

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوش مصنوعی

بررسی رفتار حرکتی اسپرم‌ها با استفاده از تصاویر ویدیویی جهت دسته‌بندی آن‌ها از نظر عملکرد باروری

نگارنده: مسعود خوری

استاد راهنما

دکتر حمید حسن‌پور

استاد مشاور

دکتر نیلوفر سدیفی

شهریور ۹۸

شماره: ۴۰۵۶
تاریخ: ۹۸/۸/۲۴

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 آقای مسعود خوری با شماره دانشجویی ۹۵۰۵۶۶۴ رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی و رباتیک تحت عنوان بررسی رفتار حرکتی اسپرم‌ها با استفاده از تصاویر ویدیویی جهت دسته‌بندی آن‌ها از نظر عملکرد باروری که در تاریخ ۹۸/۰۶/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه:) ☒ مردود ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☒

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حمید حسن پور	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر نیلوفر سدیقی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس محسن فرهادی	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مرضیه رحیمی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر محسن بیگلری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا الفی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ

ماحصل آموختہ یایم را تقدیم می کنم بہ آنان کہ مہر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

بہ استوارترین تکیہ گاہم، دستان پر مہر پدرم

بہ سبزترین نگاہ زندگیم، چشمان سبز مادرم

کہ ہرچہ آموختم در مکتب عشق شما آموختم و ہرچہ بلو شتم قطرہ ای از دریای بی کران مہربانی تان را پاس نتوانم گفت

امروز، ہستی ام بہ امید شماست و فردا کلید باغ بہشتم رضای شما

رہ آوردی کران سبک تر از این ارزان نداشتم تا بہ خاک پایتان نثار کنم، باشد کہ حاصل تلاشم نسیم کونہ غبار حسرتی تان را بزدايد

بوسہ بردستان پر مہر تان

تشکر و قدردانی

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر حمید حسن پور که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشید و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

تهیه نامه

اینجانب مسعود خوری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی و رباتیک دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی رفتار حرکتی اسپرم ها با استفاده از تصاویر ویدیویی جهت دسته بندی آنها از نظر عملکرد باروری تحت راهنمایی جناب آقای 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 افزار ها 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.

امروزه یکی از مشکلات اساسی در کشورهای توسعه یافته، مسئله ناباروری و درمان آن است. مشکلی که بسیاری از زوجین را درگیر خود ساخته است. در مشکل ناباروری اولین راهکاری که مورد بررسی قرار می‌گیرد، بررسی مشکل در زوج مذکر است. با توجه به علل مختلفی که ممکن است در ناباروری شخص مرد دخیل باشد، اولین قدم در بررسی پزشکان متخصص، آزمایش و تحلیل اسپرم وی است. تحلیل اسپرم در زوج مرد از جنبه‌های متفاوتی از جمله بررسی ساختار شکلی یک اسپرم، و همچنین تحلیل و ارزیابی قدرت تحرک‌پذیری اسپرم مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این دو فاکتور نامبرده مورد دوم، یعنی ارزیابی قدرت تحرک‌پذیری اسپرم‌ها بسیار مهم است. چرا که در صورت لزوم به عمل لقاح درون آزمایشگاهی این فاکتور از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با توجه به ماهیت ساختاری و ویژگی‌های حرکتی اسپرم‌ها، استفاده از ابزار دقیق و قدرتمند جهت تحلیل و ارزیابی تحرک‌پذیری اسپرم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه از هوش مصنوعی و بخصوص شاخه بینایی ماشین به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزار، در حوزه‌های مختلف پزشکی استفاده می‌شود. در این فعالیت پژوهشی ما با استفاده از تصاویر ویدیویی میکروسکوپی مربوط به تحرک‌پذیری اسپرم‌ها، ابتدا با استفاده از فیلتر کالمن و الگوریتم مجارستانی اقدام به ردیابی آن‌ها و استخراج پارامترهای حرکتی اصلی و متداول نمودیم. در گام دوم پژوهش نیز، با استفاده از الگوریتم‌های موجود در حوزه یادگیری ماشین، اقدام به تحلیل، ارزیابی و طبقه‌بندی عملکرد باروری هر یک از اسپرم‌ها از لحاظ قدرت تحرک‌پذیری آن‌ها نمودیم. ما در فعالیت خود از یک ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی اسپرم‌ها از لحاظ قدرت تحرک‌پذیری به دو کلاس موجود استفاده نمودیم. طبق نتایج بدست آمده، خروجی نهایی حاصل از طبقه‌بندی با روش ماشین بردار پشتیبان، با دقت ۸۸.۹ درصد توانست کلاس مربوط به اسپرم‌ها را درست پیش‌بینی کند. نکته‌ی حائز اهمیت در فعالیت صورت گرفته، انجام عملیات طبقه‌بندی برای تمام ویژگی‌های اصلی موجود حرکتی برای اسپرم‌ها است. بدین ترتیب نشان داده شد که می‌توان برای ارزیابی کیفیت حرکتی اسپرم‌ها، روش‌های پارامتریک جهت طبقه‌بندی آن‌ها با استفاده از پارامترهای حاصل از ردیابی حرکتی ارائه نمود.

کلمات کلیدی: تحرک‌پذیری اسپرم، ارزیابی باروری، ردیابی هدف، فیلتر کالمن، الگوریتم مجارستانی، طبقه‌بندی، ماشین بردار پشتیبان،

