

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی ارشد هوش مصنوعی

رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم

نگارنده: حمیده باقری

استاد راهنما

دکتر حمید حسن پور

دی ماه ۱۳۹۹

شماره: ۹۷۰۳۴۸۴

تاریخ: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم حمیده باقری با شماره دانشجویی ۹۷۰۳۴۸۴ رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی و رباتیکز تحت عنوان رفع تازی تصاویر کیسول آندوسکوپی بیسیم که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸ ☒
 ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹ - ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹ - ۱۴ ☐
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
 نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حمید حسن پور	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	-----	-----	-----
۳- استاد مشاور	-----	-----	-----
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس محسن فرهادی	مربی	
۵- استاد منتحن اول	دکتر مرضیه رحیمی	استادیار	
۶- استاد منتحن دوم	دکتر مریم خدابخش	استادیار	

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا الفی

تقدیم بہ
دوستداران علم و اندیشہ.

حمیدہ باقری

دی ماہ ۹۹

از استاد کرامی جناب آقای دکتر حمید حسن پوربایت راهنمایی ها و در اختیار گذاشتن زمان گرانبهایشان برای اینجانب بسیار سپاسگزارم.
در پایان نیز از کلیه اساتید، خانواده و دوستان عزیز که در تمام مراحل انجام این پایان نامه مرایاری رسانند، کمال قدردانی و تشکر را دارم.

تعمدنامه

اینجانب ..حمیده باقری..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد (دکتری) رشته ..هوش مصنوعی.... دانشکدهمهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات.... دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ... "رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم" ... تحت راهنمایی ...دکتر حمید حسن پور..... متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

استفاده از فناوری کپسول آندوسکوپی بیسیم که تنها دو دهه از ظهور آن می‌گذرد، در سال‌های اخیر رو به رشد بوده است. این کپسول در دستگاه گوارش به حرکت در می‌آید و تصاویری را ضبط می‌کند که توسط پزشک متخصص برای تشخیص انواع بیماری‌ها کاربرد دارد. برای تشخیص درست، نیاز است که تصاویر حاصل دارای کیفیت و وضوح بالایی باشند. تاری، یکی از مشکلاتی است که باعث عدم تشخیص و یا تشخیص اشتباه توسط پزشک می‌شود. شرایط پیچیده محیط تصویربرداری، روشنایی کم و محدودیت تجهیزات از جمله دلایل پایین بودن کیفیت و عدم وضوح این تصاویر است. این کپسول در اثر لغزش و حرکات چرخشی به حرکت در می‌آید. این حرکت دائمی باعث ایجاد تاری حرکتی در این تصاویر می‌شود. هدف از این پژوهش، رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم است. رفع تاری یک تصویر، مساله‌ای چالش برانگیز است زیرا نیاز به تعیین نوع تاری و تخمین هسته تاری در آن وجود دارد. در این تصاویر سه نوع تاری گوسی، شعاعی و دایره‌ای تشخیص داده شده است. در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از معیارهای سنجش مناسب، میزان تاری را بررسی می‌کنیم. با توجه به میزان تاری، برای رفع تاری تصاویر دارای تاری گوسی از روش ماسک غیرتیز استفاده می‌کنیم. با استفاده از این روش، لبه‌ها و نواحی فرکانس بالای تصویر تقویت می‌شود. رفع تاری فیلتر وینر، روشی است که از گذشته برای انواع تاری‌ها کاربرد داشته است. ما نیز برای رفع تاری شعاعی و دایره‌ای، استفاده از روش فیلتر وینر را پیشنهاد می‌کنیم. برای تخمین هسته تاری از تصاویر شبیه‌سازی شده که دارای تاری شعاعی و دایره‌ای هستند، استفاده کردیم. با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده و میزان تاری، هسته تاری را تخمین زدیم. روش پیشنهادی بر روی پایگاه داده چالش GIANA 2017 مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که میزان تاری حدود ۳۰ تا ۸۵ درصد کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: تاری، کپسول آندوسکوپی بیسیم، تاری شعاعی، تاری دایره‌ای، تخمین هسته تاری، فیلتر وینر، ماسک غیرتیز

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- Deblurring radial-blurred for Wireless Capsule Endoscopy images

فهرست مطالب

ک	فهرست جداول
ل	فهرست اشکال
۱	فصل ۱ : مقدمه
۲	۱-۱ معرفی کپسول آندوسکوپی بیسیم
۴	۲-۱ تاری و انواع آن در تصاویر WCE
۴	1-2-1 تعریف تاری
۵	۲-۲-۱ تاری در تصاویر WCE
۶	۳-۱ ضرورت و هدف تحقیق
۶	۴-۱ پیشفرض‌ها
۷	۵-۱ نوآوری‌ها
۷	۶-۱ ساختار پایان‌نامه
۷	۷-۱ جمع‌بندی
۹	فصل ۲ : مروری بر کارهای گذشته
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ رفع تاری تصاویر و یا ویدئوهای WCE
۲۳	3-2 بهبود کیفیت تصاویر و یا ویدئوهای WCE
۳۰	۴-۲ جمع‌بندی

فصل ۳: روش پیشنهادی

۳۱

۳-۱ مقدمه ۳۲

۳-۲ بررسی وجود تاری ۳۲

۳-۳ تاری گوسی ۳۶

۳-۳-۱ بررسی و اثبات وجود تاری گوسی در تصاویر WCE ۳۷

۳-۳-۲ بررسی میزان تاری گوسی در تصاویر WCE ۳۸

۳-۳-۳ رفع تاری گوسی ۴۰

۳-۴ تاری حرکتی ۴۱

۳-۴-۱ بررسی و اثبات وجود تاری حرکتی در تصاویر WCE ۴۱

۳-۵ تاری شعاعی ۴۵

۳-۵-۱ میزان تاری شعاعی ۴۹

۳-۵-۲ رفع تاری شعاعی ۵۰

۳-۶ تاری دایره‌ای ۵۲

۳-۶-۱ میزان تاری دایره‌ای ۵۵

۳-۶-۲ رفع تاری دایره‌ای ۵۶

۳-۷ نتیجه‌گیری ۵۶

فصل ۴: ارزیابی و بررسی نتایج

۵۹

۴-۱ مقدمه ۶۰

۴-۲ معرفی پایگاه داده ۶۰

۴-۳ تاری گوسی ۶۰

۴-۴ تاری شعاعی ۶۴

۴-۵ تاری دایره‌ای ۷۴

۶-۴ مقایسه ۸۰

۷-۴ جمع بندی ۸۴

فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها ۸۵

۱-۵ جمع بندی ۸۶

۲-۵ پیشنهادهایی برای کارهای آینده ۸۸

مراجع ۸۹

فهرست جداول

جدول ۱-۲ مقایسه روش‌های معرفی‌شده برای رفع تاری تصاویر WCE	۲۲
جدول ۱-۳ میزان تاری در شکل ۳-۶ با استفاده از معیارهای تاری	۴۰
جدول ۱-۴ میزان تاری برای تصاویر شکل ۴-۱ با استفاده از روش کِرت و همکاران	۶۱
جدول ۲-۴ میزان تاری برای تصاویر شکل ۴-۴ با استفاده از روش حسینی و همکاران	۶۳
جدول ۳-۴ مقایسه میزان تاری تصویر تار اولیه با تصاویر رفع تاری‌شده در شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۵	۷۳
جدول ۴-۴ مقایسه میزان تاری در تصاویر شکل‌های ۴-۱۸ تا ۴-۲۱ با استفاده از روش حسینی و همکاران	۷۹
جدول ۵-۴ مقایسه میزان تاری در روش پیشنهادی با روش رفع تاری مقاله [۱۸]	۸۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ کپسول آندوسکوپی بیسیم در اندام‌های داخلی بدن ۲
- شکل ۱-۲ (a) تصویر اصلی WCE، (b) تصویر تار شده و نویزی، (c) تصویر بازسازی شده با استفاده از روش CTV-T و (d) تصویر بازسازی شده با استفاده از روش CBC-TV [۱۷] ۱۲
- شکل ۲-۲ مدل حرکتی مبتنی بر مش (a) یک جفت ویژگی SURF همسان (نقاط قرمز) و دو جفت جریان نوری (مثلاً) (b) انتشار پیکان‌های حرکتی به سمت راس‌های مش نزدیکشان (c) دریافت چندین حرکت توسط هر راس مش [۱۲] ۱۳
- شکل ۳-۲ روند جستجو فریم واضح اطراف فریم هدف [۱۲] ۱۴
- شکل ۴-۲ مقایسه بین CPM و DPM. (a) فریم تار ورودی (b) فریم واضح نزدیک (c) هسته تار تخمین زده شده از a و پیچش شده با d (b) نتایج با استفاده از CPM e نتایج با استفاده از DPM [۱۲] ۱۵
- شکل ۵-۲ خطای SSD برای CPM و DPM [۱۲] ۱۶
- شکل ۶-۲ نتایج رفع تار بر روی چندین نمونه. در هر نمونه تصویر سمت چپ تصویر تار و تصویر سمت راست تصویر رفع تار شده است [۱۲] ۱۶
- شکل ۷-۲ ردیف اول تصاویر واضح و ردیف دوم تصاویر تولید شده مبهم را نشان می‌دهد [۳۵] ۱۷
- شکل ۸-۲ توصیف الگوریتم WCE-PM-HIR [۳۵] ۱۸
- شکل ۹-۲ طرح کلی در روش پیشنهادی برای بازیابی تصاویر آندوسکوپی. به صورت گام به گام [۵۲] ۲۱
- شکل ۱۰-۲ نمونه‌هایی از تصاویر کپسول آندوسکوپی رفع تار شده با استفاده از فناوری بینایی رایانه. دو تصویر در سمت چپ دارای تار هستند. در سمت راست، تار تصاویر با استفاده از اطلاعات عمق اندازه‌گیری شده با دو دوربین در زوایای مختلف اصلاح می‌شود [۸] ۲۳
- شکل ۱۱-۲ ردیف اول تصاویر اصلی و ردیف دوم تصاویر بهبود یافته با استفاده از روش پیشنهادی مقاله [۴] ۲۴
- شکل ۱۲-۲ فرآیندهای متوالی برای بازسازی تصویر آندوسکوپی از منطقه مورد نظر (ROI) از ۶ مصنوعات مختلف. ابتدا ماسک‌های ROI تولید شده به دست می‌آید و سپس فقط از این مناطق برای ترمیم استفاده می‌شود. تنها در تار، کل تصویر استفاده می‌شود [۱۸] ۲۷
- شکل ۱۳-۲ رفع تار کور با استفاده از GAN با اضافه شدن ویژگی فرکانس بالا [۱۸] ۲۹
- شکل ۱-۳ پنجره‌های همپوشان ۳ در ۳ برای محاسبه نقشه تار ۳۳
- شکل ۲-۳ تصویر اصلی به همراه نقشه تار ۳۴
- شکل ۳-۳ هیستوگرام نقشه تار شکل ۲-۳ ۳۵
- شکل ۴-۳ تصویر اصلی به همراه نقشه تار ۳۵
- شکل ۵-۳ هیستوگرام نقشه تار شکل ۴-۳ ۳۶
- شکل ۶-۳ تصویر WCE دارای تار گوسی ۳۷

شکل ۳-۷ هیستوگرام شکل ۳-۶.....	۳۷
شکل ۳-۸ تصویر WCE فاقد تاری گوسی.....	۳۸
شکل ۳-۹ هیستوگرام تصویر ۳-۸.....	۳۸
شکل ۳-۱۰ پنجره‌های همپوشان در چهار جهت.....	۴۲
شکل ۳-۱۱ نقشه‌های همبستگی به دست آمده از شکل ۳-۶. از چپ به راست، نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.....	۴۲
شکل ۳-۱۲ هیستوگرام نقشه‌های تاری شکل ۳-۱۱. از چپ به راست، هیستوگرام نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.....	۴۳
شکل ۳-۱۳ تصویر دارای تاری حرکتی.....	۴۳
شکل ۳-۱۴ نقشه‌های همبستگی به دست آمده از شکل ۳-۱۳. از چپ به راست، نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.....	۴۴
شکل ۳-۱۵ هیستوگرام نقشه‌های تاری شکل ۳-۱۴. از چپ به راست، هیستوگرام نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.....	۴۴
شکل ۳-۱۶ تعدادی از تصاویر WCE دارای تاری حرکتی غیرخطی.....	۴۵
شکل ۳-۱۷ منشا و مدل ریاضی تاری شعاعی [۶۹].....	۴۵
شکل ۳-۱۸ تصویر WCE دارای بیشترین وضوح.....	۴۶
شکل ۳-۱۹ شدت‌های مختلف تاری شعاعی. تصاویر از چپ به راست دارای طول تاری ۲، ۳، ۴ و ۵ بر حسب پیکسل هستند.....	۴۷
شکل ۳-۲۰ هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت. برای تصاویر دارای تاری شعاعی با طول پنجره ۲ و ۴.....	۴۷
شکل ۳-۲۱ تاری شعاعی با طول پنجره ۲. تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می‌دهد.....	۴۸
شکل ۳-۲۲ در هر سه قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می‌دهد.....	۴۹
شکل ۳-۲۳ سطوح تاری مختلف برای تاری شعاعی در تصاویر WCE.....	۵۰
شکل ۳-۲۴ شدت‌های مختلف تاری دایره‌ای. تصاویر از چپ به راست دارای طول تاری ۲، ۳، ۴ و ۵ بر حسب هستند.....	۵۳
شکل ۳-۲۵ هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت. برای تصاویر دارای تاری دایره‌ای با طول پنجره ۳ و ۴.....	۵۳
شکل ۳-۲۶ در هر سه قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می‌دهد.....	۵۴
شکل ۳-۲۷ سطوح تاری مختلف برای تاری دایره‌ای در تصاویر WCE.....	۵۶

شکل ۴-۱ تصاویر WCE دارای تاری گوسی به همراه هیستوگرام آن‌ها ۶۱

شکل ۴-۲ بررسی میزان تاری تعدادی از تصاویر WCE با استفاده از معیار حسینی و همکاران ۶۲

شکل ۴-۳ تصاویر رفع تاری شده به همراه میزان تاری آن‌ها با معیار کِرت و همکاران ۶۳

شکل ۴-۴ سه تصویر WCE. در هر قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری آن است. ۶۵

شکل ۴-۵ تصاویر WCE دارای تاری شعاعی ۶۵

شکل ۴-۶ تصاویر WCE دارای تاری شعاعی به همراه هیستوگرام نقشه تاری ۶۶

شکل ۴-۷ تصاویر شکل ۴-۶ و ۴-۵ به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران ۶۷

شکل ۴-۸ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در هر سه کانال رنگی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران ۶۷

شکل ۴-۹ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال سبز (G). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۶۸

شکل ۴-۱۰ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال قرمز (R). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۶۹

شکل ۴-۱۱ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی (B). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۰

شکل ۴-۱۲ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی و سبز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۰

شکل ۴-۱۳ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی و قرمز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۱

شکل ۴-۱۴ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال سبز و قرمز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۲

شکل ۴-۱۵ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در حالت خاکستری به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۲

شکل ۴-۱۶ دو مورد از تصاویر WCE دارای تاری دایره‌ای. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران ۷۴

شکل ۴-۱۷ تصاویر دارای تاری دایره‌ای به همراه حالت قطبی و هیستوگرام نقشه تاری آن ۷۵

شکل ۴-۱۸ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ در هر سه کانال رنگی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار روش حسینی و همکاران ۷۶

شکل ۴-۱۹ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ (الف و ب) در کانال رنگی سبز (G) و (پ و ت) در کانال رنگی قرمز (R) و (ث و ج) در کانال رنگی آبی (B). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران ۷۷

شکل ۴-۲۰ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ (الف و ب) در کانال رنگی سبز و قرمز و (پ و ت) در کانال رنگی سبز و آبی و (ث و ج) در کانال رنگی قرمز و آبی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران. ۷۸

شکل ۴-۲۱ تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ در حالت خاکستری به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران. ۷۸

شکل ۴-۲۲ تصاویر دارای تاری. تصویر سمت چپ دارای تاری دایره‌ای، تصویر وسط دارای تاری شعاعی و تصویر سمت راست دارای تاری گوسی است. ۸۰

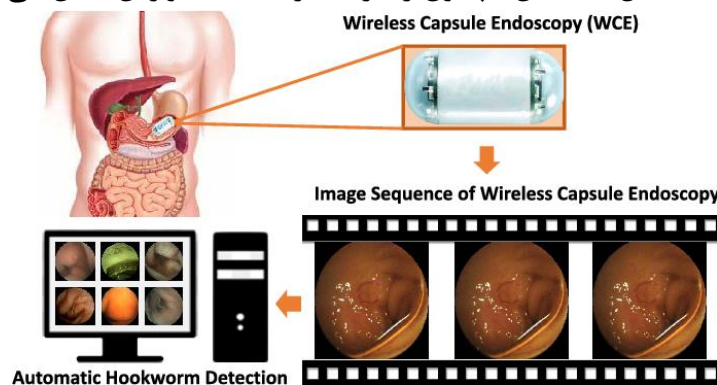
شکل ۴-۲۳ تصاویر رفع تاری شده به روش رفع تاری کور. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران. ۸۱

شکل ۴-۲۴ تصاویر دارای تاری گوسی و تصویر رفع تاری شده. در هر ردیف، تصویر سمت چپ تصویر اولیه، وسط تصویر رفع تاری شده به روش پیشنهادی و تصویر سمت راست تصویر رفع تاری شده به روش مقاله [۱۸] است. ۸۲

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱ معرفی کپسول آندوسکوپی بیسیم

فناوری استفاده از کپسول آندوسکوپی بیسیم (WCE^۱) مربوط به سال ۲۰۰۰ میلادی است. در واقع این فناوری در اواسط دهه ۱۹۹۰ ایجاد و در سال ۲۰۰۰ منتشر شد [۱]. کپسول آندوسکوپی بیسیم (WCE) دستگاهی درست به شکل کپسول عادی است که در حین حرکت در دستگاه گوارش، تصاویر را ضبط می‌کند تا هرگونه ناهنجاری را تشخیص دهد. WCE از یک یا دو منبع نور، دوربین، فرستنده رادیویی و باتری تشکیل شده است. بیمار کپسول را می‌بلعد. کپسول، پس از بلعیده شدن، توسط حرکات چرخشی در سراسر دستگاه گوارش به جلو رانده می‌شود، در نتیجه امکان تجسم کامل آن از داخل (بدن) بدون درد و با آرامش فراهم می‌شود [۲]. سپس تصاویر از اندام داخلی گرفته می‌شود و به صورت بیسیم به یک ضبط‌کننده خاص که به کمر بیمار متصل است ارسال می‌شود. در واقع، فریم‌ها به ضبط‌کننده‌ای که بر روی کمربندی که دور کمر (بیمار) پوشیده می‌شود، منتقل می‌شوند [۳]. این روند تا پایان عمر باتری ادامه دارد. سرانجام، تمام تصاویر موجود در ضبط‌کننده برای بررسی و محاسبه توسط پزشک بارگیری^۲ می‌شوند [۴]. شکل ۱-۱ این کپسول را در مسیر دستگاه گوارش نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: کپسول آندوسکوپی بیسیم در اندام‌های داخلی بدن

از بین کپسول‌های آندوسکوپی با علامت تجاری^۳ مختلف، کپسول آندوسکوپی PillCam به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته که توسط Given Imaging ساخته شده است [۱]. تصاویر حاصل از این کپسول، 256×256 پیکسل با نرخ فریم ۲ هرتز است [۵]. در واقع محبوب‌ترین WCE، ساخته و توسعه داده شده توسط Given Imaging است، که دو عکس در ثانیه می‌گیرد. سپس تصاویر ضبط شده برای بررسی توسط پزشک در رایانه بارگیری می‌شوند. در طی یک دوره، به طور متوسط ۵۵۰۰۰ تصویر به دست می‌آید که از این میان حدود ۱۰۰ مورد از ورودی دستگاه گوارش، ۴۰۰۰ از معده، ۳۰۰۰۰ از روده کوچک و ۲۰۰۰۰ از روده بزرگ است [۶]. یک پزشک متخصص باید تمام تصاویر به دست آمده را مشاهده و آن‌ها را حاشیه‌نویسی و تفسیر کند و گزارش نهایی را تهیه نماید. زمان حاشیه‌نویسی که

^۱ Wireless capsule endoscopy

^۲ Download

^۳ Brand

می‌تواند بین ۴۵ تا ۱۸۰ دقیقه متغیر باشد، جدی‌ترین محدودیت این فرایند است زیرا در صورت عدم بررسی صحیح ممکن است یک بیماری بسیار موضعی از دست رود [۷]. یک فیلم روده کوچک معمولی می‌تواند تا ۸ ساعت به طول انجامد. این بدان معنا است که اگر از کپسول دو فریم بر ثانیه استفاده شود، یک فیلم واحد می‌تواند تا ۵۷۶۰۰ تصویر داشته باشد (این تعداد (تصویر) با کپسول‌های فریم بالاتر بیشتر می‌شود) [۲]. تجزیه و تحلیل صحیح فیلم توسط پزشک، به یک کار دشوار و خسته‌کننده تبدیل می‌شود. همچنین، به دلیل محدودیت تمرکز انسان، امکان تفسیر نادرست وجود دارد [۸]. علاوه بر این، یک مطالعه اخیر ارائه‌شده در ژورنال ژنتیک آمریکایی [۹] نشان داده است که عملکرد حاصل از آنالیز بصری توسط پزشکان بسیار عالی نیست. میزان تشخیص آنژیوکتازی‌ها^۱، زخم‌ها/فرسایش، پلیپ‌ها و خون به ترتیب ۶۹٪، ۳۸٪، ۴۶٪ و ۱۷٪ است [۲]. این فرایند به دلیل محدودیت طبیعی توانایی‌های انسانی در معرض خطاهای تشخیصی است [۱۰]. بنابراین، واضح است که یک چالش بسیار مهم در تحقیق در مورد کپسول آندوسکوپی، تشخیص خودکار خونریزی‌های مبهم و شناسایی فریم‌های غیر عادی باشد [۶]. روش‌های رایانه‌ای با تشخیص خودکار ناهنجاری‌های دستگاه گوارش می‌توانند به کاهش نظارت و فشار پزشکان کمک کنند [۱۱]. بنابراین، در صورت وجود چنین ابزاری پزشک متخصص می‌تواند فقط روی فریم‌های غیرعادی متمرکز شود [۲]. حال برای دستیابی به سیستم تشخیص خودکار و دسته‌بندی تصاویر براساس ضایعات مختلف، نیاز به پیش‌پردازش داده‌های ورودی احساس می‌شود. زیرا در استفاده از روش‌هایی مانند شبکه‌های عمیق کانولوشنی، همان‌طور که در [۲] بیان شده است، برای یادگیری یک مدل خوب، تعداد نسبتاً زیادی از تصاویر دارای برجستگی، مورد نیاز است. برای برجستگی زدن داده‌ها حضور و نظارت یک پزشک متخصص مرتبط ضروری است تا زمان زیادی را برای این کار در نظر بگیرد که در اغلب موارد امکان دسترسی به چنین موقعیتی وجود ندارد.

روش کپسول آندوسکوپی، مناسب‌ترین روش برای مشاهده اعضای داخلی دستگاه گوارش در مقایسه با سایر روش‌هایی چون سونوگرافی شکمی، CT و MRI است [۱۲]. WCE یک ابزار تشخیصی قدرتمند است که در روش مدرن مطالعه معده و روده و بیماری‌های آن^۲ برای تصویربرداری از دستگاه گوارش انسان، به ویژه روده کوچک به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است [۱۳ و ۱۴]. زیرا این یک روش بالینی غیرتهاجمی بدون درد است که در مقایسه با کولونوسکوپی و آندوسکوپی سنتی درد و ضربه کمتری به بیمار وارد می‌کند. علاوه بر این، WCE به تجسم فضای داخلی روده کوچک کمک می‌کند که در گذشته از طریق کولونوسکوپی و آندوسکوپی غیرممکن بود [۱۴]. در گذشته به طور سنتی، روده بزرگ از طریق کولونوسکوپی نوری بررسی می‌شد. یکی از تفاوت‌های روش‌های آندوسکوپی سنتی با روش استفاده از کپسول آندوسکوپی بیسیم این است که در روش‌های متعارف، تصاویر با استفاده از لوله‌ای که از طریق دهان و حلق وارد دستگاه گوارش می‌شود به دست می‌آیند. با استفاده از این روش، نرخ فریم، وضوح و کیفیت تصاویر بالا است. اما در روش کپسول آندوسکوپی بیسیم، تصاویر به صورت بیسیم منتقل می‌شوند و محدودیت‌های مصرف برق باعث می‌شود که نرخ فریم و کیفیت تصاویر پایین باشد [۵]. با این حال

¹ Angioectasias

² Gastroenterology

استفاده از روش سنتی باعث ایجاد ناراحتی و احساس شرم‌آوری در بیماران می‌شود و همچنین خطراتی همچون پارگی دیواره مقعد و روده بزرگ را به دنبال دارد [۳]. (طبق این توصیفات) اختراع کپسول آندوسکوپی بیشترین انقلاب را در فناوری مورد استفاده برای تشخیص مشکلات دستگاه گوارش به وجود آورد [۱].

۲-۱ تاری و انواع آن در تصاویر WCE

در این بخش به تعریف تاری و سپس دلایل ایجاد تاری در تصاویر WCE می‌پردازیم.

۱-۲-۱ تعریف تاری

به عدم وضوح تصویر، تاری تصویر گفته می‌شود. در یک تصویر تار، لبه‌ها^۱ و جزئیات تصویر مشخص نیست. در واقع، تاری، وضوح جزئیات تصویر و لبه‌های آن را از بین می‌برد [۱۵]. به نواحی فرکانس بالای یک تصویر، لبه‌های آن تصویر گفته می‌شود. یک تصویر تار از ترکیب مقادیر پیکسل‌های تصویر با همدیگر به دست می‌آید. نحوه ایجاد این ترکیب در تاری‌های مختلف متفاوت است.

برای بررسی نحوه ایجاد تاری و سپس بازیابی تصویر واضح از روی تصویر تار، باید عملیات تاری را مدل کرد. در تمامی موارد تاری، هر پیکسل تصویر تار از ترکیب همان پیکسل و پیکسل‌های همسایه‌اش به دست می‌آید. این ترکیب را می‌توان به صورت مجموع وزن‌دار نقاط همسایه مدل کرد. وزن‌ها را می‌توان در یک ماتریس، به نام ماتریس تاری قرار داد. به زبان ریاضی می‌توان گفت، تصویر تار در اثر پیچش^۲ یک تصویر واضح با ماتریس ایجاد می‌شود. به طور کلی، مدل ریاضی تاری به صورت رابطه ۱-۱ تعریف می‌شود.

$$g = a * f + n \quad (1-1)$$

در رابطه فوق، f تصویر واضح و g تصویر تار است. n نویز موجود در محیط را که به تصویر تار اضافه شده، نشان می‌دهد. ماتریس a که نشان‌دهنده پارامترهای تاری است، هسته تاری نام دارد. از طرفی به دلیل اینکه این ماتریس، طریقه انتشار شدت روشنایی یک نقطه در تصویر را نشان می‌دهد، به آن تابع نقطه‌گستر (PSF^۳) نیز گفته می‌شود. بنابراین در تحقیقات مختلف به a هسته تاری، ماتریس PSF یا ماتریس تاری نیز می‌گویند. با داشتن g و a با عمل عکس پیچش (دیکانولوشن^۴) تصویر واضح یعنی f را می‌توان بازیابی کرد. اما در بسیاری از موارد خصوصاً در تصاویر طبیعی، هسته تاری مشخص نیست که باید برآورد شود.

¹ Edges

² Convolution

³ Point spread function

⁴ Deconvolution

۲-۲-۱ تاری در تصاویر WCE

در تصاویر کپسول آندوسکوپی دلیل تاری، حرکت کپسول در محیط پیچیده دستگاه گوارش و کیفیت پایین تصاویر است. در واقع مشکلات و چالش‌هایی که در فناوری کپسول آندوسکوپی بیسیم با آن رو به رو هستیم این است که در دستگاه‌های آندوسکوپی به دلیل کم‌نور بودن محیط و لرزش دوربین در حین ضبط، فیلم‌ها با حالتی از تاری ضبط می‌شوند که تشخیص ضایعات را به شدت مختل می‌کند. در تصاویر حاصل از این کپسول، تاری حرکتی زمانی اتفاق می‌افتد که فیلم‌ها در یک فضای کم‌نور مانند شرایط موجود در معده ضبط می‌شوند. یک منبع نور واحد در مرکز دستگاه آندوسکوپی قرار دارد که برای انتشار مقدار کافی از نور برای روشنایی کل محیط کافی نیست. با افزایش نور مشکلات دیگری همچون بازتابش و روشنایی بیش از حد به وجود می‌آید [۱۲].

از آنجایی که ما توانایی کنترل حرکت و موقعیت کپسول را در دستگاه گوارش نداریم، در هنگام ضبط، دوربین همواره در حال حرکت و لرزش است که این امر دلیل اصلی اثرات تاری است. از مشاهدات (این‌طور برداشت می‌شود که) همه فریم‌ها به طور یکسان تاری نشده‌اند [۱۶]. هنگامی که دوربین با لرزش شدید همراه باشد، تاری شدید ایجاد می‌شود. به طور کلی، لرزش‌های متوسط فریم‌های واضح^۱ تحویل می‌دهد، در حالی که حرکات شدید باعث تاری شدید می‌شود [۱۲]. همچنین، تصاویر WCE خام اغلب به دلیل شرایط پیچیده روده و محدودیت‌های ذاتی تجهیزات از نظر دستیابی و انتقال تصویر، تاری است. این امر، به نوبه خود مشکلاتی را برای تشخیص دقیق و موثر (بیماری‌ها و ضایعات) ایجاد می‌کند [۱۷]. چنین مصنوعاتی، نه تنها هنگام تشخیص و درمان باعث جلوگیری از مشاهده بافت/اندام مورد توجه خود می‌شوند، بلکه بر روی روش‌های تشخیص به کمک رایانه نیز تأثیر منفی می‌گذارند [۱۸].

در تصاویر گرفته‌شده توسط سیستم WCE محدودیت حجم سیستم و محدودیت ظرفیت باتری، منجر به ضبط تصاویر در روشنایی ناکافی می‌شود [۱۹]. دوربین مورد استفاده در WCE از دوربین با فاصله کانونی کم است که می‌تواند تصاویر تاری را ایجاد کند. شرایط پیچیده دستگاه گوارش و روش تصویربرداری متحرک منجر به کیفیت پایین تصویر می‌شود. همچنین، تصاویر باید قبل از انتقال به خارج (کمر بند پوشیده شده توسط بیمار) به نسبت زیادی فشرده شوند [۲۰].

WCE سنسور تصویر CMOS را در مقایسه با تصویرگرهای CCD^۲ استفاده شده در دستگاه‌های آندوسکوپی ادغام می‌کند. سنسورهای تصویر CMOS دارای قدرت کم و اندازه کمتری برای ادغام در تراشه هستند. با این حال، آن‌ها کیفیت پایینی از تصویر را ارائه می‌دهند [۲۱]. به همین دلیل، کیفیت تصاویر WCE از وضوح پایین‌تری برخوردار است و از روشنایی ناهموار و تخریب شدید تصویر رنج می‌برد که مانع روش تشخیص می‌شود.

بعضی از WCE ها به طور معمول چهار دوربین را در خود جای داده‌اند. برخی از فریم‌ها با فاصله کانونی پایین ایجاد می‌شوند که منجر به ایجاد تصاویر تاری می‌شود. WCE یک وسیله غیرفعال است، به

^۱ Sharp

^۲ charge-coupled device

این معنی که حرکت آن ناشی از چرخش طبیعی روده است. حرکت کنترل نشده منجر به ضبط تصاویر متحرک با کیفیت تصویر پایین و اثر تاری می‌شود [۱۴]. پس به دلیل حرکت خود به خودی دوربین کپسول، اثرات تاری باعث می‌شود که تصویر وضوح کمتری داشته باشد [۲۲].

با توجه به توضیحات داده شده حتما در تصاویر و فیلم‌های WCE اثر تاری وجود دارد. در این تحقیق این تاری و راه‌حل‌های رفع تاری آن بررسی می‌شود.

۳-۱ ضرورت و هدف تحقیق

رفع تاری و بازسازی تصویر، یک مساله قدیمی در پردازش تصویر است، اما همچنان توجه محققان و پزشکان را در تصاویر طبیعی پزشکی به خود جلب می‌کند. در تصاویر WCE فرایند بررسی تصاویر و تفسیر و حاشیه‌نویسی آن‌ها توسط پزشک، یک فرایند وقت‌گیر و زمان‌بر است. ضبط یک فیلم آندوسکوپی حدود هشت ساعت زمان می‌برد [۲۲]. بنابراین، حتی اگر توالی ضبط شده با نرخ فریم بیشتری نسبت به زمان ضبط پخش شود، فرایند تشخیص حداقل دو ساعت برای یک پزشک متخصص آموزش دیده طول می‌کشد. این مسائل انگیزه تلاش‌ها برای توسعه سیستم‌های مختلف تشخیص به کمک رایانه (CAD^۱) برای تشخیص و طبقه‌بندی انواع آسیب‌ها در دستگاه گوارش را بیشتر می‌کند. آسیب‌هایی چون: خونریزی دستگاه گوارش [۲۳]، پولیپ [۲۴]، زخم [۲۵]، تومور [۲۶] و غیره. با این حال، نتایج تشخیص به کمک رایانه رضایت‌بخش نیست. تا حدودی به این دلیل که ضایعات کوچک یا ریز روده می‌تواند به راحتی به دلیل کیفیت پایین تصویر و تار بودن تصاویر از بین برود [۱۴]. به همین منظور، برای کمک به این سیستم‌های CAD که مدت زمان بررسی تصاویر توسط پزشک را کوتاه می‌کنند، مساله رفع تاری تصاویر WCE امری ضروری به نظر می‌رسد.

بنابراین، هدف از این تحقیق انجام عملیات رفع تاری در تصاویر WCE است. برای این منظور ابتدا نوع و میزان تاری سنجیده می‌شود. سپس بر حسب این دو پارامتر عملیات رفع تاری انجام می‌شود.

۴-۱ پیش فرض‌ها

برای اعمال روش پیشنهادی در خصوص رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، تصاویر به صورت بدون نویز در نظر گرفته شده‌اند و عملیات رفع تاری با این پیش فرض انجام شده است. همچنین فرض شده است که هر تصویر تنها دارای یک نوع تاری خاص است و ترکیبی از انواع تاری در نظر گرفته نشده است.

¹ computer-aided diagnosis

۵-۱ نوآوری‌ها

به طور کلی، لیست نوآوری‌ها در این پایان‌نامه به شرح زیر است:

- (۱) تشخیص نوع تاری در تصاویر WCE
- (۲) تعیین هسته تاری در تاری شعاعی و دایره‌ای^۱ در تصاویر WCE
- (۳) عدم یکنواختی تاری در تصاویر WCE
- (۴) غلبه بر چالش رفع تاری تصاویر دارای کیفیت و وضوح^۲ پایین

۶-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل ارائه شده است. در فصل اول، مقدمه و کلیاتی از پژوهش را مطرح کردیم. در فصل دوم، مروری بر مباحث نظری داشته و کارهای پیشین در حوزه‌ی مورد تحقیق را مورد بررسی قرار خواهیم داد. فصل سوم، مربوط به معرفی کامل روش پیشنهادی برای رفع تاری تصاویر WCE است. در فصل چهارم به پیاده‌سازی روش پیشنهادی و آزمایش‌ها و تفسیر نتایج آن‌ها خواهیم پرداخت. در نهایت، در فصل پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیق در آینده را مطرح خواهیم کرد.

۷-۱ جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا کپسول آندوسکوپی بیسیم را معرفی کردیم و به بیان مفهوم تاری و تاری در تصاویر WCE پرداختیم. سپس موضوع، ضرورت و هدف تحقیق شرح داده شد و پیش‌فرض‌های کار و نوآوری‌های پایان‌نامه بیان شدند و در نهایت ساختار اصلی پایان‌نامه معرفی گردید.

^۱ Radial and circular blur

^۲ Resolution

فصل ۲ : مروری بر کاربردهای گذشته

۱-۲ مقدمه

در این فصل به بررسی و مرور پژوهش‌هایی می‌پردازیم که در آن‌ها عملیات رفع تاری و یا بازسازی تصاویر یا ویدئوهای WCE انجام شده است. از زمان حضور تجاری این کپسول‌ها در سال ۲۰۰۶، مساله افزایش کیفیت تصویر یکی از موضوعات تحقیقاتی فعال بوده است [۲۷]. یکی از مواردی که باعث افزایش کیفیت تصویر می‌شود پرداختن به مساله رفع تاری این تصاویر است. منظور از رفع تاری، بازسازی تصویر واضح از روی تصویر تار است. از سال ۲۰۰۶ تا به امروز (سال ۲۰۲۰) پژوهش‌های زیادی در خصوص بهبود کیفیت تصاویر WCE و رفع چالش‌های مربوط به آن انجام شده است. اما رفع تاری تصاویر WCE مساله‌ای است که به دلیل چالش‌های زیادی که در آن وجود دارد کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این فصل پژوهش‌هایی که به گونه‌ای عملیات رفع تاری در تصاویر و یا ویدئوهای WCE انجام داده‌اند را به دو دسته تقسیم می‌کنیم. دسته اول پژوهش‌هایی هستند که تنها به رفع تاری تصاویر و یا ویدئوهای WCE پرداخته‌اند و دسته دوم پژوهش‌هایی چند منظوره هستند که به بهبود کیفیت تصویر و یا ویدئوهای آندوسکوپی می‌پردازند که در آن‌ها یکی از جنبه‌های افزایش کیفیت، تلاشی برای رفع تاری است.

