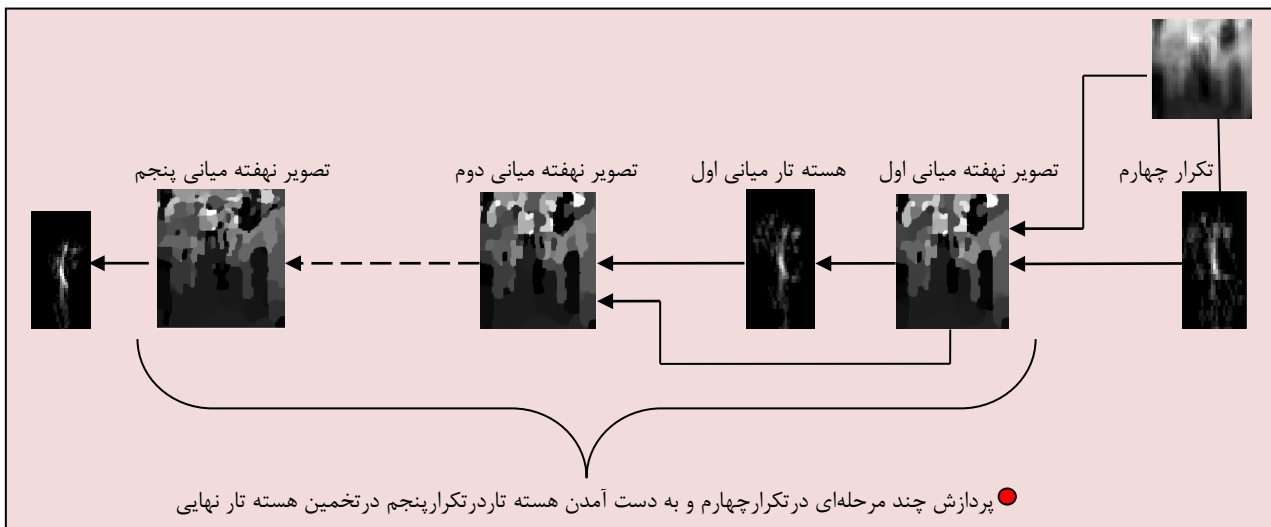


پردازش چند مرحله‌ای، هسته تار مرحله بعدی به دست می‌آید. این روند تا به دست آمدن هسته تار نهایی ادامه دارد ( در شکل 5 نشان دهنده ورود به قسمت پردازش چند مرحله‌ای است و نشان دهنده وجود چندین تکرار است). سپس با استفاده از تصویر تار ورودی و هسته تار نهایی تخمین زده شده در فاز اول، وارد فاز دوم که همان تخمین تصویر نهفته نهایی است می‌شویم و با استفاده از مجموعه فیلترهای مشتق شده، تصویر نهفته نهایی را بازیابی می‌کنیم.  $downsample$  یا  $upsample$  کردن یک تصویر، فرآیند ویرایش تصویر است که سبب کوچک یا بزرگ شدن تصویر می‌شود. پارامتر اندازه هسته تار به صورت دستی و توسط کاربر تنظیم می‌شود. در صورتی که کاربر مایل به تنظیم این پارامتر نباشد به صورت پیش فرض مقدار 41 برای آن در نظر گرفته می‌شود. البته فرض بر این است که این عدد، فرد و هسته تار به صورت مربع باشد. شکل 6 روند پردازش چند مرحله‌ای در مستطیل صورتی رنگ شکل 5 و چگونگی به دست آمدن هسته تار در تکرار پنجم را نشان می‌دهد. ورودی‌های قسمت پردازش چند مرحله‌ای، تصویر تار ورودی  $upsample$  شده و هسته تار تخمین زده شده در تکرار قبل از فاز اول است که با توجه به این دو ورودی تصویر نهفته میانی را به دست می‌آوریم. سپس با استفاده از تصویر نهفته میانی، هسته تار میانی را تخمین می‌زنیم. در مراحل بعد تکرار الگوریتم این قسمت، از تصویر نهفته میانی و هسته تار میانی مرحله قبل، تصویر نهفته میانی بعدی را تخمین می‌زنیم و پس از آن هسته تار میانی بعدی به دست می‌آوریم. میزان تکرار الگوریتم در این قسمت برابر 5 است زیرا این عدد بهترین مقداری است که هر دو کمیت سرعت و دقت در روش پیشنهادی را تأمین می‌کند.



شکل 5. روند کلی روش پیشنهادی برای تخمین هسته تار نهایی و تصویر نهفته نهایی (● نشان دهنده ورود به قسمت پردازش چند مرحله‌ای،

– نشان دهنده وجود چندین تکرار و مستطیل صورتی رنگ جهت توضیح مرحله پردازش چند مرحله‌ای در شکل 6 می‌باشد)





شکل 6. روند پردازش چند مرحله‌ای برای تخمین هسته تار

1-3- دانش پیشین کانال سیاه

مقایسه نتیجه تخمین هسته تار با استفاده از عبارات تنظیم متفاوت، این موضوع را نشان می‌دهد که عبارت تنظیم یا دانش پیشین استفاده شده در رابطه‌های تابع هزینه، نقش مهمی در تخمین هسته تار و یا تخمین تصویر نهفته نهایی دارد. به طور مثال شکل 7 الف از عبارت تنظیم نرم یک هسته تار  $(\|k\|_1)$  و شکل 7 ب از عبارت تنظیم نرم دو هسته تار  $(\|k\|_2)$  در رابطه تابع هزینه خود جهت تخمین هسته تار استفاده کرده‌اند. همانطور که شکل 7 نشان می‌دهد تخمین هسته تار شکل 7 ب دقیق‌تر می‌باشد. پس انتخاب عبارت تنظیم مناسب جهت تخمین هسته تار بسیار حائز اهمیت است. در روش پیشنهادی جهت تخمین هسته تار نهایی ما از کانال سیاه جهت تنظیم رابطه تابع هزینه خود استفاده می‌کنیم.