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ اهمیت تحقیق پیش رو	۵
۳-۱ مراحل تحلیل تحرک پذیری اسپرم ها	۶
۴-۱ اهداف تحقیق	۷
۵-۱ روش تحقیق	۷
۶-۱ ساختار کلی پایان نامه	۸
فصل دوم: مبانی تحقیق	۹
۱-۲ مقدمه	۱۰
۲-۲ پارامترهای تحلیل اسپرم	۱۱
۱-۲-۲ غلظت اسپرم	۱۱
۲-۲-۲ ساختار ریختی اسپرم	۱۲
۳-۲ ردیابی اشیاء	۱۷
۱-۳-۲ معرفی کلی	۱۷
۲-۳-۲ مفاهیم و اصطلاحات پایه	۱۹
۴-۲ مفاهیم پایه پردازش تصویر	۲۳
۱-۴-۲ نویز و حذف آن	۲۳
۲-۴-۲ پس زمینه و پیش زمینه تصویر	۲۳
۳-۴-۲ قطعه بندی تصاویر	۲۴
۴-۴-۲ الگوریتم های ریخت شناسی	۲۵
۵-۲ الگوریتم های یادگیری	۲۶
۱-۵-۲ یادگیری با ناظر	۲۷
۶-۲ مروری بر فعالیتهای پیشین	۲۸
۷-۲ نتیجه گیری	۳۸
فصل سوم: روش پیشنهادی	۳۹
۱-۳ مقدمه	۴۰
۲-۳ فرایند ردیابی	۴۰
۱-۲-۳ تفاضل دو فریم متوالی (حذف اولیه پس زمینه)	۴۰
۲-۲-۳ حذف محتوای موجود کمتر از حد آستانه شدت روشنایی	۴۲
۳-۲-۳ دودوئی سازی مکمل تصویر با استفاده از روش آستانه گذاری otsu	۴۴

۴۷	۴-۲-۳ عملیات ریخت‌شناسی (حذف محتوای غیر واقعی)
۵۰	۵-۲-۳ حذف پیوستگی‌های کوچکتر از حد آستانه
۵۱	۶-۲-۳ تعیین مراکز اهداف
۵۳	۷-۲-۳ تخمین وضعیت با استفاده از فیلتر کالمن
۶۰	۳-۳ ارزیابی تحرک‌پذیری اسپرم‌ها از لحاظ عملکرد باروری
۶۰	۱-۳-۳ میانگین سرعت مسیر واقعی اسپرم
۶۱	۲-۳-۳ میانگین سرعت جابجایی مستقیم اسپرم
۶۲	۳-۳-۳ میزان خطی بودن اسپرم
۶۲	۴-۳-۳ میانگین سرعت مسیر همواره شده اسپرم
۶۳	۵-۳-۳ میزان حرکت مستقیم اسپرم
۶۴	۶-۳-۳ انحراف سر در مسیر جانبی
۶۴	۷-۳-۳ میزان جنبش سر اسپرم
۶۴	۷-۳-۳ میانگین جابجایی زاویه‌ای اسپرم
۶۵	۴-۳ تحلیل تحرک‌پذیری و تعیین کلاس اسپرم‌ها
۶۷	۱-۴-۳ محاسبه پارامترهای حرکتی برای ردیابی‌های تعیین شده
۶۷	۲-۴-۳ استخراج حرکت‌های دارای ردیابی با حداقل طول مشخص
۶۸	۳-۴-۳ برچسب‌گذاری ردیابی‌های انجام شده
۶۸	۴-۴-۳ طبقه‌بندی ردیابی‌های صورت گرفته
۷۰	۵-۳ نتیجه‌گیری
۷۱	فصل چهارم: نتایج
۷۲	۱-۴ مقدمه
۷۲	۲-۴ معرفی دادگان
۷۳	۳-۴ نتایج روش ارائه شده
۷۳	۱-۳-۴ دقت تشخیص
۷۷	۲-۳-۴ دقت ردیابی
۸۳	۳-۳-۴ ارزیابی و طبقه‌بندی عملکرد باروری اسپرم‌ها
۸۹	فصل پنجم: جمع بندی
۹۰	۱-۵ مقدمه
۹۰	۲-۵ نوآوری تحقیق
۹۰	۳-۵ پیشنهادات