۲-۲ رفع تاری تصاویر و یا ویدئوهای WCE

یکی از چالش‌های پیش رو در رفع تاری تصاویر WCE، تاری در کانال‌های مختلف یک تصویر رنگی است. این طور که به نظر می‌رسد تنها مقاله‌ای که برای اولین بار به رفع تاری تصاویر WCE پرداخته مقاله لیو و همکاران [۱۷] است. این مقاله عمل رفع تاری تصاویر رنگی کپسول آندوسکوپی بیسیم را از طریق به حداقل رساندن تغییرات کلی^۱ انجام می‌دهد. با توجه به محیط پیچیده روده و محدودیت‌های ذاتی تجهیزات از نظر ایجاد تصویر و انتقال آن، تصاویر خام WCE معمولاً توسط نویز خراب می‌شوند و توسط تاری‌های کانال عرضی یا داخلی^۲ تخریب می‌شوند. در این مقاله، یک چارچوب حداقل‌سازی تغییرات کلی (TV) برای رفع تاری کانال داخلی تصاویر WCE رنگی ارائه شده است. به طور خاص، تکنیک تکراری انقباض/آستانه^۳ سریع یکنواخت که با الگوریتم طرح‌ریزی سریع شیب، ترکیب شده که اخیراً توسط Beck و Teboulle [۳۹] ارائه شده است که برای رویارویی با تصاویر چند کاناله تعمیم یافته است. علاوه بر این، الگوریتم پیشنهادی با ترکیب یک تکنیک دو بخشی برای شناسایی موثر یک مقدار بهینه نزدیک برای پارامتر تنظیم‌کننده تابع هدف TV، تسهیل می‌یابد. به این الگوریتم ایجاد شده MFISTA/FGP گفته می‌شود.

رفع تاری تصویر یک روش الگوریتمی برای بازیابی تصاویر دیجیتالی است که توسط یک یا چند نوع مختلف از تاری تخریب شده‌اند. تصاویر چند کاناله ممکن است از تاری داخلی یا عرضی کانال برخوردار

¹ Total Variation

² Within channel or cross channel

³ shrinkage/thresholding

باشند. در روش به حداقل رساندن TV، دو روش رفع تاری برای تصاویر چند کاناله به نامهای حداقل سازی^۱ CBC و حداقل سازی^۲ CTV وجود دارد. در این روشها با استفاده از معادلات اولر-لاگرانژ (EL)^۳ عمل حداقل سازی انجام شده است. اگر یک تصویر رنگی را به عنوان تابعی با ارزش بردار از دو متغیر پیوسته با سه مولفه تابع مقیاس پذیر در نظر بگیریم، آنگاه رویکرد CBC-TV منجر به معادلات EL می شود. رابطه ۱-۲ معادله نهایی برای حداقل سازی را نشان می دهد.

$$\text{minimize}_u \mu_i(u_{k-1}) \|u^{(i)}\|_{TV} + \frac{1}{2} \|Au^{(i)} - u_0^{(i)}\|_F^2 \quad (1-2)$$

رابطه فوق برای $i = 1, 2, 3$ محاسبه می شود. این رابطه یک مساله استاندارد TV-F است که می تواند با استفاده از MFISTA / FGP معمولی حل شود [۳۹]. در این رابطه $u = \{u^{(1)}, u^{(2)}, u^{(3)}\}$ یک تصویر رنگی با اندازه n_1 در n_2 است که $u^{(1)}, u^{(2)}, u^{(3)}$ مولفه های u در کانال های رنگی هستند که به ترتیب کانال های قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) را نشان می دهند. در این رابطه نرم TV برای مولفه های رنگی دیده می شود. A نشان دهنده یک نقشه affine است که برای عملگر تاری محاسبه می شود. u_0 نشان دهنده تصویر نویزی ورودی و $\mu > 0$ یک پارامتر تنظیم^۴ است.

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، از یک تصویر WCE رنگی با اندازه 122×140 استفاده شده است. همان تصویر توسط تاری متوسط^۵ با اندازه پنجره 7×7 به علاوه مقدار کمی از نویز سفید گوسی با $\sigma = 10^{-4}$ به صورت دستی دچار خرابی شده است. حال دو روش CBC و CTV بر روی این تصویر اعمال شده است. معیار PSNR تصویر تار و دارای نویز 18.5717 دسی بل است. شکل ۱-۲ نتیجه اعمال روش پیشنهادی این مقاله را بر روی تصویر WCE نشان می دهد. در این شکل قسمت a تصویر اصلی WCE، تصویر b تصویر تار شده و نویزی، تصویر c تصویر بازسازی شده با استفاده از روش حداقل سازی CTV-TV و در نهایت تصویر d تصویر بازسازی شده با استفاده از روش پیشنهادی CBC-TV است.

اثربخشی این الگوریتم با ارائه نتایج شبیه سازی تصاویری که نویز و تاری به طور آزمایشی به آنها افزوده شده، نشان داده شده است. رفع تاری مبتنی بر TV به پارامتر حساس است و برای عملکرد خوب به ویژگی های هندسی نیاز دارد. در صورتی که تصاویر آندوسکوپی دارای ویژگی هایی بسیار پراکنده و فاقد ساختارهای برجسته هندسی هستند.

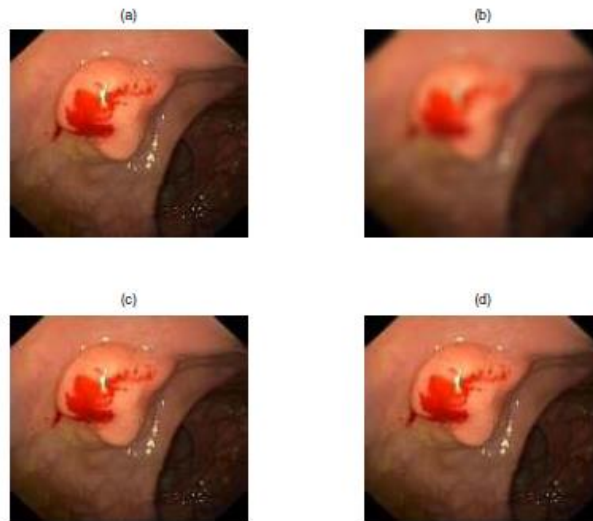
¹ Channel-by-channel TV minimization

² Color-TV minimization

³ Euler-Lagrange

⁴ Regularization

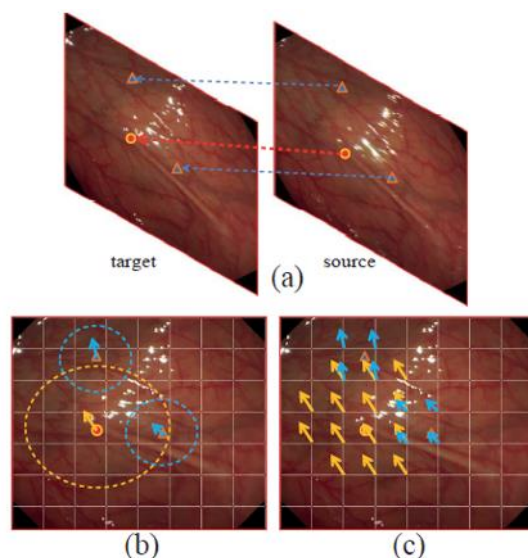
⁵ Averaging blur



شکل ۱-۲: (a) تصویر اصلی WCE، (b) تصویر تار شده و نویزی، (c) تصویر بازسازی شده با استفاده از روش CTV-T و (d) تصویر بازسازی شده با استفاده از روش CBC-TV [۱۷]

مقاله مورد بررسی بعدی، مقاله [۱۲] است. این مقاله به رفع تاری ویدئو آندوسکوپی می‌پردازد. در این مقاله، چارچوبی ارائه شده است که می‌تواند با تلفیق جزئیات تصویر از فریم‌های واضح نزدیک به فریم مورد نظر، فریم‌های تار را بازیابی کند. به طور خاص، فریم تار و فریم‌های واضح مربوطه‌ی نزدیک به آن با توجه به وضوح^۱ گرادیان تصویر مشخص می‌شوند. برای بازسازی یک فریم تار، یک مدل حرکتی غیر پارامتری مبتنی بر مش پیشنهاد شده است تا فریم واضح را با فریم تار تراز کند. پس از همترازی، فریم رفع تاری شده با تطبیق وصله‌هایی به صورت محلی بین فریم تار و فریم واضح تراز شده، ترکیب می‌شود. در این مقاله نشان داده شده است که بدون تخمین هسته‌های تاری، این امکان وجود دارد که یک بخش تار را با بخش‌های واضح برای نزدیک‌ترین همسایه در تصاویر آندوسکوپی مقایسه و اصلاح کرد. در این کار، با تلفیق جزئیات از فریم‌های واضح، فریم‌های تار بازیابی می‌شود. روش‌های رفع تاری یک تصویر واحد، هسته تاری یکسانی را و یا به طور خاص هسته‌های تاری متنوعی را برای عکس عمل پیچش (دی کانولوشن) تصویر تخمین می‌زنند. در روش‌های رفع تاری ویدئویی غالباً از اطلاعات تکمیلی که در فریم‌های متوالی تعبیه شده است برای بازیابی فریم‌های تار استفاده می‌شود. شکل ۲-۲ مدل مبتنی بر مش این مقاله را نشان می‌دهد.

¹ sharpness



شکل ۲-۲: مدل حرکتی مبتنی بر مش (a) یک جفت ویژگی SURF همسان (نقاط قرمز) و دو جفت جریان نوری (مثلاً) انتشار پیکانهای حرکتی به سمت راسهای مش نزدیکشان (c) دریافت چندین حرکت توسط هر راس مش [۱۲]

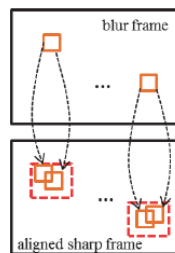
به طور خلاصه کار اصلی این مقاله به صورت زیر است:

- یک مدل حرکتی مبتنی بر شبکه غیر پارامتری پیشنهاد شده است که منابع حرکت ترکیبی را برای همترازسازی تصویر WCE متعادل می کند.
- آزمایشی طراحی شده است که نشان می دهد بدون برآورد هسته های تاری می توان یک فریم تار را توسط فریم واضح همسایه تراز آن ترکیب کرد.

در این مقاله ویژگی های SURF [۲۸] بین فریم تار (هدف) و فریم واضح (منبع) مطابقت داده شده است. شکل ۲-۲ a مثالی را نشان می دهد که نقطه قرمز نشان دهنده یک ویژگی SURF منطبق است. هر جفت همسان یک بردار حرکتی را تولید می کند که حرکت از مبدا به سمت هدف را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۲-۲ b و c نشان داده شده است یک مش منظم بر روی فریم هدف قرار می گیرد. در این پژوهش، حرکت از ویژگی تصویر به راس های مش منتقل می شود. راس های مش که در نزدیکی یک نقطه مشخص قرار دارند باید بردار حرکت مشابه آن نقطه ویژگی را داشته باشند. بنابراین، برای هر نقطه از ویژگی ها یک دایره تعریف می شود (شکل ۲-۲ b، دایره زرد). حرکت یک نقطه به راس های مش مشکی آن در داخل دایره اختصاص داده شده است (شکل ۲-۲ c، فلش های زرد).

ویژگی های SURF معمولاً در مناطقی با بافت متراکم قرار دارند. برای مناطق همگن، می توان روی حرکات تولید شده توسط جریان نوری حساب کرد. به طور خاص، در این مقاله جریان نوری بین فریم ها با رویکرد [۲۹] محاسبه شده است. در اینجا از نقطه جریان با فواصل هر ۳۰ پیکسل نمونه برداری شده است. دو مثلث در شکل ۲-۲، دو نقطه جریان نمونه برداری شده را نشان می دهد. مشابه نزدیک شدن به نقطه ویژگی، حرکت نقاط جریان به راس های مشبک نزدیک آن ها گسترش داده شده است (شکل

۲-۲ b و c دایره‌های آبی و فلش‌های آبی). شعاع دایره مرتبط با نقطه جریان نسبتاً کوچکتر از آن است که با نقطه ویژگی مرتبط است. حرکت از ویژگی‌ها، قابل اعتمادتر از حرکت از جریان نوری است. مدل حرکت مش: پس از محاسبه و انتشار حرکت، هر راس مش ممکن است چندین بردار حرکت را یا از ویژگی‌های SURF یا جریان نوری دریافت کند. در این پژوهش، هدف، اختصاص یک بردار حرکت منحصر به فرد به هر یک از راس‌های مش است. بدین ترتیب، فیلتر میانه در هر راس مش اعمال می‌شود تا یک بردار حرکت از نامزدها انتخاب شود. پس از آن هر راس مش فقط یک بردار حرکت دارد و یک شبکه حرکتی پراکنده از میدان حرکت به دست می‌آورد [۳۰]. قابل ذکر است که از فیلتر میانه به طور مکرر در برآورد جریان برای هموارسازی فضایی استفاده می‌شود [۳۱]. حرکات خطا ناشی از ویژگی‌های ناسازگار یا جریان‌های نویزی را می‌توان با موفقیت رد کرد و به یک میدان حرکت پراکنده از نظر فضایی صاف تبدیل شد. این مدل در مقایسه با مدل‌های خطی (به عنوان مثال یک هموگرافی) از نظر فضایی متنوع است که برای سطوح داخلی معده غیرخطی و تغییر شکل‌پذیر مناسب است. پس از پایان ترازها بین یک فریم تار و یک فریم واضح، می‌توان با ترکیب کردن جزئیات تصویر از فریم واضح تراز شده، فریم تار را رفع تاری کرد. شکل ۲-۳ روند جستجو را نشان می‌دهد. سپس وصله^۱ در فریم تار استخراج می‌شود و اطراف آن در فریم واضح تراز شده (مستطیل قرمز خطدار) جستجو می‌شود. بهترین وصله همسان در فریم واضح برای بازگرداندن فریم تار استفاده می‌شود. با تراز شدن فریم‌ها، فقط یک منطقه کوچک باید در هنگام PM^۲ مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، سنتز کارآمد است. اگر هسته تار از فریم تار تخمین زده شود و قبل از PM با فریم واضح ترکیب شود از آن به عنوان CPM^۳ یاد می‌شود. اگر وصله تار مستقیماً با وصله‌های واضح مقایسه شود از آن به عنوان DPM^۴ نام برده می‌شود. در [۳۲] نشان داده شده است که DPM در مقایسه با CPM در تصاویر طبیعی نتایج مشابهی را تولید می‌کند. در اینجا اثربخشی DPM برای تصاویر آندوسکوپی بررسی می‌شود.



شکل ۲-۳: روند جستجو فریم واضح اطراف فریم [۱۲] تار

در این مقاله یک آزمایش برای مقایسه عملکرد DPM و CPM از نظر دقت مطابقت وصله طراحی شده است. اگر DPM بتواند بهترین شاخص مطابقت مشابه را در مقایسه با CPM ارائه دهد در این صورت هر دو روش، نتایج مشابهی را ایجاد می‌کنند.

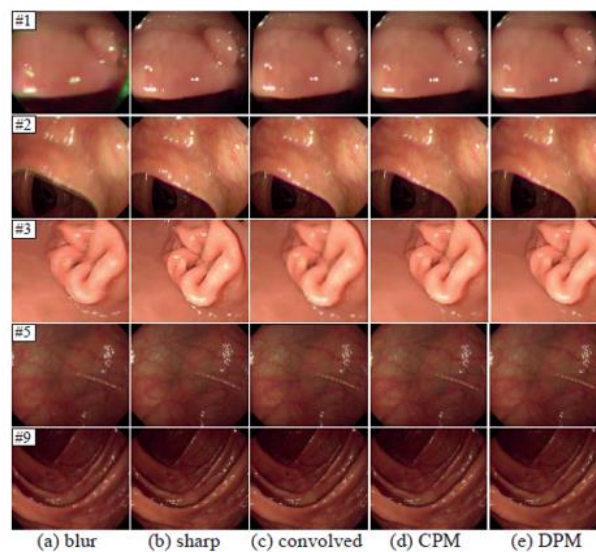
¹ Patch

² Patch Match

³ convolutional patch match

⁴ direct patch match

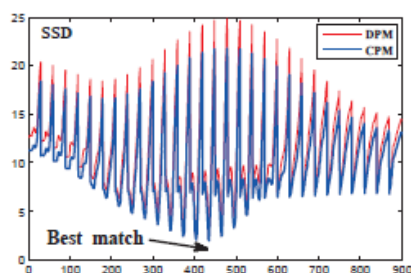
در این مقاله ۱۲ فریم تار و فریم‌های واضح نزدیک آن‌ها از چندین فیلم جمع‌آوری شده است. شکل ۴-۲ پنج نمونه را نشان می‌دهد. در هر نمونه، فریم تار ورودی (شکل ۴-۲ a) و فریم واضح نزدیک آن نشان داده شده است (شکل ۴-۲ b). هسته تار براساس [۳۳] از فریم تار تخمین زده می‌شود. فریم واضح با هسته تار ترکیب شده و فریم تار پیچیده تولید می‌کند (شکل ۴-۲ c). نتیجه CPM (شکل ۴-۲ d) با تطابق وصله بین تار (شکل ۴-۲ a) و فریم متصل (شکل ۴-۲ c) ایجاد می‌شود. نتیجه DPM (شکل ۴-۲ e) با تطبیق وصله بین تار (شکل ۴-۲ a) و فریم واضح (شکل ۴-۲ b) تولید می‌شود. از مشاهدات چنین برداشت می‌شود که نتایج تولیدشده توسط CPM و DPM از نظر بصری قابل مقایسه هستند.



شکل ۴-۲: مقایسه بین CPM و DPM. (a) فریم تار ورودی (b) فریم واضح نزدیک (c) هسته تار تخمین زده شده از a و پیچش شده با (d) نتایج با استفاده از CPM (e) نتایج با استفاده از DPM [۱۲]

اندازه تمام وصله‌ها و مناطق جستجو به ابعاد 41×41 و 70×70 است. وضوح تصویر 450×535 است. جستجو در یک شبکه با مکان کم با فواصل هر ۱۰ پیکسل انجام می‌شود. بهترین شاخص‌های مطابقت و خطاهای SSD مربوطه برای هر دو روش ضبط شده است. اگرچه خطاهای SSD کمتری در مقایسه با DPM ارائه می‌دهد، تفاوت شاخص اندک است. اختلاف شاخص از ۰.۴۷ تا ۱.۶۷ متغیر است که به اندازه کافی کوچک هستند و می‌توانند نتایج مشابهی که در شکل ۴-۲ (d) و (e) تأیید شده است را ارائه دهند.

شکل ۵-۲ خطای SSD برای CPM و DPM را در طی یک فرآیند تطبیق وصله نشان می‌دهد. در این نمودار محور x نشانگر شاخص موقعیت و محور y نشانگر SSD است. CPM همیشه SSD کوچکتری در تمام مکان‌ها در مقایسه با DPM تولید می‌کند. با این حال، هر دو روش با یک شاخص مطابقت دارند. برای این منظور، می‌توان نتیجه گرفت که از DPM می‌توان برای یافتن بهترین شاخص تطابق برای تصاویر آندوسکوپی استفاده کرد که نیازی به تخمین هسته شکننده ندارد.



شکل ۲-۵: خطای SSD برای CPM و DPM [۱۲]

آنالیز فریم^۱: با کشف بهترین شاخص تطبیق برای هر وصله تار در فریم واضح، وصله واضح استخراج شده است تا جای وصله تار را بگیرد. وصله‌های واضح به طور متوسط با هم تداخل دارند. اندازه وصله، منطقه جستجو و فواصل به شرح بالا است. رفع تاری: در این مقاله از ویدئو براساس اندازه گرادیان فریم‌های تار، فریم‌های واضح نزدیک آن‌ها تشخیص داده می‌شوند [۳۴ و ۳۲]. برای هر فریم تار، یک واضح‌ترین فریم نزدیک (فریم با بیشترین اندازه گرادیان) انتخاب شده و برای رفع تاری فریم استفاده می‌شود. پس از رفع تاری همه فریم‌های تار، رفع تاری ویدئو به پایان می‌رسد.

نتایج: روش پیشنهادی روی پردازنده 3.3GHz اینتل i5-4590 با حافظه ۴ گیگابایت اجرا شده است. حدود ۱۰ ثانیه طول می‌کشد تا سیستم یک فریم را رفع تاری کند. برای افزایش سرعت، جریان نوری را می‌توان در فریم کوچک اندازه‌گیری کرد. همچنین می‌توان پیچش و DPM را به طور موازی محاسبه کرد. در ادامه برای هر نمونه، ورودی تار و نتایج رفع تاری شده نشان داده می‌شود. با توجه به نمونه‌های ردیف آخر در شکل ۲-۶ جدا از رفع تاری، این روش همچنین می‌تواند برخی از مصنوعات رنگی را نیز از بین ببرد. اعوجاج رنگ گاهی اوقات اتفاق می‌افتد که می‌تواند با فریم‌های معمولی نزدیک اصلاح شود.



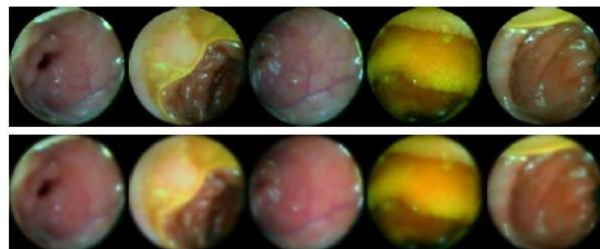
شکل ۲-۶: نتایج رفع تاری بر روی چندین نمونه. در هر نمونه تصویر سمت چپ تصویر تار و تصویر سمت راست تصویر رفع تاری شده است. [۱۲]

به طور کلی، در این مقاله برای فیلم‌های آندوسکوپی روش رفع تاری ارائه شده است. یک مدل حرکتی مبتنی بر مش غیرپارامتری ارائه شده است تا با کنار هم گذاشتن ویژگی‌های حرکتی تصویر و جریان‌های نوری، فریم واضح را به فریم تار تراز کند. فریم رفع تاری شده با استفاده از جستجوهای DPM به صورت

¹ Frame Synthesis

محلی بین فریم تار و فریم واضح تراز شده سنتز می‌شود. نمونه‌های مختلف، قدرت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

موضوع مورد بحث بعدی، پژوهش در مقاله [۳۵] است. در این مقاله در مورد بازسازی تصاویر مبهم^۱ کپسول آندوسکوپی بیسیم است. اثر مه‌آلود و مبهم بودن در تصاویر، شبیه به اثر تاری است که معمولاً در اثر حرکت یا تمرکز ضعیف^۲ ایجاد می‌شود. تصویر تار می‌تواند با استفاده از فیلتر معکوس در دامنه فرکانس، تحت مدل پیچش (کانولوشن) بازیابی شود. اینکه آیا اثر مه‌آلود تصاویر WCE برابر با اثر تاری است، مشخص نیست! این تصاویر به صورت دستی ساخته شدند و عملیات ایجاد این تصاویر به صورت معکوس برای عمل بازسازی تصویر اعمال شده است. با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده، کنتراست، رنگ و جزئیات محلی تصاویر WCE که به صورت دستی دچار تخریب شده بودند بهبود داده شدند. شکل ۲-۷ تصاویر اصلی و تصاویر مبهم‌شده نشان داده شده است.



شکل ۲-۷: ردیف اول تصاویر واضح و ردیف دوم تصاویر تولید شده مبهم را نشان می‌دهد. [۳۵]

این تصاویر با تاری تفاوت دارند. سطح خرابی در این تصاویر به صورت یکنواخت و یکسان است. اما در تاری به خصوص تاری که در تصاویر WCE وجود دارد، خرابی به صورت یکنواخت نیست و تصاویر علاوه بر تاری دارای نویز نیز هستند. با این حال روش پیشنهادی برای رفع اثر مه‌آلود در این تصاویر به شرح زیر است. ابتدا روش‌های تخمین برای T و L ارائه خواهد شد. سپس روش مدل‌سازی پارامتری پیشنهادی مبتنی بر WCE برای بازیابی تصویر مبهم (WCE-PM-HIR) با جزئیات معرفی خواهد شد. ابتدا روشنایی محیط برآورد می‌شود. روشنایی L به صورت عادی در تصویر توزیع شده است. رابطه ۲-۲ روشنایی را مدل می‌کند.

$$L(x, y) = F(x, y) + R(x, y) \quad (2-2)$$

در این رابطه L روشنایی برای تصاویر WCE را نشان می‌دهد. F تابع گوسین واحد است که قادر است از نور سراسری ناهمگن برای روشنایی مدل‌سازی کند. R نیز تصویر ایده‌آل یا همان مرجع است. باید L از تصویر WCE ضبط‌شده تخمین زده شود. در این مطالعه، رویکرد Frankle-McCann Retinex (FMR) برای حل این مشکل اتخاذ شده است. در نظریه FMR، فرض بر این است که روشنایی در پیکسل (x, y) نه تنها تحت تأثیر پیکسل‌های همسایه آن است بلکه توسط پیکسل‌های با فاصله زیاد

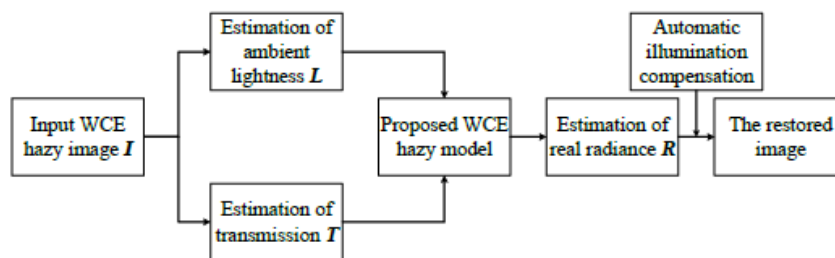
¹ Hazy

² Poor focusing

نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد که باعث می‌شود روشنایی تصویر طبیعی‌تر به نظر برسد. حال به تخمین T یا همان انتقال^۱ پرداخته شده است. بعد از اینکه L تخمین زده شد، باید انتقال T از I براساس رابطه ۳-۲ تخمین زده شود. I تصویر مشاهده‌شده یا همان تصویر ساختگی است. در این پژوهش، این مساله براساس کانال تاریک پیشین (DCP^2) حل شده است.

$$I(x, y) = T(x, y)R(x, y) + [1 - T(x, y)]L(x, y) \quad (3-2)$$

شکل ۸-۲ الگوریتم WCE-PM-HIR را به طور خلاصه توصیف می‌کند.



شکل ۸-۲: توصیف الگوریتم WCE-PM-HIR [۳۵]

با روش‌های توسعه‌یافته برای از بین بردن اثر مه‌آلودی از تصاویر طبیعی، در این مقاله سعی شده بود با در نظر گرفتن عوارض جانبی ناشی از نور ناهمگن، عدم تمرکز و انعکاس نور به بازیابی تصاویر پرداخته شود. برای قابل حل کردن مسئله، فرضیات زیر بیان شده بود: (۱) تصویر WCE گرفته‌شده دارای یک تصویر ایده‌آل مشابه است. (۲) تبدیل تصویر ایده‌آل به تصویر ضبط‌شده غیرخطی است اما می‌تواند به روش پارامتری مدل‌سازی شود. (۳) پارامترها را می‌توان تخمین زد.

آخرین مقاله از پژوهش‌هایی که در دسته اول قرار می‌گیرند مقاله [۵۲] است. در این مقاله سعی شده است با رفع تاری کور و استفاده از برجستگی‌های ویژه^۳ تصویر، هسته تاری تخمین زده شود. با توجه به محیط پیچیده‌ای که کپسول آندوسکوپی در بدن انسان قرار دارد و محدودیت‌های تجهیزات تهیه تصویر، تصاویر آندوسکوپی ممکن است تاری و برجستگی‌های ویژه‌ای را ایجاد کنند که انواع متداول تخریب هستند. در این مقاله، یک روش رفع تاری کور برای تصاویر آندوسکوپی ارائه شده که هسته تاری را از هم آمیختن برجستگی‌های ویژه تخمین می‌زند. روش پیشنهادی به دو مرحله تقسیم شده است؛ اول، برجستگی‌های ویژه دقیقاً با استفاده از روش تجزیه تصویر پراکنده^۴ و کم‌رتبه^۵ از تصویر اصلی استخراج می‌شوند. سپس، این برجستگی‌ها با توجه به ویژگی‌های مکانی و شدت آن‌ها، به طور خودکار خوشه‌ای و ترکیب می‌شوند. به این ترتیب هسته‌های احتمالی تولید می‌شوند و برای فرآیند رفع تاری استفاده می‌شوند.

¹ Transmition

² dark-channel prior

³ specular highlights

⁴ sparse

⁵ low-rank

به طور معمول، تصاویر آندوسکوپی برجستگی‌های ویژه‌ای را ارائه می‌دهند. پدیده‌ای که در آن پرتوهای نوری که بر روی سطح مخاط رخ می‌دهد به گونه‌ای منعکس می‌شود که زاویه بازتاب برابر با زاویه تابش باشد. انرژی نور به دلیل انعکاس خاص معمولاً در یک لوب کوچک متمرکز می‌شود و منجر به برجستگی‌های شدید روی تصویر می‌شود. این پدیده مسئول یکی از شایع‌ترین تخریب‌ها در تصاویر آندوسکوپی است [۵۳]. برجستگی‌های ویژه، ممکن است تأثیر منفی بر کیفیت تصویر ایجاد کنند و برای بسیاری از الگوریتم‌های تجزیه و تحلیل تصویر، مناطق کاذب ایجاد کنند. با این حال، آن‌ها همچنین حاوی اطلاعات مهمی در مورد جهت سطح هستند، تا زمانی که موقعیت منبع نور مشخص باشد. بنابراین، آن‌ها ممکن است برای بازسازی یک مدل سه بعدی از اندام‌های مورد تجزیه و تحلیل [۵۴] یا روش‌های رفع تاری که هسته‌های تاری با استفاده از این برجستگی‌ها تخمین زده می‌شوند، مفید باشند.

معیارهای متفاوتی وجود دارد که نشان می‌دهد یک فریم از فیلم آندوسکوپی یک فریم مفید و آموزنده و یا غیرمفید است. مهمترین معیار، تاری است. کار حاضر روش جدیدی را برای تخمین هسته تاری پیچیده فضای ثابت (یکنواخت) در تصاویر آندوسکوپی که حاوی موارد برجسته است، پیشنهاد می‌کند. ایده اصلی این است که k هسته تاری را از برجستگی‌های ویژه تخمین بزنند. این فرایند به دو قسمت تقسیم می‌شود: (۱) یک روش بخش‌بندی^۱ خودکار جدید از برجستگی‌های ویژه مبتنی بر تجزیه تصویر پراکنده و کم‌رتبه و (۲) یک طرح رفع تاری ساده کور که از خوشه‌بندی و همجوشی^۲ برجستگی‌های ویژه بخش‌بندی‌شده به عنوان محدودیت برای تخمین هسته استفاده می‌کند. تصاویر آندوسکوپی دارای ظاهری تا حدودی یکنواخت با برخی از موارد برجسته تصادفی توزیع شده هستند. این موارد برجسته را می‌توان یک نوع رایج تخریب دانست. در این مقاله از الگوریتم تحلیل مولفه اصلی مقاوم ($RPCA^3$) برای بازیابی داده‌های زیر ساختاری سطح پایین، در حضور تخریب‌های شدید استفاده شده است [۵۵].

رفع تاری تصویر یک مساله معکوس کلاسیک است که هدف آن بازیابی یک تصویر واضح از یک تصویر خراب (تار شده به همراه نویزی) مربوطه است. با این فرض که نویز گوسی توزیع شده به طور یکسان و به طور مستقل و تاری ناشناخته در فضا است، تخریب توسط لرزش دوربین را می‌توان به صورت رابطه ۲-۴ مدل‌سازی کرد:

$$B(x) = (I * K)(x) + \eta(x) \quad (4-2)$$

در این رابطه $*$ نشان‌دهنده تابع پیچش، B تصویر تاری، k هسته تاری و $\eta(x)$ یک نویز گوسی افزودنی در هر پیکسل $x = (x, y)$ است. در هنگام رفع تاری کور، می‌توان یک تصویر واضح I را از یک تصویر تار منفرد B در صورت ناشناخته بودن هسته تاری بازیابی کرد. از آنجا که رفع تاری کور مساله‌ای ناخوشایند است، باید فرضیات اضافی در مورد I و k ارائه شود. برخی از تکنیک‌های رفع تاری، k را از B با استفاده

¹ Segmentation

² Fusion

³ Robust Principal Component Analysis

از اطلاعات قبلی استخراج شده از خود ساختار تصویر تخمین می‌زنند. ایده این است که بتوان k را از ناهنجاری‌هایی که B در رفتار متعارف تصویر نشان می‌دهد بازیابی کرد. در تمام روش‌هایی که قبلاً معرفی شدند، k در یک روش رفع تاری بینا برای بازیابی یک تصویر واضح استفاده می‌شود. برآورد k با استفاده از یک برجسته منفرد به صورت دستی یا خودکار از تصویر تار به دست می‌آید. با این حال، این برجستگی‌های ویژه گاهی اوقات می‌توانند تا حدی با نویز تخریب شده و یا اشباع شوند که ممکن است از تخمین مناسب k جلوگیری کند.

برآورد هسته تاری براساس ادغام برجستگی‌های ویژه و ترمیم تصویر: با فرض یک تاری نوع فضا^۱، هسته برجستگی محلی خاص نمی‌تواند به عنوان هسته تاری سراسری در تصویربرداری آندوسکوپی باشد. با این حال در این پژوهش، بر روی یک مدل از تخمین هسته تاری تمرکز شده است که یک تاری فضای ثابت^۲ را در نظر می‌گیرد. یک سیگنال تار را در نظر بگیرید $B_h = I_h * k$. این سیگنال تحت تأثیر نویز قرار نمی‌گیرد و حاوی یک برجستگی h است که با پیچش سیگنال واضح I_h و هسته تاری حرکتی k ایجاد می‌شود. فرض می‌شود که می‌توان جداسازی سیگنال را بدست آورد که در آن $B_h = B_{-h} + h$ باشد. B_{-h} به سیگنال تاری بدون برجستگی h اشاره دارد. از آنجا که فرض می‌شود برجستگی در سیگنال واضح در یک لوب فشرده^۳ متمرکز شده است، تقریباً می‌توان آن را با تابع تعمیم‌یافته دلتا مستقیم δ تخمین زد. بنابراین، سیگنال تاری B_h را می‌توان با یک چرخش هسته تاری k و یک مقدار بین سیگنال واضح که حاوی برجستگی I_{-h} و δ نیست، یعنی $B_h \approx [I_{-h} + \delta]$ تقریب داد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که $k \approx (I_{-h} * k) + (\delta * k)$ به عبارت دیگر، می‌توان تأیید کرد که برجستگی تاری h را می‌توان تقریباً با تجمع بین δ و هسته تاری k تقریب زد.

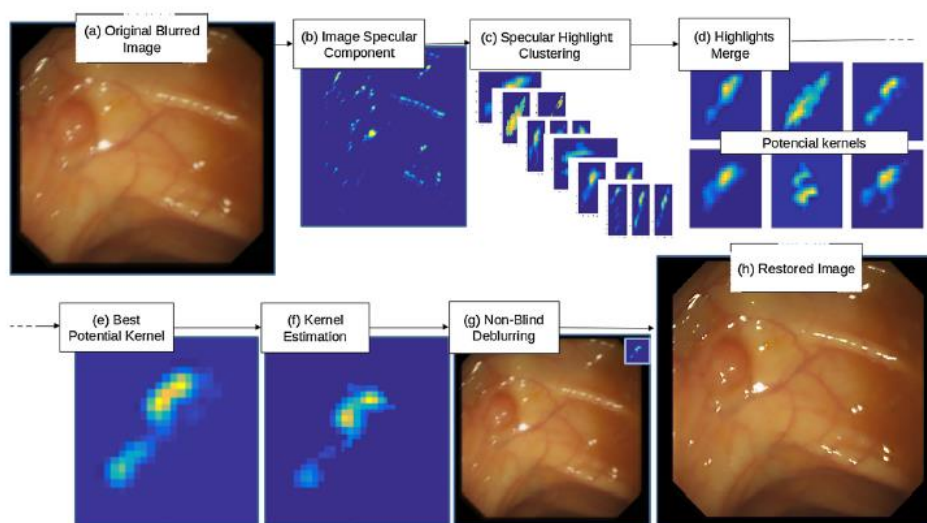
هسته‌های برآورد شده از همه موارد برجستگی، ممکن است به طور جداگانه در یک فرآیند رفع تاری بینا استفاده شود و تصاویر بازیابی شده با بهترین نتیجه را ایجاد کند (تصاویر واضح‌تر با مصنوعات کمتر). با این حال، ارزیابی همه برجستگی‌ها در یک تصویر خاص می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: (۱) فرآیند رفع تاری از نظر محاسباتی گران است و یک تصویر ورودی می‌تواند شامل چندین برجستگی باشد. بنابراین چنین فرآیندی می‌تواند مدت زمان زیادی طول بکشد. (۲) به دلیل عواملی از قبیل اندازه، شکل و جهت‌گیری، برخی برجستگی‌ها به درستی نمایانگر تخریب تصویر نباشند.