تعریف: رابطه (4)، نرم  $p^1$  متغیر  $x$  را نشان می‌دهد که اگر  $p=1$  باشد نرم یک و اگر  $p=2$  باشد نرم دو یا نرم اقلیدسی می‌باشد.

$$\|x\|_p := (\sum_{i=1}^n |x_i|^p)^{1/p} \quad (4)$$

دانش پیشین کانال سیاه (کمترین مقدار در یک همسایگی)، نوعی ویژگی آماری است که ابتدا توسط (He et al, 2009) برای رفع تصاویر دارای مه که ایجاد ابهام در تصویر می‌کرد استفاده شد. برای هر تصویر  $I$ ، کانال سیاه، حاصل استفاده از دو عملگر مینیمم می‌باشد. ابتدا کوچکترین مقدار شدت روشنایی در بین سه کانال تصویر (RGB) در پیکسل مربوطه محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از قطعه‌هایی از تصویر، کوچکترین مقدار شدت روشنایی در هر قطعه از تصویر به دست آورده می‌شود که نتیجه به دست آمده همان کانال سیاه می‌باشد. کانال سیاه به صورت رابطه (5) تعریف می‌شود که در آن  $x, y$  نشان‌دهنده پیکسل‌های تصویر هستند.  $N(x)$  قطعه‌ای از تصویر به مرکز  $x$  می‌باشد و  $I^c$ ،  $c$  امین کانال رنگی است.

$$D(I)(x) = \min_{y \in N(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} I^c(y)) \quad (5)$$

اگر  $I$ ، یک تصویر سیاه و سفید باشد رابطه (6) را خواهیم داشت:

$$\min_{c \in \{r, g, b\}} I^c(y) = I(y) \quad (6)$$

شکل 8 الف یک تصویر رنگی دلخواه را نشان می‌دهد. شکل 8 ب برای هر پیکسل در تصویر، کمترین مقدار از کانال رنگی RGB محاسبه شده است. شکل 8 ج حاصل اعمال فیلتر حداقل (پنجره‌ای بر روی پیکسل‌های تصویر قرار می‌گیرد) بر روی شکل 8 ب است به این صورت که با استفاده از قطعه‌هایی به اندازه  $15 \times 15$  کمترین پیکسل موجود در هر تکه محاسبه می‌شود که نهایتاً منجر به تشکیل کانال سیاه تصویر اصلی می‌شود. شکل 8 ج، کانال سیاه از شکل 8 الف می‌باشد. دانش پیشین کانال سیاه، به‌طور گسترده جهت توصیف حداقل مقدار در تکه‌های تصویر استفاده می‌شود. در (He et al, 2009) نشان داده شده است که کانال سیاه تصاویری که در فضای باز بدون وجود مه گرفته می‌شود تقریباً صفر است ولی در موضوع تار تصویر، فرض بر این است که همه آنها صفر نیستند بلکه غالب عناصر صفر می‌باشند. همان‌طور که شکل 9 نشان می‌دهد مقدار پیکسل برخی از عناصر تصویر واضح در کانال سیاه مربوطه، صفر هستند. تعداد عناصر صفر در کانال سیاه تصویر تار، کمتر می‌باشد یعنی کانال سیاه تصویر واضح، شامل مقدار صفر بیشتری نسبت به نسخه تار آن است بنابراین اسپارسیته کانال سیاه یک معیار ذاتی برای تشخیص تصاویر واضح از تصاویر تار است و همچنین از نرم صفر جهت مدل‌کردن خاصیت اسپارس کانال سیاه می‌توان استفاده کرد.



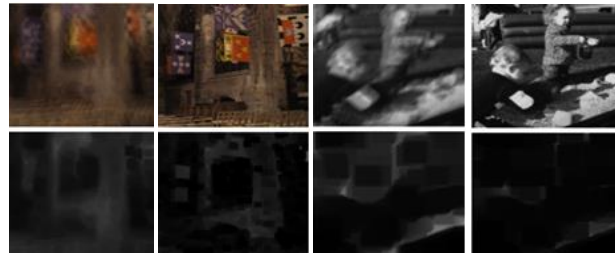
الف ب

شکل 7. مقایسه تخمین هسته تار در عبارات تنظیم متفاوت



الف. تصویر رنگی ب. کمترین مقدار از کانال رنگی RGB ج. کانال سیاه تصویر رنگی

شکل 8. تصویر رنگی و کانال سیاه تصویر (He et al, 2009)



الف. تصویر واضح ب. تصویر تار ج. تصویر واضح د. تصویر تار

شکل 9. تصاویر واضح و تار و کانال سیاه مربوط به هر تصویر. تصاویر ردیف اول را نشان می‌دهد. (الف و ج) تصاویر واضح و کانال سیاه مربوطه، (ب و د) تصاویر تار شده و تصاویر ردیف دوم کانال سیاه مربوط به تصاویر ردیف اول را نشان می‌دهد. (الف و ج) تصاویر واضح و کانال سیاه مربوطه، (ب و د) تصاویر تار شده و کانال سیاه مربوطه. (Pan et al, 2016) استفاده از دانش پیشین کانال سیاه، باعث تولید تصویر نهفته میانی واضح‌تری در روند پردازش چند مرحله‌ای می‌شود که این امر باعث تسهیل در امر تخمین هسته تار می‌شود (شکل 10). تصویر کانال سیاه تصویر نهفته میانی، در هر بار تکرار اسپارس‌تر می‌شود و به تصویر واضح اصلی نزدیک‌تر می‌شود.