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ : ساختار شکلی اسپرم ----- ۱۳
- شکل ۲-۲: انواع ناهنجاری موجود در ساختار شکلی اسپرم ----- ۱۳
- شکل ۳-۲ کلیت مفهوم ردیابی ----- ۲۱
- شکل ۳-۱: روند کلی روش پیشنهادی ردیابی اسپرم ها ----- ۴۱
- شکل ۳-۲ : حذف پس زمینه با تفاضل دو فریم متوالی ----- ۴۲
- شکل ۳-۳ : تصویر مکمل تفاضل دو فریم متوالی ----- ۴۴
- شکل ۳-۴: مقدار حد آستانه بهینه در روش OTSU ----- ۴۶
- شکل ۳-۵: تصاویر دودویی حاصل از بکارگیری روش OTSU ----- ۴۶
- شکل ۳-۶: عملیات سایش ----- ۴۸
- شکل ۳-۷ : عملیات گسترش ----- ۴۹
- شکل ۳-۸ : حذف به هم پیوستگی های کمتر از ۶ پیکسل در یک تصویر دودویی فرضی ----- ۵۰
- شکل ۳-۹: محاسبه مراکز اهداف تشخیص داده شده ----- ۵۲
- شکل ۳-۱۰: الگوریتم پیش پردازش و تشخیص موقعیت مکانی اسپرم ها ----- ۵۳
- شکل ۳-۱۱: فیلتر کالمن به صورت فازهای تفکیک شده ----- ۵۵
- شکل ۳-۱۲: الگوریتم فرایند تخمین حالت سیستم با استفاده از فیلتر کالمن ----- ۵۷
- شکل ۳-۱۳: جدول قیمت تخصیص کار در روش MUNKRES ----- ۵۸
- شکل ۳-۱۴: الگوریتم تخصیص MUNKRES ----- ۵۹
- شکل ۳-۱۵ . طبقه بندی حرکتی اسپرم ها از دیدگاه ماهیت کلی حرکتی. ----- ۶۶
- شکل ۳-۱۶: دیگرام فرایند طبقه بندی حرکتی اسپرم ها ----- ۶۷
- شکل ۳-۱۷ : طبقه بند ماشین بردار پشتیبان ----- ۷۰
- شکل ۴-۱ : دو فریم متوالی ویدیو ----- ۷۳
- شکل ۴-۲ : تفاضل و مکمل تفاضل فریم های شکل ۴-۱ ----- ۷۳
- شکل ۴-۳: تصویر دودویی حاصل از شکل ۴-۲ (ب) ----- ۷۴
- شکل ۴-۴: تصاویر حاصل از عملیات ریخت شناختی ----- ۷۴
- شکل ۴-۵: تعیین مراکز اهداف تشخیص داده شده ----- ۷۴
- شکل ۴-۶: خطای تشخیص اسپرم با شناسایی اهداف RC ----- ۷۶
- شکل ۴-۷: نمونه های تشخیص اهداف متحرک با تراکم های بالا و پایین ----- ۷۷
- شکل ۴-۸ : مدل مفهومی برخورد ----- ۷۹
- شکل ۴-۹: نتیجه حاصل از ردیابی برای ویدیوی با تراکم پایین اسپرم متحرک و عدم وجود برخورد. ----- ۸۰
- شکل ۴-۱۰ : نتیجه ی حاصل از ردیابی برای ویدیوی با تراکم متوسط اسپرم متحرک و برخوردها کم ----- ۸۰
- شکل ۴-۱۱: نتیجه حاصل از ردیابی در ویدیوی با تراکم اسپرم های متحرک زیاد و میزان بالای برخوردها ----- ۸۱
- شکل ۴-۱۲: نتیجه ی حاصل از ردیابی ویدیوی با تراکم بسیار زیاد اسپرم های متحرک و کنترل نامناسب برخوردها ----- ۸۱
- شکل ۴-۱۳.انواع کلی حرکتی از لحاظ عملکرد باروری ----- ۸۳
- شکل ۴-۱۴. عملیات طبقه بندی بر روی ویدیوی با تعداد تراکم پایین اسپرم متحرک و بدون برخورد ----- ۸۴
- شکل ۴-۱۵. نتیجه حاصل از طبقه بندی برای ویدیوی با تراکم اسپرم متحرک نسبتا بالا و برخورد کم. ----- ۸۵
- شکل ۴-۱۶. تراکم بالای اسپرم متحرک و میزان برخوردهای نسبتا بالا. عملیات طبقه بندی مناسب ----- ۸۶
- شکل ۴-۱۷. تراکم بالای اسپرم های متحرک و برخوردهای نسبتا بالا. طبقه بندی مناسب الگوریتم ارائه شده ----- ۸۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ تعدادی از فعالیت‌های پیشین [۵۰]-----۳۶
- جدول ۱-۴ -پارامترهای حاصل از انجام عملیات ردیابی-----۸۲
- جدول ۲-۴ مقایسه عملکردی روش‌های رگرسیون لجستیک و روش ارائه شده با پارامترهای حرکتی پیشنهادی ---۸۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی که در کشورهای توسعه‌یافته وجود دارد، مسئله‌ی ناباروری^۱ است. به طوری که طبق آمار منتشرشده توسط سازمان جهانی سلامت^۲ در سال ۲۰۱۲ از هر چهار زوج، یک مورد آن‌ها مشکل ناباروری دارند[۱]. طبیعتاً با وجود چنین مشکلی، راهکارهای درمانی متفاوتی نیز وجود دارد. زوج‌هایی که از این مشکل رنج می‌برند، ملزم به پرداخت هزینه‌های درمانی بالایی جهت درمان خود هستند. به طوری که طبق آماری که دانشگاه ولز جنوبی واقع در استرالیا، مرکز سلامت زنان و کودکان و همچنین واحد بین‌المللی تحقیقات و آمار پرینتال اپیدولوژی در برخی کشورهای دیگر انجام دادند، متوسط هزینه‌ی مستقیم جهت برخی از هزینه‌های درمانی همچون لقاح درون آزمایشگاهی^۳ در سال ۲۰۰۶، بین ۱۳۰۰ تا ۱۸۰۰ دلار ارزیابی شده بود. با کمی تأمل در خواهیم یافت که این هزینه‌ی اعلام شده به واسطه‌ی این سازمان، هم‌اکنون بسیار بیشتر از این میزان اعلام‌شده است. به طوری که طبق آمار منتشرشده در سال ۲۰۱۴، هزینه‌ی هر دوره از عمل لقاح درون آزمایشگاهی در کشور آمریکا، به طور متوسط هزینه‌ای برابر با ۱۲۴۰۰ دلار و در اروپا هزینه‌ای به طور میانگین بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ یورو در پی داشته است. مشخصاً با توجه به این هزینه‌های بالایی که برای درمان ناباروری در زوجین وجود دارد، طبیعی است میزان خدماتی که به زوجین برای درمان بیماری‌شان داده می‌شود، باید در سطحی باشد که نتایج حاصل از درمان خود را به بهترین شکل ممکن به‌دست آورند.

بیماری ناباروری به طور کلی به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شود: ۱. ناباروری اولیه^۴ و ۲. ناباروری ثانویه^۵. در ناباروری اولیه زوج نابارور از همان ابتدای زندگی و پس از ازدواج دارای مشکل و ناتوانی در

^۱ Infertility

^۲ World Health Organization

^۳ In Vitro Fertilization

^۴ Primary Infertility

^۵ Secondary Infertility

تولید مثل و ایجاد فرزند هستند. اما در ناباروری ثانویه ممکن است که زوج نابارور حتی دارای فرزند هم باشند، اما با توجه به گذشت زمان دچار مشکل شده باشند. اینکه بیان می‌شود یک زوج دارای مشکل ناباروری هستند، تعریف و معیار مشخصی دارد. مشکل ناباروری در زوج نابارور را هم در مرد و هم زن بررسی می‌کنند. البته تعریف و معیاری که در هریک از زوجین وجود دارد، با معیارهای مشخصی تعریف می‌شود. ما در این پژوهش به بررسی ناباروری مربوط به مردان خواهیم پرداخت.

بررسی مشکل ناباروری مردان، اولین قدمی است که هنگام درمان ناباروری برداشته می‌شود، و در صورت وجود مشکل، اغلب مربوط به آسیب‌هایی است که در نمونه semen آن شخص و اسپرم‌های^۱ وی وجود دارد. اما هنگام بررسی مسئله ناباروری مردان به طور کلی مواردی همچون تست فیزیکی^۲، ارزیابی هورمونی^۳، آنالیز اسپرم^۴ و تست های ژنتیکی^۵ ارزیابی می‌شوند. قاعدتا هر یک از موارد فوق مهم بوده و بررسی آنها لازم است. اما مهم‌ترین جنبه و مسئله‌ای که اعلام شده، بحث مربوط به آسیب‌های موجود در نمونه semen و احیانا پارامترهای قابل بررسی در اسپرم فرد مذکر است که مورد آزمایش قرار می‌گیرد. در آنالیز نمونه semen یک فرد مذکر، طبق استانداردهایی که سازمان جهانی سلامت اعلام نموده است، از جنبه‌های مختلف اقدام به بررسی نمونه تهیه‌گردیده از شخص مذکر می‌کنند، و در بررسی‌ای که صورت می‌دهند، اقدام به ارزیابی پارامترهایی همچون تعداد اسپرم^۶ موجود در نمونه، (غلظت نمونه)^۷، تحرک^۸، میزان تحرک پیشرونده^۹ و ساختار ریختی اسپرم^{۱۰} در نمونه فرد

