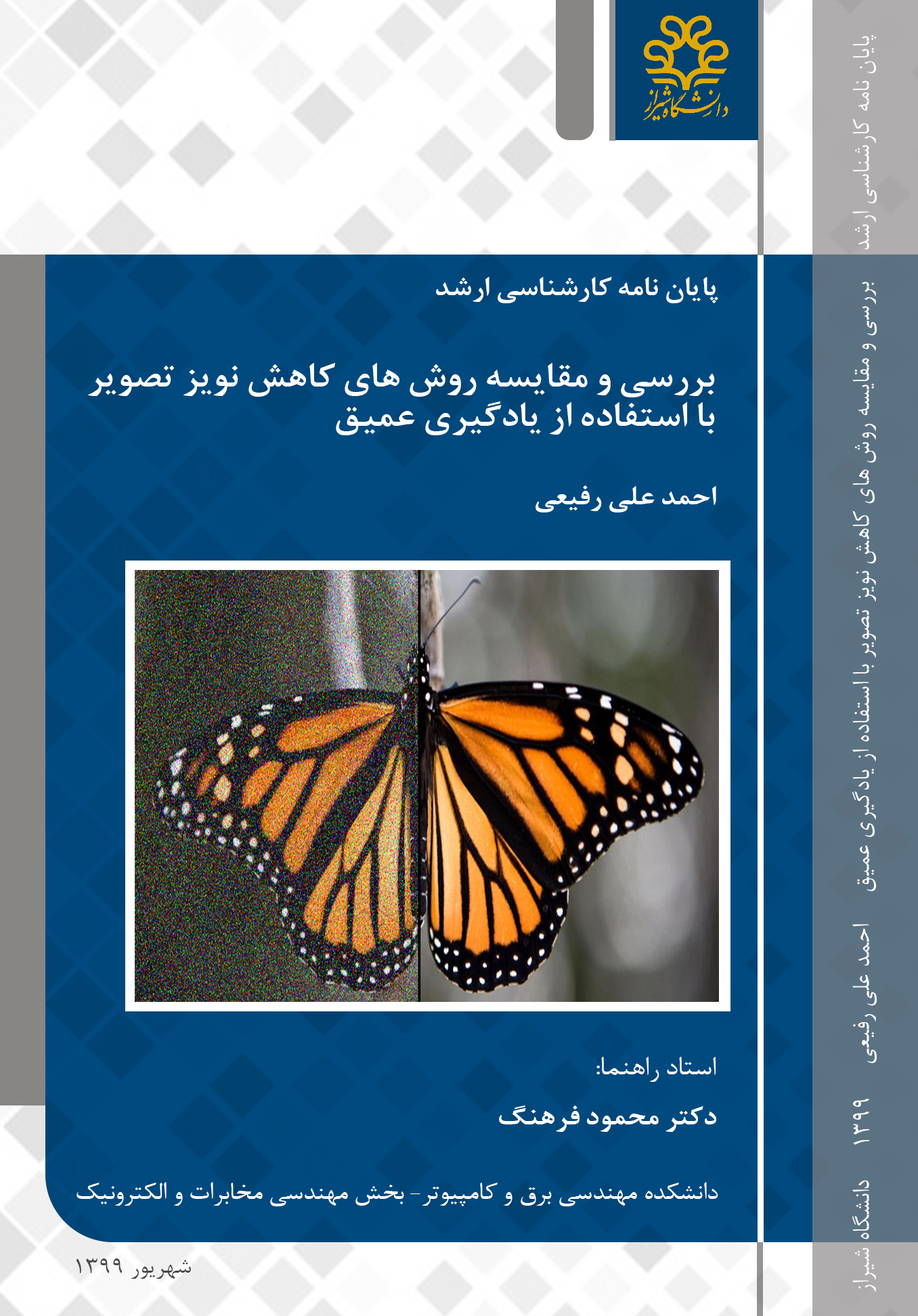
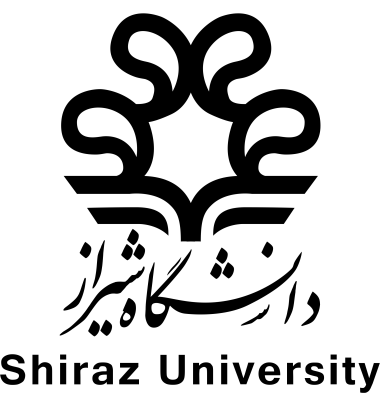
****



**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**پایان‌‌نامه کارشناسی ارشد در رشته‌‌**

**مهندسی برق- مخابرات سیستم**

**بررسی و مقایسه روش‌‌های کاهش نویز تصویر با استفاده از یادگیری عمیق**

به کوشش

**احمد علی رفیعی**

استاد راهنما

**دکتر محمود فرهنگ**

**شهریور 1399**



**به نام خدا**

**تعهدنامه**

این‌‌جانب احمد علی رفیعی به شماره‌‌ دانشجویی 9630712 دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد تأیید می‌‌کنم که این پایان‌‌نامه حاصل پژوهش خودم است و در مواردی که از منابع دیگران استفاده شده، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌‌ام. همچنین اظهار می‌‌نمایم که تحقیق و موضوع پایان‌‌نامه‌‌ام تکراری نیست و موارد زیر را نیز تعهد می‌‌کنم:

1- بدون کسب مجوز دانشگاه شیراز و اجازه از استاد راهنما، تمام یا قسمتی از دستاوردهای پایان‌‌نامه‌‌ خود را در مجامع و رسانه‌‌های علمی اعم از همایش‌‌ها و مجلات داخلی و خارجی به صورت مکتوب یا غیرمکتوب منتشر ننمایم.

2- اسامی افراد خارج از کمیته‌‌ پایان‌‌نامه را بدون اجازه‌‌ ‌‌استاد راهنما به جمع نویسندگان مقاله‌‌های مستخرج از پایان‌‌نامه اضافه نکنم.

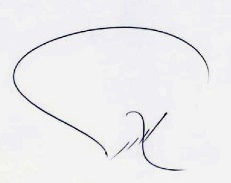
3- از درج نشانی یا وابستگی کاری (affiliation) نویسندگان سازمان‌‌های دیگر (غیر از دانشگاه شیراز) در مقاله‌‌های مستخرج از پایان‌‌نامه بدون تأیید استاد راهنما اجتناب نمایم.

همه حقوق مادی و معنوی این اثر مطابق با آیین‌‌نامه‌‌ مالکیت فکری، متعلق به دانشگاه شیراز است. چنانچه مبادرت به عملی خلاف این تعهدنامه محرز گردد، دانشگاه شیراز در هر زمان و به هر نحو مقتضی حق هرگونه اقدام قانونی را در استیفای حقوق خود دارد.

احمد علی رفیعی

امضا و تاریخ:

8/8/1399



**به نام خدا**

**بررسی و مقایسه روش‌‌های کاهش نویز تصویر با استفاده از یادگیری عمیق**

به کوشش

**احمد علی رفیعی**

پایان‌‌نامه

ارائه شده به دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌‌های تحصیلی لازم

برای اخذ درجه‌‌ ‌‌کارشناسی ارشد

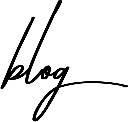
در رشته‌‌

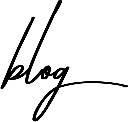
مهندسی برق‌‌- مخابرات سیستم

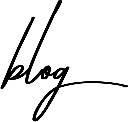
دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

**‌‌ارزیابی کمیته پایان‌‌نامه، با درجه‌‌: عالی**

دكتر محمود فرهنگ، استادیار بخش مهندسی مخابرات و الکترونیک (استاد راهنما).........................

دكتر پیمان ستوده، استادیار بخش مهندسی قدرت و کنترل (استاد مشاور).........................................

دكتر مهران یزدی، استاد بخش مهندسی مخابرات و الکترونیک (داور متخصص داخلی)...................

شهریور 1399

تقدیم به پدر و مادر عزیزتر از جانم

**سپاس‌‌گزاری**

اکنون که این پایان‌نامه به سرانجام رسیده است بر خود لازم می‌دانم از استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر محمود فرهنگ که در تمامی مراحل پژوهش و تکمیل پایان‌نامه مرا پشتیبانی و یاری نمودند و بدون راهنمایی و هدایت ایشان به انجام رسیدن این پایان‌نامه ممکن نبود، سپاسگزاری نمایم.

از استاد محترم مشاور، جناب آقای دکتر پیمان ستوده، که همواره مشاوره‌های علمی و راهنمایی‌هایشان را بی‌دریغ در اختیار اینجانب قرار داده‌اند نیز بسیار تشکر می‌نمایم.

همچنین از پدر و مادر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل مشوق و راهنمای من بوده‌اند و سرکار خانم مهندس مانا تخشا که در ویرایش پایان‌نامه زحمات بسیاری را تقبل نمودند، از صمیم قلب تشکر می‌کنم و سلامتی و شادی روزافزون ایشان را از خداوند بزرگ خواستارم.

در پایان نیز از تمامی کسانی که به هر شیوه‌ای در مراحل پژوهش، تکمیل و نگارش پایان‌نامه به من یاری رسانده‌اند، تشکر می‌نمایم و پیشرفت روزافزون و موفقیت ایشان در تمام مراحل زندگی را از خداوند یکتا خواستارم.

**چکیده**

**بررسی و مقایسه روش‌‌های کاهش نویز تصویر با استفاده از یادگیری عمیق**

به کوشش

**احمد علی رفیعی**

حذف نویز از پرکاربردترین و مهم‌‌ترین زمینه‌‌های پردازش تصویر است. از جمله مهم‌‌ترین انواع نویز تصویر، نویز گوسی و نویز نمک و فلفل می‌‌باشد که تاثیر مخربی روی کیفیت تصاویر می‌‌گذارند و باعث از بین رفتن بخشی یا تمام اطلاعات پیکسل‌‌های تصویر می‌‌شوند. با توجه به پیشرفت روز افزون روش‌‌های مبتنی بر یادگیری عمیق، اخیراً روش‌‌های جدیدی برای حذف نویز با استفاده از یادگیری عمیق و شبکه‌‌های عصبی پیچشی پیشنهاد شده است که به نتایج بسیار خوبی در این زمینه دست یافته‌‌اند، اما تقریبا تمامی این شبکه‌‌ها با هدف حذف نویز گوسی طراحی شده‌‌اند و به علت ماهیت نویز نمک و فلفل این روش‌‌ها ناتوان در حذف این نوع نویز می‌‌باشند.