## 2-3- فاز تخمین هسته تار نهایی

جهت تخمین هسته تار نهایی رابطه تابع هزینه به شکل رابطه (7) می‌باشد:

$$\min_{I,k} \|I * k - B\|_2^2 + \gamma \|k\|_2^2 + \mu \|\nabla I\|_0 + \lambda \|D(I)\|_0 \quad (7)$$

که در رابطه (7) تصویر تار شده،  $k$  هسته تار و  $I$  تصویر واضح نهفته میانی می‌باشند. عبارت اول ( $\|I * k - B\|_2^2$ ) عبارت درستی داده‌ها، اشاره به این موضوع دارد که کانولوشن تصویر بازیابی شده و هسته تار، شبیه به تصویر واضح اصلی باشد و باید بین آنها اختلاف کمی وجود داشته باشد. دومین عبارت ( $\|k\|_2^2$ ) نرم دو هسته تار است که برای تنظیم راه‌حل هسته تار استفاده می‌شود و سومین عبارت ( $\|\nabla I\|_0$ ) نرم صفر گرادیان تصویر است که عناصر غیر صفر گرادیان تصویر را می‌شمارد و این عبارت تنظیم گرادیان‌های بزرگ تصویر را حفظ می‌کند و جزئیات کوچک را حذف می‌کند و عبارت چهارم ( $D(I)$ ) کانال سیاه تصویر  $I$  را مشخص می‌کند.  $\mu$  و  $\lambda$  و  $Y=2$  و  $\mu=0/004$  را برای آنها در نظر گرفتیم.

رابطه (7) را می‌توان به طور مجزا برای تصویر نهفته میانی به صورت رابطه (8) نوشت که برای تصویر نهفته میانی  $I$  داریم:

$$\min_I \|I * k - B\|_2^2 + \mu \|\nabla I\|_0 + \lambda \|D(I)\|_0 \quad (8)$$

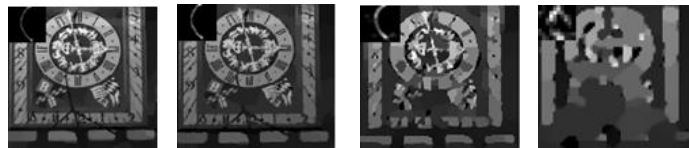
از آن جایی که حل رابطه (8) به دلیل وجود عبارت تنظیم نرم صفر و تابع غیرخطی  $D(\cdot)$  دارای پیچیدگی محاسباتی است، برای حل رابطه (8) از روش به حداقل رساندن متناوبی (Xu et al, 2011) استفاده می‌شود که از متغیرهای کمکی  $u$  در رابطه (10) و  $g$  در رابطه (11) جهت به دست آمدن تصویر نهفته میانی  $I$  استفاده می‌شود. رابطه (8) به صورت رابطه (9) بازنویسی



می شود که  $\alpha$  و  $\beta$  پارامترهای جریمه هستند و با به حداقل رساندن متغیرهای  $I, u, g$  و ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها رابطه

$$\min_{I, u, g} \|I * k - B\|_2^2 + \alpha \|\nabla I - g\|_2^2 + \beta \|D(I) - u\|_2^2 + \mu \|g\|_0 + \lambda \|u\|_0 \quad (9)$$

$$g = \begin{cases} \nabla I & , |\nabla I|^2 \geq \frac{\mu}{\alpha} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad u = \begin{cases} D(I) & , |D(I)|^2 \geq \frac{\lambda}{\beta} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$



شکل 10. تخمین هسته تار و تصویر نهفته میانی با استفاده از کانال سیاه در تکرارهای پردازش چند مرحله‌ای

از آن جایی که حل رابطه (9) یک مساله حداقل مربعات است در رابطه (12) داریم:

$$I = F^{-1} \left( \frac{\bar{F}(T_k)F(B) + \beta F(\hat{u}) + \alpha (\bar{F}(\nabla_h)F(g_h) + \bar{F}(\nabla_v)F(g_v))}{\bar{F}(T_k)F(T_k) + \beta + \alpha (\bar{F}(\nabla_h)F(\nabla_h) + \bar{F}(\nabla_v)F(\nabla_v))} \right) \quad (12)$$

که  $F(\cdot)$  تبدیل فوریه،  $\bar{F}(\cdot)$  عملگر مزدوج مختلط،  $g_h, g_v$  گرادیان‌های تصویر در جهت عمودی و افقی،  $T_k$  ماتریس توپلیتس<sup>18</sup> از  $k$  (ماتریسی است که در آن هر زیر قطر از سمت چپ به سمت راست دارای مقدار ثابت است) و  $I$  تصویر نهفته میانی می‌باشند. در الگوریتم 1 مراحل حل رابطه (9) و به دست آمدن تصویر نهفته میانی آمده است که برای  $\beta \max$  مقدار 8 و برای  $\alpha \max$  مقدار 100000 در نظر گرفته ایم.

در الگوریتم 2 برای تخمین هسته تار  $K$  از رابطه (13) استفاده می‌کنیم:

$$\min_k \|I * K - B\|_2^2 + \gamma \|K\|_2^2 \quad (13)$$

که با استفاده از روش گرادیان مزدوج و تبدیل فوریه، هسته تار را به دست می‌آوریم. پس از به دست آمدن هسته تار، عناصر منفی آن را به صفر تغییر می‌دهیم و آن را نرمال می‌کنیم و سپس در پردازش چند مرحله‌ای جهت تخمین بعدی از آن استفاده می‌کنیم.