روش رفع تاری پیشنهادی در این مقاله به ۵ مرحله تقسیم می‌شود: (۱) بخش‌بندی دقیق برجستگی‌های ویژه (۲) خوشه‌بندی و ادغام برجستگی‌های ویژه برای تولید هسته‌های بالقوه. (۳) انتخاب خودکار بهترین هسته بالقوه (۴) برآورد هسته تاری از بهترین هسته بالقوه و سرانجام (۵) استفاده از روش رفع تاری بینا با استفاده از هسته تاری تخمین زده شده برای بازگرداندن تصویر تاری. هر یک از این مراحل در چارچوب نشان داده شده در شکل ۲-۹ شرح داده شده است.

¹ space-variant

² space-invariant

³ compact lobe



شکل ۲-۹: طرح کلی در روش پیشنهادی برای بازیابی تصاویر آندوسکوپی. به صورت گام به گام [۵۲]

با توجه به شکل ۲-۹ مراحل کلی این مقاله را می‌توان توضیح داد. روند رفع تاری در این مقاله به این صورت است که ابتدا از روی تصویر اصلی تار، مناطقی که دارای برجستگی ویژه هستند با نقاط زرد رنگ و سایر نواحی به رنگ آبی نشان داده می‌شود. سپس این مناطق خوشه‌بندی می‌شوند. پس از آن با ادغام خوشه‌ها که همان برجستگی‌های ویژه هستند، هسته‌های بالقوه تعیین می‌شوند. سپس بهترین هسته بالقوه انتخاب می‌شود و هسته تاری نهایی تخمین زده می‌شود. سپس تصویر اصلی تار، به روش رفع تاری کور، رفع تاری می‌شود. در نهایت این تصویر رفع تاری شده به همراه هسته تاری تخمین زده شده برای عملیات بازسازی تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به توضیحات این بخش، متوجه شدیم برای مساله رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی از زمان تجاری شدن این محصول تاکنون، در چهار پژوهش به طور جداگانه به رفع تاری تصاویر پرداخته‌اند. علت کم بودن تعداد پژوهش‌ها در این زمینه سه عامل است. ابتدا اینکه عمر این محصول تقریباً دو دهه است بنابراین نسبت به تصاویر پزشکی دیگری همچون تصاویر سی تی اسکن و MRI هنوز بسیار جای کار دارد. علت بعدی این است که تاکنون پایگاه داده جامعی در اختیار عموم قرار داده نشده بود. علت مهم‌تر نیز این مساله است که اساساً مساله رفع تاری، مساله چالش برانگیز و پیچیده‌ای است چه بسا که این مساله بر روی تصاویری انجام شود که خود از لحاظ پیچیدگی محیطی و محدودیت تجهیزات تصویربرداری دچار خرابی‌های زیادی باشند. با این حال این چهار روش در جدول ۲-۱ با هم مقایسه شده‌اند.

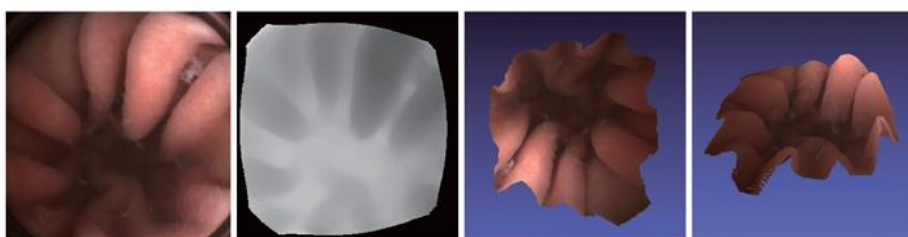
جدول ۱-۲: مقایسه روش‌های معرفی‌شده برای رفع تاری تصاویر WCE

شماره مقاله	مزایا	معایب
[۱۷]	روش پیشنهادی مبتنی بر بیان دقیق ریاضی و حل مساله رفع تاری از طریق بهینه‌سازی ریاضی	رفع تاری بر روی تصویری که به صورت دستی تار شده نه تصویر خام و اصلی WCE، نیاز به ویژگی‌های هندسی در صورتی که تصاویر آندوسکوپی دارای ویژگی‌های بسیار پراکنده و فاقد ساختارهای برجسته هندسی هستند.
[۱۲]	رفع تاری بدون نیاز به پیدا کردن هسته تاری، علاوه بر رفع تاری اعوجاج رنگی نیز از بین رفته است	پیچیدگی عملیات تاری و سرعت پایین برای رفع تاری هر فریم
[۳۵]	سادگی پیاده‌سازی	تفاوت اساسی تصاویر مبهم (hazy) با تصاویر تار، بازیابی تصویر ساختگی که به صورت دستی دچار خرابی شده است.
[۵۲]	سادگی مراحل پیشنهادی برای اعمال رفع تاری	استفاده از برجستگی‌های ویژه برای تخمین هسته تاری و رفع تاری، در صورتی که این برجستگی‌ها در اکثر تصاویر آندوسکوپی وجود ندارند.

در جدول فوق، روش‌هایی که به گونه‌ای تنها به مساله رفع تاری پرداخته‌اند را با هم مقایسه کردیم. با توجه به این جدول، در بین این چهار پژوهش، دیدیم در روش مقاله [۱۷] با استفاده از حداقل‌سازی تغییرات کل، که یک روش ریاضی است عمل رفع تاری انجام شده است اما برای این منظور نیاز به ویژگی‌های هندسی است در صورتی که در تصاویر WCE به دلیل کیفیت پایین تصاویر، ویژگی‌های پراکنده‌ای وجود دارد. در [۱۲] عمل رفع تاری بر روی داده ویدئویی انجام شده است که در آن نیازی به تشخیص هسته تاری نیست اما پیچیدگی این عملیات از معایب این روش است. در [۳۵] روشی برای رفع تاری تصاویر مبهم بیان شده که تفاوت بسیاری با تصاویر تار دارد اما به دلیل شباهت به تاری جزو روش‌های تاری در نظر گرفته شده است. در این مقاله روشی برای مبهم کردن تصاویر، پیشنهاد شده و در نهایت از عکس این روش برای رفع ابهام استفاده شده است. در نهایت در مقاله [۵۲] روش ساده‌ای برای رفع تاری تصاویر WCE بیان شده است اما مهم‌ترین عیب آن این است که برای پیاده‌سازی و اعمال این روش باید برجستگی‌های ویژه را در تصاویر پیدا کنیم که این برجستگی‌ها در اکثر تصاویر وجود ندارند.

۳-۲ بهبود کیفیت تصاویر و یا ویدئوهای WCE

به منظور بررسی بیشتر پژوهش‌های مرتبط، در این بخش به بررسی مقالاتی می‌پردازیم که در آن‌ها تنها به مساله رفع تاری پرداخته نشده است، بلکه مصنوعات و خرابی‌های متعددی در تصاویر کپسول آندوسکوپی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که تاری یکی از آن‌ها است. در این زمینه، اولین مقاله مورد بررسی، مقاله [۸] است. این مقاله یک مقاله مروری است که در آن با استفاده از روش‌های محاسباتی، کیفیت تصاویر کپسول آندوسکوپی بهبود می‌یابد. در این مقاله عنوان شده است که اطلاعات تکمیلی، از جمله عمق تصویر را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های بینایی رایانه‌ای بدست آورد. اندازه‌گیری ضایعات و ردیابی مسیر کپسول آندوسکوپی با استفاده از فناوری بینایی رایانه، بدون نیاز به تجهیزات اضافی امکان‌پذیر است. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل محاسباتی تصاویر WCE می‌تواند به تشخیص دقیق‌تر ضایعات در مدت زمان کوتاه‌تری کمک کند. کپسول‌های آندوسکوپی با نور کم و قدرت محدود تصاویر را ضبط می‌کنند. فیلم‌هایی با وضوح پایین و نرخ فریم پایین به صورت بیسیم به یک ضبط‌کننده خارج از بدن انسان منتقل می‌شوند. علاوه بر این، تصاویر تاری اغلب به دلیل عمق کوتاه کپسول‌های آندوسکوپی ثبت می‌شوند. این تخریب در کیفیت تصویر می‌تواند دشواری ارائه تشخیص دقیق را افزایش دهد. پردازش محاسباتی این تصاویر می‌تواند مشکل اساسی WCE را اصلاح کند. شکل ۲-۱۰ یک مورد از بهبود کیفیت تصاویر را نشان می‌دهد.

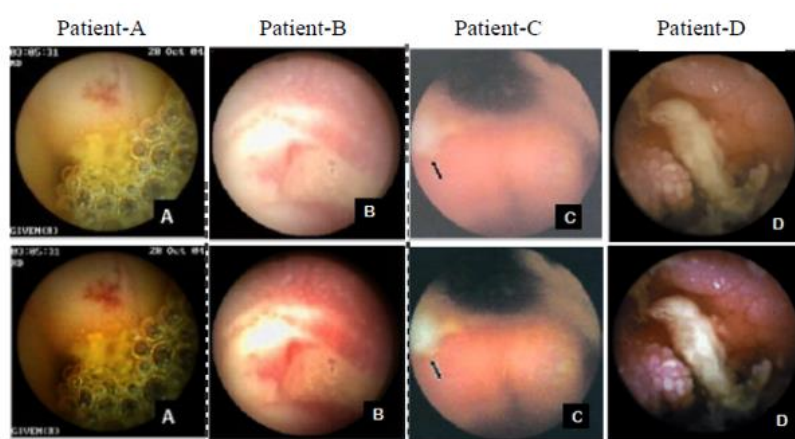


شکل ۲-۱۰: نمونه‌هایی از تصاویر کپسول آندوسکوپی رفع تاری شده با استفاده از فناوری بینایی رایانه. دو تصویر در سمت چپ دارای تاری هستند. در سمت راست تاری تصاویر با استفاده از اطلاعات عمق اندازه‌گیری شده با دو دوربین در زوایای مختلف اصلاح می‌شود. [۸]

در شکل ۲-۱۰ با استفاده از افزایش عمق در زوایای مختلف، تاری و روشنایی تصویر بهبود یافته است. در مقاله [۳۶] بیان شده که تصاویر WCE دارای وضوح (رزولوشن) پایینی هستند. الگوریتم‌های متفاوتی برای افزایش این رزولوشن وجود دارد. این الگوریتم‌ها به این صورت کار می‌کنند که محتوای تصاویری که به صورت متوالی ضبط شده‌اند را با هم ترکیب می‌کنند. در واقع در هر تصویر ضبط شده اطلاعاتی وجود دارد که ممکن است در تصویر متوالی بعدی آن اطلاعات وجود نداشته باشد. با ترکیب محتوای این تصاویر می‌توان رزولوشن تصویر را بالا برد. با افزایش رزولوشن، کیفیت و در نتیجه تاری تصویر بهبود می‌یابد.

در مقاله [۴] برای افزایش کنتراست و وضوح^۱ بیشتر تصویر، الگوریتم‌هایی پیشنهاد داده شده است. الگوریتم افزایش وضوح تصویر مساله‌ای است که برای ما حائز اهمیت است. چرا که با هدف پایان‌نامه در ارتباط است. در این مقاله بیان شده که تشخیص یک ناحیه غیرعادی مانند خونریزی به دلیل کیفیت پایین و تصاویر تاریک از WCE یک کار چالش برانگیز بوده است. ابتدا کنتراست تصویر با استفاده از الگوریتم پیشنهادی افزایش می‌یابد سپس برای اینکه جزئیات تصویر دیده شود، الگوریتم پیشنهاد داده شده برای افزایش وضوح تصویر بر روی تصویر اعمال می‌شود. (برای اینکه جزئیات هر تصویر بیشتر نمایان شود، الگوریتم وضوح برای سهولت روند طبقه‌بندی ناهنجاری‌ها مانند خونریزی در تصاویر WCE پیشنهاد شده است [۳۷]).

افزایش وضوح تصویر با استفاده از تبدیل کسینوس گسسته (DCT^2): یک DCT می‌تواند در پردازش تصویر مانند تشخیص الگو و فیلتر کردن با پردازش تبدیل سریع فوریه مورد استفاده قرار گیرد. در افزایش وضوح تصویر WCE، ایده، استفاده از مولفه‌های فرکانس بالا است که از تصاویر اصلی استخراج می‌شوند تا جزئیات نامرئی را مشخص و پررنگ کنند. نواحی فرکانس بالا برای تعیین یا شناسایی اطلاعات لبه استفاده می‌شوند. مثال‌هایی از این روش‌ها فیلترهای Canny، Sobel و unsharp masking هستند اما این روش‌ها نسبت به نویز حساسیت بیشتری دارند. افزایش وضوح تصویر با بازیابی فرکانس بالا در تصویر اصلی انجام می‌شود. از طرف دیگر، تصویر تار با از دست دادن نواحی فرکانس بالا تولید می‌شود. در روش پیشنهادی این مقاله، نواحی فرکانس بالا شامل جزئیات دقیق تصویر اصلی با استفاده از DCT استخراج می‌شود سپس با تصویر اصلی WCE ترکیب می‌شوند تا یک تصویر جدید با کیفیت بهبودیافته از لحاظ بصری ایجاد کند. شکل ۲-۱۱ تصاویر اصلی و تصاویر بهبودیافته با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۱: ردیف اول تصاویر اصلی و ردیف دوم تصاویر بهبودیافته با استفاده از روش پیشنهادی مقاله [۴]

در مقاله [۳۸] به بهبود کیفیت تصاویر رنگی پرداخته شده است. در واقع در اینجا یک روش بهبود

¹ sharpening

² Discrete Cosine Transform

تصویر برای تصاویر رنگی آندوسکوپی ارائه شده که شامل سه مرحله است. (۱) افزایش بافت و سطح: از روش اصلاح شده ماسک غیرتیز خطی^۱ برای افزایش وضوح سطح و لبه‌های بافت و ویژگی‌های عروقی استفاده شده است. (۲) تقویت لایه مخاطی: یک تابع سیگموئید تطبیقی در صفحه R تصویر برای برجسته‌سازی رگ‌های ریز لایه‌های سطحی مخاط و زیر مخاط استفاده شده است. (۳) بهبود رنگ: پیکسل‌ها به طور یکنواخت توزیع می‌شوند تا یک اثر رنگی پیشرفته برای برجسته‌سازی ریزرگ‌های ظریف مخاط و ویژگی‌های بافت ایجاد کنند. در واقع این کار بر روی افزایش ویژگی‌های ظریف که در تصاویر آندوسکوپی اولیه به وضوح قابل مشاهده نیست، تمرکز دارد. در روش پیشنهادی پایان‌نامه نیز برای رفع تاری گوسی از روش ماسک غیرتیز استفاده شده است. از این حیث این مقاله با روش پیشنهادی اشتراکاتی دارد. با این تفاوت که در روش ما به منظور رفع تاری از ماسک غیرتیز استفاده شده است اما در روش پیشنهادی مقاله [۳۸] برای افزایش لبه‌های بافت و ویژگی‌های عروقی تصاویر.

مقاله مورد بحث بعدی مقاله [۱۸] است. در این مقاله یک چارچوب یادگیری عمیق برای ارزیابی کیفیت و بازسازی در ویدئو آندوسکوپی معرفی شده است. مصنوعاتمانند تاری حرکتی، حباب‌ها، بازتابش‌های خاص، اجسام شناور و اشباع پیکسل، مانع تفسیر بصری و تجزیه و تحلیل خودکار فیلم‌های آندوسکوپی می‌شوند. با توجه به استفاده گسترده از آندوسکوپی در کاربردهای مختلف بالینی، می‌توان ادعا کرد که شناسایی قوی و قابل اعتماد چنین مصنوعات و بازسازی خودکار فریم‌های ویدئویی خراب یک مشکل اساسی تصویربرداری پزشکی است. بنابراین فیلم‌های آندوسکوپی معمولاً حاوی مصنوعات بی‌شماری هستند که انگیزه ایجاد یک راه‌حل جامع را ایجاد می‌کنند.

در اینجا یک چارچوب کاملاً خودکار پیشنهاد شده است که می‌تواند: (۱) شش مصنوعات اصلی مختلف را شناسایی و طبقه‌بندی کند، (۲) نمره کیفیتی برای هر فریم ارائه دهد و (۳) فریم‌هایی که کمی خراب شده‌اند را بازیابی کند. این چارچوب، برای شناسایی مصنوعات مختلف، از آشکارساز شبکه عصبی کانولوشن سریع چند مقیاسی^۲ بهره می‌برد. همچنین یک معیار کیفیت برای ارزیابی کیفیت فریم و پیش‌بینی موفقیت در ترمیم تصویر معرفی شده است. سرانجام از شبکه‌های خصمانه تولید^۳ با تنظیم منظم با دقت انتخاب شده برای بازگرداندن فریم‌های خراب استفاده می‌شود. مدل‌های بازسازی معرفی شده برای رفع تاری کور، اصلاح اشباع و بهبود رنگ، پیشرفت‌های قابل توجهی نسبت به روش‌های قبلی نشان می‌دهد.

شناسایی چندین مصنوعات و ارائه بازسازی کافی بسیار چالش برانگیز است. تا به امروز، بیشتر گروه‌های تحقیقاتی فقط مصنوعات خاص را در تصویربرداری آندوسکوپی مطالعه و بررسی کرده‌اند [۴۲-۴۰ و ۱۷]. به عنوان مثال، رفع تاری تصاویر آندوسکوپی کپسول بیسیم با استفاده از روش تغییرات کلی (TV) در [۱۷] ارائه شده است. همچنین، استفاده از مجموعه داده‌هایی با اندازه کوچک در این مطالعات نگرانی در مورد تعمیم روش را برای تغییرات تصویر که اغلب در داده‌های آندوسکوپی وجود دارد، ایجاد

¹ linear unsharp masking

² fast multi-scale, single stage convolutional neural network detector

³ Generative adversarial networks

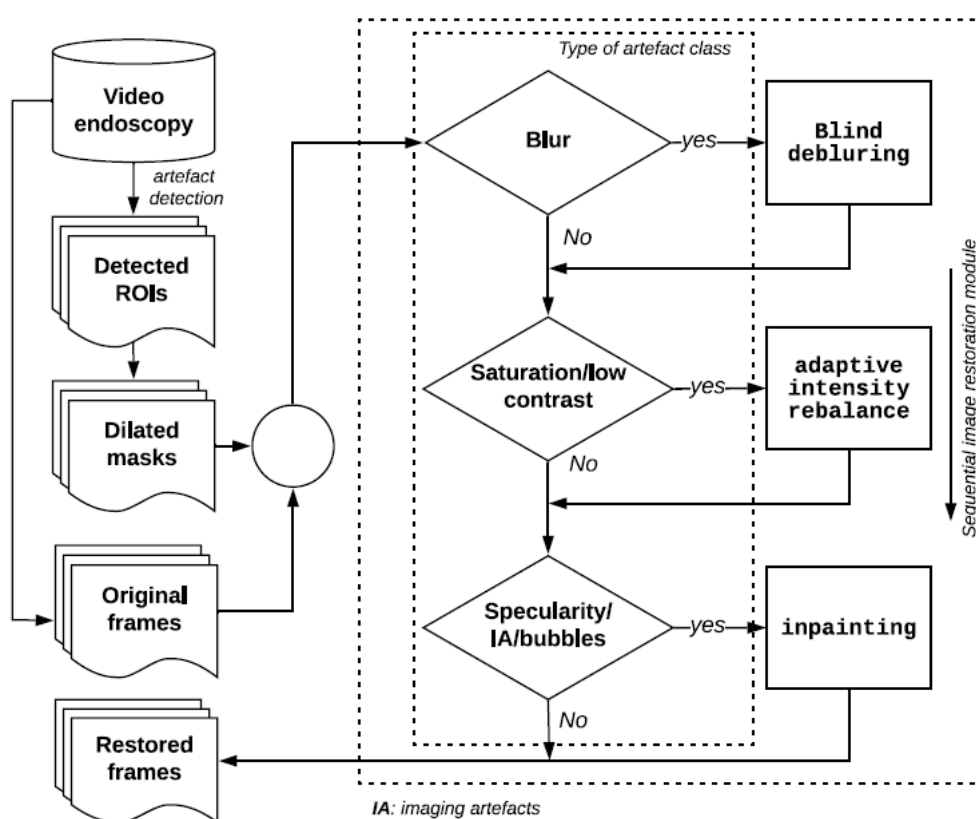
می‌کند. به عنوان مثال، در [۴۰] فقط ۱۰۰ تصویر تصادفی انتخاب شده برای آموزش ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای تشخیص مناطق خاص استفاده شد. در این مقاله، یک رویکرد سیستماتیک و جامع برای حل مساله پیشنهاد شده است. این چارچوب تشخیص دقیق و بومی سازی شش مصنوعات مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهد و نوع مصنوع را به طور خاص به قالب‌های تحت تاثیر قرار می‌دهد. برخلاف روش‌های قبلی که نیازمند تنظیمات دستی برای تنظیمات پارامترها و یا استفاده از ویژگی‌های دستی هستند که تنها برای مصنوعات خاص مناسب هستند، در اینجا استفاده از روش‌های تشخیص ساخت چند طبقه و روش‌های بازیابی که از فریم‌های ویدیویی چند بیمار به صورت چندگانه پیشنهاد شده است. چنین رویکردی میزان طبقه‌بندی کاذب را کاهش می‌دهد و روش‌های ترمیم و بازسازی فریم را بهتر تعمیم می‌دهد. تشخیص قابل اعتماد چند طبقه از طریق تشخیص شی مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشن چند مقیاسی و عمیق امکان‌پذیر است که می‌تواند به طور موثر تشخیص مصنوعات چند طبقه را در بیماران متقاطع و روش متقابل موجود در داده‌های آندوسکوپی تعمیم دهد. ترمیم فریم واقع‌بینانه با استفاده از شبکه‌های خصمانه تولیدی (GANs [۴۳]) حاصل می‌شود. در حالی که این مقاله براساس رویکردهای معرفی شده در [۴۳] بنا شده است، کارهای اضافی قابل توجهی برای جلوگیری از معرفی مصنوعات اضافی و ایجاد اختلال در انسجام کلی بصری لازم بوده است. به منظور دستیابی به این امر، قاعده‌بندی وابسته به نوع مصنوع معرفی شده است. یک قاعده و ترمیم مبتنی بر لبه جدید برای رفع تاری ارائه شده است.

آنطور که به نظر می‌رسد، این پژوهش اولین تلاش برای ارائه یک رویکرد سیستماتیک و کلی است که به صورت متقابل در داده‌های ویدئویی برای تشخیص خودکار چندین مصنوعات موجود در داده‌های آندوسکوپی و ترمیم‌های بعدی آن‌ها انجام شده است. در اینجا برای آموزش از ۷ فیلم منحصر به فرد از دستگاه گوارش، که از گروه بزرگ ۲۰۰ فیلم انتخاب شده و ۱۰ فیلم مختلف برای اعتبارسنجی گسترده استفاده شده است. آزمایش‌های انجام شده با استفاده از معیارهای ارزیابی کیفیت فیلم، تاثیر این روش را نشان می‌دهد. علاوه بر این، کیفیت فریم‌های بازسازی شده نیز توسط دو متخصص آندوسکوپی باتجربه ارزیابی شده است. نمره‌ای براساس بهبود بینایی، اهمیت و وجود یا عدم وجود مصنوعات معرفی شده در فریم‌های بازسازی شده با این روش، توسط این متخصصان تخصیص داده شده است.

مجموعه داده‌های استفاده شده از مجموع ۱۲۹۰ تصویر آندوسکوپی که در آن تغییر اندازه 512×512 پیکسل انجام شده است. دو متخصص در مجموع ۶۵۰۴ مصنوعات را حاشیه‌نویسی کردند که هر حاشیه‌نویسی به ترتیب زیر طبقه‌بندی می‌شود:

۱. تاری - ناشی از حرکت سریع دوربین
۲. حباب - حباب‌های آب که ظاهر بافت زیرین را تخریب می‌کند
۳. بازتابش - بازتاب سطح آینه مانند
۴. اشباع - نواحی که بیش از حد در معرض مناطق پیکسل روشن هستند
۵. کنتراست - مناطق با کنتراست کم از قرار گرفتن در معرض یا انسداد

۶. مصنوعات متفرقه - به عنوان مثال انحراف رنگی، مصنوعات تصویربرداری و غیره
 روش کلی: روش گام به گام برای تشخیص خودکار چندین مصنوعات و بازسازی فریم فیلم‌های آندوسکوپی در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که یک فریم، تنها می‌تواند توسط چندین مصنوعات خراب شود و هر کلاس از این مصنوعات می‌تواند بر روی فریم‌های آندوسکوپی تأثیر متفاوتی بگذارد. بنابراین، روند ترمیم آن‌ها به احتمال زیاد بر نتیجه نهایی ترمیم تأثیر می‌گذارد. لازم به ذکر است که از تقسیم ۹۰٪ - ۱۰٪ برای ساخت مجموعه آموزش و تست استفاده شده است. همچنین از حاشیه‌نویسی‌های متعدد در مواردی استفاده می‌شود که یک منطقه خاص حاوی چندین مصنوعات باشد.



شکل ۲-۱۲: فرآیندهای متوالی برای بازسازی تصویر آندوسکوپی از منطقه مورد نظر (ROI) از ۶ مصنوعات مختلف. ابتدا ماسک‌های ROI تولید شده به دست می‌آید و سپس فقط از این مناطق برای ترمیم استفاده می‌شود. تنها در تار، کل تصویر استفاده می‌شود. [۱۸]

از تشخیص اشیا چند نمونه، برای ایجاد تمایز بین شش نوع مختلف مصنوعات و ظاهر طبیعی استفاده می‌شود. برای هر فریم یک امتیاز کیفی (QS) براساس نوع، حوزه و مکان اشیای شناخته شده برای ایجاد امکان بازسازی تصویر کامل از طریق فرآیند بازسازی ترتیبی که در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است، محاسبه می‌شود. مقیاس‌بندی امتیاز QS به گونه‌ای تنظیم شده است که بتوان بین فریم‌های به

شدت خراب ($0.5 < QS$)، فریم‌هایی با خرابی کم ($0.5 < QS < 0.95$) و فریم‌هایی با کیفیت بالا ($0.95 < QS$) تمایز قائل شد. فریم‌هایی که به شدت خراب شده‌اند بدون هیچگونه پردازش بیشتری کنار گذاشته می‌شوند. روش‌های پیشنهادی بازسازی تصویر تنها در فریم‌هایی با خرابی متوسط اعمال می‌شوند. در اینجا یک امتیاز کیفیت چارچوب (QS) بر پایه (a) ناحیه (b) مکان و (c) مصنوعات ردیابی شده پیشنهاد شده است. به هر یک از این دسته‌ها، وزنی اختصاص داده می‌شود و وزن متوسط به صورت نمره کیفی محاسبه می‌شود. در هر نمونه، وزن‌ها براساس سهولت بازسازی اختصاص داده می‌شوند، به عنوان مثال، وزن بالاتری نسبت به تاروی اختصاص داده می‌شود.

فرایند بازسازی: فرمول‌بندی بازسازی سیگنال واقعی با توجه به تصویر ورودی نویزی و خراب I به عنوان یک مساله بهینه‌سازی یا تخمین در نظر گرفته می‌شود. متأسفانه، انواع مختلفی از مصنوعات باعث ایجاد سطحی از پیچیدگی می‌شود که این کار را بسیار چالش برانگیز می‌کند. فرض کنید که نویز تصویر افزودنی باشد و تاروی حرکتی را به عنوان یک کانولوشن خطی با یک هسته ناشناخته منطقی و مطابق با روش‌های پیشین برای حل این مشکل در نظر گرفت. علاوه بر این، مساله اشباع کنتراست و پیکسل را می‌توان به عنوان یک اصلاح غیرخطی گاما فرموله کرد. سایر مصنوعات باقیمانده (به عنوان مثال، حباب‌ها و مصنوعات تصویربرداری) که به دلیل فرآیندهای ترکیبی این پدیده‌ها هستند، می‌توانند تابعی از کل فرآیند باشند. بنابراین، می‌توان فریم ویدئوی نویزی و خراب را به صورت زیر فرموله کرد:

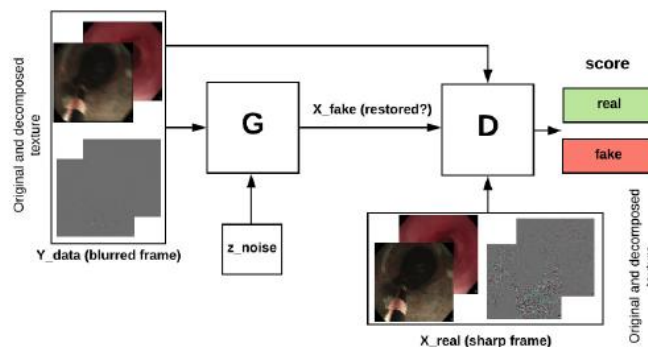
$$I(t) = F[(h * f(t) + \eta)]^Y \quad (5-2)$$

در رابطه ۵-۲ η نشان‌دهنده نویز افزایشی ناشی از سیستم تصویربرداری، پیچش با h تقریبی از تاروی حرکتی است و F یک تابع غیرخطی تعمیم‌یافته است که مدل‌ها را به خوبی ثبت می‌کند (از جمله حباب‌ها و مصنوعات تصویری یا ترکیبی از آن‌ها). این مدل نشان می‌دهد که چرا بازسازی فریم‌های ویدئویی به مراحل پردازش جداگانه تبدیل شده است که به عنوان مدل‌های یادگیری عمیق بکار گرفته می‌شوند.

بازسازی تصویر، فرآیند تولید پیکسل‌های تصویر واقعی و بدون نویز از پیکسل‌های خراب تصویر است. در بازسازی فریم آندوسکوپی، هدف، بسته به نوع مصنوع ایجاد یک تصویر کامل بدون نویز یا اصلاح رنگ پیکسل از پیکسل‌های نامطلوب با استفاده از اطلاعات پیکسل اطراف آن است [۴۴]. برای بازسازی مصنوعات آندوسکوپی چند کلاسه سه عمل باید انجام شود؛ (۱) رفع تاروی فریم در زمانی که h ناشناخته است، به عنوان مثال یک مساله رفع تاروی کور، (۲) اصلاح مناطق بیش از حد روشن در فریم‌ها، به عنوان مثال اصلاح گاما (۳) جایگزینی پیکسل‌های خاص و آن‌هایی که دارای مصنوعات تصویربرداری یا بقایای آن هستند با استفاده از اصلاح رنگ، به عنوان مثال اصلاح نویز افزودنی η یا یک تابع غیرخطی ترکیبی F . با توجه به احتمال بیشتر وجود چندین مصنوعات در یک فریم واحد، بازسازی بیش از حد این مصنوعات می‌تواند کیفیت فریم را بیشتر از بین ببرد. بنابراین در این مقاله یک فرایند بازسازی متوالی تطبیقی ارائه شده است که ماهیت انواع مصنوعات منفرد را در نظر بگیرد (شکل ۲-۱۱).

تاروی حرکتی: تاروی حرکتی یک مشکل شایع در فیلم‌های آندوسکوپی است. برخلاف تصاویر ساکن،

تاری حرکتی اغلب با هسته‌های ناشناخته h (معادله ۲-۳) در داده‌های آندوسکوپی به صورت غیریکنواخت است. چندین رفع تاری کور در رفع تاری حرکتی اعمال شده است. این‌ها از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک [۴۵-۴۷] تا روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی [۴۸ و ۴۹] متغیر است. با وجود عملکرد خوب شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN) نسبت به روش‌های کلاسیک، یک اشکال عمده CNN این است که به تنظیم تعداد زیادی از پارامترها و مجموعه‌داده‌های آموزشی بزرگ نیاز دارند. رفع تاری کور می‌تواند به عنوان یک مساله تبدیل تصویر به تصویر در نظر گرفته شود که در آن تصویر تاری به تصویر بدون تاری متناسب خود تبدیل شود. در این مقاله، به همین منظور از CGAN با افت $l2$ -contextual (اختلاف مربع بین تصویر تولیدشده و هدف (واضح)) و افت $l2$ highfrequency به عنوان قاعده‌گذاری^۱ استفاده شده است. این امر ناشی از این واقعیت است که تاری حرکتی در درجه اول روی لبه‌های تصویر، چند پیکسل تصویر متمایز در مقایسه با کل تصویر تأثیر می‌گذارد. تصاویر با فرکانس بالا ابتدا هم برای تصاویر تاری و هم برای تصاویر واضح در داده‌های آموزشی با استفاده از فیلتر تکرارشونده بالا و پایین‌گذر در چهار مقیاس مختلف محاسبه می‌شوند [۵۰]. سپس این تصاویر برای ارائه اطلاعات بیشتر به تفکیک‌کننده^۲ در مورد رفتار مولد^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳: رفع تاری کور با استفاده از GAN با اضافه شدن ویژگی فرکانس بالا. [۱۸]

در این مقاله پیشنهاد شده است که از CGAN با یک شبکه منتقد مبتنی بر WGAN-GP استفاده شود [۵۱]. مدل پیشنهادی برای ۳۰۰ تکرار در یک مجموعه‌داده زوج تاری و واضح متشکل از ۱۰۷۱۰ (۷۱۵ تصویر واضح و منحصر به فرد) تصاویر چند بیمار و چند حالت با ۱۵ مسیر حرکتی شبیه‌سازی شده مختلف برای تاری آموزش دیده است (بررسی مقاله [۵۱]).

در نهایت می‌توان گفت در این مقاله چارچوبی برای شناسایی و ترمیم مصنوعات فیلم آندوسکوپی ارائه شده است که در فریم‌ها بصورت خطی، غیرخطی یا هر دو تجسم یافته‌اند. این پژوهش شامل ارزیابی کیفیت خاص مصنوع و ترمیم متوالی است. به طور خاص، همانطور که هر ماژول در چارچوب پیشنهادی به عنوان یک شبکه عصبی فرموله می‌شود، این چارچوب نیز می‌تواند به طور کامل از قابلیت

¹ Regularization

² discriminator

³ generator

پردازش در زمان واقعی GPUهای مدرن بهره ببرد. در اینجا چندین روش جدید برای بازسازی فریم ارائه شده است که شامل از دست دادن لبه (نواحی با فرکانس بالا) برای بازیابی تصاویر تار و یک طرح اصلاح رنگ برای مقابله با تغییر رنگ در فریم‌های تولیدشده به دلیل انتقال مدل است. طرح‌های منظم-سازی جدیدی براساس هر نوع کلاس از مصنوعات برای بازسازی فریم ارائه شده است که تولید تصویر با کیفیت بالا را ارائه می‌دهد. از طریق آزمایش‌های گسترده، هر مرحله از چارچوب، از تشخیص تا روش‌های ترمیم تأیید شده است. سرانجام این روش توانست به طور متوسط ۲۵٪ از فریم‌های ویدیویی را در ۱۰ فیلم تصادفی انتخاب‌شده از پایگاه‌داده بازیابی کند.

۴-۲ جمع‌بندی

در این فصل پیشینه تحقیق را بررسی کردیم. پژوهش‌ها را به دو دسته تقسیم کردیم. دسته اول آن پژوهش‌هایی هستند که تنها به رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم پرداختند و دسته دوم آن پژوهش‌هایی هستند که به بهبود تصاویر WCE پرداختند که در بعضی موارد، یکی از اهداف آن‌ها بهبود تاری تصویر بود. روش هر مقاله توضیح داده شد. از آنجایی که بخش اول پژوهش‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند، در جدول ۱-۲ به مقایسه آن‌ها پرداختیم.

فصل ۳ : روش پیشنهادی

۱-۳ مقدمه

هدف کلی از ارائه این پایان‌نامه، رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم است. در این فصل روش پیشنهادی برای رسیدن به این هدف به طور مفصل شرح داده خواهد شد. قبل از انجام عمل رفع تاری، ابتدا باید نوع و میزان تاری بررسی شود، چرا که براساس این دو پارامتر، راه‌حل پیشنهادی برای رفع تاری در هر مساله‌ای متفاوت خواهد بود. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در بررسی و مطالعه تاری، تشخیص هسته تاری است. هسته تاری در هر نوع تاری متفاوت و منحصر به فرد است. چالش بعدی در تصاویر WCE پایین بودن کیفیت و وضوح (رزولوشن) این تصاویر است. همان‌طور که در فصل اول ذکر شد، تصاویر حاصل از این کپسول، 256×256 پیکسل با نرخ فریم ۲ هرتز است [5]. با توجه به این توضیحات به رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی می‌پردازیم.

ابتدا وجود تاری در تصاویر WCE بررسی می‌شود. پس از آن به تشخیص نوع تاری در این تصاویر می‌پردازیم. با مطالعه و بررسی این تصاویر دو نوع کلی از تاری در این تصاویر دیده شده است؛ تاری گوسی^۱ و تاری حرکتی^۲. در اینجا، تاری حرکتی خود به دو دسته تاری شعاعی^۳ و دایره‌ای^۴ تقسیم می‌شود. در هر یک از این تاری‌ها، ابتدا ثابت می‌شود که این نوع تاری در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم وجود دارند. سپس با استفاده از معیارهای تاری، میزان تاری سنجیده می‌شود و در نهایت با استفاده از این اطلاعات به دست‌آمده، رفع تاری انجام خواهد شد.

۲-۳ بررسی وجود تاری

حدود ۲۵٪ از فریم‌های یک فیلم آندوسکوپی معمولی تار است [۵۷]. در این بخش با توجه به مفهوم تاری، بررسی می‌کنیم که آیا در پایگاه‌داده‌ای که از تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم در اختیار داریم، تصاویر تار وجود دارند یا خیر. همان‌طور که در فصل اول به طور مفصل بیان شد، مفهوم تاری، به این صورت است که تاری سرریز اطلاعات یک پیکسل در پیکسل‌های مجاور است. به این معنا که در تصویر تار، میزان روشنایی هر پیکسل ترکیبی از روشنایی پیکسل‌های همسایه‌اش است. با بیان روشن‌تر می‌توان گفت که در تصویر تار، پیکسل‌ها با یکدیگر همبستگی^۵ دارند. برای اثبات وجود تاری، از مقاله [۵۸] استفاده می‌کنیم.