در این پایان‌نامه تلاش نموده‌ایم که در ابتدا روش‌های مختلف حذف نویز گوسی و نویز نمک و فلفل را بیان و بررسی کرده و سپس با استفاده از معیارهای مختلف به مقایسه‌ی این روش‌ها بپردازیم. همچنین ما در این پایان‌نامه توانستیم شبکه‌‌ای مبتنی بر یادگیری عمیق طراحی کنیم که نتایج بسیار خوبی در حذف نویز نمک و فلفل داشته و نسبت به تمامی روش‌‌های موجود دارای عملکردی بهتر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی می‌‌تواند نویز با چگالی بسیار زیاد (حتی تا 99%) را از تصویر حذف کند. این شبکه قادر به حذف نویز گوسی نیز می‌‌باشد.

**واژگان کلیدی:** حذف نویز تصویر، شبکه‌‌های عصبی پیچشی، نویز تصویر، نویز گوسی، نویز نمک و فلفل، یادگیری عمیق.

**فهرست مطالب**

**عنوان صفحه**

[فصل اول: مقدمه 1](#_Toc58015849)

[1-1- تصاویر دیجیتال 1](#_Toc58015850)

[1-2- پردازش تصاویر دیجیتال 2](#_Toc58015851)

[1-3- نویز در تصویر 4](#_Toc58015852)

[1-4- اهداف پایان‌نامه 7](#_Toc58015853)

[1-5- ساختار پایان‌نامه 7](#_Toc58015854)

[فصل دوم: مبانی نظری پژوهش 9](#_Toc58015855)

[2-1- انواع نویز موجود در تصویر 9](#_Toc58015856)

[2-1-1- نویز گوسی 9](#_Toc58015857)

[2-1-2- نویز نمک و فلفل 10](#_Toc58015858)

[2-1-3- نویز براونی 11](#_Toc58015859)

[2-1-4- نویز نقطه‌‌ای 11](#_Toc58015860)

[2-1-5- نویز کوانتومی (نویز پواسن) 12](#_Toc58015861)

[2-1-6- نویز کوانتیزاسیون 12](#_Toc58015862)

[2-1-7- نویز دوره‌ای 13](#_Toc58015863)

[2-2- یادگیری عمیق 13](#_Toc58015864)

[2-2-1- شبکه‌های عصبی پیچشی 15](#_Toc58015865)

[2-2-2- الگوریتم بهینه‌‌سازی گرادیان کاهشی 19](#_Toc58015866)

[2-2-3- الگوریتم بهینه‌‌سازی گرادیان کاهشی تصادفی 20](#_Toc58015867)

[2-2-4- الگوریتم بهینه‌‌سازی Adam 21](#_Toc58015868)

[2-2-5- بهنجارش دسته‌‌ای 21](#_Toc58015869)

[2-2-6-پیچش‌‌ متسع 23](#_Toc58015870)

[2-2-7- تابع فعال‌سازی 24](#_Toc58015871)

[2-2-8- تابع فعال‌‌سازی ReLU 25](#_Toc58015872)

[فصل سوم: مروری بر روش‌‌های حذف نویز در تصویر 27](#_Toc58015873)

[3-1- مقدمه 27](#_Toc58015874)

[3-2- روش‌‌های حذف نویز گوسی 27](#_Toc58015875)

[3-2-1- روش‌‌های حوزه‌ی فضایی 28](#_Toc58015876)

[3-2-1-1- فیلتر کردن در حوزه‌‌ی فضایی 28](#_Toc58015877)

[3-2-1-2- روش‌های حذف نویز متغیر 29](#_Toc58015878)

[3-2-2- روش‌‌های حوزه‌‌ی تبدیل در حذف نویز تصویر 37](#_Toc58015879)

[3-2-2-1- تبدیل منطبق بر داده 37](#_Toc58015880)

[3-2-2-2- تبدیل نامنطبق بر داده 38](#_Toc58015881)

[3-2-2-3- تطبیق بلوک و اعمال فیلتر سه بعدی 39](#_Toc58015882)

[3-2-3- روش‌‌های مبتنی بر شبکه‌‌های عصبی پیچشی 42](#_Toc58015883)

[​ 3-2-3-1- شبکه‌‌ی پرسپترون چند لایه 43](#_Toc58015884)

[​ 3-2-3-2- شبکه‌‌ی خودرمزگذار حذف نویز 44](#_Toc58015885)

[3-2-3-3- شبکه‌‌ی‌‌ عصبی پیچشی حذف نویز 46](#_Toc58015886)

[3-2-3-4- شبکه‌‌ی‌‌ عصبی پیچشی سریع و انعطاف‌پذیر حذف نویز 52](#_Toc58015887)

[3-2-3-5- شبکه‌‌ی عصبی پیچشی بازیابی تصویر 58](#_Toc58015888)

[3-3- روش‌‌های حذف نویز نمک و فلفل 65](#_Toc58015889)

[3-3-1- روش‌‌های بدون‌سوئیچینگ 66](#_Toc58015890)

[3-3-1-1- فیلتر میانه‌‌ 66](#_Toc58015891)

[3-3-1-2- فیلتر میانه‌‌ی وزن‌‌دار 66](#_Toc58015892)

[3-3-1-3- فیلتر میانه با مرکز وزن‌‌دار 67](#_Toc58015893)

[3-3-2- روش‌‌های مبتنی بر سوئیچینگ 67](#_Toc58015894)

[3-3-2-1- فیلتر میانه‌‌ی سوئیچینگ 67](#_Toc58015895)

[3-3-2-2- فیلتر میانه‌‌ی وفقی 68](#_Toc58015896)

[3-3-2-3- فیلتر میانه‌‌ی سوئیچینگ پیش‌رونده 68](#_Toc58015897)

[3-3-2-4- الگوریتم مبتنی‌‌بر تصمیم‌گیری 70](#_Toc58015898)

[3-3-2-5- فیلتر میانه‌ی‌‌ مبتنی‌‌بر تصمیم‌گیری نامتقارن کوتاه‌شده 71](#_Toc58015899)

[3-3-2-6- فیلتر میانه‌‌ی کوتاه‌شده مبتنی‌‌بر تصمیم‌گیری نامتقارن اصلاح‌شده‏ 72](#_Toc58015900)

[3-3-2-7- فیلتر درون‌‌یابی کریجینگ مبتنی بر تصمیم‌گیری وفقی 73](#_Toc58015901)

[3-3-3-8- فیلتر سوئیچینگ غیر محلی مبتنی بر شبکه‌‌ی عصبی پیچشی 74](#_Toc58015902)

[فصل چهارم: مدل پیشنهادی 77](#_Toc58015903)

[4-1- مقدمه 77](#_Toc58015904)

[4-2- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی 77](#_Toc58015905)

[4-3- تشریح مدل پیشنهادی 78](#_Toc58015906)

[4-3-1- تغییر مقادیر 255 به 0 78](#_Toc58015907)

[4-3-2- پیچش وزن‌‌دار وفقی 79](#_Toc58015908)

[4-3-2-1- نقشه‌‌ی پیکسل‌‌های بدون نویز 80](#_Toc58015909)

[4-3-2-2- الحاق کردن 80](#_Toc58015910)

[4-3-2-3- پیچش 81](#_Toc58015911)

[4-3-2-4- تبدیل به تصویر 81](#_Toc58015912)

[4-3-2-5- تابع غیرخطی اول 82](#_Toc58015913)

[4-3-2-6- پیچش با مقادیر تمام یک 82](#_Toc58015914)

[4-3-2-7- تابع غیرخطی دوم 83](#_Toc58015915)

[4-3-2-8- ضرب‌‌شونده 83](#_Toc58015916)

[4-3-3- پیچش + ReLU 84](#_Toc58015917)

[4-3-4- پیچش + ReLU + بهنجارش دسته‌‌ای 84](#_Toc58015918)

[4-3-5- پیچش 84](#_Toc58015919)

[4-4- آموزش شبکه‌‌ی پیشنهادی 84](#_Toc58015920)

[فصل پنجم: نتایج 87](#_Toc58015921)

[5-1- معیارهای ارزیابی 87](#_Toc58015922)

[5-1-1- PSNR 87](#_Toc58015923)

[5-1-2- IEF 88](#_Toc58015924)

[5-1-3- SSIM 88](#_Toc58015925)

[5-2- تصاویر استفاده شده در ارزیابی 90](#_Toc58015926)

[5-3- ارزیابی روش‌‌های حذف نویز گوسی 91](#_Toc58015927)

[5-4- ارزیابی روش‌‌های حذف نویز نمک و فلفل 104](#_Toc58015928)

[فصل ششم: نتیجه‌‌گیری و بحث 135](#_Toc58015929)

[6-1- نتیجه‌گیری 135](#_Toc58015930)

[6-2- پیشنهادها 136](#_Toc58015931)

[منابع 137](#_Toc58015932)

**فهرست جدول‌‌ها**

**عنوان صفحه**

[جدول ‏5‑1‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 93](#_Toc58016885)

[جدول ‏5‑2‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 94](#_Toc58016886)

[جدول ‏5‑3‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 95](#_Toc58016887)

[جدول ‏5‑4‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 96](#_Toc58016888)

[جدول ‏5‑5‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 97](#_Toc58016889)

[جدول ‏5‑6‑ میانگین PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز گوسی 98](#_Toc58016890)

[جدول ‏5‑7‑ میانگین PSNR روش‌‌های مختلف روی BSD68 آلوده به نویز گوسی 99](#_Toc58016891)

[جدول ‏5‑8‑ زمان یادگیری و تعداد پارامترهای شبکه‌‌های مبتنی بر یادگیری عمیق 103](#_Toc58016892)

[جدول ‏5‑9‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 106](#_Toc58016893)

[جدول ‏5‑10‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 107](#_Toc58016894)

[جدول ‏5‑11‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 108](#_Toc58016895)

[جدول ‏5‑12‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 109](#_Toc58016896)

[جدول ‏5‑13‑ PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 110](#_Toc58016897)

[جدول ‏5‑14‑ IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 111](#_Toc58016898)

[جدول ‏5‑15‑ IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 112](#_Toc58016899)

[جدول ‏5‑16‑ IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 113](#_Toc58016900)

[جدول ‏5‑17‑ IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 114](#_Toc58016901)

[جدول ‏5‑18‑ IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 115](#_Toc58016902)