<sup>18</sup>Toeplitz matrix



الگوریتم 1. حل رابطه (9) و به دست آمدن تصویر نهفته میانی

(1) ورودی : تصویر تار شده B و هسته تار K

(2)  $\beta \leftarrow \beta_0$  و  $I \leftarrow B$

repeat (3)

(4) به دست آوردن کانال سیاه D(I) با استفاده از تعریف کانال سیاه

(5) به دست آوردن مقدار متغیر کمکی u با استفاده از رابطه (10)

(6)  $\alpha \leftarrow \alpha_0$

repeat (7)

(8) به دست آوردن مقدار متغیر کمکی g با استفاده از رابطه (11)

(9) به دست آوردن مقدار I با استفاده از رابطه (12)

(10)  $\alpha \leftarrow 2\alpha$

until  $\alpha > \alpha_{max}$  (11)

$\beta \leftarrow 2\beta$  (12)

until  $\beta > \beta_{max}$  (13)

(14) خروجی: تصویر نهفته میانی I

الگوریتم 2. تخمین هسته تار تصویر

(1) ورودی : تصویر تار شده B و هسته تار k

(2)  $i \leftarrow 1$

repeat (3)

(4) به دست آوردن تصویر نهفته میانی I با استفاده از الگوریتم 1

(5) به دست آوردن مقدار هسته تار میانی k با استفاده از رابطه (13)

(6)  $i \leftarrow i + 1$

(7)  $B \leftarrow I$

until  $i \leq 5$  (8)

(9) خروجی: تخمین هسته تار k

3-3- فاز تخمین تصویر نهفته نهایی

حال با استفاده از هسته تار k که از مرحله قبل حاصل شد و نیز تصویر تار که در اختیار هست می توان تصویر نهفته نهایی را تخمین زد. رابطه (14) برای بازگرداندن تصویر نهفته اصلی استفاده شده است که از عبارت تنظیم کانولوشن تصویر اصلی با چند فیلتر مشتق شده بهره گرفته است که  $I^*$  به معنای تخمینی از تصویر واضح اصلی I، K هسته تار، B تصویر تار،  $\lambda x$  مقدار ثابت 0/0002، p در محدوده (0/6 و 0/8) و  $f_7$  شامل مجموعه ای از فیلترهای بالاگذر و پایین گذر می باشد که از مشتق مرتبه اول  $(f_1=(1,-1))$  و مرتبه دوم آن  $(f_2=(1,-1)^T)$  در بازگرداندن تصویر اصلی استفاده نمی شود و از مشتق های مرتبه بالاتر استفاده می کنیم.  $(f_3, f_4, f_5)$

$$I^* = \arg \min_I \frac{1}{2} \|IK-B\|_2^2 + \frac{\lambda_x}{p} \sum_{\gamma} \|f_{\gamma} * I\|_p \quad (14)$$

$$f_3 = (-1, 2, -1) \quad f_4 = (-1, 2, -1)^T \quad f_5 = (1 \ -1; -1 \ 1)$$

فاز اول روش پیشنهادی که تخمین هسته تار نهایی تصویر می‌باشد همان روش (Pan et al, 2016) است که برای به دست آوردن تصویر نهفته میانی از دانش پیشین کانال سیاه استفاده شده است ولی در مرحله بعد که تخمین تصویر نهفته نهایی است (Pan et al, 2016) از عبارت تنظیم مجموع نرم صفر تصویر و نرم صفر گرادیان تصویر  $(\|I\|_0 + \|\nabla I\|_0)$  استفاده کرده است ولی در روش پیشنهادی از عبارت تنظیم کانولوشن تصویر با مجموعه فیلترهای مشتق شده استفاده می‌کنیم  $(\|f_{\gamma} * I\|_p)$  که این تفاوت سبب بروز کیفیت بهتر در تصویر نهایی می‌شود. همانطور که جدول 1 نشان می‌دهد عبارات تنظیم یا دانش پیشین که در رابطه تابع هزینه جهت تخمین هسته تار نهایی روش پیشنهادی استفاده شده است شامل نرم دوم هسته تار  $(\|k\|_2^2)$ ، نرم صفر گرادیان تصویر  $(\|\nabla I\|_0)$ ، نرم صفر کانال سیاه تصویر می‌باشد  $(\|D(I)\|_0)$ . نرم دو هسته تار، سرکوب خوبی برای تأثیرات نویز می‌باشد و فرمت درجه دو آن، باعث سرعت تخمین هسته به وسیله تبدیل فوریه می‌شود. نرم صفر گرادیان تصویر، تعداد عناصر غیر صفر گرادیان تصویر را می‌شمارد و نرم صفر کانال سیاه تصویر جهت اندازه‌گیری اسپارسیته کانال سیاه استفاده می‌شود.

#### 4- نتایج

سیستم مورد استفاده برای ارزیابی الگوریتم دارای پردازشگر چهار هسته‌ای 2/40 گیگا هرتز و 16 گیگابایت حافظه اصلی می‌باشد و پیاده‌سازی روش پیشنهادی با نرم‌افزار متلب نسخه 2014b انجام شده است. جهت ارزیابی روش پیشنهادی معرفی شده، مقایسه دیداری و کمی صورت گرفته است. در مقایسه دیداری، تصویر خروجی روش پیشنهادی را در کنار تصویر خروجی سایر روش‌ها می‌آوریم. در مقایسه کمی از پارامتر  $PSNR^{19}$  که نسبت سیگنال به نویز می‌باشد استفاده شده است. از این پارامتر برای اندازه‌گیری کیفیت تصاویر دیجیتال استفاده می‌شود و هرچه این پارامتر مقدار بالاتری را به خود اختصاص دهد تصویر دارای کیفیت بالاتری است.