با توجه به راه‌حل پیشنهادی در این مقاله، برای اثبات وجود تاری در یک تصویر، از روشی به نام نقشه همبستگی استفاده می‌کنیم. نقشه همبستگی یک تصویر، تصویری سیاه و سفید، درست به اندازه تصویر اصلی است. این نقشه طی مراحل زیر به دست می‌آید:

۱. دو پنجره یا ماتریس سه در سه را در نظر می‌گیریم.

¹ Gaussian blur

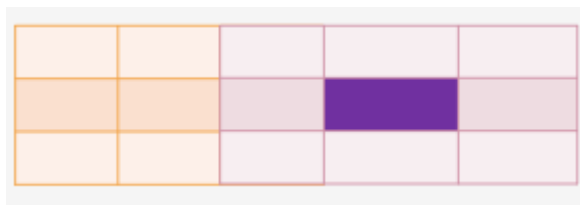
² Motion blur

³ Radial blur

⁴ Circular blur

⁵ Correlation

۲. این پنجره‌ها را به صورت شکل ۱-۳ همپوشان قرار می‌دهیم.
۳. از اولین پیکسل در بالا سمت چپ تصویر، این پنجره‌ها را بر روی تصویر می‌لغزانیم.
۴. در هر ناحیه‌ای از تصویر که این پنجره‌ها قرار می‌گیرد، ضریب همبستگی پیرسون^۱ (توضیح در ادامه) را برای پیکسل‌های موجود در این پنجره‌ها، محاسبه می‌کنیم.
۵. در نهایت، تصویری به دست می‌آید که همان نقشه همبستگی تصویر است.



شکل ۱-۳: پنجره‌های همپوشان ۳ در ۳ برای محاسبه نقشه تاری

همبستگی، میزان ارتباط و وابستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد [۵۹]. یکی از روش‌های محاسبه همبستگی بین دو متغیر، ضریب همبستگی پیرسون است. این ضریب نوع رابطه دو متغیر از منظر مستقیم یا معکوس بودن و همچنین شدت ارتباط آن‌ها را نشان می‌دهد. خروجی این معیار، عددی بین ۱- و ۱ است. عدد مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم و عدد منفی نشان‌دهنده ارتباط غیرمستقیم است. هر چه عدد به قدر مطلق ۱ نزدیک‌تر باشد، شدت ارتباط بیشتر است. این ضریب برای دو متغیر تصادفی x و y به صورت رابطه ۱-۳ تعریف می‌شود:

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1-3)$$

در رابطه فوق، cov بیانگر کواریانس، S انحراف معیار و $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به ترتیب میانگین متغیرهای تصادفی x و y است. در رابطه ۱-۳ صورت کسر درجه تغییر x و y را نسبت به هم نشان می‌دهد که با استفاده از انحراف هر کدام از میانگین آن محاسبه شده است. در مخرج کسر درجه تغییرات هر متغیر به صورت جداگانه اندازه‌گیری شده است. کواریانس به تنهایی وابسته به مقیاس اندازه‌گیر متغیرها است و معیار مناسبی برای نشان دادن همبستگی نیست. با این تقسیم وابستگی کواریانس به مقیاس داده‌ها از بین می‌رود و معیار مناسبی برای همبستگی تعریف می‌شود [۶۰].

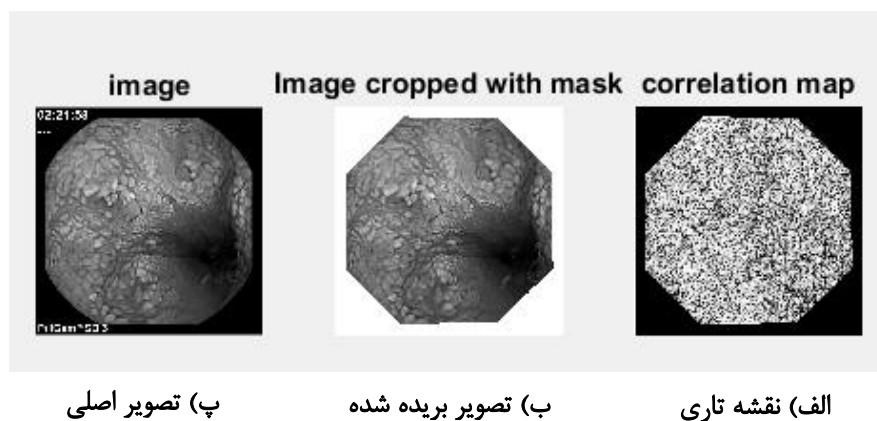
ضریب همبستگی مقداری مطلق و در محدوده ۱- تا ۱+ است. اگر دو متغیر مستقل باشند، ضریب همبستگی آن‌ها صفر خواهد بود. با نزدیکی این ضریب به ۱+ یا ۱-، ارتباط و همبستگی بیشتر بین دو متغیر ایجاد می‌شود. در صورت مثبت بودن ضریب همبستگی دو متغیر، افزایش یک متغیر با افزایش متغیر دیگر و کاهش یک متغیر با کاهش متغیر دیگر همراه است. در صورت منفی بودن ضریب همبستگی دو متغیر، افزایش یک متغیر با کاهش متغیر دیگر همراه است [۶۱].

¹ Pearson correlation

برای پیاده‌سازی مفهوم همبستگی در تصویر از ضریب همبستگی دو بعدی استفاده می‌شود که با تعمیم رابطه ۱-۳ به حالت دو بعدی به دست می‌آید. ضریب همبستگی دو ماتریس A و B با رابطه ۳-۲ قابل محاسبه است:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (2-3)$$

در رابطه فوق $\bar{A}$ و $\bar{B}$ به ترتیب میانگین عناصر ماتریس A و B هستند. m و n متغیرهایی هستند که روی اندازه سطر و ستون ماتریس‌ها تغییر می‌کنند. این ضریب هر چه بیشتر باشد، ارتباط و همبستگی دو ماتریس بیشتر است و هر چه به صفر نزدیک‌تر می‌شود ارتباط آن‌ها کمتر خواهد بود. در این پایان‌نامه، میزان همبستگی بین پیکسل‌های دو پنجره‌ی همپوشان شکل ۱-۳ مد نظر است. علاوه بر این برای محاسبه همبستگی از قدر مطلق رابطه ۲-۳ استفاده می‌کنیم، بنابراین عددی بین ۰ و ۱ داریم. هر چه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد، به معنای این است که همبستگی بین دو متغیر بیشتر است و هر چه عدد به ۰ نزدیک‌تر باشد، به معنای این است که دو متغیر همبستگی کمتری با هم دارند. برای به دست آوردن نقشه تاری، پنجره‌های همپوشان می‌توانند در جهت‌های مختلف، بر روی تصویر لغزانه شوند. در این بخش، برای تشخیص وجود تاری، این پنجره‌ها را به صورت افقی بر روی تصویر می‌لغزانیم و عدد به دست آمده از ضریب همبستگی پیرسون را در پیکسل مرکزی پنجره دوم ذخیره می‌کنیم. با اینکار نقشه تاری نشان داده شده در شکل ۳-۲ به دست می‌آید.

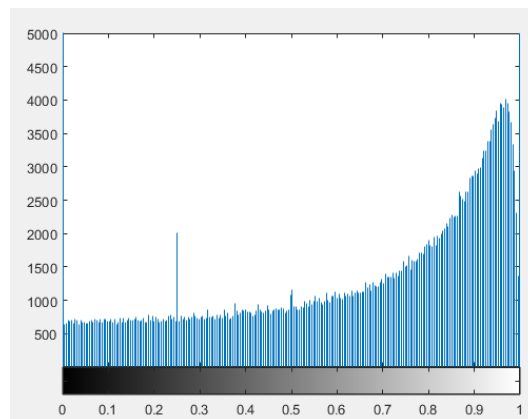


شکل ۳-۲: تصویر اصلی به همراه نقشه تاری آن

شکل ۳-۲ پ، تصویر خاکستری روده کوچک که با استفاده از کپسول آندوسکوپی بیسیم تصویربرداری شده است را نشان می‌دهد. به منظور بررسی دقیق‌تر، بهتر است نواحی سیاه رنگ موجود در حاشیه تصویر اصلی را برش دهیم. چرا که وجود این نواحی یک رنگ که خارج از محدوده تصویر اصلی است، در ایجاد نقشه تاری اختلال ایجاد می‌کند. بخش ب در شکل ۳-۲، تصویر بریده شده را نشان می‌دهد. در نهایت بخش الف، نشان دهنده نقشه تاری است. در نقشه تاری، هر چه نواحی روشن که نشان دهنده

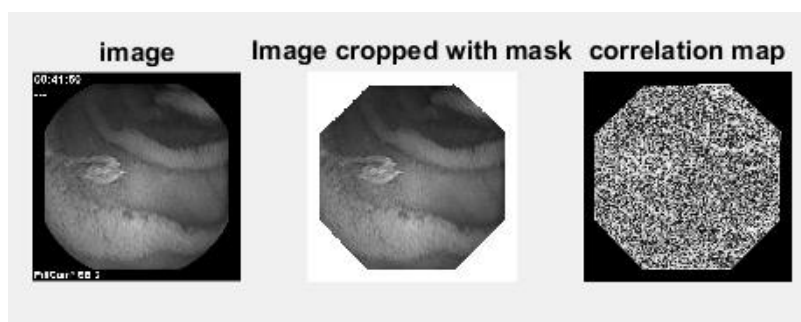
عدد ۱ است بیشتر باشد، نشان دهنده همبستگی بیشتر است. بنابراین در این نقشه تاری که نقاط روشن زیاد است، بیانگر این است که همبستگی در این تصویر بیشتر است. همبستگی بیشتر نیز نشان دهنده وجود تاری بیشتر است.

برای تحلیل و درک بهتر نقشه تاری، هیستوگرام نقشه تاری را رسم و بررسی می کنیم. هیستوگرام یک تصویر، فراوانی مقادیر مختلف روشنایی در پیکسل ها را نشان می دهد. اگر هیستوگرام نقشه تاری، حالت نمایی داشته باشد، به معنای این است که تصویر تاری است و در غیر این صورت به معنای این است که تصویر غیرتاری است. دلیل این ادعا این است که هر چه میزان تاری در یک تصویر بیشتر باشد، همبستگی بین پیکسل ها بیشتر و ضریب همبستگی پیرسون به عدد ۱ نزدیک تر است و دلیل نمایی شدن نیز این است که تغییرات در تصاویر به صورت پیوسته صورت می گیرد. شکل ۳-۳ هیستوگرام نقشه تاری شکل ۲-۳ را نشان می دهد.



شکل ۳-۳: هیستوگرام نقشه تاری شکل ۲-۳

همانطور که در شکل ۳-۳ دیده می شود، در یک تصویر تاری، هیستوگرام یک حالت نمایی دارد. حال تصویری را بررسی می کنیم که در آن تاری وجود ندارد. شکل ۴-۳ این تصویر را به همراه نقشه تاری آن نشان می دهد.



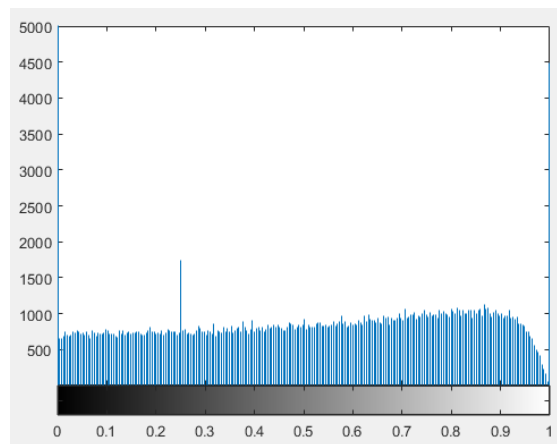
پ) تصویر اصلی

ب) تصویر بریده شده

الف) نقشه تاری

شکل ۴-۳: تصویر اصلی به همراه نقشه تاری آن

شکل ۴-۳ پ، تصویر اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم، شکل ۴-۳ ب، تصویر بریده شده و ۴-۳ الف، نقشه تاری به دست آمده از تصویر بریده شده را نشان می دهد. با مقایسه نقشه تاری شکل ۴-۳ و ۲-۳ متوجه تفاوت این دو تصویر در میزان تاری آن ها خواهیم شد. نقشه تاری شکل ۴-۳ نشان می دهد که نقاط سیاه رنگ در این نقشه بیشتر است. گفتیم نقاط سیاه رنگ نشان دهنده همبستگی کمتر است زیرا این نقاط عدد صفر را در ضریب همبستگی نشان می دهد. همبستگی کمتر نیز بیانگر تاری کمتر در تصویر است. برای درک نقشه تاری، هیستوگرام آن را بررسی می کنیم. شکل ۵-۳ هیستوگرام نقشه تاری نشان داده شده در شکل ۴-۳ است.



شکل ۵-۳: هیستوگرام نقشه تاری شکل ۴-۳

همان طور که در شکل ۵-۳ نمایان است این هیستوگرام تفاوت مشهودی با هیستوگرام شکل ۳-۳ دارد. شیب کم و عدم نمایی بودن هیستوگرام، نشان دهنده این است که تصویر کپسول آندوسکوپی بیسیم که در شکل ۴-۳ نشان داده شده است، تصویری غیرتار است. در این شکل، علت شیب کند صعودی هیستوگرام این است که در بین تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، تصویر کاملاً سالم وجود ندارد و تمام تصاویر میزان بسیار ناچیزی تاری را در خود دارند و همچنین رزولوشن تصاویر پایین است. در این بخش، ما از مفهوم تاری که همبستگی بین پیکسل های تصویر است استفاده کردیم تا بررسی کنیم آیا تاری در یک تصویر وجود دارد یا خیر. نشان داده شد که اگر هیستوگرام نقشه تاری حالت نمایی داشته باشد، به معنای این است که تصویر تار است و در غیر این صورت تصویر غیرتار است. حال در بخش بعد به تاری به خصوصی به نام تاری گوسی می پردازیم.

۳-۳ تاری گوسی

حال که وجود تاری در تصاویر به اثبات رسید، به بررسی انواع تاری در تصاویر کپسول آندوسکوپی می پردازیم. یکی از تارهایی که در این تصاویر وجود دارد تاری گوسی است.

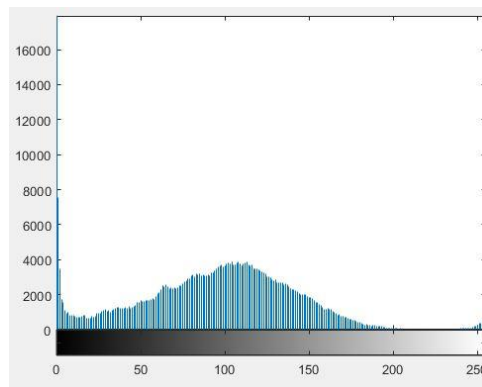
۱-۳-۳ بررسی و اثبات وجود تاری گوسی در تصاویر WCE

اولین تاری که مورد بررسی قرار می‌دهیم، تاری گوسی است. تاری گوسی به این معنا است که وزن پیکسل‌ها برابر نیستند. وزن پیکسل‌ها براساس یک منحنی زنگوله‌ای از مرکز هسته تا لبه‌ها کاهش می‌یابد. در واقع این تاری فیلتری است که تعداد مشخصی از پیکسل‌ها را با توجه به شکل یک منحنی زنگوله‌ای به صورت افزایشی ترکیب می‌کند. تاری در مرکز متراکم و در کناره‌های منحنی زنگوله‌ای غیر متراکم است. در واقع تاری گوسی، بر روی تصاویر مانند یک فیلتر عمل می‌کند. در این نوع تاری، به هر پیکسل در تصویر یک توزیع گوسی اعمال می‌شود. این جمله به این معنا است که اگر هیستوگرام یک تصویر دارای تاری گوسی را رسم نماییم، توزیع گوسی در آن نمایان می‌شود. با توجه به این توضیحات دو تصویر را بررسی می‌کنیم که در یکی از آن‌ها، تاری گوسی وجود دارد و در دیگری نه. شکل ۶-۳ تصویری را نشان می‌دهد که دارای تاری گوسی است.



شکل ۶-۳: تصویر WCE دارای تاری گوسی تاری

کافی است هیستوگرام این تصویر را رسم نماییم تا نشان دهیم تاری گوسی در آن وجود دارد. شکل ۷-۳ هیستوگرام تصویر ۶-۳ را نشان می‌دهد.



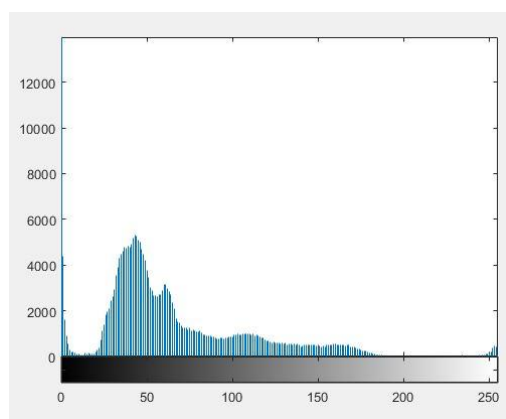
شکل ۷-۳: هیستوگرام شکل ۶-۳

همان‌طور که در شکل ۷-۳ نمایان است، این شکل توزیع گوسی دارد. حال تصویری را بررسی می‌کنیم که در آن تاری گوسی وجود ندارد. شکل ۸-۳ این تصویر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸: تصویر WCE فاقد تاری گوسی

با بررسی هیستوگرام این تصویر در شکل ۳-۹ می‌بینیم که توزیع گوسی در آن وجود ندارد.



شکل ۳-۹: هیستوگرام تصویر ۳-۸

همان‌طور که در شکل ۳-۹ دیده شد، تصویر ۳-۸ فاقد تاری گوسی است، چرا که در هیستوگرام آن، توزیع گوسی (شکل زنگوله‌ای) شکل دیده نمی‌شود. در این بخش دیدیم که با بررسی هیستوگرام یک تصویر، می‌توان متوجه شد که آیا تصویری دارای تاری گوسی هست یا خیر. حال که بررسی کردیم در بین تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، تاری گوسی وجود دارد، ابتدا بررسی می‌کنیم که میزان تاری به چه اندازه‌ای است و از چه روشی برای رفع تاری استفاده می‌کنیم.

۳-۳-۲ بررسی میزان تاری گوسی در تصاویر WCE

روش پیشنهادی پایان‌نامه به این صورت است که برای رفع تاری یک تصویر، ابتدا باید نوع و میزان آن تعیین شود. برای این منظور ابتدا بررسی و ثابت کردیم که در تصاویر WCE تاری گوسی وجود دارد، حال در این بخش می‌خواهیم با استفاده از معیارهای تاری، میزان تاری را بررسی کنیم.

معیارهای مختلفی برای سنجش میزان تاری وجود دارد. برای نمونه در مقاله‌های [۶۵-۶۲] معیارهای مختلفی برای تعیین میزان تاری و شدت خرابی تصویر معرفی شده است. هر یک از این معیارها می‌توانند در جایگاه و کاربرد خاص خود کارا و اثربخش باشند. هدف از این پایان‌نامه، ارائه یک روش جدید برای

تعیین میزان تاری نیست، بلکه با توجه به نیاز خود و مساله‌ای که با آن رو به رو هستیم از یکی از معیارهایی که تاکنون معرفی شده‌اند و برای مساله ما کارایی دارند، استفاده می‌کنیم. در تصویری که دچار تاری گوسی شده است، لبه‌ها از بین می‌رود. این تاری به صورت یکنواخت بر روی تصویر اثر می‌گذارد و به دلیل پایین بودن رزولوشن این تصاویر، معمولاً در بیشتر تصاویر WCE وجود دارد. شدت تاری در این تصاویر خیلی بالا نیست. با توجه به این توضیحات، معیاری که برای سنجش میزان تاری در تاری گوسی این تصاویر استفاده می‌کنیم، معیار معرفی شده در مقاله [۶۶] است. در این معیار نیازی به وجود تصویر سالم نیست، تنها تصویر تاری به عنوان ورودی گرفته می‌شود. ایده‌ای که در این معیار برای ارزیابی میزان تاری استفاده شده، این است که اگر تصویر مرجع تاری باشد و تاری دیگر آن را تاری کنیم، تصویری ایجاد می‌شود که از نظر بصری تفاوت زیادی با تصویر مرجع ندارد. در حالی که اگر تصویر مرجع تاری نباشد، تاری این تصویر سبب می‌شود که بسیاری از اطلاعات فرکانس بالای تصویر از بین بروند. در نتیجه تصویر حاصل با تصویر مرجع تفاوت بصری زیادی پیدا می‌کند. در این روش ابتدا تصویر مرجع در دو جهت افقی و عمودی تاری می‌شود. سپس گرادیان تصویر مرجع در دو جهت افقی و عمودی محاسبه می‌شود. سپس اختلاف بین گرادیان‌های تصویر مرجع و تاری شده محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از این معیار، عددی بین (۱۰ و ۱) به دست می‌آید. هر چه میزان تاری در تصویر بیشتر باشد، عدد به ۱ نزدیک‌تر خواهد بود. این روش توسط کرت و همکاران ارائه شده است. در ادامه این روش سنجش میزان تاری را با نام روش کرت و همکاران خواهیم شناخت.

برای بررسی بیشتر و استفاده از معیارهایی که اخیراً معرفی شده‌اند از معیار معرفی شده در مقاله [۶۷] نیز برای سنجش میزان تاری استفاده می‌کنیم. در این مقاله، یک معیار ارزیابی وضوح تصویر بدون مرجع ($NR-ISA^1$) جدیدی ارائه شده است که می‌تواند تصویر ورودی را به صورت کارآمد و دقیق نسبت به انواع مختلفی از تاری بودن تصویر پردازش کند. اساس این معیار مبتنی بر پاسخ سیستم بینایی انسان (HVS^2) است. در واقع، پاسخ HVS با استفاده از یک هسته FIR^3 متقارن به عنوان یک برهم‌نهی از هسته‌ها با چندین مرتبه مشتق، شبیه‌سازی شده که باعث افزایش مقادیر دامنه فرکانس بالا به روشی متوازن شبیه به پاسخ HVS می‌شود. تخمین عددی فیلتر HVS پیشنهادی با فیلتر MaxPol برای استخراج ویژگی تصویر امکان‌پذیر است که ارتباط نزدیکی با تاری دارند. در این مقاله، افت فرکانس تصویر طبیعی با استفاده از توزیع گوسی تعمیم داده شده (GG^4) مدل‌سازی شده است. شکل و مقیاس توزیع با پاسخ خرابی یا همان تاری تصاویر طبیعی در حوزه فرکانس مطابقت دارد. برای جبران این افت، پاسخ فرکانس معکوس GG به عنوان نماینده سنتز شده HVS در نظر گرفته می‌شود. برای تقریب عددی، این مدل با ترکیب خطی از فیلترهای FIR مشتق گرفته شده که راه‌حل عددی آن توسط کتابخانه فیلتر MaxPol ارائه شده است. این کتابخانه قادر به تولید هسته‌های مختلف FIR با ترتیب متفاوت مشتقات و فرکانس‌های قطع است. یک هسته واحد HVS-MaxPol شامل سه پارامتر است که

¹ non-reference (NR) image sharpness assessment

² Human visual system

³ Finite impulse response

⁴ Generalized gaussian distribution

باید تنظیم شود. دو پارامتر مقیاس و شکل هسته GG است که برای ساخت پاسخ HVS استفاده می‌شود و پارامتر سوم فرکانس قطع است. این پارامترها با استفاده از grid-search تعیین شده‌اند. در واقع grid-search بهترین هسته و بهترین دو هسته را انتخاب می‌کند. در این حالت، HVS-MAXPOL-1 از بهترین هسته واحد استفاده می‌کند و HVS-MAXPOL-2 از ترکیب بهترین دو هسته استفاده می‌کند. برای این تحقیق استفاده از HVS-MAXPOL-1 کفایت می‌کند. با استفاده از این معیار عددی به دست می‌آید که هر چه عدد کوچکتر باشد، نشان‌دهنده شدت تاری کمتر است. این روش توسط حسینی و همکاران ارائه شده است. در ادامه، این روش میزان سنجش تاری را با نام روش حسینی و همکاران خواهیم شناخت.

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، شکل ۳-۶ تصویری از تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم را نشان می‌دهد که در آن تاری گوسی وجود دارد. در جدول ۳-۱ میزان تاری را در این تصویر، با استفاده از این دو معیار معرفی شده، نشان می‌دهیم.

جدول ۳-۱: میزان تاری در شکل ۳-۶ با استفاده از معیارهای تاری

روش حسینی و همکاران	روش کِرت و همکاران	
۲.۷۷۱۲	۰.۴۱۷۵	میزان تاری شکل ۳-۶ با استفاده از معیارهای معرفی شده

همان‌طور که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است، میزان تاری با هر دو معیار میزان اندکی است. در روش کِرت و همکاران، برای تاری محدوده‌ای وجود دارد که مقایسه را آسان می‌کند.

۳-۳-۳ رفع تاری گوسی

همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، منظور از رفع تاری تصویر، بازیابی تصویر واضح از روی تصویر تاری است. تاثیر خرابی تاری گوسی بر روی تصاویر WCE، به این صورت است که این تاری معمولاً به صورت یکنواخت و سراسری بر روی تصویر تاثیر می‌گذارد. لبه‌ها و مناطق فرکانس بالای تصویر را از بین می‌برد. علاوه بر این، نکته قابل توجه در این تصاویر این است که شدت این نوع تاری در تصاویر WCE کم است و تصاویر دارای رزولوشن پایینی هستند. با توجه به این توضیحات، راه‌حل پیشنهادی در رفع تاری این نوع تاری، استفاده از ماسک غیرتیز^۱ است.

ماسک غیرتیز روشی برای بهسازی لبه‌های تصویر است. در واقع بهسازی تصویر با برجسته کردن لبه‌های تصویر انجام می‌شود، از این رو تصویری با کیفیت بهتر و تیزتر نسبت به تصویر اصلی به دست می‌آید. در این روش ابتدا تصویر توسط یکی از روش‌های هموارساز، هموار می‌شود. سپس تفاضل تصویر

¹ Unsharp masking

اصلی از تصویر هموارشده محاسبه می‌شود. به تصویر حاصل که شامل نواحی فرکانس بالای تصویر است، ماسک می‌گویند. سرانجام مطابق رابطه ۳-۳ ماسک به تصویر اولیه افزوده می‌شود تا تصویری با لبه‌های تیز به دست آید:

$$I_p = I(x, y) + k \times g(x, y), \quad (3-3)$$

به طوری که:

$$g(x, y) = I(x, y) - \bar{I}(x, y) \quad (4-3)$$

در روابط بالا I تصویر اولیه، g ماسک، $\bar{I}$ تصویر هموارشده با فیلتر میانگین و I_p تصویر پردازش‌شده حاصل است. همچنین پارامتر k یک مقدار ثابت است. وقتی این پارامتر برابر یک باشد، ماسک غیرتیز به دست می‌آید. اگر $k > 1$ باشد، این فرایند، فیلتر کردن تقویت بالا^۱ نامیده می‌شود. مقادیر $k < 1$ نقش ماسک غیرتیز را کم‌رنگ می‌کند [۶۸]. قابل ذکر است، ماسک حاصل از رابطه ۳-۴ ممکن است حاوی مقادیر منفی نیز باشد. از این رو مقدار پارامتر k باید به گونه‌ای انتخاب شود که مقدار منفی در تصویر I_p به وجود نیاید. اگر مقدار این پارامتر خیلی بزرگ انتخاب شود، امکان دارد که مقادیر منفی در تصویر به وجود آیند. مقادیر منفی در تصویر حاصل، منجر به هاله‌ای از تاریکی در اطراف لبه‌های تصویر می‌شوند که نتایج نامطلوبی تولید می‌کنند [۶۸]. در این پژوهش مقدار برای پارامتر k مقدار ۰.۲ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که این مقدار با انجام آزمایش‌های متعدد انتخاب شده است. نتایج رفع تاری گوسی در فصل چهارم نشان داده خواهد شد.

۴-۳ تاری حرکتی

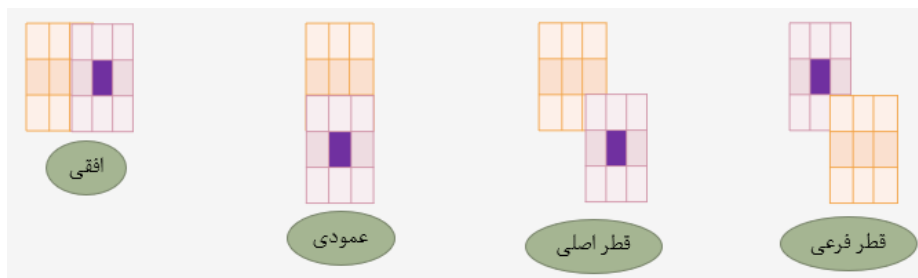
در این بخش، وجود تاری حرکتی را در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، بررسی می‌کنیم. تاری حرکتی به تاری گفته می‌شود که در آن با حرکت دوربین یا حرکت شیء تصویر، وضوح خود را از دست می‌دهد.

۴-۳-۱ بررسی و اثبات وجود تاری حرکتی در تصاویر WCE

تفاوت تاری حرکتی، با سایر تاری‌ها در این است که در این نوع تاری، لبه‌های تصویر در جهت تاری کشیده می‌شود. در واقع مفهوم جهت، تنها در این تاری معنا دارد. با توجه به این مفهوم برای اینکه تاری را در جهت‌های مختلف بررسی کنیم، نقشه تاری را در چهار جهت محاسبه می‌کنیم (تعریف و نحوه ایجاد نقشه تاری در بخش ۳-۲ آمده است). با مطالعه هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت، بررسی می‌کنیم که تاری حرکتی وجود دارد یا خیر. ایده استفاده از این روش از مقاله [۵۸] است. با توجه به مباحثی که در بخش ۳-۲ بیان شد، متوجه شدیم که در یک تصویر تار، هیستوگرام نقشه

¹ Highboosting

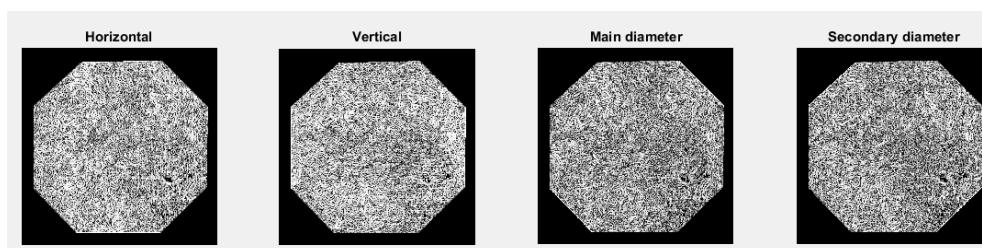
تاری که در جهت افقی به دست آمده، توزیع نمایی دارد. حال در این بخش می‌خواهیم این نکته را بررسی کنیم که در یک تصویر دارای تاری حرکتی، بیشتر در جهت تاری، هیستوگرام حالت نمایی خواهد داشت اما در تصویری که دارای تاری، غیر از تاری حرکتی است، در چهار جهت، هیستوگرام حالت نمایی دارد. برای به دست آوردن نقشه تاری در چهار جهت، از پنجره‌های همپوشان سه در سه به صورت شکل ۳-۱۰ استفاده می‌کنیم.



شکل ۳-۱۰: پنجره‌های همپوشان در چهار جهت اصلی

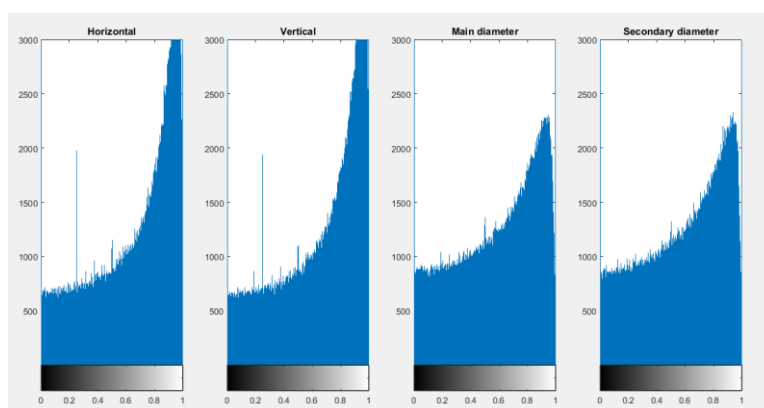
با پنجره‌های نشان داده شده در شکل ۳-۱۰ و جهت‌هایی که با استفاده از آن، تصویر را پیمایش می‌کنیم، ضریب همبستگی پیرسون را برای هر دو پنجره محاسبه و در پیکسل مرکزی پنجره دوم، این مقدار را ذخیره می‌کنیم. در شکل ۳-۱۰ این پیکسل با رنگ تیره نشان داده شده است. با این کار، نقشه تاری در چهار جهت به دست می‌آید.

برای بررسی این ایده، ابتدا تصویری را در نظر می‌گیریم که در آن تاری حرکتی وجود ندارد. این تصویر در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش سوم این فصل بیان شد، این تصویر دارای تاری گوسی است. شکل ۳-۱۱ نقشه تاری به دست آمده در چهار جهت را برای این تصویر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱: نقشه‌های همبستگی به دست آمده از شکل ۳-۶. از چپ به راست، نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.

همان‌طور که در شکل ۳-۱۱ دیده می‌شود، هر چهار نقشه تاری از لحاظ روشنایی شبیه به یکدیگر هستند. حال هیستوگرام این نقشه‌های تاری را در شکل ۳-۱۲ مشاهده می‌کنیم. با توجه به این شکل متوجه می‌شویم که تصویری که دارای تاری گوسی است و تاری حرکتی در آن وجود ندارد، هیستوگرام نقشه‌های تاری در هر چهار جهت به صورت نمایی رشد کرده است. این امر اثباتی بر این ادعا است که در تصویر ذکر شده، تاری حرکتی وجود ندارد، چرا که تنها در تاری حرکتی جهت تاری معنا دارد.



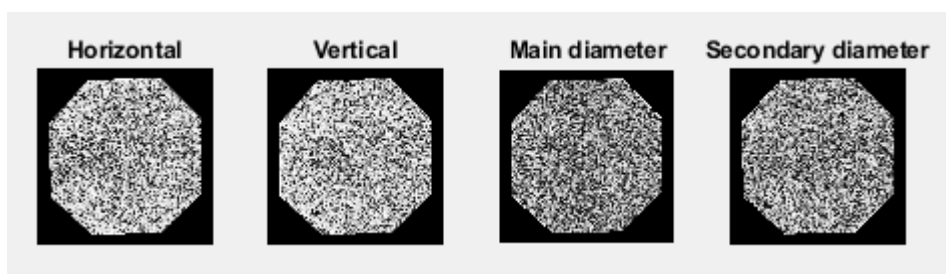
شکل ۳-۱۲: هیستوگرام نقشه‌های تاری شکل ۳-۱۱. از چپ به راست، هیستوگرام نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.

حال تصویری که دارای تاری حرکتی است را بررسی می‌کنیم. شکل ۳-۱۳ این تصویر را نشان می‌دهد.

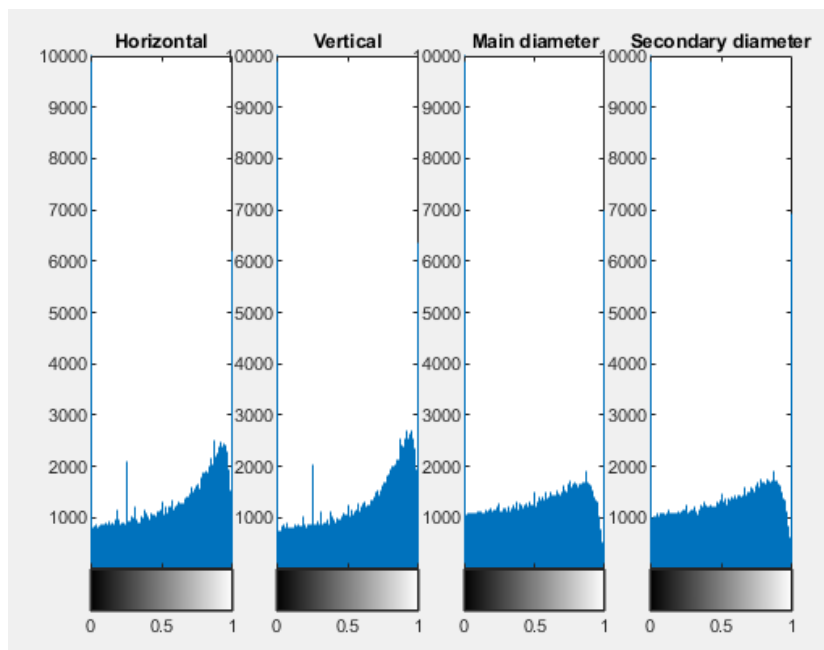


شکل ۳-۱۳: تصویر دارای تاری حرکتی

شکل‌های ۳-۱۴ و ۳-۱۵ به ترتیب نقشه‌های همبستگی و هیستوگرام‌های آن را برای شکل ۳-۱۳ نشان می‌دهد. با مشاهده شکل ۳-۱۴ که نقشه‌های تاری را نشان می‌دهد، می‌بینیم در جهت افقی، روشنایی بیشتر از دیگر نقشه‌ها است. این روشنایی بیشتر را در هیستوگرام آن‌ها در شکل ۳-۱۵ نیز می‌بینیم. در واقع این دو شکل اثبات‌کننده این ادعا است که در تاری حرکتی، لبه‌های تاری در جهت تاری کشیده می‌شود.