[جدول ‏5‑19‑ SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 116](#_Toc58016903)

[جدول ‏5‑20‑ SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 117](#_Toc58016904)

[جدول ‏5‑21‑ SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 118](#_Toc58016905)

[جدول ‏5‑22‑ SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 119](#_Toc58016906)

[جدول ‏5‑23‑ SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 120](#_Toc58016907)

[جدول ‏5‑24‑ میانگین PSNR روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 121](#_Toc58016908)

[جدول ‏5‑25‑ میانگین IEF روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 122](#_Toc58016909)

[جدول ‏5‑26‑ میانگین SSIM روش‌‌های مختلف روی Set12 آلوده به نویز نمک و فلفل 123](#_Toc58016910)

[جدول ‏5‑27‑ میانگین PSNR روش‌‌های مختلف روی BSD68 آلوده به نویز نمک و فلفل 124](#_Toc58016911)

[جدول ‏5‑28‑ میانگین IEF روش‌‌های مختلف روی BSD68 آلوده به نویز نمک و فلفل 125](#_Toc58016912)

[جدول ‏5‑29‑ میانگین SSIM روش‌‌های مختلف روی BSD68 آلوده به نویز نمک و فلفل 126](#_Toc58016913)

[جدول ‏5‑30‑ BER تصاویر لبه‌‌ی روش‌‌های مختلف 133](#_Toc58016914)

**فهرست شکل‌‌‌‌ها**

**عنوان صفحه**

[شکل ‏1‑1‑ نمایش‌های مختلف تصاویر دیجیتال 2](#_Toc58016925)

[شکل ‏1‑2‑ دسته‌‌بندی انواع نویز تصویر 6](#_Toc58016926)

[شکل ‏2‑1‑ منحنی تابع چگالی احتمال گوسی 10](#_Toc58016927)

[شکل ‏2‑2‑ تاثیر نویز نمک و فلفل بر روی پیکسل‌‌های تصویر 11](#_Toc58016928)

[شکل ‏2‑3‑ ساختار یک شبکه‌ی عصبی پیچشی عمیق 18](#_Toc58016929)

[شکل ‏2‑4‑ پیکسل‌‌های انتخاب شده در پیچش متسع 23](#_Toc58016930)

[شکل ‏2‑5‑ تابع فعال‌‌سازی ReLU 25](#_Toc58016931)

[شکل ‏3‑1‑ نمودار روش BM3D 40](#_Toc58016932)

[شکل ‏3‑2‑ ساختار کلی یک خود رمزگذار 45](#_Toc58016933)

[شکل ‏3‑3‑ معماری شبکه‌‌ی DnCNN 48](#_Toc58016934)

[شکل ‏3‑4‑ نتایج حذف نویز گوسی مدل DnCNN بر روی BSD68‏ 50](#_Toc58016935)

[شکل ‏3‑5‑ معماری شبکه‌‌ی FFDNet 53](#_Toc58016936)

[شکل ‏3‑6‑ لایه‌‌ی نمونه‌‌کاهی 57](#_Toc58016937)

[شکل ‏3‑7‑ لایه‌‌ی پیچش زیرپیکسلی 57](#_Toc58016938)

[شکل ‏3‑8‑ معماری شبکه‌‌ی IRCNN 62](#_Toc58016939)

[شکل ‏3‑9‑ نمودار روش فیلتر میانه براساس تصمیم‌گیری نامتقارن اصلاح‌شده 71](#_Toc58016940)

[شکل ‏3‑10‑ نمودار روش فیلتر میانه‌ بهبودیافته براساس تصمیم‌گیری نامتقارن اصلاح‌شده 72](#_Toc58016941)

[شکل ‏3‑11‑ نمودار روش فیلتر درون‌‌یابی کریجینگ مبتنی بر تصمیم‌گیری وفقی 74](#_Toc58016942)

[شکل ‏3‑12‑ تولید تکه با سایز 76](#_Toc58016943)

[شکل ‏3‑13‑ عملکرد شبکه‌‌ی NLSF-CNN با اندازه‌‌های تکه مختلف 76](#_Toc58016944)

[شکل ‏4‑1‑ ساختار شبکه‌‌ی پیشنهادی 78](#_Toc58016945)

[شکل ‏4‑2‑ لایه‌‌ی تغییر مقادیر 255 به 0 79](#_Toc58016946)

[شکل ‏4‑3‑ لایه‌‌ی پیچش وزن‌‌دار وفقی 79](#_Toc58016947)

[شکل ‏4‑4‑ بلوک نقشه‌‌ی پیکسل‌‌های بدون نویز 80](#_Toc58016948)

[شکل ‏4‑5‑ بلوک الحاق کردن 81](#_Toc58016949)

[شکل ‏4‑6‑ تقسیم ورودی بلوک تبدیل به تصویر به دو تنسور و 82](#_Toc58016950)

[شکل ‏4‑7‑ بلوک پیچش با مقادیر تمام یک 83](#_Toc58016951)

[شکل ‏5‑1‑ مجموعه داده‌‌ی Set12 90](#_Toc58016952)

[شکل ‏5‑2‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز گوسی 100](#_Toc58016953)

[شکل ‏5‑3‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز گوسی 101](#_Toc58016954)

[شکل ‏5‑4‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز گوسی 102](#_Toc58016955)

[شکل ‏5‑5‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز نمک و فلفل روی تصویر Lena 127](#_Toc58016956)

[شکل ‏5‑6‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز نمک و فلفل روی تصویر Baboon 128](#_Toc58016957)

[شکل ‏5‑7‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز نمک و فلفل روی تصویر Camera Man 129](#_Toc58016958)

[شکل ‏5‑8‑ تصاویر لبه‌‌ی روش‌‌های مختلف حذف نویز روی تصویر Lena 130](#_Toc58016959)

[شکل ‏5‑9‑ تصاویر لبه‌‌ی روش‌‌های مختلف حذف نویز روی تصویر Baboon 131](#_Toc58016960)

[شکل ‏5‑10‑ تصاویر لبه‌‌ی روش‌‌های مختلف حذف نویز روی تصویر Camera Man 132](#_Toc58016961)

[شکل ‏5‑11‑ نتایج روش پیشنهادی روی تصاویر آلوده به نویز نمک و فلفل 134](#_Toc58016962)

**فهرست نشانه‌های اختصاری**

**نشانه مفهوم**

Convolutional Neural Network....................................................................................................CNN

Rectified Linear Unit......................................................................................................................ReLU

Peak Signal-to-Noise Ratio..........................................................................................................PSNR

Mean Square Error.............................................................................................................................MSE

Image Enhancement Factor..............................................................................................................IEF

Structural Similarity Index............................................................................................................SSIM

Bit Error Rate.......................................................................................................................................BER

Proposed Approach...................................................................................................................................PA

**فصل اول**

# مقدمه

## 1-1- تصاویر دیجیتال

تصویر[[1]](#footnote-1) نمایش گرافیکی اشیا در یک زمان خاص است. در پردازش سیگنال‌‌های دیجیتال تصویر در قالب مختصات و یا به فرمت ماتریس[[2]](#footnote-2) نمایش داده می‌شود، که در آن یک آرایه‌‌ی دوبعدی (ماتریس)، تصویر را نمایش می‌دهد. در هر سلول ماتریس، داده‌ها به عنوان مقادیر پیکسل شناخته می‌شوند. هر پیکسل مقدار شدت روشنایی[[3]](#footnote-3) را به صورت جداگانه نشان می‌دهد. همه‌‌ی مقادیر شدت نور با هم کل تصویر را تشکیل می‌‌دهند. تصویر براساس مقادیر موجود در پیکسل طبقه‌بندی می‌شود. در تصاویر دودویی[[4]](#footnote-4)، مقدار پیکسل تنها با ۰ و ۱ نمایش داده می‌‌شوند، در تصاویر مقیاس خاکستری[[5]](#footnote-5) مقدار پیکسل از ۰ تا ۲۵۵ تغییر می‌کند و در تصاویر رنگی[[6]](#footnote-6) مقادیر پیکسل از ۰ تا ۲۵۵ برای هر رنگ یعنی قرمز، سبز و آبی تغییر می‌کند.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| (الف) | (ب) | (ج) |

شکل ‏1‑1‑ نمایش‌های مختلف تصاویر دیجیتال. (الف) تصویر رنگی (ب) تصویر خاکستری (ج) تصویر دودویی

## 1-2- پردازش تصاویر دیجیتال[[7]](#footnote-7)

در علوم کامپیوتر، به استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری جهت انجام پردازش تصویر روی تصاویر دیجیتال، پردازش تصاویر دیجیتال گفته می‌‌شود [1]. به عنوان یک زیر شاخه‌‌ی پردازش سیگنال دیجیتال[[8]](#footnote-8)، پردازش تصویر دیجیتال مزایای زیادی نسبت به پردازش تصویر آنالوگ[[9]](#footnote-9) دارد. پردازش تصویر دیجیتال امکان استفاده از طیف وسیع تری از الگوریتم‌ها را به داده‌های ورودی می‌دهد و می‌تواند از مشکلاتی مانند ایجاد نویز[[10]](#footnote-10) و اعوجاج[[11]](#footnote-11) در طول پردازش جلوگیری کند. از آنجا که تصاویر در دو بعد یا بیشتر‏ تعریف می‌شوند، پردازش تصویر دیجیتال ممکن است به شکل سیستم‌های چند بعدی مدل شود. تولید و توسعه پردازش تصویر دیجیتال عمدتا تحت‌ تاثیر سه عامل است: اول، توسعه کامپیوترها؛ دوم، توسعه ریاضیات (‏به ویژه ایجاد و بهبود نظریه‌‌ی ریاضیات گسسته[[12]](#footnote-12))‏ و سوم، تقاضا برای طیف وسیعی از کاربردهای زیست‌محیطی، کشاورزی، نظامی، صنعتی و علوم پزشکی.