جدول 1- مقایسه عبارات تنظیم استفاده شده در روش پیشنهادی و (Pan et al, 2016)

عبارات تنظیم	روش (pan et al, 2016)	روش پیشنهادی
عبارت تنظیم استفاده شده جهت تخمین نهایی هسته تار و تصویر نهفته میانی $I$	$\gamma \ k\ _2^2 + \mu \ \nabla I\ _0 + \lambda \ D(I)\ _0$	$\gamma \ k\ _2^2 + \mu \ \nabla I\ _0 + \lambda \ D(I)\ _0$
عبارت تنظیم استفاده شده جهت تخمین تصویر نهفته نهایی $I$	$\lambda (\sigma \ I\ _0 + \ \nabla I\ _0)$	$\frac{\lambda_x}{p} \sum_{\gamma} \ f_{\gamma} * I\ _p$

#### 4-1- مقایسه دیداری تصاویر طبیعی

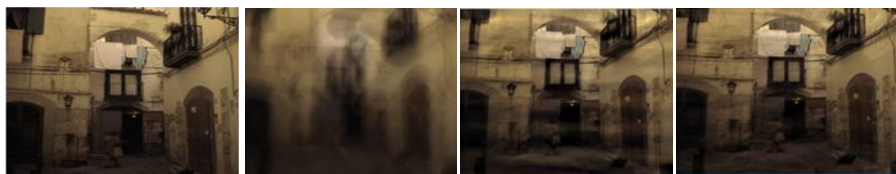
در این بخش ما روش پیشنهادی خود را با الگوریتم‌هایی که بهترین عملکرد در رفع تاری تصویر دارند از لحاظ ظاهری و دیداری مقایسه می‌کنیم. الگوریتم ما در برخی از تصاویر، خروجی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها از خود نشان داده است و یا در برخی موارد، خروجی بسیار نزدیک به بهترین الگوریتم در زمینه رفع تاری تصویر می‌باشد.

<sup>19</sup>Peak signal noise ratio

در شکل 11 تصویر واضح توسط هسته تار بسیار بزرگ و غیر یکنواختی تار شده است که هر دو روش، (Pan et al,2016) و روش پیشنهادی، تصویر نهفته نهایی را بازیابی می کنند ولی در تصویر خروجی روش پیشنهادی، میزان آرتیفکت کمتری نسبت به روش (Pan et al,2016) ملاحظه می کنیم. جدول 2 مقادیر پارامتر PSNR تصاویر را نشان می دهد که روش پیشنهادی بالاترین مقدار را داراست.

در شکل 12 برای مقایسه بهتر بین روش های موجود رفع تار ناشی از حرکت، بخشی از تصویر تار انتخاب شده است که این بخش انتخاب شده، تصویر متنی را نشان می دهد و بهترین خروجی مربوط به روش پیشنهادی است که در رفع تار تصاویری که دارای متن نیز هستند مناسب عمل می کند. روش (Fergus et al,2006) از توزیع دم کلفت تصاویر، روش (Krishnan et al,2011) از نرم یک گرادیان تصویر بر روی دو گرادیان  $\frac{\|\nabla x\|_1}{\|\nabla x\|_2}$  و نرم یک هسته تار  $(\|k\|_1)$  به عنوان عبارت تنظیم تابع هزینه خود استفاده می کنند. همچنین  $RDS^{20}$  یک نرم افزار مشهور قابل دانلود است که تار تصاویر ورودی را رفع می نماید.

در شکل 13، تصویر خروجی روش پیشنهادی با سه روش دیگر مقایسه شده است که تصویر خروجی روش پیشنهادی دارای کیفیت بالاتری از لحاظ پارامتر PSNR است. زمانی که تصویر خروجی با اندازه بزرگتر نشان داده شود مشخص می شود که جزئیات در تصویر خروجی روش پیشنهادی بهتر بازیابی شده است و به تصویر اصلی نزدیک تر است. جدول 3 مقادیر پارامتر PSNR تصاویر را نشان می دهد که روش پیشنهادی بالاترین مقدار را داراست. در رفع تار ثابت با مکان، میزان تار همه پیکسل های تصویر یکسان فرض می شود ولی زمانی که میزان این تار در همه جای تصویر به یک اندازه نباشد با تار متغیر با مکان و غیر یکنواخت روبه رو هستیم. شکل 14 ب تصویر است که با یک هسته تار متغیر با مکان (شکل 14.ز) تار شده است. هسته تار در روش پیشنهادی (شکل 14.ک) نسبت به سایر روش ها دقیق تر تخمین زده شده است به گونه ای که با توجه به تصویر خروجی رفع تار شده آن (شکل 14.و) این تخمین هسته که متغیر با مکان نمی باشد می تواند تار را که به وسیله هسته تار متغیر با مکان به وجود آمده است را نیز پوشش دهد و آن را رفع نماید.