شکل ۳-۱۴: نقشه‌های همبستگی به دست آمده از شکل ۳-۱۳. از چپ به راست، نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.



شکل ۳-۱۵: هیستوگرام نقشه‌های تاری شکل ۳-۱۴. از چپ به راست، هیستوگرام نقشه همبستگی افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی.

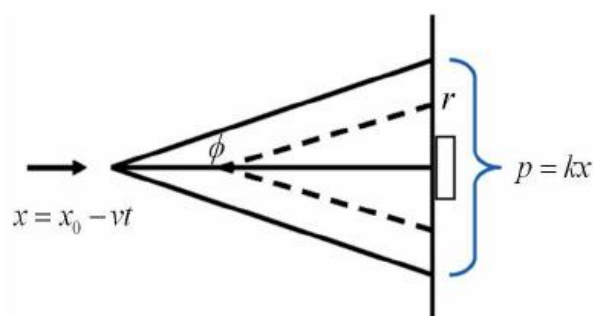
همانطور که در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است در هیستوگرام این شکل، بیشتر در جهت عمودی حالت نمایی وجود دارد. در واقع شکل ۳-۱۵ و ۳-۱۲ تفاوت‌های زیادی با هم دارند که نشان‌دهنده متفاوت بودن نوع تاری آن‌ها است. تصاویر دیگری نیز وجود دارند که در آن‌ها شدت تاری حرکتی بیشتر است، اما از آنجایی که نوع تاری حرکتی در این تصاویر، از نوع خطی نیست، در هیستوگرام این تصاویر، حالت نمایی تنها در یک جهت وجود ندارد. دلیل دیگر اینکه، تاری حرکتی انواع مختلفی دارد. در تصاویر WCE تاری حرکتی به دلیل چرخش‌های دائمی دوربین و یا حرکت سریع دوربین به سمت اجزای دستگاه گوارش ایجاد می‌شود. در بخش‌های بعدی انواع تاری حرکتی در این تصاویر به صورت دقیق‌تر بررسی می‌شود. شکل ۳-۱۶ تعدادی از این تصاویر را از پایگاه داده مورد استفاده نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶: تعدادی از تصاویر WCE دارای تاری حرکتی غیرخطی

۳-۵ تاری شعاعی

تاری شعاعی زمانی ایجاد می‌شود که در یک تصویر یا ویدئو، دستگاه تصویربرداری به سرعت رو به جلو نزدیک شود. در این تاری، انگار اشعه‌هایی از یک نقطه از تصویر به سمت خارج رهسپار می‌شوند. تاری شعاعی یک تصویر (که گاهی اوقات تاری بزرگنمایی نامیده می‌شود) یک مساله چالش برانگیز است زیرا از نوع تاری shift-variant است. در این تاری هنگامی که از مرکز تصویر به سمت خارج حرکت می‌کنیم، طول تاری با فاصله از مرکز به صورت خطی افزایش می‌یابد. این تاری می‌تواند تحت شرایط خاصی رخ دهد. تاری شعاعی زمانی ایجاد می‌شود که دستگاه تصویربرداری به سرعت به جسم مورد نظر نزدیک شود و یک عکس (یا فیلم) گرفته شود [۶۹]. شکل ۳-۱۷ منشأ و مدل ریاضی این تاری را نشان می‌دهد. در این شکل متغیر x فاصله افقی از محل قرارگیری دوربین تا جسم مورد نظر را نشان می‌دهد و v سرعت دوربین است. مستطیل توخالی شیء مورد نظر است و p را می‌توان به عنوان فاصله عمودی در صفحه جسم مشاهده‌شده توسط دوربین مشاهده کرد. با افزایش زمان t و نزدیک شدن دوربین به جسم، p کوچکتر می‌شود در حالی که اندازه جسم ثابت می‌ماند. این روند مقیاس‌گذاری شیء را در صفحه تصویر دوربین وابسته به زمان ایجاد می‌کند. این عامل مقیاس با k نمایش داده می‌شود. اگر زمان یا سرعت نوردهی نسبت به فاصله قابل توجه باشد، تصویر به عنوان مقیاسی و ضبط‌شده توسط دوربین، تاری جسم را منعکس می‌کند.



شکل ۳-۱۷: منشأ و مدل ریاضی تاری شعاعی [۶۹]

در مقاله [۷۰] تعریف دیگری از تاری شعاعی آمده است. با توجه به توضیحات این مقاله، تاری در تصویر یا به دلیل حرکت افقی و یا حرکت عمودی دوربین است. به تاری که در اثر حرکت افقی دوربین ایجاد می‌شود، تاری حرکتی^۱ و به تاری ایجاد شده در اثر حرکت عمودی دوربین، تاری شعاعی گفته می‌شود. در مقاله [۷۱] گفته شده که تصویربرداری با تاری شعاعی اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که دوربین هنگام حرکت با سرعت بالا به سمت یک هدف مورد نظر، تصویری بدست می‌آورد. هنگامی که دوربین با حامل خود با سرعت بالا به سمت هدف حرکت می‌کند، تصویربرداری هدف مربوطه توسط تاری شعاعی تخریب می‌شود، در حالی که طول تاری با فاصله از مرکز تا لبه به صورت خطی افزایش می‌یابد. تاری شعاعی نه تنها کیفیت تصویربرداری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه بر شناسایی و ردیابی هدف

¹ Motion blur

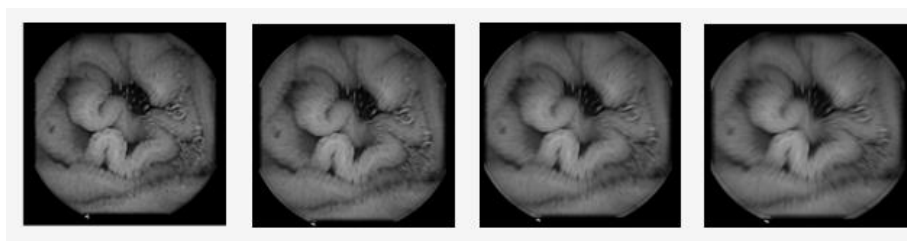
نیز تأثیر می‌گذارد. در حقیقت، تاری شعاعی مورد خاصی از تاری حرکتی نوع متنوع است. از بین بردن این تاری حرکتی یک مشکل چالش برانگیز در کاربردهای عملی است. با توجه به این توضیحات و شرایط پیچیده در زمان تصویربرداری با استفاده از کپسول آندوسکوپی بیسیم، ممکن است این تاری در تصاویر WCE وجود داشته باشد. برای بررسی دقیق‌تر این احتمال و اثبات وجود این نوع تاری در تصاویر WCE ابتدا یک شبیه‌سازی از این نوع تاری در تصاویر را ایجاد می‌کنیم. برای ایجاد این شبیه‌سازی، تصویری را انتخاب می‌کنیم که از بین باقی تصاویر پایگاه داده، بیشترین وضوح و کمترین تاری را داشته باشد. شکل ۳-۱۸ این تصویر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۸: تصویر WCE دارای بیشترین وضوح

برای ایجاد تاری شعاعی بر روی این تصویر، ابتدا تصویر را از حالت رنگی به خاکستری تبدیل می‌کنیم و محدوده تغییرات مقادیر روشنی را بین ۰ و ۱ قرار می‌دهیم (double کردن تصویر). سپس آن را به فضای قطبی^۱ می‌بریم. در فضای قطبی، عملیات تاری را بر روی تصویر اعمال می‌کنیم (عملیات تاری در ادامه توضیح داده خواهد شد). سپس تصویر را به فضای کارترین برمی‌گردانیم. با این کار، تصویری دارای تاری شعاعی خواهیم داشت.

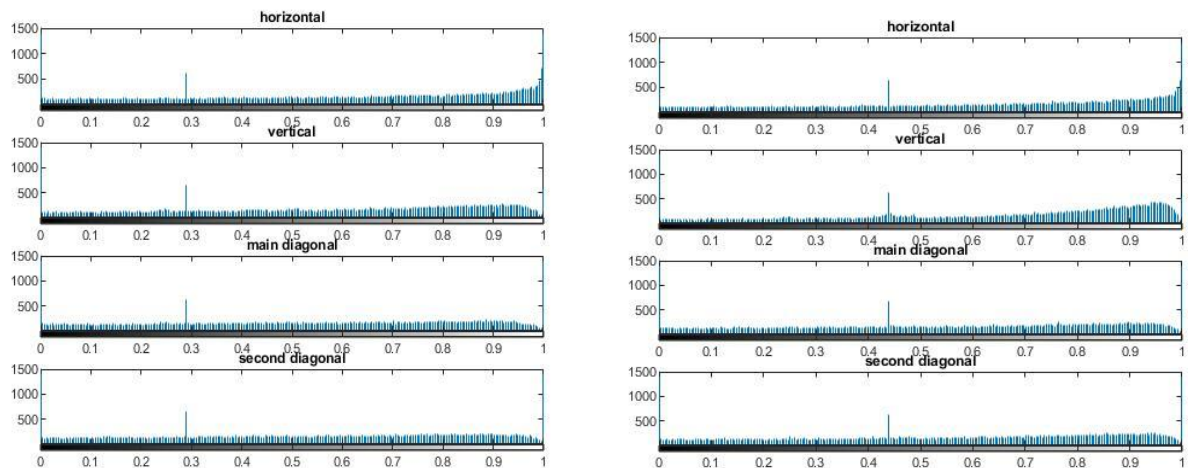
عملیات تاری به این صورت است که با استفاده از یک پنجره یک بعدی، تصویر را پیمایش می‌کنیم. میانگین مقادیر درون هر پنجره را محاسبه و در خانه اول پنجره ذخیره می‌کنیم. برای ایجاد تاری شعاعی، باید این پنجره را به صورت عمودی بر روی تصویر مورد نظر حرکت دهیم. برای تغییر شدت تاری شعاعی، کافی است، طول پنجره تاری را بر حسب پیکسل بیشتر نماییم. شکل ۳-۱۹ تاری شعاعی ایجاد شده با شدت‌های مختلف برای شکل ۳-۱۸ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۹: شدت‌های مختلف تاری شعاعی. تصاویر از چپ به راست دارای طول تاری ۲، ۳، ۴ و ۵ بر حسب پیکسل هستند.

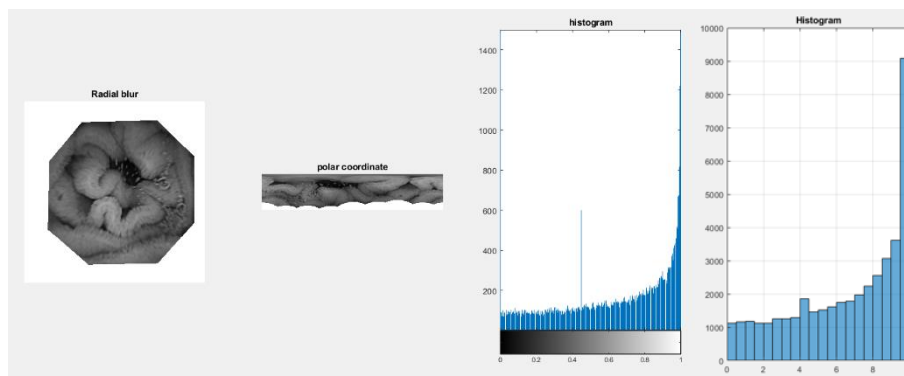
¹ Polar coordinate

برای بررسی و اثبات وجود این نوع تاری در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، از این تصاویر شبیه‌سازی شده و ساختگی استفاده می‌کنیم. به این صورت که در این تصاویر ساختگی، به دنبال الگوی تکراری خواهیم گشت. با توجه به مفهوم تاری از نقشه تاری استفاده می‌کنیم. شکل ۳-۲۰ هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت را برای تعدادی از تصاویر شکل ۳-۱۹ نشان می‌دهد.

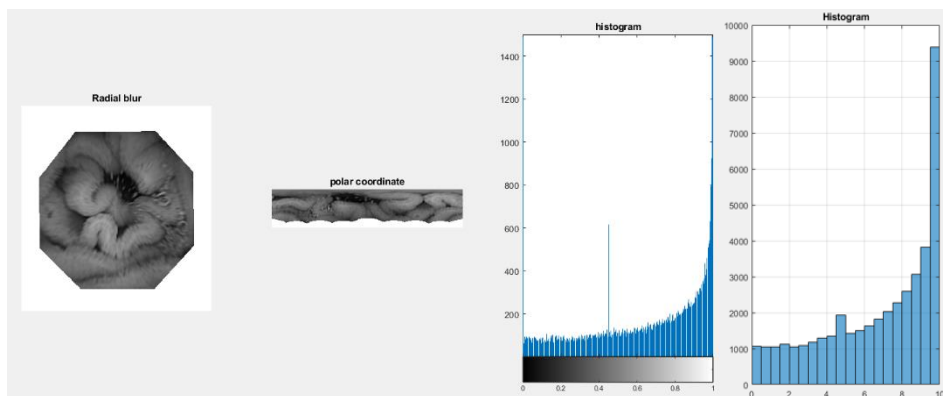


شکل ۳-۲۰: هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت. برای تصاویر دارای تاری شعاعی با طول پنجره ۳ و ۵

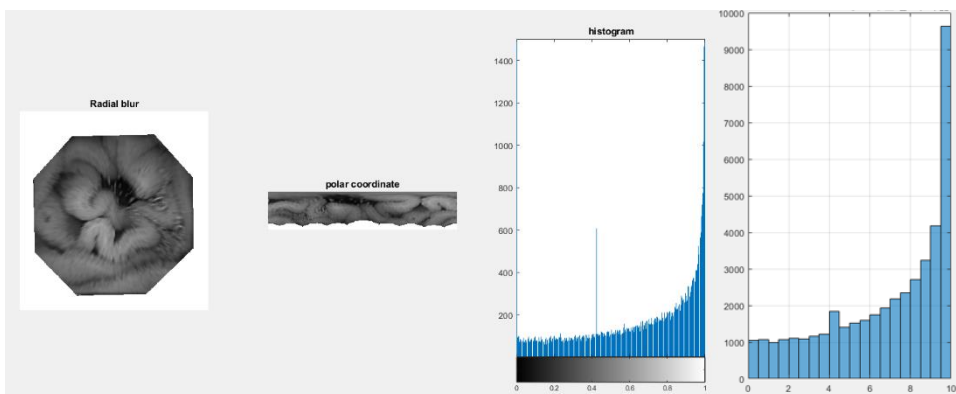
همان‌طور که در شکل ۳-۲۰ دیده می‌شود، بیشترین تغییرات، در هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی رخ داده است (ردیف اول در دو تصویر شکل ۳-۲۰). به همین دلیل هیستوگرام نقشه تاری افقی را با دقت بیشتری بررسی می‌کنیم. شکل ۳-۲۱ تصویر دارای تاری شعاعی را در فضای قطبی و کارتزین و همچنین هیستوگرام نقشه تاری افقی این تصویر را نشان می‌دهد. در شکل ۳-۲۱ برای بررسی دقیق‌تر هیستوگرام، هیستوگرام با ۱۰ بین در سمت راست‌ترین قسمت رسم شده است. برای پیدا کردن الگوی مورد نظر، تصاویر بیشتری را در شکل ۳-۲۲ بررسی می‌کنیم.



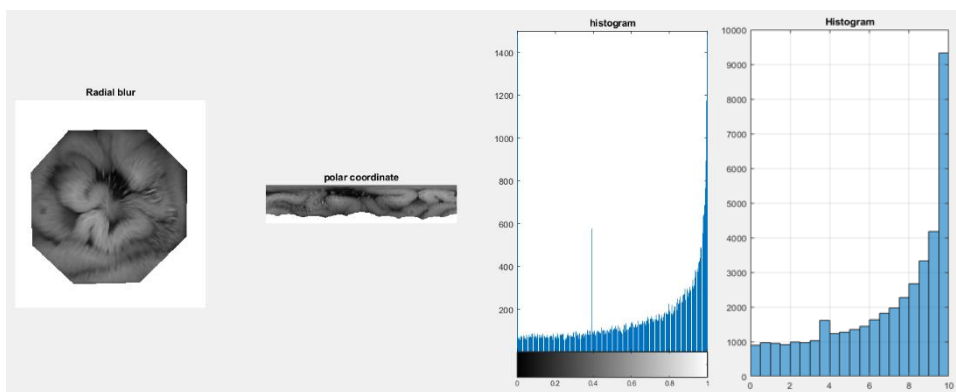
شکل ۳-۲۱: تاری شعاعی با طول پنجره ۲. تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می‌دهد.



الف) تاری شعاعی با طول پنجره ۳



ب) تاری شعاعی با طول پنجره ۴



پ) تاری شعاعی با طول پنجره ۵

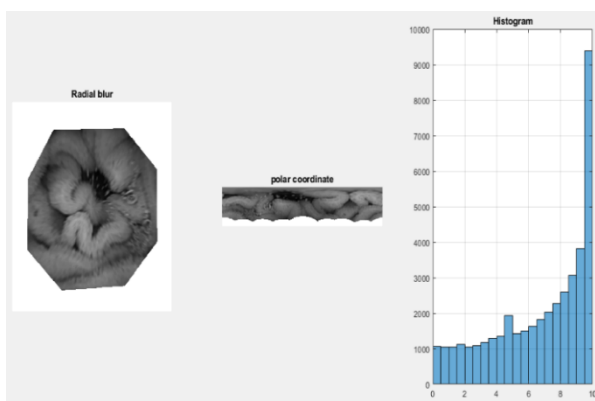
شکل ۳-۲۲: در هر سه قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می‌دهد.

با مشاهده هیستوگرام نقشه تاری در شکل ۳-۲۲ الگوی تکرارشونده در شدت‌های مختلف تاری، رشد صعودی و حالت تقریباً هلالی شکل هیستوگرام است. در هیستوگرام با ده بین، جزئیات بیشتری دیده می‌شود. به عنوان مثال در این هیستوگرام می‌بینیم که رشد صعودی مقادیر بین‌ها به کندی صورت

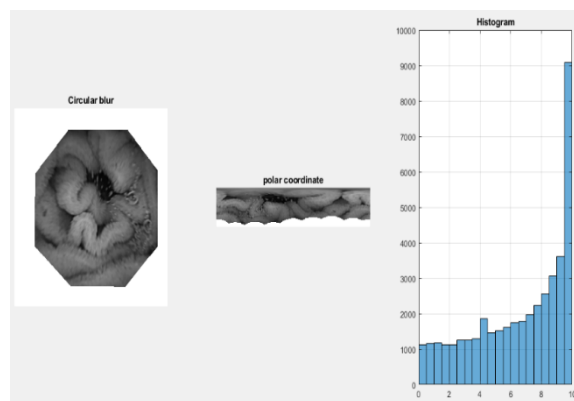
می‌پذیرد. با استفاده از این الگو، این نوع تاری را در تصاویر اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم پیدا می‌کنیم.

۳-۵-۱ میزان تاری شعاعی

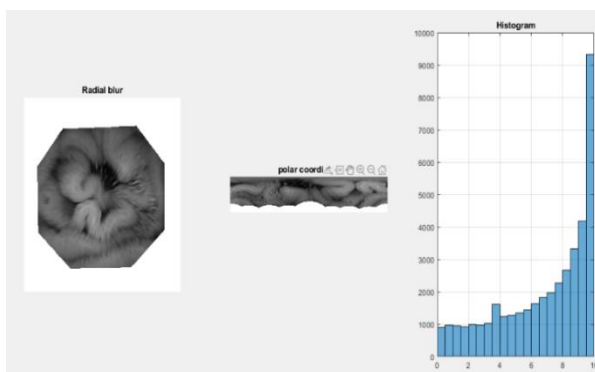
برای بررسی میزان تاری شعاعی در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، دو روش پیشنهاد می‌شود. روش اول، استفاده از سطوح تاری است. برای تعریف سطوح تاری، از تصاویر شبیه‌سازی شده در بخش‌های قبل استفاده می‌کنیم. برای تاری، پنج سطح تاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه در فرایند ایجاد تاری شعاعی در تصاویر، از مفهومی به نام پنجره تاری استفاده کردیم، پارامتری که سطح تاری را تعیین می‌کند، طول این پنجره تاری خواهد بود. چرا که با افزایش طول پنجره تاری، میزان تاری افزایش پیدا می‌کند. طول پنجره تاری ۲ تا ۶ پیکسل، سطوح تاری خیلی کم تا خیلی زیاد را نشان می‌دهد. برای بررسی دقیق هیستوگرام نقشه تاری، از هیستوگرام با ده انبارک استفاده می‌کنیم. شکل ۳-۲۳ تصاویر شبیه‌سازی شده در سطوح تاری مختلف را نشان می‌دهد.



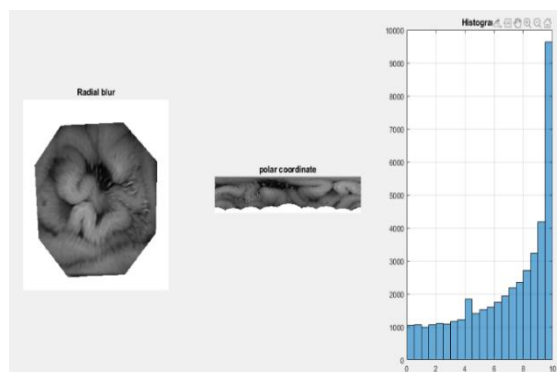
ب) سطح تاری کم



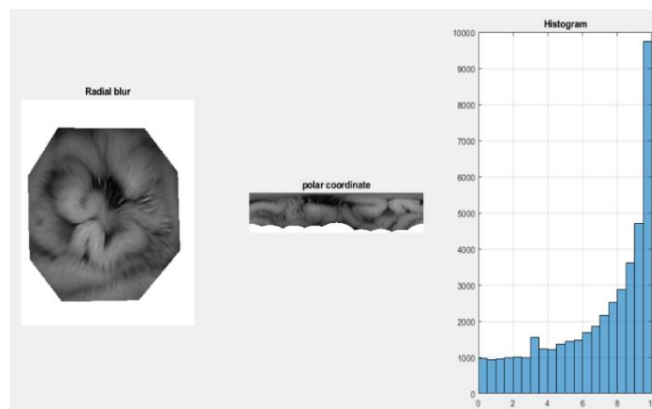
الف) سطح تاری خیلی کم



ت) سطح تاری زیاد



پ) سطح تاری متوسط



ث) سطح تاری خیلی زیاد

شکل ۳-۲۳: سطوح تاری مختلف برای تاری شعاعی
در تصاویر WCE

با توجه به شکل ۳-۲۳ متوجه می‌شویم که هر چه سطح تاری بیشتر می‌شود، اختلاف مقدار بین اول و بین دهم در هیستوگرام نقشه تاری بیشتر می‌شود. روش دوم برای تعیین میزان تاری استفاده از معیار معرفی شده در مقاله [۶۷] است. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله، یک معیار ارزیابی وضوح تصویر بدون مرجع ارائه شده است که می‌تواند تصویر ورودی را به صورت کارآمد و دقیق نسبت به انواع مختلفی از تاری بودن تصویر پردازش کند. سازوکار این معیار در بخش ۳-۲-۳ به طور مفصل توضیح داده شد. نتایج حاصل در فصل چهارم بررسی خواهد شد.

۳-۵-۲ رفع تاری شعاعی

در این بخش به رفع تاری تصاویر دارای تاری شعاعی خواهیم پرداخت. فیلتر وینر به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حل مسئله رفع تاری بسیار موثر است [۷۲ و ۷۳]. در اینجا نیز روش پیشنهادی، استفاده از فیلتر وینر برای عملیات رفع تاری است. روش فیلتر وینر تعمیم‌یافته روش فیلترگیری معکوس است. در روش فیلترگیری معکوس گفته می‌شود که به طور کلی برای انجام رفع تاری یک تصویر، باید عکس عمل تاری انجام شود. با توجه به مفهوم تاری، توضیح داده شد که در یک تصویر تاری، مقدار هر پیکسل، از ترکیبی از مقدارهای پیکسل‌های همسایه‌اش به دست می‌آید. با این توضیح، می‌توان گفت که مقدار هر پیکسل در یک تصویر تاری، برابر با حاصل ضرب داخلی یک ماتریس (همان پنجره تاری در تصاویر WCE) با تکه‌ای از تصویر واضح به مرکزیت پیکسل مربوطه است. به زبان ریاضی می‌توان گفت، تصویر تاری در اثر پیچش^۱ یک تصویر واضح با ماتریس تاری مطابق رابطه ۳-۵ ایجاد می‌شود:

$$g = a * f \quad (3-5)$$

¹ Convolution

در رابطه فوق، f تصویر واضح و g تصویر تار است. ماتریس a که نشان‌دهنده پارامترهای تاری است (مانند طول پنجره تاری و زاویه تاری) هسته تاری نام دارد. در رفع تاری تصویر به روش فیلترگیری معکوس، همان فرایند دیکانولوشن (عکس عمل پیچش) صورت می‌گیرد. از آنجایی که می‌توان پیچش در حوزه مکان را به ضرب در حوزه فرکانس تبدیل کرد، در این روش، از حوزه فرکانس استفاده می‌شود. بنابراین رابطه ۳-۵ را در حوزه فرکانس به صورت رابطه ۳-۶ می‌توان نوشت:

$$G(v, w) = A(v, w)F(v, w) \quad (۳-۶)$$

در این رابطه، $G(v, w)$ ، $A(v, w)$ و $F(v, w)$ به ترتیب تبدیل فوریه تصویر تار، هسته تاری و تصویر واضح است. ساده‌ترین روش برای به دست آوردن F (تصویر بازیابی‌شده در حوزه فرکانس) استفاده از رابطه ۳-۷ است:

$$F(v, w) = \frac{G(v, w)}{A(v, w)} \quad (۳-۷)$$

رابطه ۳-۸ فیلترگیری معکوس را برای بازسازی تصویر واضح از روی تصویر تار بیان می‌کند:

$$f(v, w) = f^{-1}\left(\frac{G(v, w)}{A(v, w)}\right) \quad (۳-۸)$$

در رابطه فوق، نماد f^{-1} معکوس تبدیل فوریه است. به دلیل اینکه فرکانس‌های زیادی هستند که به ازای آن‌ها $A(v, w)$ برابر با صفر یا مقدار کوچک است، در نتیجه تصویر f بازیابی‌شده، تصویر پایداری نیست (یعنی تصویر بی‌کیفیتی ایجاد می‌شود). از طرفی زمانی که میزان نویز قابل توجه باشد، عمل بازیابی تصویر، بسیار به نویز حساس خواهد بود. بنابراین روش فیلتر وینر مطرح شده است. این روش، تغییر یافته روش فیلترگیری معکوس است که در آن، برای کاهش اثر نویز در تصویر بازسازی شده، رابطه ۳-۸ به صورت رابطه ۳-۹ بازنویسی می‌شود:

$$f(v, w) = f^{-1}\left(\frac{A^2(v, w)}{A^2(v, w) + k} \cdot \frac{G(v, w)}{A(v, w)}\right) \quad (۳-۹)$$

در رابطه فوق، k یک مقدار ثابت است. هر چه مقدار k بزرگتر باشد میزان تضعیف نویز بیشتر و میزان رفع تاری کمتر است. در مقابل، هر چه مقدار k کوچک‌تر باشد، میزان تضعیف نویز کمتر و میزان رفع تاری بیشتر است. در این پایان‌نامه و متناسب با این تصاویر، میزان k با سعی و خطا مقدار ۰.۱ در نظر گرفته شده است.

با توجه به توضیحات بالا، متوجه شدیم برای استفاده از روش فیلتر وینر باید هسته تاری تخمین زده شود. با داشتن پارامترهای تاری می‌توان هسته تاری را ایجاد کرد. در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم برای تخمین هسته تاری از دو پارامتر طول پنجره تاری و زاویه تاری استفاده می‌کنیم. در بخش قبل برای بررسی میزان تاری، سطوح مختلف تاری تعریف شدند. در هر سطح تاری از طول مشخصی برای پنجره تاری استفاده شده بود. برای شدت‌های مختلف طول پنجره تاری ۲ تا ۶، مورد استفاده قرار گرفته بود که برای تخمین هسته تاری، با توجه به میزان تاری از این اعداد استفاده می‌کنیم. زاویه تاری

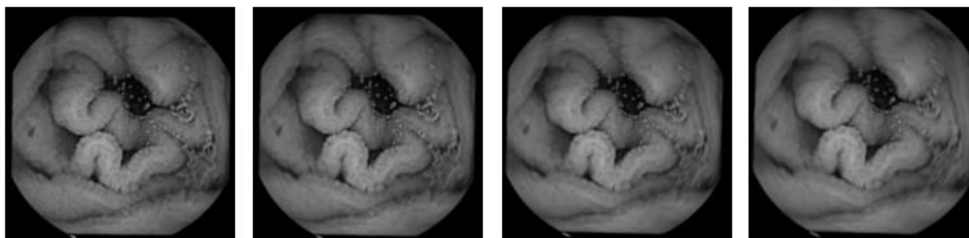
نیز با توجه به فرایند ساخت تار شاعی تعیین می‌شود. با توجه به اینکه هنگام ایجاد تصاویر ساختگی دارای تار شاعی، توضیح داده شد که پنجره تار به صورت عمودی است، زاویه تار را در این تصاویر ۹۰ درجه قرار می‌دهیم. لازم به ذکر است که با توجه به ماهیت تار شاعی در تصاویر، این اعمال بر روی تصویر در فضای قطبی اجرا خواهد شد. نتایج حاصل در فصل چهارم بررسی خواهد شد.

۳-۶ تار دایره‌ای

تار دایره‌ای نیز نوعی تار حرکتی است که فرایند ایجاد شدن آن بسیار نزدیک به تار شاعی است و تنها در یک حالت کوچک متفاوت است. در واقع، تار دایره‌ای تار است که در اثر حرکت دورانی دوربینی که به جلو حرکت می‌کند ایجاد می‌شود. این تار به میزان اندکی در تصاویر پایگاه‌داده کپسول آندوسکوپی بیسیم وجود دارد. مانند بخش قبل برای بررسی و اثبات وجود این نوع تار در تصویر ابتدا تصاویری را شبیه‌سازی می‌کنیم که دارای این نوع تار هستند.

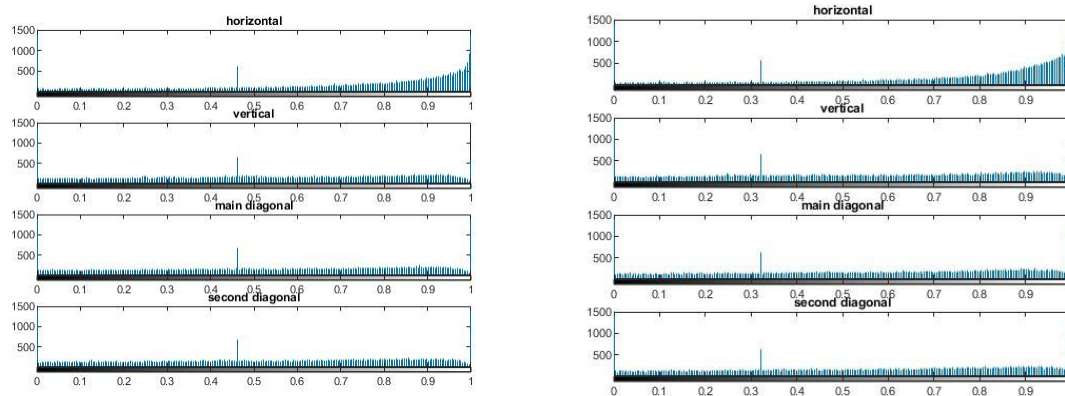
همانند بخش قبل، برای ایجاد این شبیه‌سازی، تصویری را انتخاب می‌کنیم که از بین باقی تصاویر موجود در پایگاه‌داده، بیشترین وضوح و کمترین تار را داشته باشد. تصویر مورد استفاده همان شکل ۳-۱۸ در بخش قبل است. برای ایجاد تار دایره‌ای بر روی این تصویر، ابتدا تصویر را از حالت رنگی به خاکستری تبدیل می‌کنیم و محدوده تغییرات مقادیر روشنی را بین ۰ و ۱ قرار می‌دهیم (double کردن تصویر). سپس آن را به فضای قطبی می‌بریم. در فضای قطبی، عملیات تار را بر روی تصویر اعمال می‌کنیم (عملیات تار در ادامه توضیح داده خواهد شد). سپس تصویر را به فضای کارتزین برمی‌گردانیم. با این کار، تصویری دارای تار دایره‌ای خواهیم داشت.

عملیات تار به این صورت است که با استفاده از یک پنجره یک بعدی، تصویر را پیمایش می‌کنیم، میانگین مقادیر درون هر پنجره را محاسبه و در خانه اول پنجره ذخیره می‌کنیم. برای ایجاد تار دایره‌ای، باید این پنجره را به صورت افقی بر روی تصویر مورد نظر حرکت دهیم. این تنها تفاوت بین ایجاد شبیه‌سازی تار دایره‌ای با تار شاعی است. برای تغییر شدت تار دایره‌ای، کافی است، طول پنجره تار را بیشتر نماییم. شکل ۳-۲۴ تار دایره‌ای ایجادشده با شدت‌های مختلف برای شکل ۳-۱۸ را نشان می‌دهد.



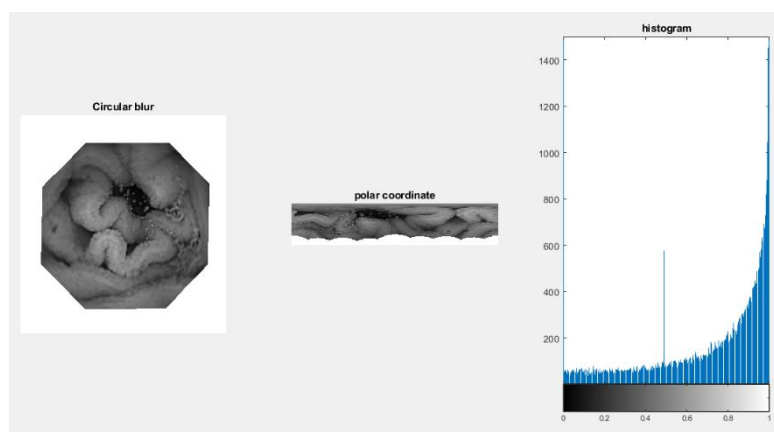
شکل ۳-۲۴: شدت‌های مختلف تار دایره‌ای. تصاویر از چپ به راست دارای طول تار ۲، ۳، ۴ و ۵ بر حسب پیکسل هستند.

برای بررسی و اثبات وجود این نوع تاری در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، از تصاویر شبیه‌سازی شده و ساختگی که در بخش قبل بیان کردیم استفاده می‌کنیم. به این صورت که در این تصاویر ساختگی، به دنبال الگوی تکراری خواهیم گشت. با توجه به مفهوم تاری از نقشه تاری استفاده می‌کنیم. شکل ۳-۲۵ هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت را برای تعدادی از تصاویر شکل ۳-۲۴ نشان می‌دهد.

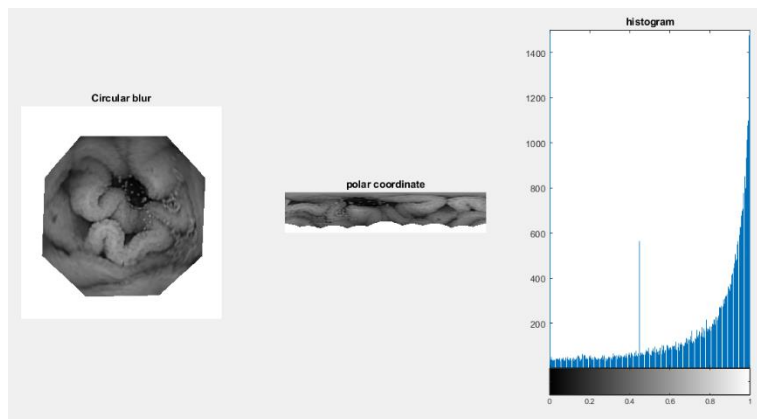


شکل ۳-۲۵: هیستوگرام نقشه تاری در چهار جهت. برای تصاویر دارای تاری دایره‌ای با طول پنجره ۳ و ۴

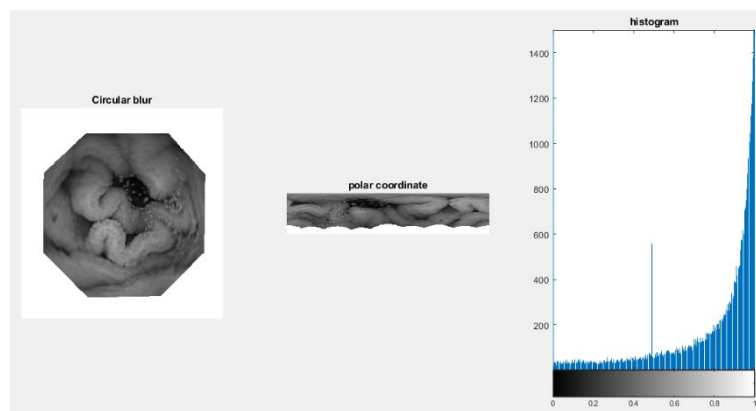
همان‌طور که در شکل ۳-۲۵ دیده می‌شود، بیشترین تغییرات، در هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی رخ داده است. به همین دلیل هیستوگرام نقشه تاری افقی را با دقت بیشتری بررسی می‌کنیم. شکل ۳-۲۶ تصاویر دارای تاری دایره‌ای را در فضای قطبی و کارتزین و همچنین هیستوگرام نقشه تاری افقی این تصاویر را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها تصویر سمت چپ هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی، تصویر وسط تصویر در فضای قطبی و تصویر سمت چپ تصویر دارای تاری دایره‌ای است.