¹ Sperms

² Physical Test

³ Hormonal Evaluation

⁴ Sperm Analysis

⁵ Genetic Test

⁶ Sperm Count

⁷ Concentration

⁸ Motility

⁹ Progressive Motility

¹⁰ Sperm Morphology

می‌گردد. هریک از پارامترهای نامبرده به تفصیل در فصل بعد توضیح داده می‌شوند. البته پارامترهای دیگری همچون میزان اسیدی یا قلیایی بودن نمونه گرفته شده را نیز با آزمایش‌های دیگر اندازه‌گیری می‌کنند. اما مسئله‌ی مهمی که در اینجا مطرح می‌شود، چگونگی سنجش، ارزیابی و تحلیلی هست که باید بر روی نمونه گرفته شده انجام شود. قاعدتا نیاز به ابزارهایی با دقت بالا برای انجام مشاهدات و تحلیل‌هایی می‌باشیم، که جهت ثبت گزارش مورد نیاز هستند. یکی از علومی که امروزه در اکثر رشته‌های موجود و بخصوص پزشکی می‌توان از آن به عنوان ابزار کمکی در پیشبرد هدف مورد نظر استفاده نمود، هوش مصنوعی^۱ و شاخه‌های آن می‌باشد [۲-۴]. یکی از پرکاربردترین این شاخه‌ها که از آن در پزشکی استفاده‌های بسیاری می‌شود، پردازش تصویر^۲ و بینایی ماشین^۳ است [۵-۸]. استفاده از بینایی ماشین و پردازش تصویر امروزه بطور گسترده در زمینه‌های تهیه تصاویر پزشکی همچون رادیولوژی [۹-۱۲]، ژنتیک [۱۲ و ۱۳]، تشخیص انواع سرطان‌ها [۱۳ و ۱۵] و مواردی دیگر صورت می‌پذیرد. در زمینه تحلیل اسپرم‌ها نیز فعالیت‌های بسیاری چه در زمینه تشخیص ناهنجاری‌های ساختاری اسپرم‌ها [۱۶ و ۱۷]، و چه در زمینه تحلیل حرکتی آن‌ها انجام شده است. که در فصل بعد به بیان تعدادی از آن‌ها به تفصیل خواهیم پرداخت. بطور کلی، مطالعه در این زمینه از اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ میلادی با طراحی نرم‌افزارها و سخت افزارهای تحلیل کننده نمونه semen به عرصه جدیدی وارد شد. البته این نرم‌افزارهای موجود بیشتر در غالب مجموعه‌های تجاری، نه علمی و پژوهشی که در انحصار برخی شرکت‌های خاص هستند، تولید و عرضه می‌شوند. در حیطه علمی و پژوهشی نیز مطالعات داخلی و خارجی بسیاری در جهت بهبود عملکردی نرم‌افزارها انجام شده است. اما با توجه به شرایط موجود، سازمان جهانی سلامت، هرسال و یا هرچند سال استانداردهای موجود در تحلیل یک نمونه semen و اسپرم‌ها را به‌روز می‌کند. همچنین چالش‌های موجود در نرم‌افزار را

¹ Artificial Intelligence

² Image Processing

³ Machine Vision

⁴ Abnormality

بیان می‌کند، و مطابق با این استانداردها تحلیل‌های موجود صورت می‌پذیرد. اما مسئله‌ای که باعث اهمیت موضوع و تحقیق در آن می‌شود، چالش‌هایی هست که همچنان در این زمینه وجود دارد. در ادامه به بیان برخی از این چالش‌های موجود می‌پردازیم.

۱-۲ اهمیت تحقیق پیش رو

همانطور که بیان گردید، سازمان جهانی سلامت، مسائلی همچون مشکلات موجود در ناباروری و استانداردهای لازم در تحلیل پارامترهای مربوط به سلامت در این حوزه را به‌روز و برخی آمار مشخص و لازم جهت استانداردهای موجود در این زمینه را بیان می‌کند. این سازمان با همکاری لازم با مراکز تحقیقات فناوری، استانداردهای مورد نیاز برای بوجود آوردن سیستم‌های تحلیلگر^۱ در زمینه‌های پزشکی، از جمله تحلیل اسپرم را بیان نموده و سیستم‌هایی که تولید می‌شوند را از لحاظ امکانات قابل اجرا اعتبارسنجی می‌کند. بنابراین، با نظارت بر تهیه این سیستم‌ها، مواردی که سیستم تحلیلگر در آن‌ها ضعف دارند را بیان می‌کند. برای مثال یکی از ضعف‌هایی که در سیستم‌های تحلیل اسپرم وجود دارد، عدم توانایی این سیستم‌ها برای تعیین سالم بودن یا وجود ناهنجاری در ساختار ریختی اسپرم‌ها به صورت خودکار است. در زمینه تحرک‌پذیری اسپرم‌ها تا بحال الگوریتم‌های زیادی در جهت ردیابی و تحلیل پارامترهای آن‌ها ارائه گردیده‌اند، که هر یک دارای نقاط ضعف و قوت خود هستند. نقاط ضعف موجود در این الگوریتم‌ها حاصل از چالش‌هایی هستند، که کنترل و برطرف نمودن آن‌ها می‌تواند یک سیستم مناسب جهت تحلیل تحرک‌پذیری اسپرم‌ها را در برداشته باشد. از جمله چالش‌هایی که برای فعالیت‌های ارائه‌شده می‌توان بیان نمود، مواردی چون عدم عملکرد مناسب سیستم در ردیابی اسپرم‌ها با تعداد بالا، عدم تشخیص مناسب اسپرم‌ها توسط سیستم در هنگام نويز بالا، عدم سرعت مناسب الگوریتم‌های طراحی شده به دلیل پیچیدگی زمانی و نهایتاً تعمیم‌ناپذیری

¹ Analyzer Systems

الگوریتم‌های موجود برای داده‌های پیچیده است. اما با توجه به نکاتی که در فوق بیان گردید، آنچه که بعنوان اهمیت انجام تحقیق پیش‌رو مطرح می‌شود، انجام و پیاده‌سازی روشی جهت تعیین طبقه حرکتی اسپرم‌ها است، به نحوی که بتواند تا حد امکان نقایص موجود در خروجی نهایی مربوط به سیستم‌های طراحی شده را که مربوط به طبقه‌بندی انواع حرکتی اسپرم‌ها می‌باشد بهبود دهد.