الف. تصویر واضح ب. تصویر تار ج. (Pan et al,2016) د. روش پیشنهادی

شکل 11- مقایسه روش پیشنهادی با (Pan et al,2016)

جدول 2- مقایسه مقدار PSNR

مقدار PSNR	تصویر تار ورودی	خروجی تصویر (Pan et al,2016)	خروجی روش پیشنهادی
	22/38	26/25	29/43



الف. تصویر تار ب. نمای نزدیک از مستطیل قرمز رنگ



ج) (Fergus et al,2006) د) (Krishnan et al,2011) ه) نرم افزار RDS و روش پیشنهادی

شکل 12- مقایسه روش پیشنهادی با (Fergus et al,2006) ، (Krishnan et al,2011) ، نرم افزار RDS

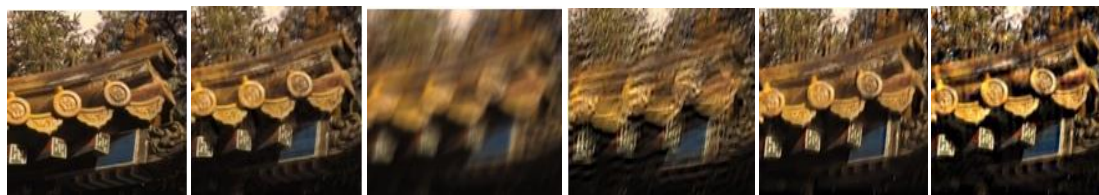


الف. تصویر اصلی ب. تصویر تار ج. (Xiao et al,2015) د. نرم افزار RDS ه. (Pan et al,2016) و روش پیشنهادی

شکل 13- مقایسه روش پیشنهادی با روش (Xiao et al,2015) ، نرم افزار RDS، (Pan et al,2016)

جدول 3- مقایسه مقدار PSNR

خروجی روش پیشنهادی	خروجی روش (Pan et al,2016)	نرم افزار RDS	خروجی روش (Xiao et al,2015)	تصویر تار	مقدار PSNR
36/50	35/93	32/73	34/26	27/58	



الف. تصویر اصلی ب. تصویر تار شده ج. (Shan et al,2008) د. (Cho&Lee,2009) ه. (Xu&Jia,2010) و روش پیشنهادی



ز. هسته تار اصلی ح. (Shan et al,2008) ط. (Cho&Lee,2009) ی. (Xu&Jia,2010) ک. روش پیشنهادی

شکل 14- مقایسه تصویر خروجی و هسته تار متغیر با مکان به دست آمده از روش پیشنهادی با روش (Shan et al,2008)

(Xu&Jia,2010) (Cho&Lee,2009) ، (al,2008)

### 2-4- مقایسه کمی

ما ارزیابی کمی روش پیشنهادی خود را با استفاده از مجموعه داده واقعی (Köhler et al, 2012) انجام می‌دهیم که شامل 48 تصویر رنگی تار شده با فرمت png می‌باشد. این مجموعه داده متشکل از 4 تصویر اصلی می‌باشد (شکل 15) که هر کدام از این تصاویر توسط 12 هسته تار مختلف تار شده است. در میان این 12 هسته تار، چهار هسته تار بسیار بزرگ هستند و متغیر با مکان می‌باشند و 8 هسته دیگر تقریباً به طور یکنواخت در سرتاسر تصویر وجود دارند. همچنین این مجموعه داده، شامل حدوداً 199 تصویر واضح اصلی و غیر تار برای هر یک از چهار تصویر در شکل 15 می‌باشد که این تصاویر در جابه‌جایی‌های مختلف دوربین گرفته شده است و از این تصاویر برای به دست آوردن مقدار پارامتر PSNR استفاده می‌شود. هر تصویر خروجی رفع تار شده، با هر یک از این 199 تصویر موجود اصلی مقایسه می‌شود و بیشترین مقدار PSNR به عنوان PSNR تصویر خروجی در نظر گرفته می‌شود. ابتدا PSNR تصویر خروجی رفع تار شده هر یک از چهار تصویر با دوازده هسته تار (به‌زای هر تصویر شکل 15، دوازده تصویر تار وجود دارد) را محاسبه می‌کنیم و سپس میانگین PSNR این دوازده تصویر را به دست می‌آوریم. اعداد حاصل از میانگین PSNR در جدول 4 ذکر شده است. با توجه به جدول 4، روش پیشنهادی در میانگین PSNR بر روی تصویر اول و دوم و سوم بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده است و در تصویر چهارم بالاترین مقدار مربوط به روش (Xu and Jia, 2010) می‌باشد. آخرین ردیف جدول 4، از اعداد حاصل از چهار تصویر (سطرهای اول تا چهارم) میانگین‌گیری شده است که روش پیشنهادی بالاترین میانگین در بین سایر روش‌ها را دارد. در همه روش‌ها، به جز روش (Whyte et al, 2010) و (Hirsch et al, 2011)، استراتژی یکنواخت به کار گرفته شده است. استراتژی یکنواخت به این معناست که الگوریتم رفع تار بر روی تمام تصاویر تار اعمال می‌شود و تنها یک هسته تار نامتغیر با مکان، برای کل تصویر تخمین زده می‌شود.

در شکل 16، PSNR تصویر خروجی روش پیشنهادی خود را با روش (Pan et al, 2016) با استفاده از مجموعه داده (Köhler et al, 2012) در هسته‌های تار مختلف مقایسه می‌کنیم که روش پیشنهادی در مجموع از دوازده هسته تار در ده هسته تار نتایج بالاتری را نشان داد. مطابق جدول 1 در هر دو روش، هسته تار به روش یکسانی تخمین زده می‌شود اما نهایتاً تصویرهای خروجی رفع تار شده، دارای پارامترهای PSNR متفاوتی هستند و این تفاوت حاصل استفاده از عبارت تنظیم متفاوت در رابطه تابع هزینه در بازیابی تصویر نهفته نهایی است.