الف) تاری شعاعی با طول پنجره ۳



ب) تاری شعاعی با طول پنجره ۴



پ) تاری شعاعی با طول پنجره ۵

شکل ۳-۲۶: در هر سه قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری را نشان می-دهد.

با بررسی و مقایسه شکل‌های بالا، متوجه الگوی تکرارشونده در هیستوگرام نقشه تاری در تصاویر دارای تاری دایره‌ای در شدت‌های مختلف خواهیم شد. در این هیستوگرام‌ها تغییرات هیستوگرام به صورت صعودی با شیب زیاد است و حالت هلالی شکل آن نیز نسبت به تاری شعاعی بیشتر است. با مقایسه هیستوگرام نقشه تاری تصاویر دارای تاری شعاعی و تصاویر دارای تاری دایره‌ای متوجه نکات زیر می-شویم:

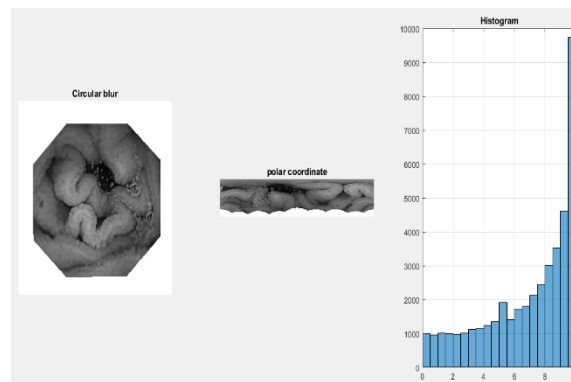
- در تاری دایره‌ای شکل هیستوگرام به صورت هلالی شکل است و در تاری شعاعی به صورت صعودی که با رشد کم اما ثابت در حال افزایش است.
- در تاری دایره‌ای شیب هیستوگرام بسیار بیشتر از شیب صعودی در تاری شعاعی است و در انتهای هیستوگرام یک حالت هلالی شکل به خود می‌گیرد.

- در تاری دایره‌ای مقدار انبارک‌های اولیه از مقدار خیلی کم شروع می‌شوند و در انتها افزایش چشم‌گیری دارد اما در تاری شعاعی اینگونه نیست. به عبارت دیگر اختلاف بین مقدار فراوانی در انبارک آخر و اول در تاری دایره‌ای خیلی بیشتر از تاری شعاعی است.

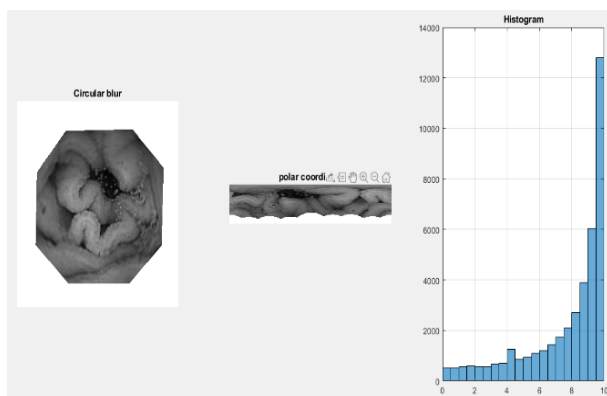
تصاویر اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم در فصل چهارم بررسی خواهند شد.

۳-۶-۱ میزان تاری دایره‌ای

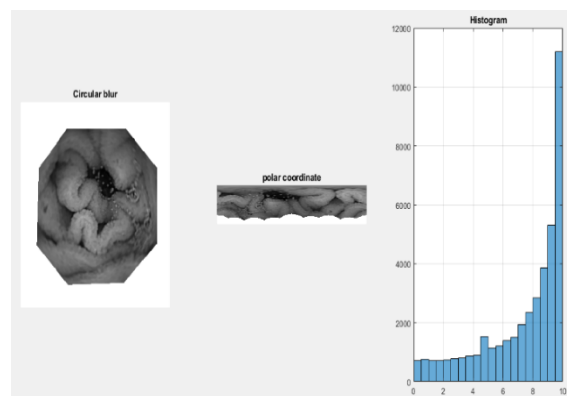
همانند تاری شعاعی برای بررسی میزان تاری دایره‌ای در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، دو روش پیشنهاد می‌شود. روش اول، استفاده از سطوح تاری است. برای تعریف سطوح تاری، از تصاویر شبیه-سازی شده استفاده می‌کنیم. برای تاری، پنج سطح تاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه در فرایند ایجاد تاری دایره‌ای در تصاویر، از مفهومی به نام پنجره تاری استفاده کردیم، پارامتری که سطح تاری را تعیین می‌کند، طول این پنجره تاری خواهد بود. چرا که با افزایش طول پنجره تاری، میزان تاری افزایش پیدا می‌کند. طول پنجره تاری ۲ تا ۶، سطوح تاری خیلی کم تا خیلی زیاد را تشکیل می‌دهد. برای بررسی دقیق هیستوگرام نقشه تاری، از هیستوگرام با ده انبارک استفاده می‌کنیم. شکل ۳-۲۷ تصاویر شبیه‌سازی شده در سطوح تاری مختلف را نشان می‌دهد.



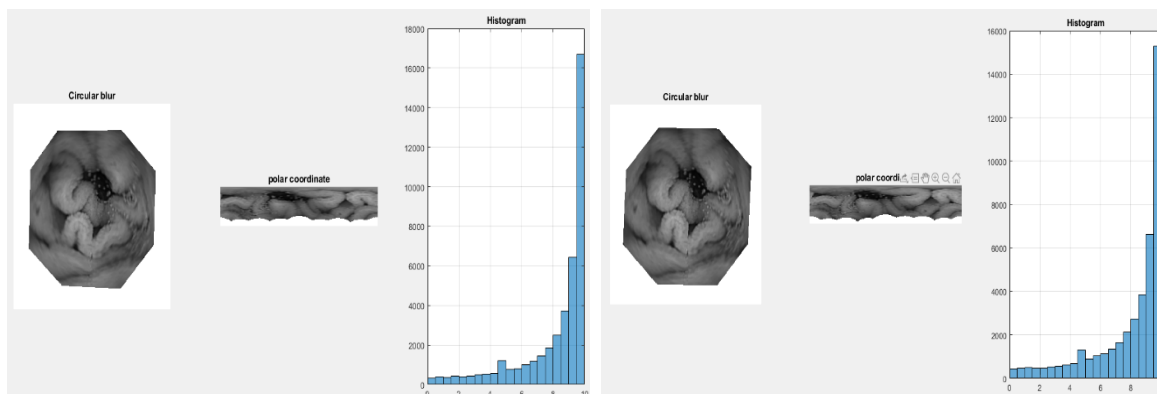
الف) سطح تاری خیلی کم



پ) سطح تاری متوسط



ب) سطح تاری کم



ث) سطح تاری خیلی زیاد

ت) سطح تاری زیاد

شکل ۳-۲۷: سطوح تاری مختلف برای تاری دایره‌ای در تصاویر WCE

روش دوم برای تعیین میزان تاری استفاده از معیار معرفی شده در مقاله [۶۷] است. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله، یک معیار ارزیابی وضوح تصویر بدون مرجع ارائه شده است که می‌تواند تصویر ورودی را به صورت کارآمد و دقیق نسبت به انواع مختلفی از تاری بودن تصویر پردازش کند. سازوکار این معیار در بخش ۳-۳ به طور مفصل توضیح داده شد. نتایج حاصل در فصل چهارم بررسی خواهد شد.

۳-۶-۲ رفع تاری دایره‌ای

در این بخش به رفع تاری تصاویر دارای تاری دایره‌ای خواهیم پرداخت. همانند تاری شعاعی روش پیشنهادی برای رفع تاری، استفاده از فیلتر وینر است. نحوه کار فیلتر وینر به طور مفصل در بخش ۳-۵ توضیح داده شده است. همان‌طور که گفته شد برای استفاده از فیلتر وینر باید ابتدا هسته تاری را تخمین بزنیم. برای تخمین هسته تاری نیاز به دو پارامتر طول پنجره تاری و زاویه تاری است. با توجه به میزان تاری و سطوح تاری طول پنجره تاری را مشخص می‌کنیم و با توجه به ماهیت نحوه ایجاد شدن تاری دایره‌ای که پنجره تاری به صورت افقی پیمایش شده است، زاویه تاری را صفر درجه در نظر می‌گیریم. با این توضیحات به رفع تاری تصاویر دارای تاری دایره‌ای خواهیم پرداخت. در اینجا نیز مقدار در نظر گرفته شده برای k مقدار ۰.۲ است.

۳-۷ نتیجه‌گیری

در این فصل روش پیشنهادی برای رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم به طور مفصل توضیح داده شد. روش پیشنهادی به این صورت است که ابتدا باید نوع و میزان تاری تعیین شود، تا براساس این دو پارامتر عمل رفع تاری انجام شود. ابتدا اثبات وجود تاری در تصاویر مورد بررسی قرار گرفت. سپس سه نوع تاری گوسی، شعاعی و دایره‌ای در این تصاویر تشخیص داده شد. برای این تاری‌ها روش‌هایی برای ارزیابی میزان تاری معرفی شدند و در نهایت برای هر یک از آن‌ها روشی برای رفع تاری

تعیین شد. برای رفع تاری گوسی از روش ماسک غیرتیز و برای دو تاری دیگر از روش فیلتر وینر برای رفع تاری استفاده شد. برای ارزیابی میزان تاری نیز روش‌های حسینی و همکاران و کرت و همکاران (مقاله‌های [۶۶ و ۶۷]) پیشنهاد داده شده است.

روال کلی روش پیشنهادی به این صورت است؛ از آنجایی که فرض کرده‌ایم در هر تصویر WCE تنها یک نوع تاری وجود دارد، ابتدا هیستوگرام تصویر اصلی را رسم می‌کنیم. با بررسی این هیستوگرام اگر توزیع گوسی در آن وجود داشته باشد، نشان‌دهنده وجود تاری گوسی است، بنابراین با استفاده از ماسک غیرتیز، آن را رفع تاری می‌نماییم. حال به سراغ دو تاری دیگر می‌رویم. برای تشخیص این دو تاری، تصویر را به فضای قطبی می‌بریم، نقشه تاری آن را محاسبه می‌کنیم. سپس هیستوگرام نقشه تاری را رسم و بررسی می‌کنیم. با استفاده از الگوهای معرفی شده در این بخش، وجود تاری دایره‌ای یا شعاعی را بررسی می‌کنیم. در صورت وجود تاری، با استفاده از فیلتر وینر و هسته تاری مرتبط با تاری دایره‌ای یا شعاعی، تصویر را رفع تاری می‌نماییم.

فصل ۴ : ارزیابی و بررسی نتایج

۴-۱ مقدمه

در فصل قبل روش پیشنهادی برای رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم معرفی شد. در این فصل نتایج حاصل از این روش‌ها بررسی خواهد شد. در فصل سوم، برای توضیح و اثبات وجود تاری از تصاویر شبیه‌سازی شده استفاده شد. در اینجا روش‌های پیشنهادی بر روی تصاویر خام^۱ و اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم که پایگاه داده آن در بخش بعدی معرفی می‌شود، اعمال خواهد شد. در این فصل با استفاده از معیارهای معرفی شده برای ارزیابی میزان تاری، ابتدا میزان تاری در تصاویر خام بررسی می‌شود و سپس بعد از رفع تاری، میزان تاری سنجیده می‌شود. در هر مورد خواهیم دید که تاری به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

۴-۲ معرفی پایگاه داده

تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم از جمله تصاویر پزشکی هستند که تنها دو دهه از طول عمرشان می‌گذرد. تا قبل از اواخر سال ۲۰۲۰ هیچ‌گونه پایگاه داده آماده، دارای برچسب و با تعداد زیادی در اختیار عموم قرار نگرفته بود. تصاویری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند، تصاویری هستند که در چالش ۲۰۱۷ GIANA توسط گروه [۷۴] در اختیار شرکت کنندگان در این چالش قرار گرفت. این پایگاه داده شامل ۶۰۵ تصویر رنگی با اندازه ۲۵۶×۲۵۶ تا ۵۱۲×۵۱۲ است. از آنجایی که هدف از این پژوهش رفع تاری تصاویر طبیعی و دست نخورده کپسول آندوسکوپی بیسیم است، هیچ‌گونه تغییری بر روی این تصاویر اعمال نشده است.

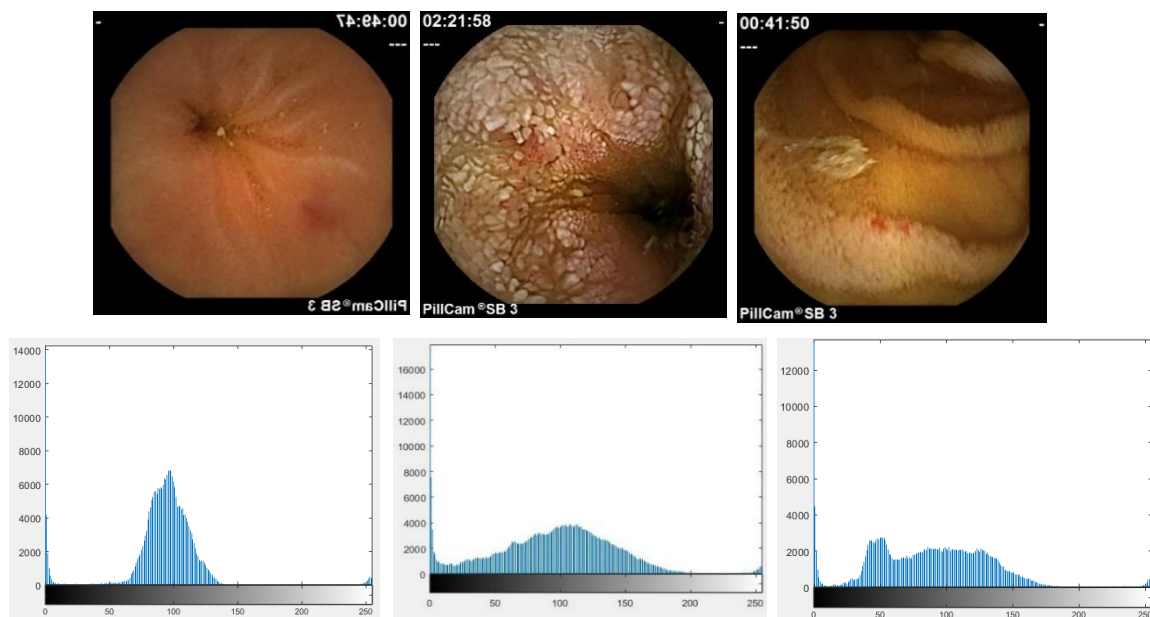
نزدیک به تمام تصاویر این پایگاه داده دارای تاری گوسی هستند و تنها شدت این تاری در تصاویر متفاوت است. در ۱۰ درصد از تصاویر پایگاه داده، شدت و میزان این نوع تاری بسیار پایین و نزدیک به صفر است. به عبارتی، از ۶۰۵ تصویر موجود ۶۰ تصویر تقریباً واضح و بدون تاری هستند و سایر تصاویر حتماً تاری گوسی در خود دارند، هر چند ممکن است میزان این تاری اندک باشد. با استفاده از معیار کورت و همکاران، بیشترین میزان تاری مربوط به تصویری است که دارای ۰.۴۱۷۵ مقدار تاری است. ۲۱ درصد از تصاویر پایگاه داده (۱۳۲ تصویر) دارای تاری دایره‌ای و ۴۰ درصد از آن‌ها (۲۴۲ تصویر) دارای تاری شعاعی هستند. حال با استفاده از این تصاویر، روش معرفی شده در فصل سوم ارزیابی می‌شود.

۴-۳ تاری گوسی

در فصل سوم، روشی برای اثبات وجود تاری در تصاویر WCE معرفی شد. نشان داده شد که با بررسی هیستوگرام تصاویر، می‌توان وجود تاری را در تصاویر پایگاه داده اثبات کرد. پس از آن، وجود تاری گوسی در این تصاویر به اثبات رسید. تقریباً تمام تصاویر کپسول آندوسکوپی به دلیل محدودیت دستگاه و شرایط پیچیده تصویربرداری، دارای تاری گوسی هستند. حال در این بخش می‌خواهیم تعدادی از

¹ Raw

تصاویری که دارای تاری گوسی هستند را با معیارهای معرفی شده در فصل سوم ارزیابی کنیم و با استفاده از روش ماسک غیرتیز آن‌ها را رفع تاری نماییم. همان‌طور که در فصل سوم بیان شد، تاری گوسی، بر روی تصویر مانند یک فیلتر عمل می‌کند. در این نوع تاری، به هر پیکسل در تصویر یک توزیع گوسی اعمال می‌شود. این جمله به این معنا است که اگر هیستوگرام یک تصویر دارای تاری گوسی را رسم نماییم، توزیع گوسی (حالت زنگوله‌ای شکل) در آن نمایان می‌شود. در ادامه سه تصویر را می‌بینیم که دارای تاری گوسی هستند. شکل ۱-۴ این سه تصویر را به همراه هیستوگرام آن‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴: تصاویر WCE دارای تاری گوسی به همراه هیستوگرام آن‌ها

با توجه به اینکه در هیستوگرام هر سه تصویر شکل ۱-۴، توزیع گوسی دیده می‌شود، هر سه دارای تاری گوسی هستند. و تنها، شدت تاری در این سه شکل متفاوت است. برای بررسی میزان و شدت تاری گوسی استفاده از معیارهای معرفی شده در مقاله [۶۶] (روش کرت و همکاران) و [۶۷] (روش حسینی و همکاران) پیشنهاد شده بود. جدول ۱-۴ میزان تاری برای تصاویر شکل ۱-۴ را با استفاده از روش کرت و همکاران نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴: میزان تاری برای تصاویر شکل ۱-۴ با استفاده از معیار روش کرت و همکاران

	تصویر سمت چپ	تصویر وسط	تصویر سمت راست
معیار ارزیابی تاری روش کرت و همکاران	۰.۲۴۳۳	۰.۴۱۷۵	۰.۳۱۰۳

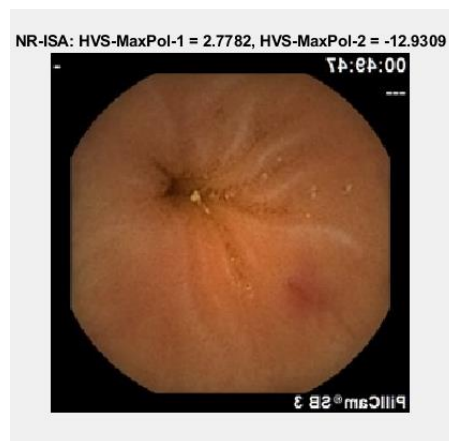
لازم به ذکر است که تصویر وسط در شکل ۴-۱ تصویری است که بیشترین میزان تاری گوسی را از بین سایر تصاویر پایگاه داده دارد. بنابراین می توان به این نتیجه رسید که میزان این تاری در تصاویر پایگاه داده اندک است اما تقریباً تمام تصاویر این نوع تاری را دارند. جهت یادآوری، معیار کورت و همکاران، عددی بین ۰ و ۱ است که هر چه عدد به یک نزدیک تر باشد، شدت تاری در تصویر بیشتر است. حال برای بررسی بیشتر، از معیار حسینی و همکاران نیز استفاده می کنیم. این معیار نیز میزان تاری را با استفاده از یک عدد نشان می دهد. هر چه این عدد بیشتر باشد، نشان دهنده تاری بیشتر است. شکل ۴-۲ تصاویر را به همراه میزان تاری آن نشان می دهد.



ب) میزان تاری ۲.۷۷۱۲



الف) میزان تاری ۲.۷۵۱۸



پ) میزان تاری ۲.۷۷۸۲

شکل ۴-۲: بررسی میزان تاری گوسی در تعدادی از تصاویر WCE با استفاده از معیار حسینی و همکاران

با استفاده از معیار حسینی و همکاران، تقریباً در هر سه تصویر، میزان تاری به یک اندازه نشان داده شده است. بنابراین برای این نوع تاری، بهتر است از معیار کورت و همکاران استفاده کنیم. حال که میزان تاری گوسی را در تصاویر WCE بررسی کردیم، نوبت به انجام عمل رفع تاری است. همان طور که در فصل سوم بیان شد، برای رفع تاری از روش ماسک غیرتیز استفاده می کنیم. با استفاده

از این روش، لبه‌ها و کیفیت تصویر تقویت می‌شود. شکل ۳-۴ تصاویر رفع تاری شده شکل ۱-۴ را به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار روش کُرت و همکاران نشان می‌دهد.



پ) میزان تاری ۰.۱۶۶۷

ب) میزان تاری ۰.۲۶۳۳

الف) میزان تاری ۰.۱۹۹۹

شکل ۳-۴: تصاویر رفع تاری شده به همراه میزان تاری آن‌ها با معیار کُرت و همکاران

در شکل ۳-۴ تصاویر رفع تاری شده برای تاری گوسی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نمایان است، وضوح تصاویر افزایش یافته است. با استفاده از معیار کُرت و همکاران، تاری به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. حال در جدول ۲-۴ این تصاویر رفع تاری شده را با معیار حسینی و همکاران نیز بررسی می‌کنیم.

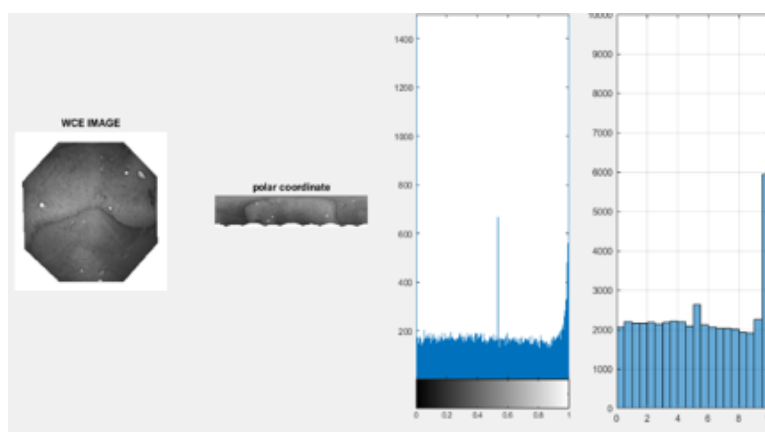
جدول ۲-۴: میزان تاری برای تصاویر شکل ۴-۴ با استفاده از معیار حسینی و همکاران

	تصویر سمت چپ	تصویر وسط	تصویر سمت راست
معیار ارزیابی تاری روش حسینی و همکاران	۲.۶۶۳۴	۲.۳۳۰۳	۲.۶۴۷۴

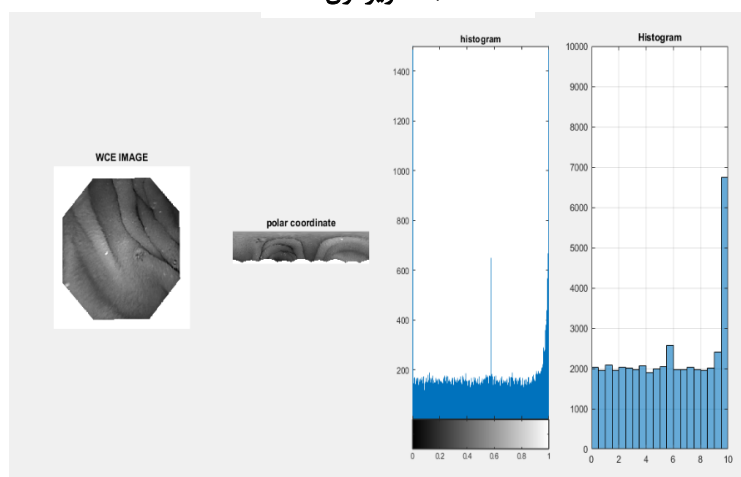
با مقایسه شکل ۳-۴ و مقادیر جدول ۱-۴ متوجه می‌شویم که میزان تاری گوسی با استفاده از روش ماسک غیرتیز به میزان بسیار زیادی کاهش یافته است. با استفاده از معیار روش کُرت و همکاران که عددی بین ۰ و ۱ را نشان می‌دهد، متوجه می‌شویم که در تصویری که بیشترین شدت تاری گوسی را دارد (تصویر وسط شکل ۱-۴) با استفاده از روش ماسک غیرتیز، تاری به میزان ۵۰ درصد بهبود یافته است. با مقایسه مقادیر جدول ۲-۴ و میزان تاری در تصاویر تاری نشان داده شده در شکل ۲-۴ نیز متوجه می‌شویم که تاری کاهش یافته است اما با استفاده از این معیار رفع تاری گوسی به خوبی سنجیده نمی‌شود.

۴-۴ تاری شعاعی

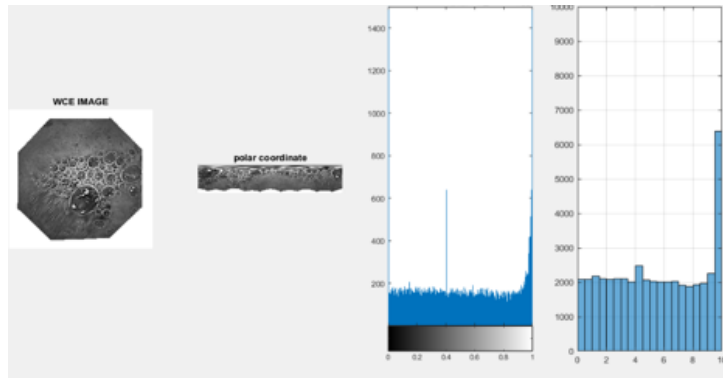
در فصل سوم، روش پیشنهادی برای تاری شعاعی به این صورت بود که ابتدا با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده و بررسی هیستوگرام نقشه تاری این تصاویر، وجود این نوع تاری در تصاویر WCE به اثبات رسید. همان‌طور که گفته شد برای تشخیص این نوع تاری، از هیستوگرام نقشه تاری در فضای قطبی استفاده خواهیم کرد. الگویی که در تاری شعاعی پیدا شد، روند افزایشی غیرنزولی و تقریباً هلالی شکل در هیستوگرام نقشه تاری فضای قطبی بود. با استفاده از این توضیحات به بررسی تصاویر اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم می‌پردازیم. لازم به ذکر است که تفاوت مهم بین تصاویر اصلی و تصاویر شبیه‌سازی شده، شدت تاری شعاعی و همچنین وجود نویز در تصویر است. علاوه بر این در تصاویر شبیه‌سازی شده، مرکز تاری شعاعی در مرکز تصویر در نظر گرفته شد، اما در تصاویر اصلی WCE مرکز تاری شعاعی در هر تصویر متفاوت خواهد بود. با آگاهی از این موضوع به هیستوگرام نقشه تاری در فضای قطبی تصاویری می‌پردازیم که ظاهراً دارای تاری شعاعی هستند. شکل ۴-۴ تعدادی از این تصاویر را به همراه تصویر در فضای قطبی و هیستوگرام نقشه تاری با ده بین را نشان می‌دهد.



الف) تصویر اول



ب) تصویر دوم



پ) تصویر سوم

شکل ۴-۴: سه تصویر WCE. در هر قسمت، تصویر دوم از سمت چپ، تصویر در فضای قطبی است و سمت راست هیستوگرام نقشه تاری آن است.

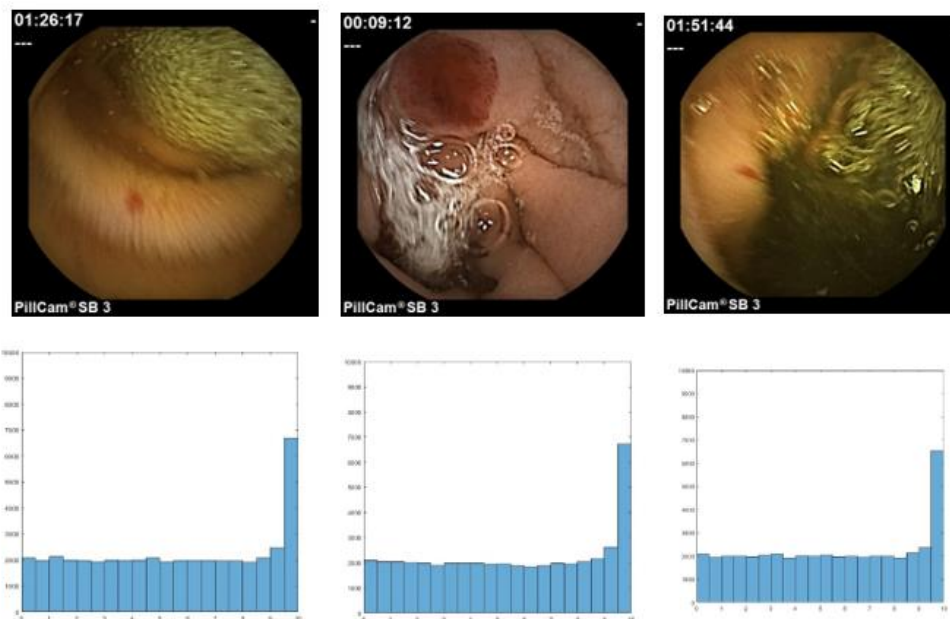
در شکل ۴-۴ هر سه تصویر دارای تاری شعاعی هستند، اما میزان این تاری در این تصاویر بسیار پایین است و این تصاویر دارای نویز هستند. در هیستوگرام نقشه تاری تمام این تصاویر، دیده می‌شود که رشد به صورت غیرنزولی است و حالت هلالی شکل اندکی نیز در آن وجود دارد. این نشانه‌ها، حاکی از وجود تاری شعاعی در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم است. شکل ۴-۵ این سه تصویر را نشان می‌دهد. در این تصاویر تاری شعاعی مشهود است.



شکل ۴-۵: تصاویر WCE دارای تاری شعاعی

برای بررسی میزان تاری شعاعی در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، دو روش پیشنهاد شد. روش اول، استفاده از سطوح تاری است. برای تعریف سطوح تاری، از تصاویر شبیه‌سازی شده استفاده شد. برای تاری، پنج سطح تاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در نظر گرفته شد. با توجه به شکل ۴-۵ و هیستوگرام نقشه تاری آن، متوجه می‌شویم که هر سه تصویر در سطح تاری خیلی کم هستند. در واقع مقایسه این هیستوگرام‌ها با هیستوگرام سطوح تاری در تصاویر شبیه‌سازی شده فصل سوم، نشان می‌دهد که تصاویر دارای تاری شعاعی با سطح تاری خیلی کم هستند.

برای بررسی بیشتر، سه تصویر دیگر که دارای تاری شعاعی هستند را در شکل ۴-۶ مشاهده می‌کنیم. در این شکل هیستوگرام نقشه تاری در فضای قطبی به همراه خود تصویر نشان داده شده است.



شکل ۴-۶: تصاویر WCE دارای تاری شعاعی به همراه هیستوگرام نقشه تاری

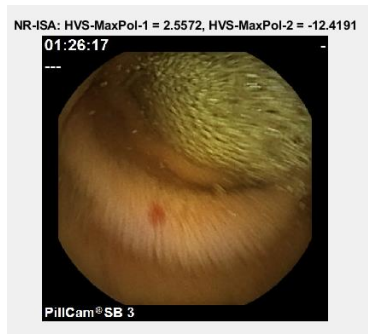
در شکل ۴-۶ هر سه تصویر دارای تاری شعاعی و هر سه در سطح خیلی کم هستند. علاوه بر سطوح تاری روش دیگر برای بررسی میزان تاری استفاده از مقاله [۶۷] روش حسینی و همکاران بود. شکل ۴-۷ تصاویر دارای تاری شعاعی را به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از این روش، نشان می‌دهد. در شکل ۴-۷ تعدادی از تصاویر پایگاه داده که دارای تاری شعاعی هستند به همراه میزان تاری آن‌ها نشان داده شده است. با استفاده از این معیار می‌بینیم که میزان تاری در این تصاویر تقریباً یکسان است اما تصاویر (ج و الف) همان‌طور که به صورت بصری نیز دیده می‌شود دارای تاری بیشتری هستند. به طور کلی نیز میزان تاری این تقریباً پایین است و تعداد تصاویری که این تاری را دارند نیز اندک هستند. با آگاهی از این موضوع، به رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم می‌پردازیم.



پ) میزان تاری: ۲.۲۴۳۳

ب) میزان تاری: ۲.۳۴۴

الف) میزان تاری: ۲.۵۶۲۹



ج) میزان تاری: ۲.۵۵۷۲



ث) میزان تاری: ۲.۴۴۶۲



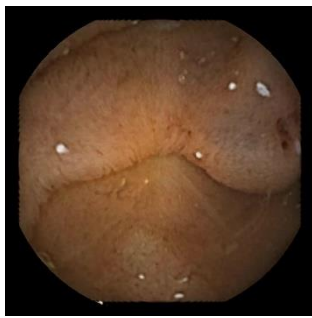
ت) میزان تاری: ۲.۴۹۱۸

شکل ۴-۷: تصاویر شکل ۴-۶ و ۴-۵ به همراه میزان تاری
آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران

برای رفع تاری از روش فیلتر وینر استفاده می‌کنیم. هسته تاری با استفاده از دو پارامتر طول پنجره تاری و زاویه تاری تخمین زده می‌شود. با توجه به اینکه تمام تصاویر WCE از دسته سطح تاری خیلی کم تشخیص داده شدند، طول پنجره تاری را ۲ در نظر می‌گیریم. در تاری شعاعی با توجه به فرایند ساخته شدن این تاری (که در فصل سوم به طور مفصل توضیح داده شد) زاویه تاری ۹۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. در واقع ما از تصاویر شبیه‌سازی شده به عنوان الگویی برای تخمین هسته تاری استفاده کردیم. فرایند ساخت تصاویر شبیه‌سازی شده به گونه‌ای بود که در آن برای تاری شعاعی، پنجره تاری یک بعدی به صورت عمودی حرکت داده می‌شد. به همین دلیل در تخمین هسته تاری، زاویه تاری را نود درجه در نظر گرفتیم. با آزمایش زوایای مختلف دیدیم که زاویه نود درجه بهترین نتیجه را ایجاد می‌کند. با این توضیحات به رفع تاری تصاویر شکل ۴-۷ می‌پردازیم.

برای رفع تاری، روش فیلتر وینر را در کانال‌های رنگی مختلف بررسی می‌کنیم. ابتدا تصویر را به صورت سه کانال رنگی قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) تفکیک می‌کنیم. سپس هر سه تصویر حاصل را به فضای قطبی می‌بریم. بعد از آن با استفاده از روش فیلتر وینر عملیات رفع تاری را در هر کانال اعمال می‌کنیم. در نهایت با ادغام تصویر هر کانال و تبدیل معکوس تصویر از فضای قطبی به فضای کارتزین، تصویر رفع تاری شده به دست می‌آید. شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۵ نتایج رفع تاری شده تصاویر ۴-۷ را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، تصاویر رفع تاری شده به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران نشان داده شده است.

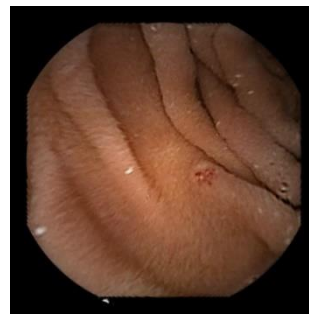
شکل ۴-۸ مربوط به تصاویری است که در آن عملیات رفع تاری در هر سه کانال رنگی اعمال شده است.



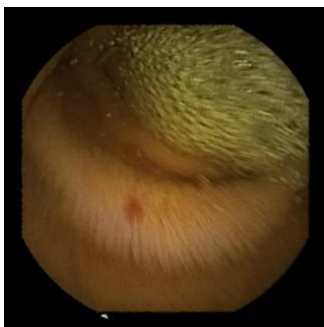
پ) میزان تاری: ۱.۱۷۶۲



ب) میزان تاری: ۱.۶۸۱۳



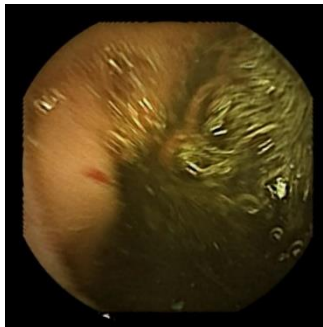
الف) میزان تاری: ۲.۰۱۱۱



ج) میزان تاری: ۱.۹۹۶۲



ث) میزان تاری: ۱.۴۸۰۷

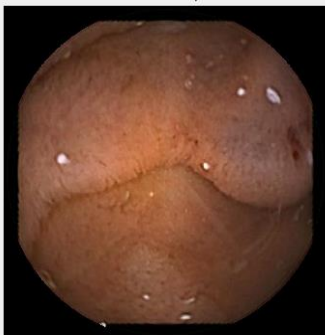


ت) میزان تاری: ۱.۷۰۶۴

شکل ۴-۸: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در هر سه کانال رنگی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل فوق، می‌بینیم که میزان تاری کاهش یافته است. اما این کاهش تاری مشهود نیست. به همین منظور، رفع تاری را در کانال‌های مختلف تاری بررسی می‌کنیم. شکل ۴-۹ تصاویری را نشان می‌دهد که در آن عملیات رفع تاری تنها در کانال سبز (G) اعمال شده است.