از اولین کاربردهای پردازش تصویر دیجیتال در اوایل دهه‌‌ی 1920 درصنعت روزنامه بود، که با استفاده از پردازش تصویر زمان لازم برای انتقال تصویر توسط کابل از لندن به نیویورک، از بیش از یک هفته به کمتر از سه ساعت کاهش یافت. تاریخچه پردازش تصویر دیجیتال همراه با پیشرفت کامپیوتر بوده است. بسیاری از تکنیک‌های پردازش تصویر دیجیتال در دهه‌‌ی ۱۹۶۰، در آزمایشگاه‌های Bell، آزمایشگاه Jet Propulsion، موسسه فن‌آوری Massachusetts، دانشگاه Maryland و چند مرکز تحقیقاتی دیگر با کاربرد در تصویربرداری ماهواره‌ای[[13]](#footnote-13)، تصویربرداری پزشکی[[14]](#footnote-14)، خدمات تلفن تصویری[[15]](#footnote-15)، شناسایی شخصیت[[16]](#footnote-16) و بهبود عکس[[17]](#footnote-17) توسعه یافتند [2]. در پردازش تصویر، ورودی یک تصویر با کیفیت پایین و خروجی یک تصویر با کیفیت بهبود یافته می‌‌باشد. پردازش‌‌های تصویر رایج شامل بهبود تصویر[[18]](#footnote-18)، بازیابی[[19]](#footnote-19)، کدگذاری[[20]](#footnote-20) و فشرده‌سازی[[21]](#footnote-21) است. اولین کاربرد موفق پردازش تصویر دیجیتال آزمایشگاه Jet Propulsion آمریکا (‏JPL)‏ بود. آن‌ها از تکنیک‌های پردازش تصویر مانند اصلاح هندسی[[22]](#footnote-22)، تغییر درجه‌بندی[[23]](#footnote-23)، حذف نویز[[24]](#footnote-24) و غیره بر روی هزاران عکس ماه ارسال‌ شده توسط رنجر ۷ در سال ۱۹۶۴، با در نظر گرفتن موقعیت خورشید و محیط ماه استفاده کردند. تاثیر نگاشت موفق نقشه‌‌ی سطح ماه توسط کامپیوتر یک موفقیت بزرگ بوده‌ است. بعدها پردازش‌‌های تصویر پیچیده تری بر روی تقریبا صد هزار عکس ارسال‌ شده توسط سفینه‌‌ی فضایی انجام شد، به طوری که نقشه توپوگرافی[[25]](#footnote-25)، نقشه رنگ[[26]](#footnote-26) و موزاییک[[27]](#footnote-27) ماه به دست آمد، که به نتایج فوق‌العاده‌ای رسید و پایه و اساس محکمی برای فرود انسان بر ماه بود [1].

با این حال، هزینه پردازش با تجهیزات محاسباتی آن دوران نسبتا بالا بود. این امر در دهه‌‌ی ۱۹۷۰ تغییر کرد، زمانی که پردازش تصویر دیجیتال توسط کامپیوترهای ارزان‌تر و سخت‌افزار[[28]](#footnote-28) اختصاصی گسترش یافت. این امر منجر به این شد که تصاویر بی‌درنگ پردازش شوند. با وجود کامپیوترهای سریع و پردازنده‌های سیگنال موجود در دهه ۲۰۰۰، پردازش تصویر دیجیتال به رایج‌ترین شکل پردازش تصویر تبدیل شد و به طور کلی به این دلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد که نه تنها متنوع‌ترین، بلکه ارزان‌ترین روش نیز می‌‌باشد.

به طور خاص، پردازش تصویر دیجیتال یک کاربرد عینی و یک فن‌آوری عملی براساس موارد زیر است:

* طبقه‌بندی[[29]](#footnote-29)
* استخراج ویژگی[[30]](#footnote-30)
* آنالیز سیگنال چند مقیاسی[[31]](#footnote-31)
* شناسایی الگو[[32]](#footnote-32)
* افکنش[[33]](#footnote-33)

برخی از تکنیک‌هایی که در پردازش تصاویر دیجیتال به کار می‌روند، عبارتند از:

* مدل‌های مارکوف پنهان[[34]](#footnote-34)
* ویرایش تصویر[[35]](#footnote-35)
* بازیابی تصویر[[36]](#footnote-36)
* تحلیل مؤلفه‌های مستقل[[37]](#footnote-37)
* فیلتر خطی[[38]](#footnote-38)
* شبکه‌‌های عصبی[[39]](#footnote-39)
* پیکسل سازی[[40]](#footnote-40)
* تحلیل مؤلفه‌های اصلی[[41]](#footnote-41)
* نقشه‌‌های خود-سازمانده[[42]](#footnote-42)
* موجک‌‌ها[[43]](#footnote-43)

## 1-3- نویز در تصویر

به دلیل تاثیر محیط، کانال انتقال و عوامل دیگر، تصاویر به طور اجتناب‌ناپذیر توسط نویز در هنگام ایجاد شدن، فشرده‌سازی و انتقال آلوده می‌شوند، که منجر به اعوجاج و از دست دادن اطلاعات تصویر می‌شود. به عنوان مثال، در تولید تصاویر با یک دوربین CCD، سطوح نور و دمای سنسور عوامل مهمی هستند که بر میزان نویز در تصویر حاصل تاثیر می‌گذارند. تصاویر در طول انتقال به طور عمده از طریق تداخل در کانال انتقال خراب می‌شوند. برای مثال، تصویری که با استفاده از یک شبکه بی‌سیم منتقل می‌شود، ممکن است توسط رعد و برق یا سایر اختلالات جوی تخریب شود. با وجود نویز، ممکن است کارهای پردازش تصویر، مانند پردازش ویدیویی، آنالیز تصویر و ردیابی به خوبی عمل نکنند و حتی نتایج غیر قابل قبولی نیز داشته باشند. بنابراین، حذف نویز تصویر نقش مهمی در سیستم‌های پردازش تصویر مدرن ایفا می‌کند. ​

در واقع، حذف نویز تصویر یک مشکل کلاسیک است و به مدت طولانی مورد مطالعه قرار گرفته‌است. با این حال، هنوز هم یک کار چالش برانگیز و باز است. دلیل اصلی این است که از دیدگاه ریاضی، حذف نویز تصویر یک مسئله‌ی معکوس[[44]](#footnote-44) است و راه‌حل آن منحصر به فرد نیست. ​در دهه‌های اخیر، دستاوردهای بزرگی در زمینه حذف نویز تصویر صورت‌گرفته است [3-6].

نویز به سه مدل پایه‌‌ی جمع‌‌شونده[[45]](#footnote-45)، ضرب‌‌شونده[[46]](#footnote-46) و ضربه‌‌ای[[47]](#footnote-47) دسته‌‌بندی می‌‌شود [3, 4]. در مدل جمع‌‌شونده، نویز را به آسانی می‌‌توان کاهش داد و رابطه‌‌ی آن به صورت زیر می‌‌باشد [3]:

|  |  |
| --- | --- |
| (‏1‑1) |  |

که تصویر سالم، نویز و تصویر دارای نویز می‌‌باشد.

مدل کردن نویز ضرب‌‌شونده پیچیده است و به آسانی نمی‌‌توان آن را کاهش داد. این نویز وابسته به تصویر است و رابطه‌‌ی آن به صورت زیر می‌‌باشد [3]:

|  |  |
| --- | --- |
| (‏1‑2) |  |

که تصویر سالم، نویز و تصویر دارای نویز می‌‌باشد.

**فصل دوم**

# مبانی نظری پژوهش

## 2-1- انواع نویز موجود در تصویر

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

### 2-1-1- نویز گوسی

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

#### 2-1-1-1- نویز گوسی

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

##### 2-1-1-1-1- نویز گوسی

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، نویز تصویر را می‌توان به روش‌‌های مختلف دسته‌‌بندی کرد. یکی از مرسوم‌‌ترین دسته‌‌بندی‌‌های نویز تصویر به صورت زیر می‌‌باشد.

**فصل سوم**

# مروری بر روش‌‌های حذف نویز در تصویر

## 3-1- مقدمه

هدف از حذف نویز، حذف نویز در تصاویر طبیعی و در عین حال کمینه کردن از دست رفتن ویژگی‌های اصلی و بهبود نسبت سیگنال به نویز[[48]](#footnote-48) (‏SNR) ‏است. چالش‌های اصلی برای حذف نویز تصویر به شرح زیر هستند:

* مناطق هموار باید هموار باشند.
* لبه‌‌[[49]](#footnote-49)ها باید بدون مات شدن[[50]](#footnote-50) محافظت شوند.
* بافت‌ها[[51]](#footnote-51) باید حفظ شوند.
* مصنوعات[[52]](#footnote-52) جدید نباید تولید شوند. ​

## 3-2- روش‌‌های حذف نویز گوسی

از لحاظ ریاضی، مسئله حذف نویز گوسی تصویر می‌تواند به صورت زیر مدل‌سازی شود [1]:

|  |  |
| --- | --- |
| (‏3‑1) |  |

که در آن تصویر نویزی مشاهده‌شده، تصویر تمیز ناشناخته، و نویز سفید گوسی افزایشی[[53]](#footnote-53) (‏AWGN) ‏با انحراف معیار[[54]](#footnote-54) را نشان می‌دهد، که می‌تواند در کاربردهای عملی با روش‌های مختلف، مانند میانه‌‌ی قدر مطلق انحراف[[55]](#footnote-55) [34]، تخمین مبتنی بر بلوک[[56]](#footnote-56) [35] و روش‌های مبتنی بر تحلیل مولفه اصلی[[57]](#footnote-57) (‏PCA) ‏[36] تخمین زده شود.

به دلیل اینکه به دست آوردن تصویر بدون نویز از رابطه‌‌ی (‏3‑1) و حل آن یک مسئله‌‌ی بدطرح[[58]](#footnote-58) ‌است، ما نمی‌توانیم یک راه‌حل منحصر به فرد را از مدل تصویر دارای نویز به دست آوریم. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است. برای به دست آوردن یک تخمین خوب از تصویر ، حذف نویز تصویر در زمینه پردازش تصویر در چند سال گذشته به خوبی مطالعه شده‌است.

**فصل چهارم**

# مدل پیشنهادی

## 4-1- مقدمه

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-2- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-3- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-4- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-5- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-6- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-7- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-8- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-9- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-10- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-11- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-12- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

## 4-13- انگیزه‌‌ی ارائه مدل پیشنهادی

در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم. در فصل‌‌های پیشین ابتدا به معرفی انواع نویز تصویر و سپس به بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پرداختیم.

**فصل پنجم**

# نتایج

## 5-1- معیارهای ارزیابی

در مقالات معیارهای متفاوتی برای ارزیابی و بررسی روش‌‌های حذف نویز تصویر پیشنهاد شده است. پیک نسبت سیگنال به نویز (PSNR)، ضریب تقویت تصویر[[59]](#footnote-59) (IEF) و شباهت ساختاری[[60]](#footnote-60) (SSIM) از جمله این معیارها مورد استفاده می‌‌باشند.