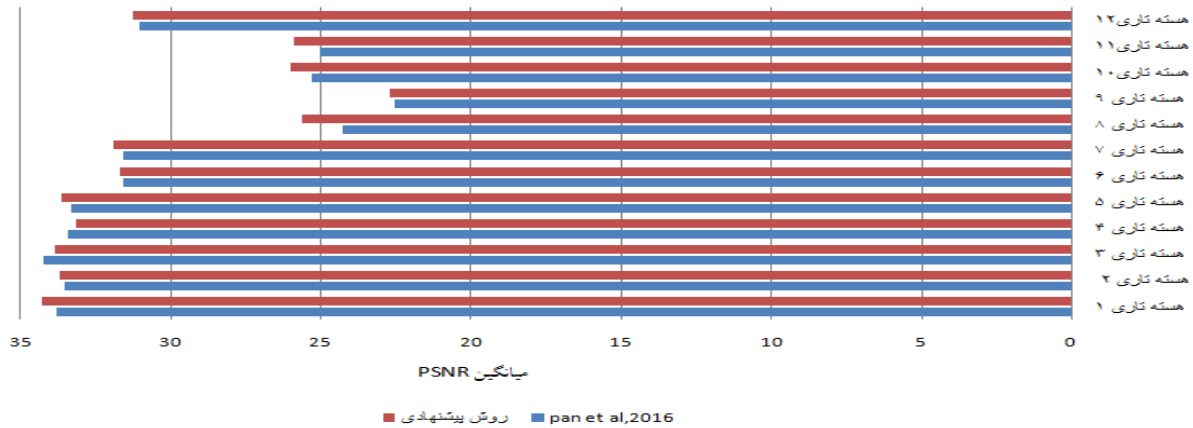


تصویر اول تصویر دوم تصویر سوم تصویر چهارم

شکل 15. چهار تصویر اصلی استفاده شده در مجموعه داده (Köhler et al, 2012)

### جدول 4- میانگین PSNR

روش پیشنهادی	(pan et al,2016)	(Xu and Jia,2010)	(Cho and Lee,2009)	( Whyte et al,2010)	(Hirsch et al,2011)	(Shan et al,2008)	(Krishnan et al,2011)	(Fergus et al,2006)	تصویر تار ورودی	
003 33	592 32	31/641	30/609	30/076	30/017	28/585	28/045	25/575	27/117	تصویر اول
992 26	894 26	26/640	26/029	24/463	24/906	22/142	22/961	18/690	21/304	تصویر دوم
812 32	222 32	31/445	31/313	31/131	29/973	28/110	27/954	26/378	27/967	تصویر سوم
344 28	093 28	<b>28/421</b>	27/980	26/623	26/185	24/727	24/304	20/276	23/331	تصویر چهارم
287 30	950 29	29/536	28/982	28/073	27/770	25/891	25/816	22/729	24/929	میانگین چهار تصویر



شکل 16. مقایسه میانگین پارامتر PSNR بر روی چهار تصویر در دوازده هسته تار در روش پیشنهادی و روش (pan et al,2016)

### 3-4- تأثیر اندازه هسته تار در پارامتر PSNR تصویر خروجی

اندازه هسته تار، در تخمین هسته تار نهایی و نهایتاً تخمین تصویر نهفته نهایی مؤثر است به طوری که اگر این پارامتر به درستی انتخاب نگردد نتایج مطلوبی حاصل نمی‌شود. در آزمایش زیر، از مجموعه داده (Köhler et al,2012) استفاده می‌کنیم به طوری که میانگین پارامتر PSNR بر روی چهار تصویر در هسته تار 12، در شش اندازه متفاوت از هسته تار را به دست می‌آوریم. حداکثر تعداد تکرار الگوریتم جهت تخمین هسته تار نهایی در فاز اول با توجه به اندازه هسته تار، به دست آمده است که با افزایش اندازه هسته تار، میزان تکرار افزایش یافته است و در نتیجه سبب تخمین دقیق‌تر و بهتر در هسته تار و تصویر نهفته نهایی شده است. در اندازه هسته تار (41×41) شاهد PSNR بالاتری هستیم. همانطور که جدول 5 نشان می‌دهد الزاماً با افزایش مراحل تکرار، نتایج بهتری حاصل نمی‌شود زیرا افزایش مراحل تکرار باعث افزایش نویز و آرتیفکت می‌شود و یا حتی



سبب کاهش کیفیت تصویر خروجی و مقدار PSNR می شود. پس در انتخاب اندازه هسته تار باید دقت شود تا نتیجه های نامطلوب حاصل نشود.

#### 5- نتیجه گیری

تاری موجود در تصویر یکی از انواع اصلی تخریب تصویر است که باعث کاهش کیفیت تصویر می شود. در این مقاله روش مناسبی برای حذف تاری کور تصویر با در دسترس بودن تنها یک تصویر معرفی کردیم. این روش از دو فاز تخمین نهایی هسته تار و تخمین تصویر نهفته نهایی استفاده می کند که در فاز اول برای تخمین هسته تار از عبارت تنظیم کانال سیاه و در فاز دوم برای تخمین تصویر نهفته نهایی از کانولوشن تصویر با مجموعه فیلترهای مشتق شده بهره می گیرد. انتخاب عبارت تنظیم کانال سیاه در رابطه تابع هزینه تخمین هسته سبب به دست آمدن هسته تار دقیق تر و همچنین استفاده از عبارت تنظیم کانولوشن تصویر با مجموعه فیلترهای مشتق شده جهت بازیابی تصویر نهفته نهایی، سبب بروز خروجی با کیفیت بالاتری از لحاظ پارامتر PSNR می شود. روش پیشنهادی بالاترین رتبه را از لحاظ کیفیت تصویر در بین سایر روش ها به خود اختصاص می دهد که علاوه بر رفع تاری ناشی از حرکت در تصاویر قادر به رفع تاری تصویر متنی است و تصاویری که دارای تاری متغیر با مکان هستند را نیز پوشش می دهد.