۱-۳ مراحل تحلیل تحرک‌پذیری اسپرم‌ها

اگر بخواهیم به ساده‌ترین شکل ممکن عملیات تحلیل تحرک‌پذیری یک اسپرم را بیان کنیم، باید بگوییم که اجرای این روال شامل دو مرحله کلی است. مرحله اول عملیات ردیابی اسپرم^۱ در طول یک بازه زمانی مشخص که با استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های موجود در هوش مصنوعی انجام می‌شود و مرحله دوم محاسبه پارامترهای حرکتی اسپرم^۲ و ارزیابی آن از لحاظ میزان توانایی تحرک‌پذیری است، که با توجه به آنچه سازمان جهانی سلامت تحت عنوان استانداردهای موجود تعیین می‌کند، باید انجام پذیرد. در مرحله ردیابی اسپرم‌ها، معمولاً استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر در مرحله ابتدایی فرایند ردیابی و نیز استفاده از الگوریتم‌ها و فیلترهای تخمین حالت^۳ در ادامه آن صورت می‌گیرد. اما مرحله تحلیل پارامترهای حرکتی که با توجه به تعریف سازمان جهانی سلامت مشخص گردیده‌اند، دسته‌بندی یا تعیین کلاس یک اسپرم از لحاظ قدرت باروری حرکتی است که، با توجه به تجربیات شهودی توسط متخصصان ناباروری بدست آمده‌اند.

تاکنون فعالیت‌های زیادی در زمینه ارزیابی تحرک‌پذیری اسپرم‌ها با استفاده از عملیات ردیابی آن‌ها صورت پذیرفته است، اما هیچ‌گاه به صورت جامع بر روی تحلیل همه‌ی پارامترهای حرکتی آن‌ها و همچنین بدست آوردن مدل‌های حرکتی کلی و نیز بیان ارتباط آن‌ها با یکدیگر، تمرکزی صورت

^۱ Sperm Tracking

^۲ Sperm Motility Parameters

^۳ State Estimation Filters

نگرفته است. ما در این تحقیق سعی بر آن داریم که ابتدا به ارائه مدل‌های کلی حرکتی که در حرکت اسپرم‌ها وجود دارند، پرداخته و سپس تحلیلی از ارتباط کلی بین پارامترهای موجود و مدل حرکتی اسپرم‌ها داشته باشیم.

۴-۱ اهداف تحقیق

اهداف در این تحقیق را می‌توان به دو بخش اهداف مستقیم و اهداف غیر مستقیم طبقه‌بندی کرد. از جمله اهداف مستقیم قصد داریم به بیان روال ردیابی اسپرم‌ها پرداخته و حتی المقدور به ارائه مدل‌های حرکتی کلی برای اسپرم‌ها پردازیم. از اهداف غیرمستقیم تحقیق نیز این است که، با استفاده از محاسبه پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها و تحلیل‌های لازم برای آن‌ها، ارتباط بین پارامترها با یکدیگر و نیز ارتباط احتمالی بین برخی پارامترها با مدل‌های بدست آمده را تحلیل نماییم.

۵-۱ روش تحقیق

در روش پیشنهادی این تحقیق قصد داریم با استفاده از روش فیلتر کالمن^۱ [۱۸] به‌علاوه الگوریتم مجارستانی (مانکرز)^۲ [۱۹]، اقدام به ردیابی حرکت اسپرم‌ها نموده و همزمان با عملیات ردیابی، با استفاده از پیش‌بینی وضعیت جابجایی سر اسپرم به عنوان یک معیار موجود، جهت تخمین حالت در روش کالمن از آن استفاده نماییم. سپس از روی کلیت مسیر حرکت با استفاده از رگرسیون^۳ مبادرت به بدست آوردن مدل کلی حرکت اسپرم نماییم. درنهایت با استفاده از دسته‌بندی شهودی و تجربی که با توجه به استانداردهای سازمان جهانی سلامت، خودمان به صورت دستی (با نظارت یک فرد متخصص) برای هریک از اسپرم‌ها انجام می‌دهیم، اقدام به ارائه مدلی ریاضی جهت دسته‌بندی

^۱ Kalman Filter

^۲ Hungarian-Munkres Algorithm

^۳ Regression

الگوریتمی آن‌ها، و نیز به تحلیل رابطه‌های موجود بین پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها و مدل‌های حرکتی موجود بپردازیم.

۱-۶ ساختار کلی پایان‌نامه

در ادامه و در فصل دوم، به بیان ادبیات موضوع پرداخته و در انتهای آن به بررسی تعدادی از فعالیت‌های پیشین و بیان نکات مثبت و منفی هریک می‌پردازیم. در فصل سوم روش پیشنهادی ارائه شده را توضیح می‌دهیم. در فصل چهارم به بیان نتایج حاصل پرداخته و نهایتاً در فصل پنجم به بیان یک جمع‌بندی کلی از موضوع، به همراه کارهایی که می‌توان به عنوان آینده فعالیت پیش‌رو انجام داد، خواهیم پرداخت.