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -0.26024, HVS-MaxPol-2 = -20.863



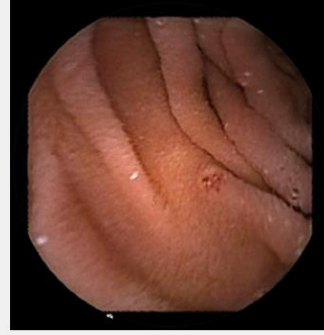
پ) میزان تاری: 0.26024

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.2361, HVS-MaxPol-2 = -18.3282



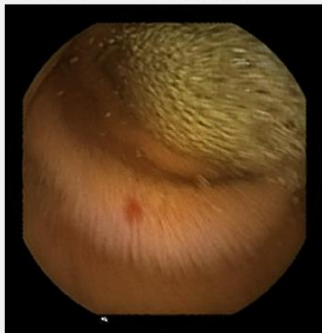
ب) میزان تاری: ۱.۲۳۶۱

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.7476, HVS-MaxPol-2 = -22.3605



الف) میزان تاری: 1.7476

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.6703, HVS-MaxPol-2 = -22.2297



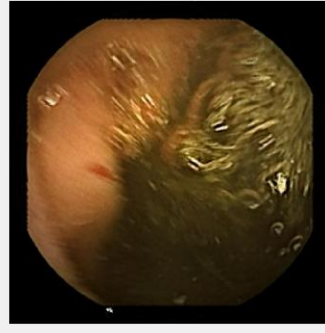
ج) میزان تاری: ۱.۶۷۰۳

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.3262, HVS-MaxPol-2 = -18.3434



ث) میزان تاری: ۱.۳۲۶۲

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.4716, HVS-MaxPol-2 = -18.8273

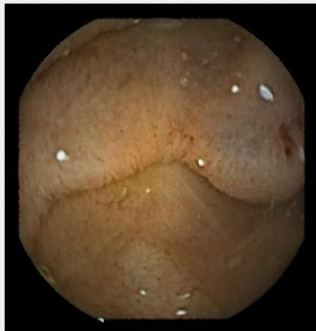


ت) میزان تاری: ۱.۴۷۱۶

شکل ۴-۹: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال سبز (G). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۹ میزان تاری بسیار بیشتر از شکل ۴-۸ کاهش یافته است. حال تصاویر رفع تاری شده در کانال رنگی قرمز (R) و کانال رنگی آبی (B) را در شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ بررسی می‌کنیم.

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -0.32539, HVS-MaxPol-2 = -20.9148



پ) میزان تاری: ۰.۳۲۵۳۹

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.3286, HVS-MaxPol-2 = -18.4267



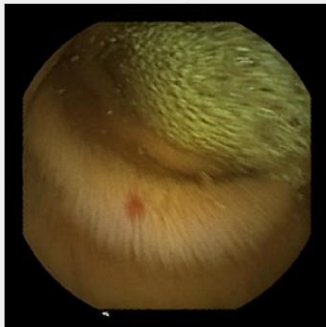
ب) میزان تاری: ۱.۳۲۸۶

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.693, HVS-MaxPol-2 = -22.3185



الف) میزان تاری: 1.693

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.7464, HVS-MaxPol-2 = -22.2885



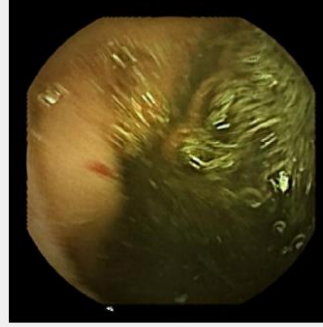
ج) میزان تاری: ۱.۷۴۶۴

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.5417, HVS-MaxPol-2 = -18.4572



ث) میزان تاری: ۱.۵۴۱۷

NR-ISA: HVS-MaxPol-1 = -1.4955, HVS-MaxPol-2 = -18.8734



ت) میزان تاری: ۱.۴۹۵۵

شکل ۴-۱۰: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال قرمز (R). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۱۰ میزان تاری در بعضی از تصاویر بسیار کاهش یافته است. به عنوان مثال تصویر پ از میزان تاری از ۲.۲۴۳۳ به ۰.۳۲۵۳۹ رسیده است. یعنی میزان تاری حدود ۸۵ درصد کاهش یافته است. حال در شکل ۴-۱۱ رفع تاری را در کانال آبی (B) مشاهده می‌کنیم.



پ) میزان تاری: ۰.۲۶۹۸۵



ب) میزان تاری: ۱.۴۴۳



الف) میزان تاری: ۱.۷۹۸۶



ج) میزان تاری: ۱.۷۵۷۲



ث) میزان تاری: ۱.۵۲۱۶



ت) میزان تاری: ۱.۷۱۴۱

شکل ۴-۱۱: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی (B). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

شکل‌های ۴-۹ تا ۴-۱۱، تصاویر رفع تاری شده در هر کانال را نشان می‌دهد. با مقایسه این سه شکل متوجه می‌شویم تاری بسیار کاهش یافته است. از لحاظ بصری تصاویر شکل ۴-۹ بهتر از سایر شکل‌ها نتیجه رفع تاری شده را نشان می‌دهد. در مقایسه با این سه شکل و شکل ۴-۸ می‌بینیم وقتی تنها در یک کانال رنگی، عملیات رفع تاری را انجام می‌دهیم نتایج بسیار بهتر از زمانی است که رفع تاری در هر سه کانال انجام شود. حال برای آزمایش بیشتر رفع تاری را در کانال‌های رنگی به صورت دو به دو انجام می‌دهیم. شکل ۴-۱۲ تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های رنگی آبی و سبز را نشان می‌دهد.



پ) میزان تاری: ۰.۲۵۳۸۷



ب) میزان تاری: ۱.۱۷۱۲



الف) میزان تاری: ۱.۶۳۷۵



(ج) میزان تاری: ۱.۶۶۰۶



(ث) میزان تاری: ۱.۳۱۶۹



(ت) میزان تاری: ۱.۵۹۵۹

شکل ۴-۱۲: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی و سبز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۱۲ تصاویر بیشتر از قبل رفع تاری شده‌اند. در این تصاویر نسبت به شکل‌های ۴-۹ تا ۴-۱۱ روشنایی تغییر به خصوصی نکرده است. از لحاظ بصری نیز رفع تاری مشهود است. حال در شکل ۴-۱۳ تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های آبی و قرمز را مشاهده می‌کنیم.



(پ) میزان تاری: ۰.۳۰۶۱۸



(ب) میزان تاری: ۱.۲۸۵۲



(الف) میزان تاری: ۱.۶۷۴۶



(ج) میزان تاری: ۱.۷۲۶۸



(ث) میزان تاری: ۱.۳۳۵۹



(ت) میزان تاری: ۱.۴۴۵۴

شکل ۴-۱۳: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال آبی و قرمز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۱۳ میزان تاری تصاویر کاهش یافته اما رنگ و روشنایی تصاویر تغییر مشهودی کرده است. این امر از لحاظ بصری مطلوب نیست. با مقایسه این شکل و شکل ۴-۱۲، تاری در شکل ۴-۱۲ به میزان بیشتری کاهش یافته است. حال در شکل ۴-۱۴ تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های رنگی سبز و قرمز

را مشاهده می‌کنیم.



پ) میزان تاری: ۰.۷۵۸۱۱



ب) میزان تاری: ۱.۱۳۹



الف) میزان تاری: ۱.۶۲۰۹



ج) میزان تاری: ۱.۶۱۶۹



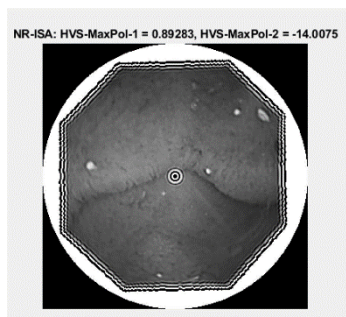
ث) میزان تاری: ۱.۳۸۸۴



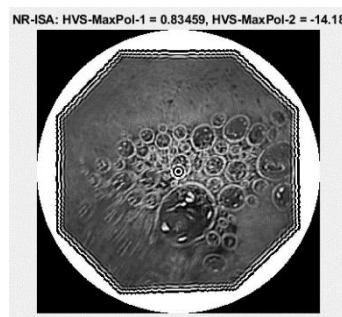
ت) میزان تاری: ۱.۳۲۱۷

شکل ۴-۱۴: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در کانال سبز و قرمز. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

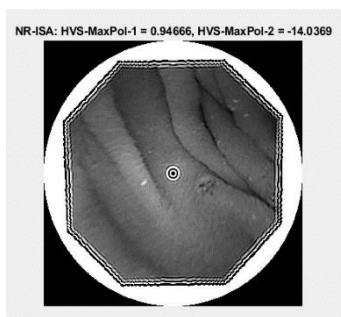
در شکل ۴-۱۴ نسبت به شکل ۴-۱۳ رنگ و روشنایی تغییر مشهودی نکرده است. در تمام شکل‌های ۴-۹ تا ۴-۱۴ تاری بیشتر از شکل ۴-۸ کاهش یافته است. زمانی که یک یا دو کانال رنگی را رفع تاری می‌کنیم و سایر کانال‌ها دست نخورده باقی می‌ماند، رفع تاری بیشتری صورت می‌گیرد. هر چه عملیات محاسباتی کمتر باشد، تاثیر فیلتر وینر در کاهش تاری بیشتر است. حال برای مقایسه و آزمایش بیشتر، در شکل ۴-۱۵ تصاویر رفع تاری شده در حالت خاکستری را مشاهده می‌کنیم.



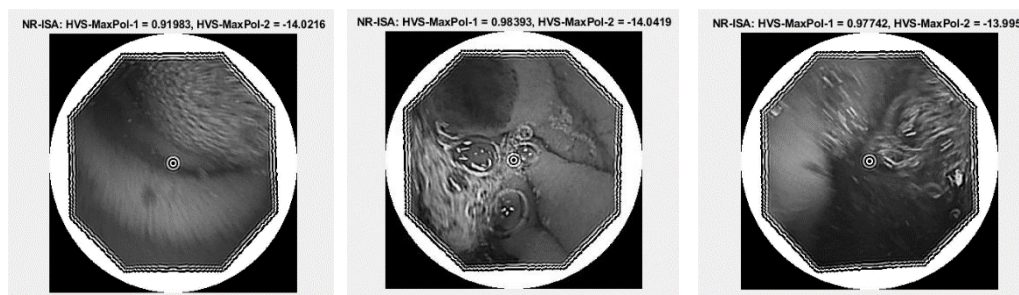
پ) میزان تاری: ۰.۸۹۲۸۳



ب) میزان تاری: ۰.۸۳۴۵۹



الف) میزان تاری: ۰.۹۴۶۶۶



ج) میزان تاری: ۰.۹۱۹۸۳

ث) میزان تاری: ۰.۹۸۳۹۳

ت) میزان تاری: ۰.۹۷۷۴۲

شکل ۴-۱۵: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۷ در حالت خاکستری به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۱۵ می‌بینیم در تمام تصاویر به جز تصویر (پ) تاری بیشتر از شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۴ کاهش یافته است. در واقع، در حالت خاکستری میزان رفع تاری بیشتر از تصویر رنگی است. دلیل این امر در این است که در حالت رنگی عملیات رفع تاری در هر کانال رنگی جداگانه انجام می‌شود و در نهایت تصاویر حاصل با هم ادغام می‌شوند. با این کار اثر الگوریتم رفع تاری کاهش می‌یابد. اما در حالت خاکستری تصاویر در بازه ۰ تا ۲۵۵ قرار می‌گیرند و بعد به صورت مستقیم و بدون هیچ تبدیلی، عملیات رفع تاری انجام می‌شود. اما نکته قابل توجه این است که در تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم، هدف نهایی ما بهبود کیفیت و رفع تاری تصویر است تا تشخیص پزشک آسان‌تر و دقیق‌تر از قبل شود. اما زمانی که تصاویر را خاکستری می‌کنیم، اطلاعات زیاد و با ارزشی از تصاویر از بین می‌رود. علاوه بر این در بعضی موارد، تشخیص بیماری توسط پزشک را غیر ممکن می‌کند؛ به عنوان مثال تشخیص خونریزی در تصویر خاکستری به آسانی ممکن نیست. برای مقایسه راحت‌تر نتایج رفع تاری تصاویر شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۵، میزان تاری در جدول ۴-۳ آورده شده است.

جدول ۴-۳: مقایسه میزان تاری تصویر تاری اولیه با تصاویر رفع تاری شده در شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۵

تصویر ت	تصویر ث	تصویر ج	تصویر الف	تصویر ب	تصویر پ	
۲.۴۹۱۸	۲.۴۴۶۲	۲.۵۵۷۲	۲.۵۶۲۹	۲.۳۴۴	۲.۲۴۳۳	تاری
1.4955	1.5417	1.7464	1.693	1.3286	0.32539	R
1.4716	1.3262	1.6703	1.7476	1.2361	0.26024	G
1.7141	1.5216	1.7572	1.7986	1.443	0.26985	B
1.3217	1.3884	1.6169	1.6209	1.139	0.75811	RG
1.4454	1.3359	1.7268	1.6746	1.2852	0.30618	RB
1.5959	1.3169	1.6606	1.6375	1.1712	0.25387	GB
۱.۷۰۶۴	۱.۴۸۰۷	۱.۹۹۶۲	۲.۰۱۱۱	۱.۶۸۱۳	۱.۱۷۶۲	RGB
۰.۹۷۷۴۲	۰.۹۸۳۹۳	۰.۹۱۹۸۳	۰.۹۴۶۶۶	۰.۸۳۴۵۹	۰.۸۹۲۸۳	خاکستری

جدول ۳-۴ میزان تاری تمام روش‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول سمت چپ‌ترین ستون، نشان‌دهنده روش‌های رفع تاری است. در این ستون، منظور از "تار" و "خاکستری" تصویر تار اولیه و تصاویر رفع تاری شده در حالت خاکستری است. منظور از "R"، "G"، "B"، "RG"، "RB"، "GB" و "RGB" به ترتیب، تصاویر رفع تاری شده در کانال قرمز، کانال سبز، کانال آبی، کانال‌های قرمز و سبز، کانال‌های سبز و آبی، کانال‌های سبز و آبی و در نهایت در هر سه کانال است. با استفاده از این جدول مقایسه روش‌ها راحت‌تر است. به جز حالت خاکستری که نتایج حاصل از آن کاربردی نیست، در سایر روش‌ها، می‌توان نتایج رفع تاری را در هر تصویر (هر ستون) با هم مقایسه کرد. با مقایسه مقادیر هر ستون، کمترین میزان تاری، پررنگ‌تر نشان داده شده است. با مقایسه مقادیر پررنگ می‌بینیم در مجموع روش RG بهتر از سایر روش‌ها است. منظور از روش RG، اعمال فیلتر وینر تنها بر روی کانال‌های قرمز و سبز یک تصویر تار است. به طور کلی، این جدول کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. با مقایسه مقادیر میزان تاری در ردیف اول جدول (که تصاویر تار اولیه را نشان می‌دهد)، با اعداد پررنگ شده، می‌بینیم میزان تاری در محدوده ۳۶ تا ۸۸ درصد کاهش یافته است. بنابراین الگوریتم پیشنهادی، کارا و اثربخش است.

۴-۵ تاری دایره‌ای

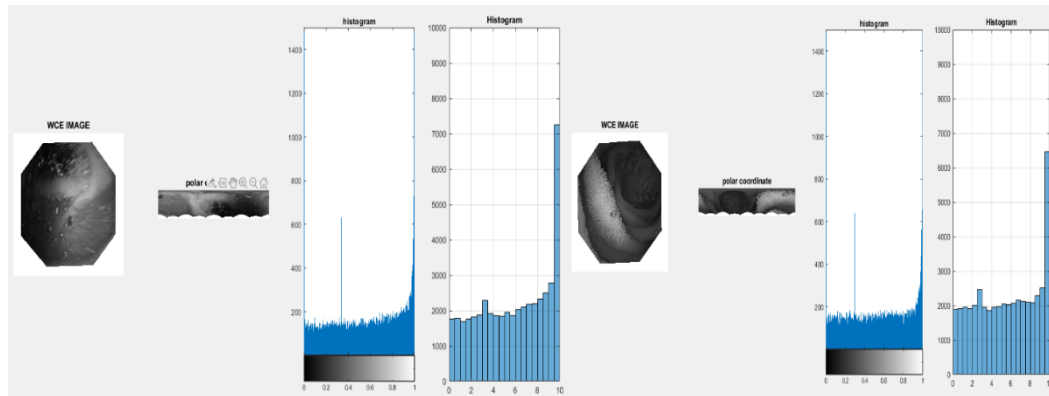
در فصل سوم برای تشخیص تاری دایره‌ای نیز همانند تاری شعاعی، از تصاویر شبیه‌سازی شده که دارای تاری دایره‌ای هستند استفاده شده بود. با استفاده از نقشه تاری این تصاویر در فضای قطبی، الگوی تکرارشونده در این نوع تاری پیدا شد. در این هیستوگرام‌ها تغییرات هیستوگرام به صورت صعودی با شیب زیاد دیده می‌شود و حالت هلالی شکل آن نسبت به تاری شعاعی بیشتر است. حال این الگو را در تصاویر اصلی کپسول آندوسکوپی بیسیم پیدا می‌کنیم. قبل از پرداختن به این مساله باید توجه داشت که تفاوت تصاویر اصلی با تصاویر شبیه‌سازی شده در شدت تاری و وجود نویز در تصاویر اصلی است. شدت تاری در تصاویر اصلی WCE پایین است. با آگاهی از این موضوع در شکل ۴-۱۶ تعدادی از تصاویر پایگاه داده را که دارای تاری دایره‌ای هستند مشاهده می‌کنیم.



الف) میزان تاری: ۲.۵۵۵۶ ب) میزان تاری: ۲.۵۴۶۹

شکل ۴-۱۶: دو مورد از تصاویر WCE دارای تاری دایره‌ای. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

حال به تحلیل هیستوگرام دو تصویر موجود در شکل ۴-۱۶ می‌پردازیم. برای این کار باید ابتدا تصاویر را به فضای قطبی ببریم و سپس هیستوگرام نقشه تاری آن را بررسی کنیم. تفاوت مهم بین تصاویر اصلی و تصاویر شبیه‌سازی شده در این است که در تصاویر اصلی علاوه بر وجود تاری، نویز نیز وجود دارد. علاوه بر این، در تصاویر اصلی شدت تاری متغیر است و مرکز تاری دایره‌ای در تصاویر در وسط تصویر نیست. با آگاهی از این تفاوت‌ها در شکل ۴-۱۷ به تحلیل هیستوگرام نقشه تاری تصاویر WCE در فضای قطبی می‌پردازیم.



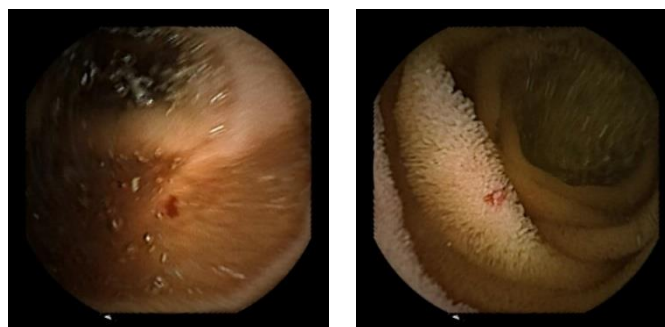
شکل ۴-۱۷: تصاویر دارای تاری دایره‌ای به همراه حالت قطبی و هیستوگرام نقشه تاری آن

در هیستوگرام نقشه تاری شکل ۴-۱۷ وجود تاری دایره‌ای بسیار مشهود است. در واقع با مقایسه این هیستوگرام با هیستوگرام نقشه تاری در تصاویر شبیه‌سازی شده این نتیجه برداشت می‌شود. با مقایسه شکل ۴-۱۷ با شکل‌های ۴-۶ و ۴-۴ متوجه تفاوت بین تاری دایره‌ای و تاری شعاعی نیز خواهیم شد. در شکل ۴-۱۷ سمت چپ‌ترین تصویر، تصویر WCE دارای تاری دایره‌ای است. بعد از آن حالت قطبی تصویر اولیه نشان داده شده است و سپس هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی را مشاهده می‌کنیم. در نهایت برای بررسی دقیق‌تر و نحوه رشد و تغییر مقادیر بین‌ها در سمت راست‌ترین تصویر، هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی با ده بین نشان داده شده است. با توجه به نحوه تغییر و رشد فراوانی‌ها و شباهت بین هیستوگرام این تصاویر با تصاویر شبیه‌سازی شده متوجه وجود تاری دایره‌ای در این تصاویر خواهیم شد. تفاوت زیاد مقدار بین (bin) اول و آخر و همچنین حالت هلالی شکل هیستوگرام، حاکی از وجود تاری دایره‌ای است.

حال میزان تاری را در این دو تصویر بررسی می‌کنیم. در هر دو تصویر تاری در سطح خیلی کم است. به طور کلی میزان این تاری نیز همچون تاری شعاعی در تصاویر پایگاه داده WCE پایین است. تعداد تصاویری که دارای تاری دایره‌ای هستند نیز کمتر از تصاویری است که دارای تاری شعاعی هستند. حال با استفاده از معیار روش حسینی و همکاران میزان تاری را بررسی می‌کنیم. در شکل ۴-۱۶ میزان تاری در تصویر سمت چپ ۲.۵۵۵۶ و در تصویر سمت راستی ۲.۵۴۶۹ است.

برای رفع تاری دایره‌ای نیز از روش فیلتر وینر استفاده می‌کنیم. برای تخمین هسته تاری از دو

پارامتر طول پنجره تاری (که از روی شدت تاری تعیین می‌شود و در اینجا با سطح تاری خیلی کم مقدار ۲ در نظر گرفته شده است) و زاویه تاری (که در این تاری با توجه به فرایند ساخت آن که در فصل سوم توضیح داده شد، صفر درجه در نظر گرفته می‌شود) استفاده می‌کنیم. در واقع ما از تصاویر شبیه‌سازی شده به عنوان الگویی برای تخمین هسته تاری استفاده کردیم. فرایند ساخت تصاویر شبیه‌سازی شده به گونه‌ای بود که در آن برای تاری دایره‌ای، پنجره تاری یک بعدی به صورت افقی حرکت داده می‌شد. به همین دلیل در تخمین هسته تاری، زاویه تاری را صفر درجه در نظر گرفتیم. با آزمایش زوایای مختلف دیدیم که زاویه صفر درجه بهترین نتیجه را ایجاد می‌کند. شکل ۴-۱۸ تصاویر رفع تاری شده در سه کانال رنگی (RGB) را با میزان تاری آن نشان می‌دهد.

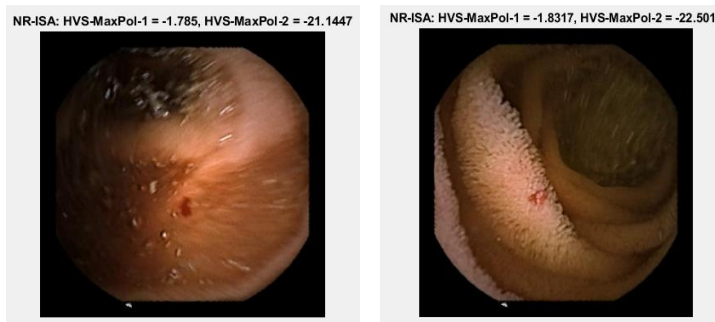


ب) میزان تاری: ۱.۹۳۷

الف) میزان تاری: ۱.۹۹۲۸

شکل ۴-۱۸: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ در هر سه کانال رنگی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده معیار روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۱۸ تصاویر رفع تاری شده دارای تاری دایره‌ای را مشاهده می‌کنیم. با بررسی میزان تاری متوجه می‌شویم که میزان تاری کاهش یافته است. به عنوان مثال در تصویر سمت چپ شکل ۴-۱۸ میزان تاری از ۲.۵۵۵۶ به میزان ۱.۹۳۷ رسیده است؛ یعنی حدود ۲۴ درصد کاهش یافته است. حال برای آزمایش بیشتر در شکل‌های ۴-۱۹ تصاویر رفع تاری شده در هر کانال رنگی به صورت مجزا را می‌بینیم. در شکل ۴-۱۹ ردیف اول، تصاویر رفع تاری شده در کانال رنگی سبز (G)، ردیف دوم، تصاویر رفع تاری شده در کانال رنگی قرمز (R) و ردیف سوم، تصاویر رفع تاری شده در کانال رنگی آبی (B) را نشان می‌دهد.



ب) میزان تاری: ۱.۷۸۵

الف) میزان تاری: ۱.۸۳۱۷



(ت) میزان تاری: ۱.۸۶۰۴



(پ) میزان تاری: ۱.۸۹۴۹



(ج) میزان تاری: ۱.۷۵۸۲



(ث) میزان تاری: ۱.۸۲۳۴

شکل ۴-۱۹: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ (الف و ب) در کانال رنگی سبز (G) و (پ و ت) در کانال رنگی قرمز (R) و (ث و ج) در کانال رنگی آبی (B). به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران

با مقایسه شکل ۴-۱۸ با شکل ۴-۱۹ می‌بینیم که تاری در تصاویر شکل ۴-۱۹ که میزان تاری تنها در یک کانال آن انجام شده است، بیشتر کاهش یافته است. هر چند در تصاویر مربوط به شکل ۴-۱۹ روشنایی تغییر کرده است. حال برای آزمایش بیشتر در شکل ۴-۲۰ تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های رنگی به صورت دو به دو را مشاهده می‌کنیم. در این شکل، تصاویر ردیف اول، تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های سبز و قرمز (RG)، تصاویر ردیف دوم، تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های سبز و آبی (GB) و تصاویر ردیف سوم، تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های قرمز و آبی (RB) را نشان می‌دهد.



(ب) میزان تاری: ۱.۸۴۵۲



(الف) میزان تاری: ۱.۹۲۹۳



ت) میزان تاری: ۱.۷۷۹۹



پ) میزان تاری: ۱.۸۳۰۵



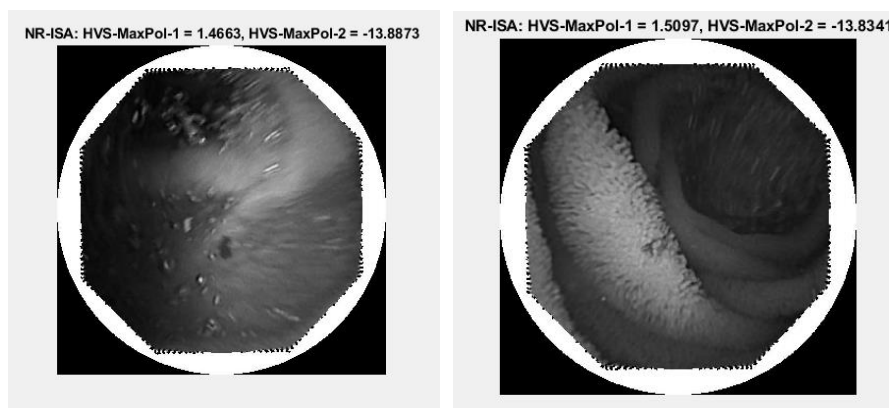
ج) میزان تاری: ۱.۹۳۲۸



ث) میزان تاری: ۱.۹۶۶۵

شکل ۴-۲۰: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ (الف و ب) در کانال رنگی سبز و قرمز و (پ و ت) در کانال رنگی سبز و آبی و (ث و ج) در کانال رنگی قرمز و آبی. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از معیار حسینی و همکاران

در شکل ۴-۲۰ تصاویر رفع تاری شده در کانال‌های رنگی به صورت دو به دو را مشاهده می‌کنیم. با مقایسه این شکل با شکل ۴-۱۹ و ۴-۱۸ متوجه می‌شویم که از بین این سه روش، روش رفع تاری روی کانال رنگی آبی بیشترین میزان رفع تاری را داشته است. اما به هر حال در روش‌هایی که تنها بر روی یک یا دو کانال رنگی، عملیات رفع تاری انجام شده روشنایی دستخوش تغییراتی شده است. اما احتمالاً این تغییرات آنقدر زیاد نیست که مشکلی در فرایند درک و پردازش تصویر توسط پزشک متخصص ایجاد کند. حال روش فیلتر وینر را بر روی تصاویر خاکستری بررسی می‌کنیم. شکل ۴-۲۱ تصاویر رفع تاری شده خاکستری را نشان می‌دهد. در این شکل می‌بینیم که تاری به میزان زیادی کاهش یافته است. به عنوان مثال در تصویر سمت چپ شکل ۴-۲۱ میزان تاری از ۲.۵۵۵۶ به میزان ۱.۴۶۶۳ رسیده است؛ یعنی حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است.



ب) میزان تاری: ۱.۴۶۶۳

الف) میزان تاری: ۱.۵۰۹۷

شکل ۴-۲۱: تصاویر رفع تاری شده شکل ۴-۱۶ در حالت خاکستری به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

در شکل ۴-۲۱ تاری بیشتر از تمام روش‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ کاهش یافته است. اما این تصاویر در حالت خاکستری هستند و در تصاویر WCE که هدف نهایی ما کمک به پزشک متخصص برای تشخیص درست است، مناسب نیستند. چرا که تصویر خاکستری اطلاعات زیادی از این تصاویر را از بین می‌برد. برای مقایسه راحت‌تر تصاویر رفع تاری شده در شکل‌های ۴-۱۸ تا ۴-۲۱ در جدول ۴-۴ مقادیر میزان تاری در تصاویر تار اولیه و سایر روش‌ها که در آن تصاویر رفع تاری شده‌اند را مشاهده می‌کنیم.

جدول ۴-۴: مقایسه میزان تاری در تصاویر شکل‌های ۴-۱۸ تا ۴-۲۱ با استفاده از روش حسینی و همکاران

	تصویر سمت چپ	تصویر سمت راست
تار	۲.۵۵۵۶	۲.۵۴۶۹
R	1.8604	1.8949
G	1.875	1.8317
B	1.7982	1.8234
RG	1.8452	1.9293
RB	1.9328	1.9665
GB	1.7799	1.8305
RGB	۱.۹۳۷	۱.۹۹۲۸
خاکستری	۱.۴۶۶۳	۱.۵۰۹۷

جدول ۴-۴ میزان تاری تمام روش‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول سمت چپ‌ترین ستون، نشان‌دهنده روش‌های رفع تاری است. در این ستون، منظور از "تار" و "خاکستری" تصویر تار اولیه و تصاویر رفع تاری شده در حالت خاکستری است. منظور از "R"، "G"، "B"، "RG"، "RB"، "GB" و "RGB" به ترتیب، تصاویر رفع تاری شده در کانال قرمز، کانال سبز، کانال آبی، کانال‌های قرمز و سبز، کانال‌های

قرمز و آبی، کانال‌های سبز و آبی و در نهایت در هر سه کانال است. با استفاده از این جدول مقایسه روش‌ها راحت‌تر است. به جز حالت خاکستری که نتایج حاصل از آن کاربردی نیست، در سایر روش‌ها، می‌توان نتایج رفع تاری را در هر تصویر (هر ستون) با هم مقایسه کرد. با مقایسه مقادیر هر ستون، کمترین میزان تاری، پررنگ‌تر نشان داده شده است. با مقایسه مقادیر پررنگ می‌بینیم برای تصویر سمت چپ، روش GB و برای تصویر سمت راست روش B بهتر است. منظور از روش GB، رفع تاری در کانال‌های سبز و آبی و منظور از روش B، رفع تاری در کانال آبی است. به طور کلی، این جدول کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در هر دو تصویر تاری حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین الگوریتم پیشنهادی، کارا و اثربخش است.

۴-۶ مقایسه

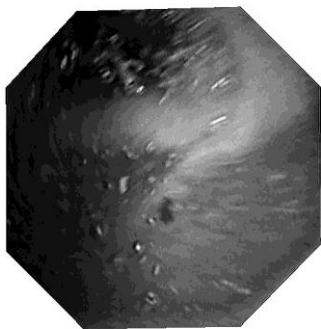
در این بخش می‌خواهیم روش‌های پیشین را با روش پیشنهادی مقایسه کنیم. در فصل دوم، پیشینه تحقیق بررسی شد، در این فصل پژوهش‌ها را به دو دسته تقسیم کردیم. دسته اول آن پژوهش‌هایی بودند که تنها به رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بایسیم پرداختند و دسته دوم آن پژوهش‌هایی بودند که به بهبود تصاویر WCE پرداختند که در بعضی موارد، یکی از اهداف آن‌ها بهبود تاری تصویر بود. حال در این بخش می‌خواهیم بررسی کنیم که آیا امکان مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های معرفی‌شده در این پژوهش‌ها وجود دارد یا خیر. در مواردی که امکان مقایسه وجود دارد، روش پیشنهادی را با روش معرفی‌شده مقایسه می‌کنیم.

از بین پژوهش‌هایی که در دسته دوم قرار داشتند، در مقاله [۱۸] یک چارچوب یادگیری عمیق برای از بین بردن شش مصنوعات موجود در تصاویر و فریم‌های ویدئویی کپسول آندوسکوپی پیشنهاد داده شده است. یکی از این شش مصنوعات، رفع تاری است. در این مقاله برای رفع تاری از روش رفع تاری کور استفاده شده است. حال روش پیشنهادی این مقاله را با روش پایان‌نامه خود مقایسه می‌کنیم. برای مقایسه، از سه تصویری که دارای تاری گوسی، تاری شعاعی و تاری دایره‌ای هستند استفاده می‌کنیم. شکل ۴-۲۲ این سه تصویر را نشان می‌دهد.

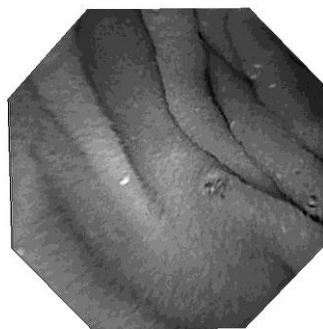


شکل ۴-۲۲: تصاویر دارای تاری. تصویر سمت چپ دارای تاری دایره‌ای، تصویر وسط دارای تاری شعاعی و تصویر سمت راست دارای تاری گوسی است.

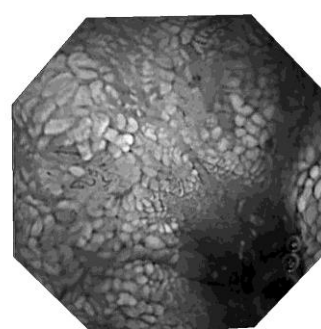
ابتدا تصاویر شکل ۴-۲۲ را با استفاده از روش رفع تاری کور، رفع تاری می‌کنیم. شکل ۴-۲۳ نتایج تصاویر رفع تاری شده را به همراه میزان تاری آن نشان می‌دهد.



پ) میزان تاری = ۲.۵۳۸۲



ب) میزان تاری = ۲.۵۵۸۴



الف) میزان تاری = ۰.۳۷۵۱

شکل ۴-۲۳: تصاویر رفع تاری شده به روش رفع تاری کور. به همراه میزان تاری آن‌ها با استفاده از روش حسینی و همکاران

شکل ۴-۲۳ تصاویر رفع تاری شده را به روش رفع تاری کور نشان می‌دهد. جدول ۴-۵ میزان تاری را در تصاویر تار و تصاویر رفع تاری شده با استفاده از روش پیشنهادی ما و روش پیشنهادی مقاله [۱۸] نشان می‌دهد. از آنجایی که تصاویر رفع تاری شده با استفاده از روش رفع تاری کور به صورت خاکستری است، ما نیز نتایج تصاویر خاکستری خود را با این تصاویر مقایسه می‌کنیم. لازم به ذکر است که در فصل سوم توضیح داده شد که برای سنجش میزان تاری گوسی از معیار تاری معرفی شده در مقاله [۶۶] (روش کرت و همکاران) و برای سنجش تاری شعاعی و دایره‌ای از معیار تاری معرفی شده در مقاله [۶۷] (روش حسینی و همکاران) استفاده می‌کنیم.

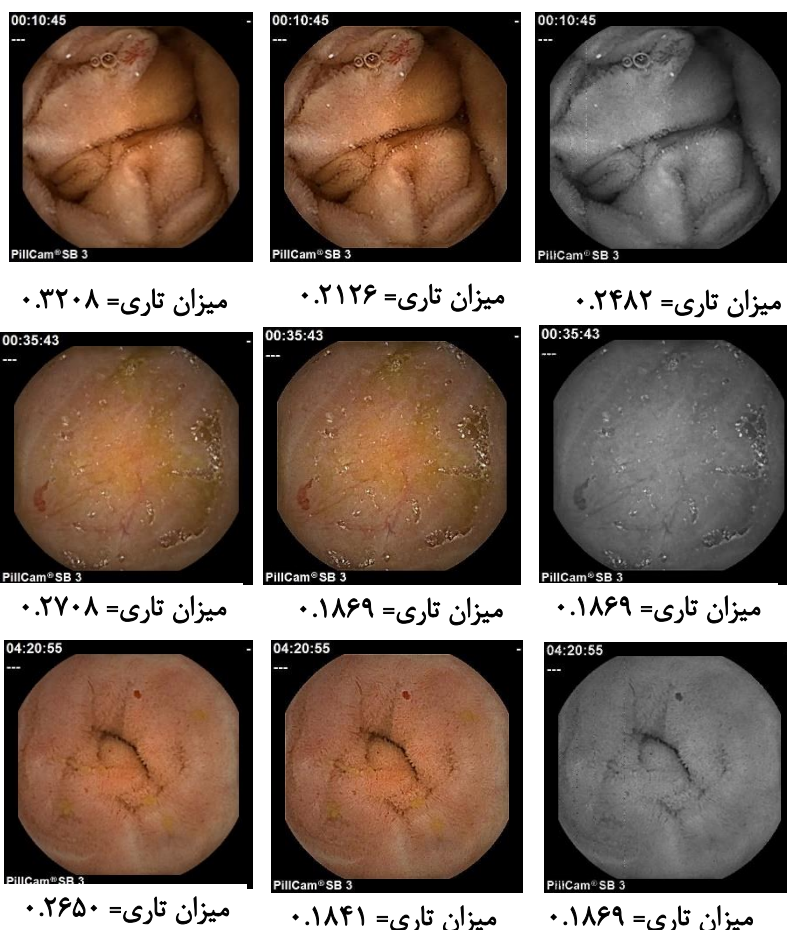
جدول ۴-۵: مقایسه میزان تاری در روش پیشنهادی با روش رفع تاری مقاله [۱۸]

تصویر دارای تاری گوسی (تصویر سمت راست)	تصویر دارای تاری شعاعی (تصویر وسط)	تصویر دارای تاری دایره‌ای (تصویر سمت چپ)	
۰.۴۱۷۵	۲.۵۶۲۹	۲.۵۵۵۶	میزان تاری اولیه
۰.۲۶۳۳	۰.۹۴۶۶۶	۱.۴۶۶۳	روش پیشنهادی ما
۰.۳۷۵۱	۲.۵۵۸۴	۲.۵۳۸۲	روش مقاله [۱۸]

با مقایسه مقادیر جدول ۴-۵ می‌بینیم که کاهش میزان تاری در روش پیشنهادی ما بسیار بیشتر از روش مقاله [۱۸] بوده است. بنابراین روش پیشنهادی ما کاراتر از روش مقاله [۱۸] است.