## چهارمین کنفرانس ملی

### فناوری اطلاعات، کامپیوتر و مخابرات

4th National Conference On Information Technology, Computer & Telecommunication

July 13 2017

۲۲ تیر ۱۳۹۶



با وجود مزایا، روش پیشنهادی دارای محدودیت هایی نیز هست. در محدودیت اول، اگر تصویر دارای نویزهای قابل توجه

جدول 5- مقایسه میانگین پارامتر PSNR در اندازه های مختلف هسته تار

85×85	59 ×59	41×41	31 ×31	25×25	15 ×15	اندازه هسته تار 12
31/21	31/17	<b>31/25</b>	31/01	28/65	23/65	میانگین PSNR در چهار تصویر
9	8	7	6	5	4	حداکثر تعداد تکرار الگوریتم

و زیادی باشد پیکسل های سیاه تصویر را تحت تأثیر قرار می دهد که نتیجه این عمل، ایجاد خلل در تخمین هسته تار می باشد. محدودیت دوم این روش، اندازه هسته تار می باشد که به صورت دستی انتخاب می شود. این انتخاب دستی اندازه هسته باعث می شود گاهی به نتیجه مطلوب نهایی نرسیم و تصویر نهایی دارای کیفیت مناسبی نباشد. در آینده می خواهیم از ترکیب عبارت تنظیم کانال سیاه با عبارت تنظیم دیگری که در نویزهای بسیار زیاد بتواند به خوبی تصاویر تار را بازیابی کند استفاده کنیم. همچنین بهترین اندازه هسته تار به طور خودکار تخمین زده شود و نیازی به انتخاب دستی این پارامتر بسیار مهم نباشد.



منابع

عسکری جواران ط ، حسن پور ح، ابوالقاسمی و. 1395. تخمین نقشه تاری تصویر براساس اختلاف بلاک محیطی با نسخه تار شده آن. مجله تخصصی انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر. دوره 3. شماره 1. صفحه ۳۶-۲۹.

- Alvarez L, Mazorra L.(1994). Signal and image restoration using shock filters and anisotropic diffusion. SIAM Journal on Numerical Analysis. Vol 31.No 2.pp 590-605.
- Cho S, Lee S.(2009). Fast motion deblurring.ACM Transactions on Graphics(TOG)-Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia. Vol 28.No 5.
- Fergus R, Singh B, Hertzmann A, Roweis ST, Freeman WT.(2006). Removing camera shake from a single photograph. ACM Transactions on Graphics. Vol 25.No 3.pp 787-794.
- He K, Sun J, Tang X.(2009). Single image haze removal using dark channel prior. In:Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp 1956-1963.
- Hirsch M, J. Schuler C, Harmeling S, Schölkopf B.(2011).Fast removal of non-uniform camera shake. In:Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). pp 463-470.
- Kheradmand A, Milanfar P.(2014). A general framework for regularized, similarity based image restoration. IEEE Transactions on Image Processing. Vol 23.No 12. pp 5136-5151.
- Köhler R, Hirsch M, Mohler B.J, Schölkopf B, Harmeling S.(2012).Recording and playback of camera shake:Benchmarking blind deconvolution with a real-world database. In:Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). pp 27-40.
- Krishnan D, Tay T, Fergus R.(2011). Blind deconvolution using a normalized sparsity measure.In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp 2657-2664.
- Levin A, Weiss Y, Durand F, Freeman WT.(2009).Understanding and evaluating blind deconvolution algorithms. In:Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp 1964-1971.
- Money JH, Kang SH. (2008). Total variation minimizing blind deconvolution with shock filter reference. Image and Vision Computing. Vol 26.No 2. pp 302-314.
- Pan J, Liu R, Su Z,Gu XD. (2013).Kernel estimation from salient structure for robust motion deblurring. Signal Processing:Image Communication. Vol 28.No 9. pp 1156-1170.
- Pan J, Sun D, Yang M-H, Pfister H. (2016).Blind Image Deblurring Using Dark Channel Prior. In:Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Shan Q, Jia J, Agarwala A.(2008). High-quality motion deblurring from a single image. ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008. Vol 27.No 3.
- Wang R, Tao D.(2014).Recent progress in image deblurring.arXiv:1409.6838.
- Whyte O, Sivic J, Zisserman A, Ponce J. (2010).Non-uniform deblurring for shaken images. In:Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp 491-498.
- Xiao L, Gregson J, Heide F, Heidrich W.(2015). Stochastic blind motion deblurring. IEEE Transactions on Image Processing. Vol 24.No 10. pp 3071-3085.
- Xu L, Jia J. (2010).Two-phase kernel estimation for robust motion deblurring. In:Proceedings of the 11th European conference on Computer vision (ECCV). pp 157-170
- Xu L, Lu C, Xu Y, Jia J.(2011). Image smoothing via L0 gradient minimization.ACM Transactions on Graphics. Vol 30.No 6.
- Xu L, Zheng S, Jia J. (2013).Unnatural L0 sparse representation for natural image deblurring. In:Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Yadav S, Jain C, Chugh A.(2016). Evaluation of image deblurring techniques. International Journal of Computer Applications. Vol 139.No 12.