فصل دوم: مبانی تحقیق

در فصل قبل به تعریفی از مسئله ناباروری پرداخته، کلیتی از آن را بیان نموده و همچنین به بیان کلیات از فاکتورهای تأثیرگذار و قابل بررسی در جهت درمان آن اشاره نمودیم. همچنین به این موضوع اشاره کردیم اولین قدم در بررسی مشکل ناباروری، بررسی آن در زوج مذکر و انجام مجموعه‌ای از آزمایشات، بخصوص آزمایش تحلیل اسپرم است. در تحلیل اسپرم یک فرد مذکر، معمولاً از دو جنبه بررسی و آسیب‌شناسی‌های احتمالی را مورد بررسی قرار می‌دهند. اول تحلیل و آسیب‌شناسی ساختاری اسپرم^۱، که به بررسی شکل و ساختمان ظاهری اسپرم پرداخته می‌شود، و دوم تحلیل میزان تحرک‌پذیری اسپرم، که میزان توانایی‌های حرکتی اسپرم‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند. البته دو مورد نام برده، از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که به آن‌ها در حین عمل لقاح درون آزمایشگاهی توجه ویژه‌ای می‌شود. چرا که در هنگام انجام این عملیات، باید اسپرم‌هایی جهت کاشت انتخاب شوند که هم از لحاظ تحرک‌پذیری، نسبت به سایرین از قدرت تحرک بالاتری برخوردار باشند، و هم از لحاظ ساختار شکلی، وضعیت سالمی داشته باشند. علاوه بر دوجنبه نامبرده، مواردی همچون غلظت نمونه semen یا به نوعی همان تعداد اسپرم موجود در نمونه، پارامترهای ژنتیکی^۲ همچون DNA یک اسپرم، میزان اسیدی یا قلیایی بودن نمونه semen، و مواردی دیگر از جمله آزمایش ادرار نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه ابتدا به طور مختصری به بررسی برخی از این پارامترهای نامبرده خواهیم پرداخت، سپس به شکل ویژه، به بیان ابزار و مبانی مورد نیاز جهت بررسی میزان تحرک‌پذیری اسپرم‌ها می‌پردازیم، و مفاهیم لازم در جهت مشاهده نحوه حرکت اسپرم‌ها را بیان می‌کنیم. در نهایت نیز به بررسی تعدادی از فعالیت‌های پیشین که هریک، بررسی و تحلیل میزان تحرک‌پذیری اسپرم‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند، می‌پردازیم.

¹ Sperm Morphology Pathology

² Genetical Parameters

۲-۲ پارامترهای تحلیل اسپرم

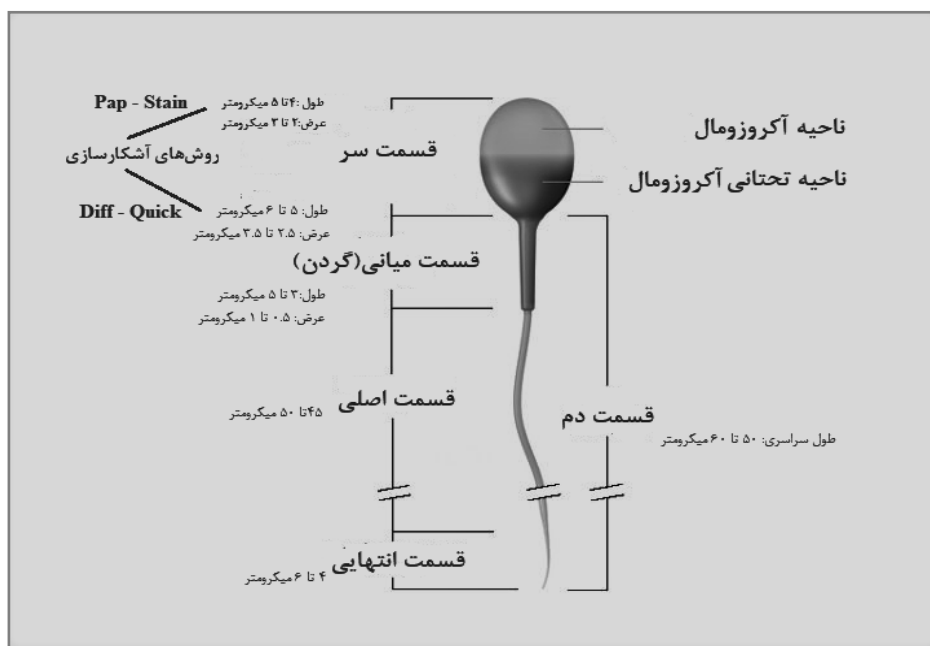
در تحلیل نمونه semen یک شخص مذکر، سه موردی که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. هرچند تحلیل DNA اسپرم نیز می‌تواند تعیین کننده یک آسیب موجود در آن باشد. اما در حال حاضر هدف ما بررسی چنین فاکتوری نیست.