در قسمت دوم (۴-۲) این فصل، پایگاه داده را معرفی کردیم. همان‌طور که گفته شد، نزدیک به تمام

تصاویر پایگاه داده دارای تاری گوسی هستند. به گونه‌ای که، تصاویری که میزان تاری گوسی آن‌ها نزدیک به صفر است و در آن تاری دایره‌ای و شعاعی وجود ندارد، به عنوان تصاویر واضح و بدون تاری در نظر گرفته شده است. از بین تمام تصاویری که دارای تاری گوسی هستند، تصویر سمت راست شکل ۴-۲۲ دارای بیشترین میزان تاری است، بنابراین این تصویر نمونه خوبی برای مقایسه روش پیشنهادی ما با روش مقاله [۱۸] است. همان‌طور که در جدول ۴-۱ دیدیم، با استفاده از روش پیشنهادی ما، در این نمونه، تاری حدوداً ۳۶ درصد کاهش یافته است اما در روش مقاله [۱۸] حدوداً ۱۰ درصد کاهش تاری داشته‌ایم. با این حال، روش پیشنهادی و روش مقاله [۱۸] را بر روی تمام تصاویر بررسی می‌کنیم و میانگین میزان تاری در تصویر رفع تاری شده‌ی حاصل را مقایسه می‌کنیم. با استفاده از روش پیشنهادی ما در تصاویر دارای تاری گوسی، تاری حدوداً ۴۰ درصد کاهش یافته است اما در روش پیشنهادی مقاله [۱۸] میزان تاری حدوداً ۲۰ درصد کاهش داشته است. به عبارتی در تاری گوسی، روش پیشنهادی ما دو برابر بهتر از روش مقاله [۱۸] عملکرد داشته است. شکل ۴-۲۴ تعدادی از تصاویر دارای تاری گوسی و تصاویر رفع تاری شده به همراه میزان تاری آن‌ها، با استفاده از معیار کورت و همکاران را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۴: تصاویر دارای تاری گوسی و تصویر رفع تاری شده. در هر ردیف، تصویر سمت چپ تصویر اولیه، وسط تصویر رفع تاری شده به روش پیشنهادی و تصویر سمت راست تصویر رفع تاری شده به روش مقاله [۱۸] است.

در شکل ۴-۲۴ در هر ردیف، تصویر سمت چپ تصویر اولیه، وسط تصویر رفع تاری شده به روش پیشنهادی و تصویر سمت راست تصویر رفع تاری شده به روش مقاله [۱۸] است. در این شکل‌ها دیده می‌شود که روش ما بهتر عمل کرده است.

چهل درصد از تصاویر پایگاه داده، دارای تاری شعاعی هستند. در جدول ۴-۵ به عنوان مثال، یک نمونه را که دارای شعاعی است، بررسی کردیم. دیدیم با استفاده از روش ما میزان تاری شعاعی از ۲.۵۶۲۹ به ۰.۹۴۶۶۶ رسیده است اما روش مقاله [۱۸] تقریباً در رفع تاری این نوع تاری شکست خورده است. در این نمونه با استفاده از روش مقاله [۱۸]، میزان تاری به ۲.۵۵۸۴ کاهش یافته است. حال برای بررسی بیشتر ۲۴۲ تصویری که دارای شعاعی هستند را بررسی کردیم. در روش مقاله [۱۸] به طور میانگین میزان تاری به میزان ۳ درصد کاهش یافت اما در روش پیشنهادی ما به طور میانگین، میزان تاری حدوداً ۵۴ درصد کاهش یافته است. برای تاری دایره‌ای نیز رفع تاری به روش مقاله [۱۸] تقریباً شکست خورده است و به طور میانگین در ۱۳۲ تصویری که در آن تاری دایره‌ای شناسایی شد، ۴ درصد کاهش تاری داشتیم در صورتی که با استفاده از روش پیشنهادی این میزان نزدیک به ۳۱ درصد بوده است.

حال سایر پژوهش‌ها را بررسی می‌کنیم. یکی از چهار پژوهشی که در دسته اول (دسته رفع تاری) قرار داشتند، مقاله [۱۲] است که مربوط به رفع تاری ویدئو کپسول آندوسکوپی است. در این پژوهش، عمل رفع تاری با استفاده از اطلاعات فریم‌های همسایه هر فریم انجام شده است. بنابراین امکان مقایسه روش پیشنهادی ما با این پژوهش وجود ندارد. چرا که ما بر روی تصاویر کپسول آندوسکوپی کار می‌کنیم و داده‌های ویدئویی در اختیار نداریم. علاوه بر این، در تصاویری که در اختیار داریم، امکان پیاده‌سازی روش پیشنهادی این مقاله وجود ندارد، زیرا دسترسی به فریم‌های قبلی و بعدی وجود ندارد. به طور کلی نیز عملیات بهبود و پیش‌پردازش تصاویر نسبت به ویدئو بسیار متفاوت است. در مقاله [۵۲] برای انجام عمل رفع تاری از مفهومی به نام برجستگی‌های ویژه استفاده شده است. این برجستگی‌ها، نقاط و ناحیه‌های کوچکی از تصویر هستند که در آن، نور، بازتاب شدیدی داشته است. با استفاده از جهت این نقاط، هسته تاری تخمین زده شده و سپس عملیات رفع تاری انجام شده است. این برجستگی‌های ویژه نه تنها در تصاویر پایگاه داده ما وجود ندارد که به طور کلی نیز وجود چنین نقاطی در تصاویر WCE کمیاب است. بنابراین امکان مقایسه روش پیشنهادی با این روش وجود ندارد. پژوهش بعدی [۳۵] مربوط به تصاویر مبهم^۱ است. در این پژوهش، تعدادی از تصاویر WCE به صورت دستی به تصاویر مبهم تبدیل شده‌اند. سپس همین عملیات به صورت معکوس بر روی تصویر اعمال شده تا به تصویر با کیفیت بالا و رفع تاری شده تبدیل شود. تصاویر مبهم تفاوت اساسی با تصاویر تاری دارند. در این مقاله نیز در ابتدا گفته شده که تفاوت این تصاویر با تصاویر دارای تاری مشخص نیست و سپس در انتهای مقاله بیان شده بود که این تصاویر با تاری تفاوت دارند. در تصاویر مبهم، خرابی بر روی تصویر به صورت یکنواخت است و به صورت بصری نیز این امر مشهود است. اما در تاری، به خصوص تاری در تصاویر

¹ Hazy

WCE خرابی به صورت یکنواخت نیست. به عنوان مثال در تصویری که دارای تاری شعاعی است هر چه فاصله پیکسل‌ها از پیکسل مرکزی (که شبیه به اشعه‌هایی است که به سمت مرکز در حرکت هستند) بیشتر می‌شود، شدت تاری نیز بیشتر می‌شود. علاوه بر این در تصاویر WCE چندین نوع تاری وجود دارد و براساس هر نوع تاری، روش متفاوتی برای رفع تاری ارائه شده است. بنابراین روش این مقاله نیز با روش پیشنهادی ما بسیار متفاوت است و بنابراین قابل مقایسه نیست. در نهایت پژوهش آخر مربوط به مقاله [۱۷] است. در این پژوهش که اولین پژوهشی است که در زمینه رفع تاری تصاویر WCE انجام شده، عملیات رفع تاری تصاویر رنگی انجام شده است. در این پژوهش نیز برای ارزیابی روش پیشنهادی، از تصویر سالمی استفاده شده است که به صورت دستی با استفاده از روش تاری میانگین‌گیری و اضافه کردن نویز گوسی دچار خرابی شده است. ما می‌دانیم که تصویری که به صورت دستی دچار خرابی شده، بسیار متفاوت است با تصاویر پزشکی خامی که هیچ‌گونه دستکاری در آن نشده است. به عنوان مثال در فصل سوم در بخش تاری شعاعی دیدیم که تصاویر شبیه‌سازی شده که برای آن‌ها تاری شعاعی ایجاد کرده بودیم، بسیار متفاوت هستند از تصاویر اصلی که دارای تاری شعاعی هستند. تعدادی از این تصاویر را در بخش ششم دیدیم. تصویری که به صورت یکنواخت با استفاده از میانگین‌گیری دچار تاری سراسری شده است می‌تواند به راحتی رفع تاری شود و پس از رفع تاری، میزان تاری اندکی را به خود اختصاص دهد. چرا که تصویری که به صورت دستی تار شده است، پیچیدگی‌های تصاویر اصلی تار را ندارد. در واقع، رفع تاری تصاویر پزشکی که دارای تاری از نوع غیریکنواخت هستند کاری چالش برانگیز است.

۷-۴ جمع‌بندی

در این فصل به مشاهده نتایج و ارزیابی روش پیشنهادی پایان‌نامه پرداختیم. روش‌های پیشنهادی که در فصل سوم به طور مفصل بیان شد، بر روی تصاویر پایگاه‌داده، اعمال شدند. ابتدا بر روی تصاویری که دارای تاری گوسی بودند با استفاده از روش ماسک غیرتیز عملیات رفع تاری انجام و براساس معیارهای تاری مناسبی، میزان تاری سنجیده شد. سپس با استفاده از روش فیلتر وینر و با تخمین هسته تاری مناسب، به رفع تاری شعاعی و دایره‌ای بر روی تصاویر پایگاه‌داده پرداختیم. نتایج تصاویر رفع تاری را در کانال‌های رنگی مختلف دیدیم. آزمایشات نشان دادند که روش پیشنهادی کارا و اثربخش است. به طور کلی، در هر تاری، میزان تاری در محدوده ۳۰ تا ۸۵ درصد کاهش یافت. بنابراین، در هر سه نوع تاری، تاری به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در نهایت نیز امکان قیاس روش پیشنهادی را با روش‌های پیشین بررسی کردیم و همچنین روش پیشنهادی را با روش مقاله [۱۸] مقایسه نمودیم.

فصل ۵ : جمع بندی و پیشنهاد

۱-۵ جمع‌بندی

در این پایان‌نامه روش‌هایی برای رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم پیشنهاد شد. ابتدا مفهومی به نام نقشه تاری بیان شد. با استفاده از تعریف تاری که مقدار هر پیکسل در یک تصویر تاری، ترکیبی از مقادیر پیکسل‌های همسایه‌اش است از مفهوم همبستگی برای ایجاد نقشه تاری استفاده کردیم. به این صورت که با استفاده از دو پنجره همپوشان سه در سه تصویر را پیمایش و برای این دو پنجره ضریب همبستگی پیرسون را محاسبه کردیم. با پیمایش تصویر با استفاده از این پنجره‌های همپوشان، تصویری اندازه تصویر اصلی به دست آمد که مقادیر پیکسل‌های آن بین ۰ و ۱ است. به این تصویر، نقشه تاری می‌گوییم. با تحلیل هیستوگرام نقشه تاری به روش‌های پیشنهادی پرداختیم.

ابتدا با تحلیل هیستوگرام نقشه تاری هر تصویر، وجود تاری در تصویر تشخیص داده شد. با توجه به تعریف تاری، اگر تصویری دارای تاری باشد، همبستگی بین پیکسل‌ها بیشتر است. به عبارت دیگر در یک تصویر تاری، هیستوگرام نقشه تاری به صورت نمایی رشد می‌کند اما در تصویری که در آن تاری وجود ندارد، رشد نمایی در هیستوگرام نقشه تاری دیده نمی‌شود. علت این امر در این است که در ضریب همبستگی پیرسون که برای ایجاد نقشه تاری از آن استفاده کردیم، عددی بین ۰ و ۱ به دست می‌آید که هر چه عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد میزان تاری در آن تصویر بیشتر است. با استفاده از این موضوع، وجود تصاویر تاری در پایگاه‌داده مورد استفاده، به اثبات رسید. روش پیشنهادی به این صورت است که برای رفع تاری ابتدا باید نوع و میزان تاری تشخیص داده شود. اولین تاری که بررسی کردیم تاری گوسی بود. تاری گوسی بر روی تصویر، مانند یک فیلتر عمل می‌کند. در تصویری که دارای تاری گوسی است وزن پیکسل‌ها متفاوت است. به گونه‌ای که در یک تصویری که دارای تاری گوسی است، توزیع گوسی (زنگوله‌ای شکل) در هیستوگرام تصویر دیده می‌شود. بنابراین با بررسی هیستوگرام یک تصویر، متوجه وجود و یا عدم وجود تاری گوسی خواهیم شد. برای رفع تاری گوسی از روشی به نام ماسک غیرتیز استفاده کردیم. با استفاده از این روش، لبه‌ها و نواحی فرکانس بالای تصویر بهبود می‌یابند. برای سنجش میزان تاری نیز از دو روش معرفی شده در مقاله‌های [۶۷] و [۶۶] به نام روش کورت و همکاران و روش حسینی و همکاران استفاده کردیم. دیدیم که پس از رفع تاری تصویر، تاری به میزان ۵۰ درصد بهبود یافت.

تاری بعدی که مورد بررسی قرار گرفت تاری شعاعی بود. تاری شعاعی نوعی تاری حرکتی است که در تصاویر WCE، در اثر حرکت سریع دوربین ایجاد می‌شود. برای بررسی و اثبات وجود این نوع تاری، از تصاویر شبیه‌سازی شده استفاده کردیم. به صورت گام به گام روش ایجاد تاری شعاعی بر روی یک تصویر سالم شرح داده شد. سپس نقشه تاری تصویر در فضای قطبی را به دست آوردیم. با تحلیل هیستوگرام نقشه تاری در جهت افقی، الگوی تاری شعاعی را پیدا کردیم. دیدیم در تصویری که تاری شعاعی وجود دارد، هیستوگرام نقشه تاری دارای رشد غیرنزولی و تقریباً هلالی شکل است. سپس در تصاویر WCE هیستوگرام نقشه تاری در فضای قطبی را بررسی و با جستجوی این الگو، تاری شعاعی را پیدا کردیم. برای سنجش میزان تاری نیز دو روش معرفی شد. روش اول استفاده از سطوح تاری بود.

به این صورت که با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی‌شده، برای تاری پنج سطح تاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تعیین شد. دیدیم در تصاویر اصلی WCE تمام تصاویری که دارای تاری شعاعی بودند در سطح تاری خیلی کم قرار داشتند. روش دوم برای سنجش میزان تاری، استفاده از روش معرفی‌شده در مقاله [۶۷] (روش حسینی و همکاران) بود. برای رفع تاری این تصاویر، روش فیلتر وینر پیشنهاد داده شد. برای استفاده از روش فیلتر وینر ابتدا باید هسته تاری تخمین زده شود. برای تخمین هسته تاری از دو پارامتر زاویه تاری و طول پنجره تاری استفاده کردیم. از آنجایی که تمام تصاویر WCE در پایگاه‌داده مورد استفاده که دارای تاری شعاعی هستند، در دسته سطح تاری خیلی کم قرار دارند، طول پنجره تاری را عدد ۲ در نظر گرفتیم. زاویه تاری نیز با توجه به فرایند ایجاد تاری شعاعی در تصاویر شبیه‌سازی، ۹۰ درجه در نظر گرفته شد. پس از تخمین هسته تاری، به رفع تاری تصاویر دارای تاری شعاعی پرداختیم. با استفاده از معیار روش حسینی و همکاران دیدیم که تاری به میزان زیادی، در محدوده ۳۰ تا ۸۵ درصد کاهش یافت. فرایند ایجاد تصاویر تار شبیه‌سازی‌شده به این صورت بود که ابتدا برای ایجاد شدت‌های مختلف تاری از پنجره‌هایی با طول‌های متغیر ۲ تا ۶ استفاده کردیم. تصویر به فضای قطبی برده شد و پنجره تاری به صورت عمودی بر روی تصویر پیمایش شد. برای پیکسل‌های درون هر پنجره، میانگین‌گیری انجام شد و در پیکسل اول پنجره تاری ذخیره گردید. پس از پیمایش تمام تصویر و میانگین‌گیری کلی، تصویر به فضای کارتزین برگردانده شد. با این کار تصویر حاصل، تصویری با تاری شعاعی خواهد بود.

در نهایت به تاری دایره‌ای پرداختیم. تاری دایره‌ای نیز مانند تاری شعاعی نوعی تاری حرکتی است. این تاری در اثر حرکت دورانی دوربین ایجاد می‌شود. برای اثبات وجود این تاری نیز از تصاویر شبیه‌سازی شده استفاده کردیم. فرایند ایجاد شدن این تاری در تصویر شبیه به تاری شعاعی است. با این تفاوت که هنگام پیمایش تصویر با استفاده از پنجره‌های تاری، جهت پیمایش به صورت افقی است. بنابراین با استفاده از پنجره‌هایی به طول ۲ تا ۶ که با توجه به شدت تاری، متغیر است، تصویر را در فضای قطبی به صورت افقی پیمایش می‌کنیم و میانگین مقادیر درون هر پنجره را محاسبه و در پیکسل اول پنجره ذخیره می‌کنیم. با این کار تصویری دارای تاری دایره‌ای به دست خواهد آمد. حال هیستوگرام نقشه تاری را در فضای قطبی بررسی می‌کنیم. با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی‌شده دنبال الگویی تکرارشونده می‌گردیم. به این نتیجه رسیدیم که در هیستوگرام نقشه تاری تصویری که دارای تاری دایره‌ای است، حالت هلالی شکل بیشتری وجود دارد که نسبت به شکل هیستوگرام تاری شعاعی متفاوت است. حال در تصاویر اصلی این الگو را جستجو می‌کنیم. در تعدادی از تصاویر WCE پایگاه‌داده، این نوع تاری وجود داشت. برای سنجش میزان تاری، همانند تاری شعاعی از سطوح مختلف تاری استفاده کردیم. با استفاده از شدت‌های مختلف تصاویر شبیه‌سازی‌شده، پنج سطح تاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را دسته‌بندی کردیم. دیدیم تصاویر اصلی WCE در دسته خیلی کم قرار دارند. بنابراین طول پنجره تاری در این تصاویر ۲ است. علاوه بر این از معیار روش حسینی و همکاران استفاده کردیم. برای رفع تاری، همانند تاری شعاعی از فیلتر وینر استفاده کردیم. گفتیم برای استفاده از این روش باید هسته

تاری تخمین زده شود. برای تخمین هسته تاری از دو پارامتر طول پنجره تاری (مقدار ۲) و زاویه تاری استفاده کردیم. با توجه به فرایند ساخت تصاویر شبیه‌سازی شده که دارای تاری دایره‌ای هستند، زاویه تاری صفر درجه در نظر گرفته شد. با اعمال این روش رفع تاری، دیدیم که میزان تاری بسیار کاهش یافت. در واقع تاری حدود ۳۰ درصد کاهش یافت.

۲-۵ پیشنهادهایی برای کارهای آینده

در این پایان‌نامه به رفع تاری تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم پرداخته شد. برای این کار سه نوع تاری گوسی، شعاعی و دایره‌ای در این تصاویر تشخیص داده شد و برای هر کدام روشی برای رفع تاری معرفی گردید. پیشنهادهایی برای کارهای آینده به صورت زیر است:

(۱) با توجه به اینکه در مقاله [۷۴] پایگاه داده گسترده‌ای از تصاویر کپسول آندوسکوپی بیسیم در اواخر سال ۲۰۲۰ منتشر شد، می‌توان از روش‌هایی مانند یادگیری عمیق برای رفع تاری بهتر استفاده کرد. چرا که هر چه تعداد داده‌ها بیشتر باشد، استفاده از روش‌های یادگیری عمیق کاراتر خواهد بود.

(۲) در این پژوهش بررسی کردیم که تصاویر دارای تاری یکنواختی نیستند، می‌توان راه‌حلی مرتبط به این مساله برای رفع تاری تصویر پیدا کرد.

(۳) در این پایان‌نامه سه نوع تاری گوسی، شعاعی و دایره‌ای به صورت مجزا در نظر گرفته شده‌اند، اما ممکن است تصویری دارای هر سه نوع تاری‌ها باشد. یکی از کارهایی که برای آینده پیشنهاد می‌شود رفع تاری تصویری است که ترکیبی از تاری‌ها را در خود داشته باشد. به خصوص تاری شعاعی و دایره‌ای می‌توانند به صورت ترکیبی وجود داشته باشند.

- [1] Iddan, G., Meron, G., Glukhovsky, A. and Swain, P., (2000). "Wireless capsule endoscopy". *Nature*, 405(6785), pp.417-417.
- [2] Seguí, S., Drozdal, M., Pascual, G., Radeva, P., Malagelada, C., Azpiroz, F. and Vitrià, J., (2016). "Generic feature learning for wireless capsule endoscopy analysis". *Computers in biology and medicine*, 79, pp.163-172.
- [3] Sornapudi, S., Meng, F. and Yi, S., (2019). "Region-based automated localization of colonoscopy and wireless capsule endoscopy polyps". *Applied Sciences*, 9(12), p.2404.
- [4] Shahril, R., Baharun, S. and Islam, A.M., (2016). "Pre-processing technique for wireless capsule endoscopy image enhancement". *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(4), p.1617.
- [5] Zabulis, X., Sfakiotakis, M. and Dimih-is, P.T., (2008), August. "Effects of vibratory actuation on endoscopic capsule vision". In *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 5901-5904). IEEE.
- [6] Penna, B., Tillo, T., Grangetto, M., Magli, E. and Olmo, G., (2009), August. "A technique for blood detection in wireless capsule endoscopy images". In *2009 17th European Signal Processing Conference* (pp. 1864-1868). IEEE.
- [7] Rondonotti, E., Herrerias, J.M., Pennazio, M., Caunedo, A., Mascarenhas-Saraiva, M. and de Franchis, R., (2005). "Complications, limitations, and failures of capsule endoscopy: a review of 733 cases". *Gastrointestinal endoscopy*, 62(5), pp.712-716.
- [8] Park, J., Hwang, Y., Yoon, J.H., Park, M.G., Kim, J., Lim, Y.J. and Chun, H.J., (2019). "Recent development of computer vision technology to improve capsule endoscopy". *Clinical endoscopy*, 52(4), p.328.
- [9] Zheng, Y., Hawkins, L., Wolff, J., Goloubeva, O. and Goldberg, E., (2012). "Detection of lesions during capsule endoscopy: physician performance is disappointing". *American Journal of Gastroenterology*, 107(4), pp.554-560.
- [10] Iakovidis, D.K. and Koulaouzidis, A., (2015). "Software for enhanced video capsule endoscopy: challenges for essential progress". *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 12(3), pp.172-186.
- [11] Aoki, T., Yamada, A., Aoyama, K., Saito, H., Tsuboi, A., Nakada, A., Niikura, R., Fujishiro, M., Oka, S., Ishihara, S. and Matsuda, T., (2019). "Automatic detection of erosions and ulcerations in wireless capsule endoscopy images based on a deep convolutional neural network". *Gastrointestinal endoscopy*, 89(2), pp.357-363.
- [12] Peng, L., Liu, S., Xie, D., Zhu, S. and Zeng, B., (2017), December. "Endoscopic video deblurring via synthesis". In *2017 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)* (pp. 1-4). IEEE.
- [13] Moglia, A., Mencias, A., Dario, P. and Cuschieri, A., (2007). "Clinical update: endoscopy for small-bowel tumours". *The Lancet*, 370(9582), pp.114-116.
- [14] Vani, V. and Prashanth, K.M., (2018). "Image Enhancement of Wireless Capsule Endoscopy Frames Using Image Fusion Technique". *IETE Journal of Research*, pp.1-13.
- [15] Javaran, T.A., Hassanpour, H. and Abolghasemi, V., (2017). "Automatic estimation and segmentation of partial blur in natural images". *The Visual Computer*, 33(2), pp.151-161.
- [16] Cho, S., Wang, J. and Lee, S., (2012). "Video deblurring for hand-held cameras using patch-based synthesis". *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(4), pp.1-9.
- [17] Liu, H., Lu, W.S. and Meng, M.Q.H., (2011), August. "De-blurring wireless capsule endoscopy images by total variation minimization". In *Proceedings of 2011 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing* (pp. 102-106). IEEE.
- [18] Ali, S., Zhou, F., Bailey, A., Braden, B., East, J., Lu, X. and Rittscher, J., (2019). "A deep learning framework for quality assessment and restoration in video endoscopy". *arXiv preprint arXiv:1904.07073*.
- [19] Xie, X., Li, G., Chen, X., Li, X. and Wang, Z., (2006). "A low-power digital IC design inside the wireless endoscopic capsule". *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 41(11), pp.2390-2400.
- [20] Lin, M.C., Dung, L.R. and Weng, P.K., (2006). "An ultra-low-power image compressor for capsule endoscope". *BioMedical Engineering OnLine*, 5(1), pp.1-8.
- [21] Duda, K., Duplaga, M. and Zieliński, T., (2010). "Image enhancement tasks in capsule endoscopy". *Bio-Algorithms and Med-Systems*, 6(12), pp.5-13.
- [22] Prasath, V.B., (2017). "Polyp detection and segmentation from video capsule endoscopy: A review". *Journal of Imaging*, 3(1), p.1.
- [23] Vani, V. and Prashanth, K.M., (2016), September. "Image and pixel based scheme for bleeding

- detection in wireless capsule endoscopy images". In *The International Symposium on Intelligent Systems Technologies and Applications* (pp. 161-175). Springer, Cham.
- [24] Vani, V. and Prashanth, K.M., (2017), March. "Principal Curvature Based Polyp Detection in Wireless Capsule Endoscopy Images". In *2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)* (pp. 5-10). IEEE.
- [25] Li, B. and Meng, M.Q.H., (2009). "Texture analysis for ulcer detection in capsule endoscopy images". *Image and Vision computing*, 27(9), pp.1336-1342.
- [26] Li, B. and Meng, M.Q.H., (2012). "Tumor recognition in wireless capsule endoscopy images using textural features and SVM-based feature selection". *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(3), pp.323-329.
- [27] Mohammed, A., Farup, I., Pedersen, M., Hovde, Ø. and Yildirim Yayilgan, S., (2018). "Stochastic capsule endoscopy image enhancement". *Journal of Imaging*, 4(6), p.75.
- [28] Bay, H., Tuytelaars, T. and Van Gool, L., (2006), May. "Surf: Speeded up robust features". In *European conference on computer vision* (pp. 404-417). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [29] Liu, C., (2009), PhD.thesis, "Beyond pixels: exploring new representations and applications for motion analysis" (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- [30] Liu, S., Tan, P., Yuan, L., Sun, J. and Zeng, B., (2016), October. "Meshflow: Minimum latency online video stabilization". In *European Conference on Computer Vision* (pp. 800-815). Springer, Cham.
- [31] Sun, D., Roth, S. and Black, M.J., (2010), June. "Secrets of optical flow estimation and their principles". In *2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2432-2439). IEEE.
- [32] Tan, F., Liu, S., Zeng, L. and Zeng, B., (2016), September. "Kernel-free video deblurring via synthesis". In *ICIP* (pp. 2683-2687).
- [33] Pan, J., Hu, Z., Su, Z. and Yang, M.H., (2014). "Deblurring text images via L0-regularized intensity and gradient prior". In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2901-2908).
- [34] Cho, S., Wang, J. and Lee, S., (2012). "Video deblurring for hand-held cameras using patch-based synthesis". *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(4), pp.1-9.
- [35] Wang, Y., Cai, C., Liu, J. and Zou, Y.X., (2015), April. "A parametric modeling approach for wireless capsule endoscopy hazy image restoration". In *2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 922-926). IEEE.
- [36] Iakovidis, D.K. and Koulaouzidis, A., (2015). "Software for enhanced video capsule endoscopy: challenges for essential progress". *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 12(3), pp.172-186.
- [37] Shahri, R., Arianti, D., Baharun, S., Islam, A.M. and Komaki, S., (2014), December. "Pre-processing technique based on discrete cosine transform (DCT) and anisotropic contrast diffusion for wireless capsule endoscopy images". In *2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)* (pp. 922-927). IEEE.
- [38] Imtiaz, M.S., Mohammed, S.K., Deeba, F. and Wahid, K.A., (2017). "Tri-Scan: A three stage color enhancement tool for endoscopic images". *Journal of Medical Systems*, 41(6), p.102.
- [39] Beck, A. and Teboulle, M., (2009). "Fast gradient-based algorithms for constrained total variation image denoising and deblurring problems". *IEEE transactions on image processing*, 18(11), pp.2419-2434.
- [40] Akbari, M., Mohrekesh, M., Najariani, K., Karimi, N., Samavi, S. and Soroushmehr, S.R., (2018), October. "Adaptive specular reflection detection and inpainting in colonoscopy video frames". In *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 3134-3138). IEEE.
- [41] Tchoulack, S., Langlois, J.P. and Cheriet, F., (2008), June. "A video stream processor for real-time detection and correction of specular reflections in endoscopic images". In *2008 Joint 6th International IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems and TAISA Conference* (pp. 49-52). IEEE.
- [42] Stehle, T., (2006). "Removal of specular reflections in endoscopic images". *Acta Polytechnica*, 46(4).
- [43] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y., (2014). "Generative adversarial nets". *Advances in neural information processing systems*, 27, pp.2672-2680.
- [44] Barcelos, C.A.Z. and Batista, M.A., (2007). "Image restoration using digital inpainting and noise removal". *Image and Vision Computing*, 25(1), pp.61-69.
- [45] Getreuer, P., (2012). "Total variation deconvolution using split Bregman". *Image Processing On Line*, 2, pp.158-174.
- [46] Tong, H., Li, M., Zhang, H. and Zhang, C., (2004), June. "Blur detection for digital images using wavelet transform". In *2004 IEEE international conference on multimedia and expo (ICME)(IEEE Cat. No. 04TH8763)* (Vol. 1, pp. 17-20). IEEE.
- [47] Xu, L., Zheng, S. and Jia, J., (2013). "Unnatural l0 sparse representation for natural image deblurring".

- In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1107-1114).
- [48] Nah, S., Hyun Kim, T. and Mu Lee, K., (2017). "Deep multi-scale convolutional neural network for dynamic scene deblurring". In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3883-3891).
- [49] Chakrabarti, A., (2016), October. "A neural approach to blind motion deblurring". In *European conference on computer vision* (pp. 221-235). Springer, Cham.
- [51] Kupyn, O., Budzan, V., Mykhailych, M., Mishkin, D. and Matas, J., (2018). "Deblurgan: Blind motion deblurring using conditional adversarial networks". In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8183-8192).
- [52] Queiroz, F. and Ren, T.I., (2019). "Endoscopy image restoration: A study of the kernel estimation from specular highlights". *Digital Signal Processing*, 88, pp.53-65.
- [53] Hegenbart, S., Uhl, A. and Vécsei, A., (2011), September. "Impact of endoscopic image degradations on lbp based features using one-class svm for classification of celiac disease". In *2011 7th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)* (pp. 715-720). IEEE.
- [54] Arnold, M., Ghosh, A., Ameling, S. and Lacey, G., (2010). "Automatic segmentation and inpainting of specular highlights for endoscopic imaging". *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2010, pp.1-12.
- [55] Ganesh, A., Lin, Z., Wright, J., Wu, L., Chen, M. and Ma, Y., (2009), December. "Fast algorithms for recovering a corrupted low-rank matrix". In *2009 3rd IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)* (pp. 213-216). IEEE.
- [56] Hu, Z., Cho, S., Wang, J. and Yang, M.H., (2014). "Deblurring low-light images with light streaks". In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3382-3389).
- [57] Münzer, B., Schoeffmann, K. and Böszörményi, L., (2018). "Content-based processing and analysis of endoscopic images and videos: A survey". *Multimedia Tools and Applications*, 77(1), pp.1323-1362.
- [58] علی پور، حسن پور، حمید، فاتح و منصور، (۲۰۲۰). "دسته‌بندی نوع تاری تصویر در تاری‌های سراسری". *مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر*، ۶(۲)، pp. ۱۱۸-۱۰۵.
- [59] Asuero, A.G., Sayago, A. and Gonzalez, A.G., (2006). The correlation coefficient: An overview. *Critical reviews in analytical chemistry*, 36(1), pp.41-59.
- [60] علی پور، (۱۳۹۶)، پایان‌نامه ارشد: "دسته‌بندی خودکار نوع تاری در تصویر و برآورد میزان آن" دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [61] Taylor, R., (1990). "Interpretation of the correlation coefficient: a basic review". *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1), pp.35-39.
- [62] Frederic, P.M., Dufaux, F., Winkler, S., Ebrahimi, T. and Sa, G., (2002). "A no-reference perceptual blur metric". In *IEEE 2002 International Conference on Image Processing*.
- [63] Ferzli, R. and Karam, L.J., (2009). "A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB)". *IEEE transactions on image processing*, 18(4), pp.717-728.
- [64] Narvekar, N.D. and Karam, L.J., (2011). "A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection (CPBD)". *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(9), pp.2678-2683.
- [65] Hong, Y., Ren, G. and Liu, E., (2016). "A no-reference image blurriness metric in the spatial domain". *Optik*, 127(14), pp.5568-5575.
- [66] Crete, F., Dolmiere, T., Ladret, P. and Nicolas, M., (2007), February. "The blur effect: perception and estimation with a new no-reference perceptual blur metric". In *Human vision and electronic imaging XII* (Vol. 6492, p. 64920I). International Society for Optics and Photonics.
- [67] Hosseini, M.S., Zhang, Y. and Plataniotis, K.N., (2019). "Encoding visual sensitivity by maxpool convolution filters for image sharpness assessment". *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(9), pp.4510-4525.
- [68] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. and Eddins, S.L., (2004). "**Digital image processing using MATLAB**". Pearson Education India.
- [69] Webster, C.B. and Reeves, S.J., (2007), August. "Radial deblurring with ffts". In *2007 IEEE International Conference on Image Processing* (Vol. 1, pp. I-101). IEEE.
- [70] Hurakadli, V., Kulkarni, S., Patil, U., Tabib, R. and Mudengudi, U., (2019), July. "Deep Learning based Radial Blur Estimation and Image Enhancement". In *2019 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [71] Li, S., Cui, Y. and Chu, Y., (2012), August. "Noisy radial deblurring using natural image prior". In *2012 International Conference on Computer Science and Service System* (pp. 1880-1883). IEEE.
- [72] Amudha, J., Pradeepa, N. and Sudhakar, R., (2012). "A survey on digital image restoration". *Procedia engineering*, 38, pp.2378-2382.

- [73] Solomon, C. and Breckon, T., (2011). “***Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab***”. John Wiley & Sons.
- [74] Smedsrud, P.H., Gjestang, H.L., Nedrejord, O.O., Næss, E., Thambawita, V., Hicks, S., Borgli, H., Jha, D., Berstad, T.J.D., Eskeland, S.L. and Lux, M., (2020). “Kvasir-Capsule, a video capsule endoscopy dataset”.

Abstract

The use of Wireless Capsule Endoscopy (WCE) technology, which is only two decades old, has been growing in recent years. The capsule moves through the gastrointestinal tract and captures images. Specialists use these images to diagnose a variety of diseases. To correctly diagnose diseases, the resulting images need to have high quality and resolution. The blurry images cause the specialist not to diagnose or misdiagnose. The complex conditions for capturing images, low brightness, and limited equipment are among the reasons for their low quality and sharpness. This capsule moves due to slipping and rotational movements. This constant movement creates a blur in these images.

This study aimed to deblur the images of WCE. Deblurring an image is a challenging task, as the type of blur must be identified and, also, the kernel of the blur estimated. In these images, three types of Gaussian, radial, and circular blur have been identified. In the proposed method, we first examine the blurriness using an appropriate metric. We use the unsharp masking method to deblur the images with Gaussian blur. This method amplifies the edges and the high-frequency areas of the images. The Wiener filter is another method that has been used to deblur all types of blur in the past. We used the Wiener filter method to remove radial and circular blur. To estimate the blur kernel, we used simulated images with radial and circular blur. In fact, according to the procedure of generating the simulated images and the amount of this type of blur in the WCE images, the kernel of blur can be estimated. We evaluate the results based on the GIANA 2017 challenge dataset. The results show that the blurring rate is reduced by about 30% to 85%.

Keywords: blurriness, wireless capsule endoscopy, radial blur, circular blur, kernel estimation, wiener filter, unsharp masking



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Computer & IT Engineering

M.Sc Thesis in Artifitual Intelligence

De-Blurring Wireless Capsule Endoscopy images

By: Hamideh Bagheri

Supervisor:
Dr. Hamid Hassanpour

January 2021