جدول ‏5‑1‑ نتایج PSNR روش‌‌های مختلف بر روی تصاویر Set12 آلوده شده به نویز گوسی با

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| روش  تصویر | BM3D  [122] | MLP  [127] | AE  [128] | DnCNN  [129] | FFDNet  [130] | IRCNN  [131] | PA |
| C.Man | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| House | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Peppers | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Starfish | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Monarch | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Airplane | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Parrot | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Lena | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Barbara | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Boat | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Man | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Couple | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Average | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |

جدول ‏5‑2‑ نتایج PSNR روش‌‌های مختلف بر روی تصاویر Set12 آلوده شده به نویز گوسی با

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| روش  تصویر | BM3D  [122] | MLP  [127] | AE  [128] | DnCNN  [129] | FFDNet  [130] | IRCNN  [131] | PA |
| C.Man | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| House | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Peppers | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Starfish | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Monarch | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Airplane | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Parrot | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Lena | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Barbara | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Boat | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Man | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Couple | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |
| Average | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 | 33.00 |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (ب) | (الف) |
|  |  |
| (ت) | (پ) |
|  |  |
| (ج) | (ث) |
|  |  |
| (ح) | (چ) |

شکل ‏5‑1‑ نتایج روش‌‌های مختلف حذف نویز روی یکی از تصاویر BSD68آلوده شده به نویز گوسی با . (الف) تصویر بدون نویز (ب) تصویر نویزی (پ) BM3D [122] (ت) WNNM [85] (ث) DnCNN [129] (ج) FFDNet [130] (چ) IRCNN [131] (ح) روش پیشنهادی

**فصل ششم**

# نتیجه‌‌گیری و بحث

## 6-1- نتیجه‌گیری

در این پایان‌‌نامه ابتدا به معرفی و بررسی روش‌‌های حذف نویز گوسی و نویز نمک و فلفل پرداختیم و در ادامه یک شبکه‌‌ی عصبی پیچشی مبتنی بر یادگیری عمیق به منظور حذف نویز نمک و فلفل، به خصوص نویز نمک و فلفل با چگالی خیلی زیاد، ارائه دادیم.

در این پایان‌‌نامه ابتدا به معرفی و بررسی روش‌‌های حذف نویز گوسی و نویز نمک و فلفل پرداختیم و در ادامه یک شبکه‌‌ی عصبی پیچشی مبتنی بر یادگیری عمیق به منظور حذف نویز نمک و فلفل، به خصوص نویز نمک و فلفل با چگالی خیلی زیاد، ارائه دادیم. در این پایان‌‌نامه ابتدا به معرفی و بررسی روش‌‌های حذف نویز گوسی و نویز نمک و فلفل پرداختیم و در ادامه یک شبکه‌‌ی عصبی پیچشی مبتنی بر یادگیری عمیق به منظور حذف نویز نمک و فلفل، به خصوص نویز نمک و فلفل با چگالی خیلی زیاد، ارائه دادیم. در این پایان‌‌نامه ابتدا به معرفی و بررسی روش‌‌های حذف نویز گوسی و نویز نمک و فلفل پرداختیم و در ادامه یک شبکه‌‌ی عصبی پیچشی مبتنی بر یادگیری عمیق به منظور حذف نویز نمک و فلفل، به خصوص نویز نمک و فلفل با چگالی خیلی زیاد، ارائه دادیم.

## 6-2- پیشنهادها

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد. شبکه‌ی پیشنهادی ما قادر به حذف نویز نمک و فلفل یا نویز گوسی در تصویر می‌باشد.

# منابع

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. Pearson Education, 2018.

[2] A. Rosenfeld, "Picture Processing by Computer," *ACM Computing Surveys,* vol. 1, no. 3, pp. 147-176, 1969.

[3] R. Verma and J. Ali, "A Comparative Study of Various Types of Image Noise and Efficient Noise Removal Techniques," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering,* vol. 3, no. 10, pp. 617-622, 2013.

[4] A. Maity, A. Pattanaik, S. Sagnika, and S. Pani, "A Comparative Study on Approaches to Speckle Noise Reduction in Images," in *International Conference on Computational Intelligence and Networks*, 2015: IEEE, pp. 148-155.

[5] A. Boyat and B. K. Joshi, "Image Denoising Using Wavelet Transform and Median Filtering," in *Nirma University International Conference on Engineering*, 2013: IEEE, pp. 1-6.

[6] R. W. Chabay and B. A. Sherwood, *Matter and Interactions*. John Wiley & Sons, 2011.

[7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed. Pearson Prentice Hall, 2008.

[8] M. Galarnyk, "Explaining the 68-95-99.7 Rule for a Normal Distribution," *Towards Data Science,* 2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/understanding-the-68-95-99-7-rule-for-a-normal-distribution-b7b7cbf760c2>.

[9] P. Nakroshis, M. Amoroso, J. Legere, and C. Smith, "Measuring Boltzmann’s Constant Using Video Microscopy of Brownian Motion," *American Journal of Physics,* vol. 71, no. 6, pp. 568-573, 2003.

[10] J. Bhattacharya, D. Chakraborty, and H. S. Samanta, "Brownian Motion-Past and Present," *arXiv preprint arXiv:1305.1344,* 2005.

[11] A. Radenovic, "Brownian Motion and Single Particle Tracking," *Advanced Bioengineering methods laboratory, Ecole polyteachenique federal de Lausanne,* 2014.

[12] J. Peidle *et al.*, "Inexpensive Microscopy for Introductory Laboratory Courses," *American Journal of Physics,* vol. 77, no. 10, pp. 931-938, 2009.

[13] M. A. Catipovic, P. M. Tyler, J. G. Trapani, and A. R. Carter, "Improving the Quantification of Brownian Motion," *American Journal of Physics,* vol. 81, no. 7, pp. 485-491, 2013.

[14] T. Kaur, M. Sandhu, and P. Goel, "Performance Comparison of Transform Domain for Speckle Reduction in Ultrasound Image," *International Journal of Engineering Research and Application,* vol. 2, no. 1, pp. 184-188, 2012.

[15] F. Benzarti and H. Amiri, "Speckle Noise Reduction in Medical Ultrasound Images," *arXiv preprint arXiv:1305.1344,* 2013.

[16] S. Salivahanan, A. Vallavaraj, and C. Gnanapriya, *Digital Signal Processing*. McGraw-Hill Education, 2001.

[17] Y. Bengio, A. Courville, and P. Vincent, "Representation Learning: A Review and New Perspectives," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 35, no. 8, pp. 1798-1828, 2013.

[18] D. Ciregan, U. Meier, and J. Schmidhuber, "Multi-Column Deep Neural Networks for Image Classification," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: IEEE, pp. 3642-3649.

[19] J. Schmidhuber, "Deep Learning in Neural Networks: An Overview," *Neural networks,* vol. 61, pp. 85-117, 2015.

[20] M. Valueva, N. Nagornov, P. Lyakhov, G. Valuev, and N. Chervyakov, "Application of the Residue Number System to Reduce Hardware Costs of the Convolutional Neural Network Implementation," *Mathematics and Computers in Simulation,* 2020.

[21] W. Zhang, "Shift-Invariant Pattern Recognition Neural Network and Its Optical Architecture," in *Annual Conference of the Japan Society of Applied Physics*, 1988.

[22] K. Fukushima, "Neocognitron," *Scholarpedia,* vol. 2, no. 1, p. 1717, 2007.

[23] H. H. Aghdam and E. J. Heravi, *Guide to Convolutional Neural Networks*. Springer, 2017, pp. 978-973.

[24] R. Venkatesan and B. Li, *Convolutional Neural Networks in Visual Computing: A Concise Guide*. CRC Press, 2017.

[25] S. Saha, "A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks—the ELI5 Way," *Towards Data Science,* 2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>.

[26] H. B. Curry, "The Method of Steepest Descent for Non-Linear Minimization Problems," *Quarterly of Applied Mathematics,* vol. 2, no. 3, pp. 258-261, 1944.

[27] D. Kim and J. A. Fessler, "Optimized First-Order Methods for Smooth Convex Minimization," *Mathematical programming,* vol. 159, no. 1-2, pp. 81-107, 2016.

[28] L. Bottou and O. Bousquet, "The Tradeoffs of Large Scale Learning," *Advances in Neural Information Processing Systems,* vol. 20, pp. 161-168, 2007.

[29] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A Method for Stochastic Optimization," *arXiv preprint arXiv:1412.6980,* 2014.

[30] J. Collis, "Glossary of Deep Learning: Batch Normalisation," *Medium,* 2017. [Online]. Available: <https://medium.com/deeper-learning/glossary-of-deep-learning-batch-normalisation-8266dcd2fa82>.

[31] F. Yu and V. Koltun, "Multi-Scale Context Aggregation by Dilated Convolutions," *arXiv preprint arXiv:1511.07122,* 2015.

[32] X. Glorot, A. Bordes, and Y. Bengio, "Deep Sparse Rectifier Neural Networks," in *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, 2011, pp. 315-323.

[33] R. H. Hahnloser, R. Sarpeshkar, M. A. Mahowald, R. J. Douglas, and H. S. Seung, "Digital Selection and Analogue Amplification Coexist in a Cortex-Inspired Silicon Circuit," *Nature,* vol. 405, no. 6789, pp. 947-951, 2000.

[34] D. Donoho and I. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage," *Biometrika,* vol. 81, no. 3, pp. 425–455, 1994.

[35] D. H. Shin, R. H. Park, S. Yang, and J. H. Jung, "Block-Based Noise Estimation Using Adaptive Gaussian Filtering," *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* vol. 51, no. 1, pp. 218-226, 2005.

[36] W. Liu and W. Lin, "Additive White Gaussian Noise Level Estimation in SVD Domain for Images," *IEEE Transactions on Image processing,* vol. 22, no. 3, pp. 872-883, 2012.

[37] M. Diwakar and M. Kumar, "A Review on CT Image Noise and Its Denoising," *Biomedical Signal Processing and Control,* vol. 42, pp. 73-88, 2018.

[38] X. Li, Y. Hu, X. Gao, D. Tao, and B. Ning, "A Multi-Frame Image Super-Resolution Method," *Signal Processing,* vol. 90, no. 2, pp. 405-414, 2010.