۲-۲-۱ غلظت اسپرم

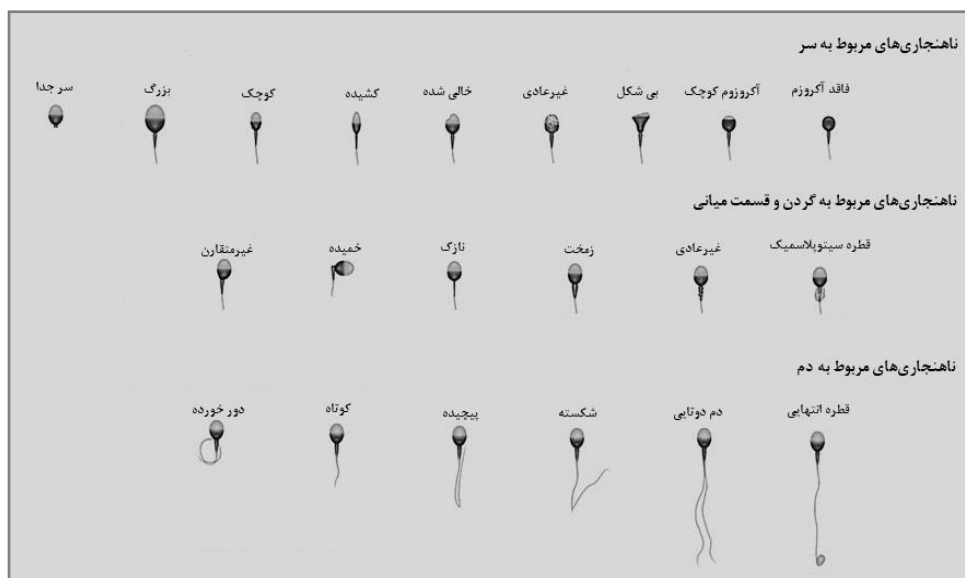
غلظت اسپرم یا همان نسبت تعداد اسپرم به حجم آن در یک نمونه مشخص یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که در آزمایشات تعیین می‌کنند. طبق آماری که سازمان جهانی سلامت از نتیجه‌ی استاندارد مربوط به این پارامتر در سال ۲۰۰۸ اعلام نموده است، در شرایط استاندارد یک نمونه semen مناسب باروری دارای حداقل ۲۰ میلیون اسپرم است [۲۰]، که حجم نمونه‌ای که از یک شخص بیمار تهیه می‌شود بین ۱.۳ تا ۲.۵ گرم بر لیتر است [۲۰]. اما مسئله‌ای که شاید ذهن را درگیر کند، این است که چگونه غلظت (شمارش تعداد) اسپرم در یک نمونه انجام می‌شود. مقصود از چگونگی، استفاده از ابزار سخت افزاری نیست، بلکه معیاری است که نتیجه‌ی حاصل بیان می‌شود. چرا که ابزار هر چه هم دقیق و بدون نقص باشد، خروجی دقیق تعداد اسپرم در یک نمونه تهیه شده از بیمار کار بسیار دشواری (تقریباً غیر ممکن) است. با توجه به مصاحبه‌ای که با یکی از افراد متخصص از یک مرکز درمان ناباروری صورت گرفته شده، وی بیان نمود: "معیار تخمینی که از تعداد اسپرم در یک نمونه بیان می‌شود، حرکت تعداد اسپرم‌هایی است که در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده است و به ازای حرکت هر یک اسپرم تخمین شمارش شده را یک میلیون بیان می‌کنند." بنابراین، با توجه به این نکته بیان شده، مشخص است که در کلیت حل مسئله با چالش بزرگی همچون عدم قطعیت مواجه هستیم که باید آن را به شکل مناسبی کنترل کنیم. لذا در فرایند پیش‌رو دقت عملکردی روش اهمیت بسیاری دارد.

۲-۲-۲ ساختار ریختی اسپرم

همان‌گونه که بیان گردید، یکی از دو فاکتور مهم در بین تمام موارد موجود که بواسطه‌ی آن‌ها ناباروری را در یک شخص مذکر بررسی می‌کنند، فاکتور ساختار شکلی اسپرم‌های موجود در نمونه تهیه شده از بیمار است. معمولاً در بررسی این فاکتور که اغلب توسط یک شخص متخصص پاتوبیولوژی مورد بررسی قرار می‌گیرد، با توجه به میزان ناهنجاری‌های متفاوت موجود در ساختار شکلی اسپرم‌ها، نمونه شخص را مورد تحلیل قرار می‌دهند. اینکه انواع این ناهنجاری‌های موجود در ساختار شکلی یک اسپرم چگونه و تحت چه شرایط ممکن‌ی بوجود خواهند آمد، بحث مورد نظر ما نبوده و نخواهد بود. همان‌طور که در مورد بحث کلی ساختار شکلی یک اسپرم نیز تنها قصد معرفی آن را داریم. اما به طور کلی اگر بخواهیم انواع ناهنجاری‌های ممکن در ساختار ریختی یک اسپرم را بیان نماییم، می‌توان با توجه به ساختمان یک اسپرم که در شکل ۱-۲ قابل مشاهده است، آن‌ها را به سه دسته کلی، ۱. ناهنجاری در قسمت سر



شکل ۲-۱: ساختار شکلی اسپرم



شکل ۲-۲: انواع ناهنجاری موجود در ساختار شکلی اسپرم

اسپرم^۱، ۲. ناهنجاری در قسمت گردن اسپرم^۲ و ۳. ناهنجاری در قسمت دم اسپرم^۳، تقسیم‌بندی نمود. البته هر یک از این موارد خود به زیرشاخه‌های مشخصی تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به ساختار نرمال یک اسپرم^۴ که در شکل ۱-۲ ارائه گردید، تشخیص ناهنجاری موجود در هریک از سه قسمت اصلی بیان شده، در شکل ۲-۲ کاملاً قابل مشاهده است. در این شکل مشکلاتی که ممکن است در هریک از قسمت‌های نامبرده وجود داشته باشند، نشان داده شده است. مشکلاتی از قبیل: بزرگ^۵ یا کوچک^۶ بودن سر، دوسر^۷ بودن، هرمی شکل^۸ بودن و یا بدریختی^۹ سر اسپرم، مواردی هستند که مربوط به ناهنجاری قسمت سر اسپرم می‌شوند. همچنین موارد دیگری که می‌توان از آن‌ها بعنوان ناهنجاری‌های موجود در قسمت دم اسپرم اشاره نمود، از جمله خمیدگی^{۱۰}، کوتاهی^{۱۱} و شکستگی^{۱۲} در این قسمت هستند. درنهایت از ناهنجاری‌های مربوط به قسمت میانی (گردن) نیز می‌توان به باریک^{۱۳} بودن، پهن بودن^{۱۴} و نامتقارن^{۱۵} بودن آن اشاره نموده که همگی آن‌ها در شکل ۲-۲ قابل مشاهده می‌باشند.