[39] N. Wiener, *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications*. MIT press, 1950.

[40] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed. Pearson Prentice Hall, 2002.

[41] A. Zohair, A. Shamil, and G. Sulong, "Latest Methods of Image Enhancement and Restoration for Computed Tomography: A Concise Review," *Applied Medical Informatics,* vol. 36, no. 1, pp. 1-12, 2015.

[42] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall, Inc., 1989.

[43] F. Bénézit, P. Thiran, and M. Vetterli, "Interval Consensus: From Quantized Gossip to Voting," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2009: IEEE, pp. 3661-3664.

[44] R. Yang, L. Yin, M. Gabbouj, J. Astola, and Y. Neuvo, "Optimal Weighted Median Filtering Under Structural Constraints," *IEEE Transactions on Signal Processing,* vol. 43, no. 3, pp. 591-604, 1995.

[45] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Image," in *International Conference on Computer Vision*, 1998: IEEE, pp. 839-846.

[46] D. Krishnan and R. Fergus, "Fast Image Deconvolution Using Hyper-Laplacian Priors," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2009, pp. 1033-1041.

[47] A. Katsaggelos, *Digital Image Restoration*. Springer, 2012.

[48] A. N. Tikhonov and V. Y. Arsenin, *Solutions of Ill-Posed Problems*. New York, 1977.

[49] D. Dobson and F. Santosa, "Recovery of Blocky Images From Noisy and Blurred Data," *SIAM Journal on Applied Mathematics,* vol. 56, pp. 1181-1198, 1996.

[50] M. Nikolova, "Local Strong Homogeneity of a Regularized Estimator," *SIAM Journal on Applied Mathematics,* vol. 61, no. 2, pp. 633-658, 2000.

[51] P. PENRONA and J. MALIK, "Scale Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 12, no. 4, pp. 629-639, 1990.

[52] J. Weickert, *Anisotropic Diffusion in Image Processing*. Teubner Stuttgart, 1998.

[53] F. Catté, P. L. Lions, J. M. Morel, and T. Coll, "Image Selective Smoothing and Edge Detection by Nonlinear Diffusion," *SIAM Journal on Numerical Analysis,* vol. 29, no. 1, pp. 182-193, 1992.

[54] S. Esedoḡlu and S. J. Osher, "Decomposition of Images by the Anisotropic Rudin‐Osher‐Fatemi Model," *Communications on Pure and Applied Mathematics,* vol. 57, no. 12, pp. 1609-1626, 2004.

[55] L. I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, "Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms," *Physica D: Nonlinear Phenomena,* vol. 60, no. 1-4, pp. 259-268, 1992.

[56] L. I. Rudin and S. Osher, "Total Variation Based Image Restoration With Free Local Constraints," in *International Conference on Image Processing*, 1994, vol. 1: IEEE, pp. 31-35.

[57] A. Chambolle, M. J. Ehrhardt, P. Richtárik, and C. B. Schonlieb, "Stochastic Primal-Dual Hybrid Gradient Algorithm With Arbitrary Sampling and Imaging Applications," *SIAM Journal on Optimization,* vol. 28, no. 4, pp. 2783-2808, 2018.

[58] N. J. Lybeck and K. L. Bowers, "The Sinc-Galerkin Schwarz Alternating Method for Poisson’s Equation," in *Computation and Control IV. Progress in Systems and Control Theory*, vol. 20: Springer, 1995, pp. 247-256.

[59] C. Vogel and M. Oman, "Iterative Methods for Total Variation Denoising," *SIAM Journal on Scientific Computing,* vol. 17, pp. 227--238, 1996.

[60] A. Beck and M. Teboulle, "Fast Gradient-Based Algorithms for Constrained Total Variation Image Denoising and Deblurring Problems," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 18, no. 11, pp. 2419-2434, 2009.

[61] Y. Hu and M. Jacob, "Higher Degree Total Variation (HDTV) Regularization for Image Recovery," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 21, no. 5, pp. 2559-2571, 2012.

[62] M. Zibulevsky and M. Elad, "L1-L2 Optimization in Signal and Image Processing," *IEEE Signal Processing Magazine,* vol. 27, no. 3, pp. 76-88, 2010.

[63] Y. Lou, T. Zeng, S. Osher, and J. Xin, "A Weighted Difference of Anisotropic and Isotropic Total Variation Model for Image Processing," *SIAM Journal on Imaging Sciences,* vol. 8, no. 3, pp. 1798-1823, 2015.

[64] G. Gilboa and S. Osher, "Nonlocal Operators With Applications to Image Processing," *Multiscale Modeling & Simulation,* vol. 7, no. 3, pp. 1005-1028, 2009.

[65] A. Buades, B. Coll, and J. M. Morel, "A Review of Image Denoising Algorithms, With a New One," *Multiscale Modeling & Simulation,* vol. 4, no. 2, pp. 490-530, 2005.

[66] C. Pang, O. C. Au, J. Dai, W. Yang, and F. Zou, "A Fast NL-Means Method in Image Denoising Based on the Similarity of Spatially Sampled Pixels," in *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing*, 2009: IEEE, pp. 1-4.

[67] B. Goossens, H. Luong, A. Pizurica, and W. Philips, "An Improved Non-Local Denoising Algorithm," in *International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing*, 2008, pp. 143-156.

[68] J. Wang, Y. Guo, Y. Ying, Y. Liu, and Q. Peng, "Fast Non-Local Algorithm for Image Denoising," in *International Conference on Image Processing*, 2006: IEEE, pp. 1429-1432.

[69] T. Thaipanich, B. T. Oh, P. H. Wu, D. Xu, and C. J. Kuo, "Improved Image Denoising With Adaptive Nonlocal Means (ANL-Means) Algorithm," *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* vol. 56, no. 4, pp. 2623-2630, 2010.

[70] P. Coupé, P. Yger, S. Prima, P. Hellier, C. Kervrann, and C. Barillot, "An Optimized Blockwise Nonlocal Means Denoising Filter for 3-D Magnetic Resonance Images," *IEEE Transactions on Medical Imaging,* vol. 27, no. 4, pp. 425-441, 2008.

[71] M. Mahmoudi and G. Sapiro, "Fast Image and Video Denoising via Nonlocal Means of Similar Neighborhoods," *IEEE Signal Processing Letters,* vol. 12, no. 12, pp. 839-842, 2005.

[72] L. Fan, X. Li, Q. Guo, and C. Zhang, "Nonlocal Image Denoising Using Edge-Based Similarity Metric and Adaptive Parameter Selection," *Science China Information Sciences,* vol. 61, no. 4, p. 049101, 2018.

[73] S. Grewenig, S. Zimmer, and J. Weickert, "Rotationally Invariant Similarity Measures for Nonlocal Image Denoising," *Journal of Visual Communication and Image Representation,* vol. 22, no. 2, pp. 117-130, 2011.

[74] M. Carnec, P. Le Callet, and D. Barba, "Visual Features for Image Quality Assessment With Reduced Reference," in *IEEE International Conference on Image Processing*, 2005, vol. 1: IEEE, pp. I-421.

[75] A. Kheradmand and P. Milanfar, "A General Framework for Regularized, Similarity-Based Image Restoration," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 23, no. 12, pp. 5136-5151, 2014.

[76] L. Fan, X. Li, H. Fan, Y. Feng, and C. Zhang, "Adaptive Texture-Preserving Denoising Method Using Gradient Histogram and Nonlocal Self-Similarity Priors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,* vol. 29, no. 11, pp. 3222-3235, 2018.

[77] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Color Image Denoising via Sparse 3D Collaborative Filtering With Grouping Constraint in Luminance-Chrominance Space," in *IEEE International Conference on Image Processing*, 2007, vol. 1: IEEE, pp. I-313-I-316.

[78] R. Yan, L. Shao, S. D. Cvetkovic, and J. Klijn, "Improved Nonlocal Means Based on Pre-Classification and Invariant Block Matching," *Journal of Display Technology,* vol. 8, no. 4, pp. 212-218, 2012.

[79] S. Zimmer, S. Didas, and J. Weickert, "A Rotationally Invariant Block Matching Strategy Improving Image Denoising With Non-Local Means," in *International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing*, 2008, pp. 135-142.

[80] Y. Lou, P. Favaro, S. Soatto, and A. Bertozzi, "Nonlocal Similarity Image Filtering," in *International Conference on Image Analysis and Processing*, 2009: Springer, pp. 62-71.

[81] C. Kervrann and J. Boulanger, "Local Adaptivity to Variable Smoothness for Exemplar-Based Image Regularization and Representation," *International Journal of Computer Vision,* vol. 79, no. 1, pp. 45-69, 2008.

[82] J. Wei, "Lebesgue Anisotropic Image Denoising," *International Journal of Imaging Systems and Technology,* vol. 15, no. 1, pp. 64-73, 2005.

[83] C. Sutour, C. A. Deledalle, and J. F. Aujol, "Adaptive regularization of the NL-means: Application to Image and Video Denoising," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 23, no. 8, pp. 3506-3521, 2014.

[84] D. Zoran and Y. Weiss, "From Learning Models of Natural Image Patches to Whole Image Restoration," in *International Conference on Computer Vision*, 2011: IEEE, pp. 479-486.

[85] S. Gu, Q. Xie, D. Meng, W. Zuo, X. Feng, and L. Zhang, "Weighted Nuclear Norm Minimization and Its Applications to Low Level Vision," *International Journal of Computer Vision,* vol. 121, no. 2, pp. 183-208, 2017.

[86] X. Shen and Y. Wu, "A Unified Approach to Salient Object Detection via Low Rank Matrix Recovery," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: IEEE, pp. 853-860.

[87] K. Zhang, X. Gao, D. Tao, and X. Li, "Multi-Scale Dictionary for Single Image Super-Resolution," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: IEEE, pp. 1114-1121.

[88] M. Elad and M. Aharon, "Image Denoising via Sparse and Redundant Representations Over Learned Dictionaries," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 15, no. 12, pp. 3736-3745, 2006.

[89] L. Zhang and W. Zuo, "Image Restoration: From Sparse and Low-Rank Priors to Deep Priors," *IEEE Signal Processing Magazine,* vol. 34, no. 5, pp. 172-179, 2017.

[90] W. Dong, L. Zhang, G. Shi, and X. Li, "Nonlocally Centralized Sparse Representation for Image Restoration," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 22, no. 4, pp. 1620-1630, 2012.

[91] L. Zhang, W. Dong, D. Zhang, and G. Shi, "Two-Stage Image Denoising by Principal Component Analysis With Local Pixel Grouping," *Pattern Recognition,* vol. 43, no. 4, pp. 1531-1549, 2010.

[92] C. Louchet and L. Moisan, "Total Variation as a Local Filter," *SIAM Journal on Imaging Sciences,* vol. 4, no. 2, pp. 651-694, 2011.

[93] G. Liu, Z. Lin, and Y. Yu, "Robust Subspace Segmentation by Low-Rank Representation," in *International Conference on Machine Learning*, 2010, pp. 663-670.

[94] I. Markovsky and K. Usevich, *Low-Rank Approximation*. London: Springer, 2012.

[95] Q. Guo, C. Zhang, Y. Zhang, and H. Liu, "An Efficient SVD-Based Method for Image Denoising," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,* vol. 26, no. 5, pp. 868-880, 2015.

[96] M. Bertalmío, *Denoising of Photographic Images and Video*. Springer, 2018.

[97] R. Liu, Z. Lin, F. De la Torre, and Z. Su, "Fixed-Rank Representation for Unsupervised Visual Learning," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: IEEE, pp. 598-605.

[98] A. Eriksson and A. van den Hengel, "Efficient Computation of Robust Weighted Low-Rank Matrix Approximations Using the L\_1 Norm," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 34, no. 9, pp. 1681-1690, 2012.

[99] W. Dong, G. Shi, and X. Li, "Nonlocal Image Restoration With Bilateral Variance Estimation: A Low-Rank Approach," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 22, no. 2, pp. 700-711, 2012.

[100] Z. Yuan, X. Lin, and X. Wang, "The LSE Model to Denoise Mixed Noise in Images," *J Signal Process,* vol. 29, no. 10, pp. 1329-1335, 2013.

[101] L. Xinyan, M. Jie, Z. Xiaomei, and H. Zhaozheng, "Image Denoising of Low-Rank Matrix Recovery via Joint Frobenius Norm," *Journal of Image and Graphics,* 2014.

[102] H. Ji, S. Huang, Z. Shen, and Y. Xu, "Robust Video Restoration by Joint Sparse and Low Rank Matrix Approximation," *SIAM Journal on Imaging Sciences,* vol. 4, no. 4, pp. 1122-1142, 2011.

[103] H. Ji, C. Liu, Z. Shen, and Y. Xu, "Robust Video Denoising Using Low Rank Matrix Completion," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2010: IEEE, pp. 1791-1798.

[104] G. Liu, Z. Lin, S. Yan, J. Sun, Y. Yu, and Y. Ma, "Robust Recovery of Subspace Structures by Low-Rank Representation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 35, no. 1, pp. 171-184, 2012.

[105] J. F. Cai, E. J. Candès, and Z. Shen, "A Singular Value Thresholding Algorithm for Matrix Completion," *SIAM Journal on optimization,* vol. 20, no. 4, pp. 1956-1982, 2010.

[106] L. Zhang, P. Bao, and X. Wu, "Multiscale LMMSE-Based Image Denoising With Optimal Wavelet Selection," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,* vol. 15, no. 4, pp. 469-481, 2005.

[107] L. C. Jiao, B. Hou, S. Wang, and F. Liu, "Image Multiscale Geometric Analysis: Theory and Applications," *Theory and Application of Beyond Wavelet Analysis,* 2008.

[108] J. Hou, "Research on Image Denoising Approach Based on Wavelet and Its Statistical Characteristics," PhD Dissertation, Huazhong University of Science and Technology, 2007.

[109] P. Jain and V. Tyagi, "Spatial and Frequency Domain Filters for Restoration of Noisy Images," *IETE Journal of Education,* vol. 54, no. 2, pp. 108-116, 2013.

[110] A. Jung, "An Introduction to a New Data Analysis Tool: Independent Component Analysis," in *Proceedings of Workshop GK" Nonlinearity"-Regensburg*, 2001.

[111] A. Hyvarinen, E. Oja, P. Hoyer, and J. Hurri, "Image Feature Extraction by Sparse Coding and Independent Component Analysis," in *International Conference on Pattern Recognition*, 1998, vol. 2: IEEE, pp. 1268-1273.

[112] D. D. Muresan and T. W. Parks, "Adaptive Principal Components and Image Denoising," in *International Conference on Image Processing*, 2003, vol. 1: IEEE, pp. I-101.

[113] A. B. Hamza, P. L. Luque-Escamilla, J. Martínez-Aroza, and R. Román-Roldán, "Removing Noise and Preserving Details With Relaxed Median Filters," *Journal of Mathematical Imaging and Vision,* vol. 11, no. 2, pp. 161-177, 1999.

[114] S. Mallat, "Image Retrieval Using Wavelet-Based Salient Points," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* 1989.

[115] V. Strela, "Denoising via Block Wiener Filtering in Wavelet Domain," in *European Congress of Mathematics*, 2001: Springer, pp. 619-625.

[116] J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, and E. P. Simoncelli, "Restoration-Image Denoising Using Scale Mixtures of Gaussians in the Wavelet Domain," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 12, no. 11, pp. 1338-1351, 2003.

[117] M. Malfait and D. Roose, "Wavelet-Based Image Denoising Using a Markov Random Field a Priori Model," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 6, no. 4, pp. 549-565, 1997.

[118] R. D. Da Silva, R. Minetto, W. R. Schwartz, and H. Pedrini, "Adaptive Edge-Preserving Image Denoising Using Wavelet Transforms," *Pattern Analysis and Applications,* vol. 16, no. 4, pp. 567-580, 2013.

[119] P. L. Combettes and J. C. Pesquet, "Wavelet-Constrained Image Restoration," *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing,* vol. 2, no. 04, pp. 371-389, 2004.

[120] H. Choi and R. Baraniuk, "Analysis of Wavelet-Domain Wiener Filters," in *IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis*, 1998: IEEE, pp. 613-616.

[121] L. Fan, F. Zhang, H. Fan, and C. Zhang, "Brief Review of Image Denoising Techniques," *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art,* vol. 2, no. 1, p. 7, 2019.

[122] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Image Denoising by Sparse 3-D Transform-Domain Collaborative Filtering," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 16, no. 8, pp. 2080-2095, 2007.

[123] Y. Chen and T. Pock, "Trainable Nonlinear Reaction Diffusion: A Flexible Framework for Fast and Effective Image Restoration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 39, no. 6, pp. 1256-1272, 2016.

[124] U. Schmidt and S. Roth, "Shrinkage Fields for Effective Image Restoration," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014, pp. 2774-2781.

[125] J. Kim, J. Kwon Lee, and K. Mu Lee, "Accurate Image Super-Resolution Using Very Deep Convolutional Networks," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 1646-1654.

[126] S. Nah, T. Hyun Kim, and K. Mu Lee, "Deep Multi-Scale Convolutional Neural Network for Dynamic Scene Deblurring," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2017, pp. 3883-3891.

[127] H. C. Burger, C. J. Schuler, and S. Harmeling, "Image Denoising: Can Plain Neural Networks Compete With BM3D?," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: IEEE, pp. 2392-2399.

[128] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, and Y. Bengio, *Deep Learning*. MIT Press Cambridge, 2016.

[129] K. Zhang, W. Zuo, Y. Chen, D. Meng, and L. Zhang, "Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 26, no. 7, pp. 3142-3155, 2017.

[130] K. Zhang, W. Zuo, and L. Zhang, "FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN-Based Image Denoising," *IEEE Transactions on Image Processing,* vol. 27, no. 9, pp. 4608-4622, 2018.

[131] K. Zhang, W. Zuo, S. Gu, and L. Zhang, "Learning Deep CNN Denoiser Prior for Image Restoration," in *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 3929-3938.

[132] W. Shi *et al.*, "Real-Time Single Image and Video Super-Resolution Using an Efficient Sub-Pixel Convolutional Neural Network," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 1874-1883.

[133] S. Boyd, N. Parikh, and E. Chu, *Distributed Optimization and Statistical Learning via the Alternating Direction Method of Multipliers*. Now Publishers Inc, 2011.

[134] D. Geman and C. Yang, "Nonlinear Image Recovery With Half-Quadratic Regularization," *IEEE transactions on Image Processing,* vol. 4, no. 7, pp. 932-946, 1995.

[135] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*. Pearson Education, 2004.

[136] L. Yin, R. Yang, M. Gabbouj, and Y. Neuvo, "Weighted Median Filters: A Tutorial," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing,* vol. 43, no. 3, pp. 157-192, 1996.

[137] S. J. Ko and Y. H. Lee, "Center Weighted Median Filters and Their Applications to Image Enhancement," *IEEE Transactions on Circuits and Systems,* vol. 38, no. 9, pp. 984-993, 1991.

[138] T. Sun and Y. Neuvo, "Detail-Preserving Median Based Filters in Image Processing," *Pattern Recognition Letters,* vol. 15, no. 4, pp. 341-347, 1994.

[139] Z. Wang and D. Zhang, "Progressive Switching Median Filter for the Removal of Impulse Noise From Highly Corrupted Images," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing,* vol. 46, no. 1, pp. 78-80, 1999.

[140] K. Srinivasan and D. Ebenezer, "A New Fast and Efficient Decision-Based Algorithm for Removal of High-Density Impulse Noises," *IEEE signal Processing Letters,* vol. 14, no. 3, pp. 189-192, 2007.

[141] K. Aiswarya, V. Jayaraj, and D. Ebenezer, "A New and Efficient Algorithm for the Removal of High Density Salt and Pepper Noise in Images and Videos," in *International Conference on Computer Modeling and Simulation* 2010, vol. 4: IEEE, pp. 409-413.

[142] S. Esakkirajan, T. Veerakumar, A. N. Subramanyam, and C. PremChand, "Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter," *IEEE Signal Processing Letters,* vol. 18, no. 5, pp. 287-290, 2011.

[143] S. Vishaga and S. L. Das, "A Survey on Switching Median Filters for Impulse Noise Removal," in *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies*, 2015: IEEE, pp. 1-6.

[144] R. Varatharajan, K. Vasanth, M. Gunasekaran, M. Priyan, and X. Z. Gao, "An Adaptive Decision Based Kriging Interpolation Algorithm for the Removal of High Density Salt and Pepper Noise in Images," *Computers & Electrical Engineering,* vol. 70, pp. 447-461, 2018.

[145] B. Fu, X. Zhao, Y. Li, X. Wang, and Y. Ren, "A Convolutional Neural Networks Denoising Approach for Salt and Pepper Noise," *Multimedia Tools and Applications,* vol. 78, no. 21, pp. 30707-30721, 2019.

[146] Z. Wang, E. P. Simoncelli, and A. C. Bovik, "Multiscale Structural Similarity for Image Quality Assessment," in *Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, 2003, vol. 2: IEEE, pp. 1398-1402.

[147] S. Roth and M. J. Black, "Fields of Experts," *International Journal of Computer Vision,* vol. 82, no. 2, p. 205, 2009.

[148] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* no. 6, pp. 679-698, 1986.

**Abstract**

**Investigation and Comparison of Image Noise Reduction Techniques Using Deep Learning**

By

**Ahmad Ali Rafiee**

Image denoising is one of the most common and important fields in image processing. Gaussian noise and salt and pepper noise are the most important types of noise that have a destructive effect on image resolution. These noises remove all or part of image pixels information. Due to increasing progress of deep learning-based methods, recent denoising methods are proposed that are based on deep learning and Convolutional Neural Networks (CNNs) and they achieved very good results. But most of these methods are designed for Gaussian noise and they are not able to denoise salt and pepper noise because of its nature.

In this thesis, first, we investigated various Gaussian and salt and pepper denoising methods. Then, we compared these methods by using different evaluation metrics. Also, we designed a network based on deep learning that led to efficient results in salt and pepper denoising and had better performance in comparison with other methods. The proposed network is able to remove high density salt and pepper noise (even 99%). The proposed network is also effective for denoising Gaussian noise.

**Keywords:** Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Gaussian Noise, Image Denoising, Image Noise, Salt and Pepper Noise.

**In the Name of God**

**Investigation and Comparison of Image Noise Reduction Techniques Using Deep Learning**

By

**Ahmad Ali Rafiee**

Thesis

Submitted to Shiraz University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)

In

Electrical Engineering- Communication System

Shiraz University

Shiraz

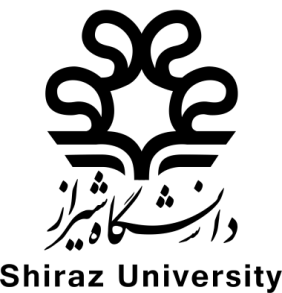
Islamic Republic of Iran

**Evaluated and Approved by the Thesis Committee as: Excellent**



|  |  |
| --- | --- |
| …………………………………… | M. Farhang (Ph.D.), Assistant Prof. of the Dept. of Communication and Electronics Engineering (Supervisor) |
| …………………………………… | P. Sotoodeh (Ph.D.), Assistant Prof. of the Dept. of Power and Control Engineering (Advisor) |
| …………………………………… | M. Yazdi (Ph.D.), Prof. of the Dept. of Communication and Electronics Engineering (Internal Examiner) |

**September 2020**

****

**School of Electrical and Computer engineering**

**M.Sc. Thesis in**

**Electrical Engineering- Communication System**

**Investigation and Comparison of Image Noise Reduction Techniques Using Deep Learning**

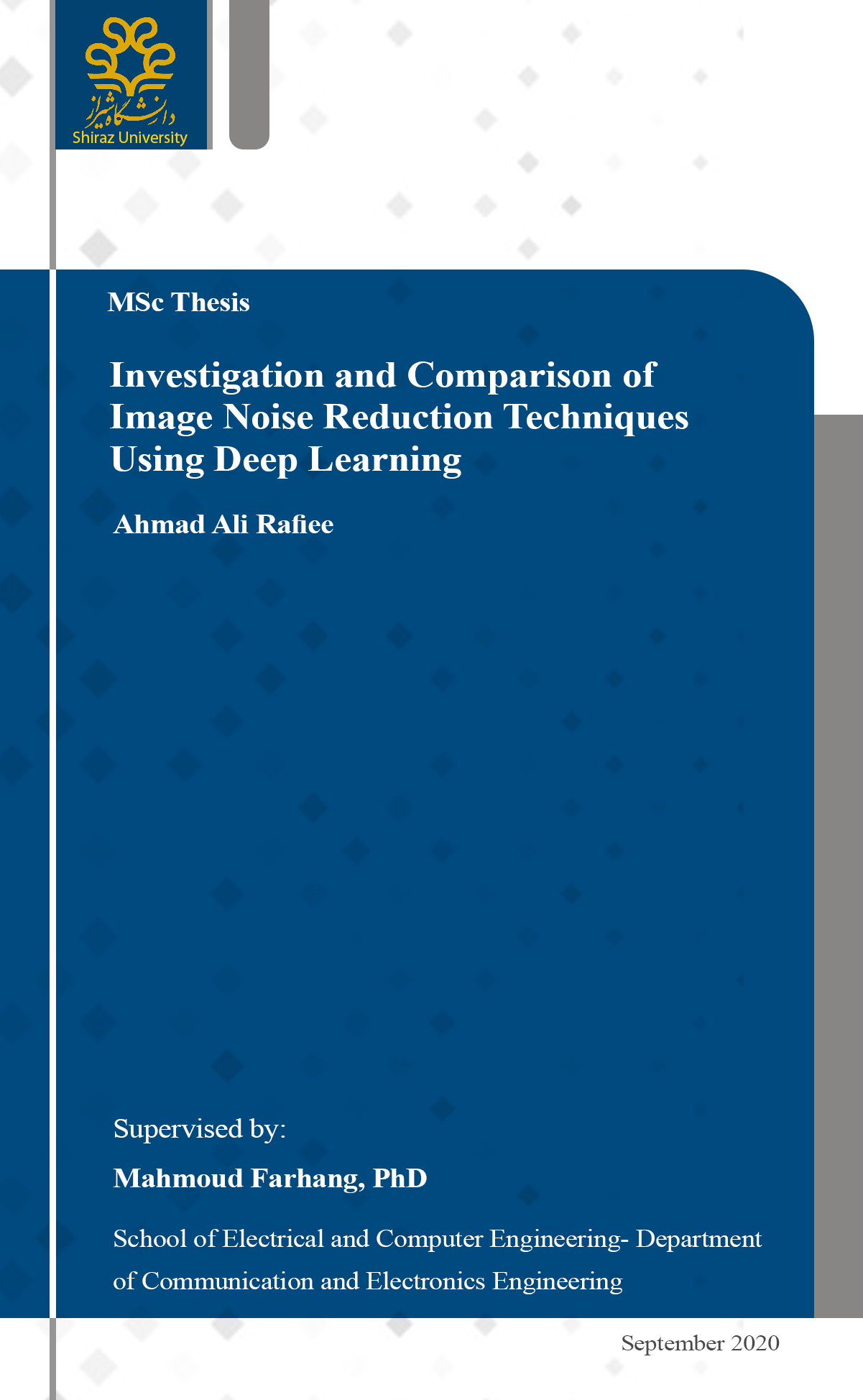
By

**Ahmad Ali Rafiee**

Supervised by

**Mahmoud Farhang (Ph.D.)**

**September 2020**

****

1. Image [↑](#footnote-ref-1)
2. Matrix [↑](#footnote-ref-2)
3. Brightness [↑](#footnote-ref-3)
4. Binary image [↑](#footnote-ref-4)
5. Gray scale image [↑](#footnote-ref-5)
6. Color image [↑](#footnote-ref-6)
7. Digital image processing [↑](#footnote-ref-7)
8. Digital signal processing [↑](#footnote-ref-8)
9. Analog image processing [↑](#footnote-ref-9)
10. Noise [↑](#footnote-ref-10)
11. Distortion [↑](#footnote-ref-11)
12. Discrete mathematics theory [↑](#footnote-ref-12)
13. Satellite imagery [↑](#footnote-ref-13)
14. Medical imaging [↑](#footnote-ref-14)
15. Videophone [↑](#footnote-ref-15)
16. Character recognition, [↑](#footnote-ref-16)
17. Photograph enhancement [↑](#footnote-ref-17)
18. Image enhancement [↑](#footnote-ref-18)
19. Restoration [↑](#footnote-ref-19)
20. Encoding [↑](#footnote-ref-20)
21. Compression [↑](#footnote-ref-21)
22. Geometric correction [↑](#footnote-ref-22)
23. Gradation transformation [↑](#footnote-ref-23)
24. Noise removal [↑](#footnote-ref-24)
25. Topographic map [↑](#footnote-ref-25)
26. Color map [↑](#footnote-ref-26)
27. Mosaic [↑](#footnote-ref-27)
28. Hardware [↑](#footnote-ref-28)
29. Classification [↑](#footnote-ref-29)
30. Feature extraction [↑](#footnote-ref-30)
31. Multi-scale signal analysis [↑](#footnote-ref-31)
32. Pattern recognition [↑](#footnote-ref-32)
33. Projection [↑](#footnote-ref-33)
34. Hidden Markov models [↑](#footnote-ref-34)
35. Image editing [↑](#footnote-ref-35)
36. Image restoration [↑](#footnote-ref-36)
37. Independent component analysis [↑](#footnote-ref-37)
38. Linear filtering [↑](#footnote-ref-38)
39. Neural networks [↑](#footnote-ref-39)
40. Pixelation [↑](#footnote-ref-40)
41. Principal components analysis [↑](#footnote-ref-41)
42. Self-organizing maps [↑](#footnote-ref-42)
43. Wavelets [↑](#footnote-ref-43)
44. Inverse problem [↑](#footnote-ref-44)
45. Additive [↑](#footnote-ref-45)
46. Multiplicative [↑](#footnote-ref-46)
47. Impulse [↑](#footnote-ref-47)
48. Signal-to-noise ratio [↑](#footnote-ref-48)
49. Edges [↑](#footnote-ref-49)
50. Blurring [↑](#footnote-ref-50)
51. Textures [↑](#footnote-ref-51)
52. Artifacts [↑](#footnote-ref-52)
53. Additive white Gaussian noise [↑](#footnote-ref-53)
54. Standard deviation [↑](#footnote-ref-54)
55. Median absolute deviation [↑](#footnote-ref-55)
56. Block-based estimation [↑](#footnote-ref-56)
57. Principle component analysis [↑](#footnote-ref-57)
58. Ill-posed problem [↑](#footnote-ref-58)
59. Image Enhancement Factor [↑](#footnote-ref-59)
60. Structural Similarity Index Measure [↑](#footnote-ref-60)