¹ Sperm Head Abnormality

² Sperm Neck Abnormality

³ Sperm Tail Abnormality

⁴ Normal Sperm Morphology

⁵ Giant Head

⁶ Pin Head

⁷ Double Head

⁸ Tapered Head

⁹ Amorphous Head

¹⁰ Coiled

¹¹ Short

¹² Broken

¹³ Thin Neck

¹⁴ Thick Neck

¹⁵ Assymetric

۲-۳-۳ تحرک پذیری اسپرم

میزان تحرک یک اسپرم، مهم‌ترین ویژگی‌ای است که در هنگام عملیات لقاح درون آزمایشگاهی آن را مدنظر قرار می‌دهند. برای تحلیل این ویژگی از پارامترهای زیر استفاده می‌شود. این پارامترها را به‌طور کامل در بخش روش ارائه شده توضیح خواهیم داد و چگونگی بدست آوردن هریک با روابط ریاضیاتی موجود تشریح می‌نماییم. از مهم‌ترین پارامترهایی که برای تحلیل تحرک‌پذیری یک اسپرم مورد مطالعه قرار می‌دهند، ۱. میانگین سرعت منحنی‌وار^۱[۲۱]، ۲. میانگین سرعت خط مستقیم^۲[۲۱]، ۳. میزان جابه‌جایی مستقیم^۳[۲۱]، ۴. میانگین جابه‌جایی زاویه‌ای^۴[۲۲]، ۵. میزان خطی بودن^۵[۲۱]، ۶. ماکزیمم انحراف سر اسپرم^۶[۲۲]، ۷. میانگین سرعت مسیر هموار شده^۷[۲۱] و ۸. میزان جنبش سر اسپرم^۸[۲۱] را می‌توان نام برد. با استفاده از پارامترهای فوق، کلاس تحرک‌پذیری یک اسپرم محاسبه می‌شود و تمام گزارشات بر آن اساس بیان می‌شوند. با اندازه‌گیری پارامترهایی که برای میزان و نوع تحرک اسپرم‌ها وجود دارد، ابتدا میزان تحرک‌پذیری آن‌ها را در چهار کلاس کلی ۱. تحرک‌پذیری بالا^۹، ۲. تحرک‌پذیری میانه^{۱۰}، ۳. تحرک‌پذیری ضعیف^{۱۱} و ۴. بدون حرکت^{۱۲} دسته‌بندی می‌کنند. سپس در آن هرگاه درصد تعداد اسپرم‌های موجود در یک نمونه برای دو کلاس، با تحرک‌پذیری بالا و تحرک‌پذیری میانه از یک میزان مشخص بیشتر باشد، کیفیت مناسب بودن یک نمونه را تعیین می‌کنند. در واقع اگر میزان جمع دو کلاس اولیه نامبرده شده از یک مقدار مشخصی بیشتر باشد، نمونه مورد آزمایش خوب و قابل قبول شناخته می‌شود. اما آنچه مهم‌تر است، بررسی

¹ Curve Linear Velocity

² Stright Linear Velocity

³ Straightness

⁴ Mean Angular Displacement

⁵ Linearity

⁶ Amplitude Of Lateral Head

⁷ Average Path Velocity

⁸ Wobble

⁹ High Motility

¹⁰ Moderate Motility

¹¹ Weak Motility

¹² NoMotile

کلاس یک اسپرم از دیدگاه میزان پیشروی موجود در یک مسیر صاف و مستقیم است. به این معنی که اگر بخواهیم توانایی و کیفیت حرکتی یک اسپرم را بسنجیم، حرکتی قابل قبول و مناسب است که، بیش از اینکه به طرفین حرکت کند و یا سرعت جابجایی بیشتری حول یک شعاع مشخص به صورت درجا داشته باشد، در امتداد مستقیم و قدرت جابجایی مناسب به سمت جلو در حرکت باشد. بنابراین برای کلاس حرکتی که می‌خواهیم برای هر اسپرم تعیین نماییم، مبنای تعیین کلاس بر میزان پیشروندگی^۱ و یا بیش‌فعالی^۲ و یا در حالت معمول بودن تحرک و جابجایی یک اسپرم پایه‌گذاری شده است. مشاهده و تحلیل دو فاکتور نامبرده در ۲-۲-۲ و ۳-۲-۲، نیازمند وجود ابزاری قدرتمند در جهت بررسی هرچه بهتر و دقیق‌تر آن‌ها، به منظور مشخص نمودن وضعیت یک شخص بیمار از لحاظ درجه و میزان ناباروری است. چرا که انسان خود به تنهایی قادر به انجام تحلیل‌های لازم نیست. با توجه به سرعت بالایی که از اسپرم‌ها در زیر میکروسکوپ می‌توان مشاهده نمود، چشم انسان قادر به تحلیل‌هایی از جمله شمارش تعداد دقیق نمونه‌های متحرک نخواهد بود. بنابراین، علاوه بر وجود یک سخت‌افزار قدرتمند جهت مشاهده اسپرم‌ها، نیازمند نرم‌افزارهایی با توانایی‌های مشخص، درجهت تحلیل و بررسی نمونه‌های پیش رو خواهیم بود. بدین منظور در آزمایشگاه‌های درمان ناباروری از سیستم‌های نرم‌افزاری تحلیل اسپرم^۳ (CASA) استفاده می‌کنند. متخصصان با کمک این نرم‌افزار به تحلیل دو فاکتور ساختار ریختی و حرکتی اسپرم‌ها می‌پردازند. اما آنچه مسلم است، دقت بالایی است که این سیستم در جهت انجام تحلیل‌های پیش رو باید از خود نشان دهد. با توجه به نیازهایی که متخصصان در آزمایشگاه‌های ناباروری مطرح می‌کنند، این دقت و توانایی در انجام تحلیل‌های موجود همچنان دارای ضعف‌هایی است که نیازمند ارتقا و بهبود است. فعالیتی که ما

¹ Progressivity

² Hyper Activity

³ Computer Assisted Sperm Analysis

درصد انجام آن هستیم، بهبود کارایی این سیستم در جهت تحلیل پارامترهای فاکتور حرکتی اسپرم‌ها است.

آنچه که در ادامه این فصل مورد بررسی قرار داده می‌شود: در بخش ۳-۲ بیان مفهوم پایه و اساسی مربوط به ردیابی اشیاء ارائه شده است. در بخش ۴-۲ به بیان مفاهیم پایه پردازش تصویر که در فرایند ردیابی استفاده می‌شوند، پرداخته شده است. در ۵-۲، الگوریتم‌های یادگیری و مفاهیم مورد نیاز جهت فعالیت‌های تحلیلی و طبقه‌بندی را بیان نموده‌ایم و نهایتاً در ۶-۲ به فعالیت‌های مرتبط پیشین اختصاص داده شده است.

۳-۲ ردیابی اشیاء

۳-۲-۱ معرفی کلی

ردیابی اشیاء [۲۳] یکی از مهم‌ترین شاخه‌های بینایی ماشین است. ردیابی اشیاء در واقع بررسی تغییرات دنباله‌ای از تصاویر به هم پیوسته و دنبال کردن آن با یک هدف خاص است. عموماً در ردیابی اشیاء اولین و اصلی‌ترین بحثی که مطرح می‌شود، روش فرایند ردیابی است. به طور کلی فرایندهای ردیابی در ویدیو به دوروش کلی انجام می‌شوند.

۱. روش‌های مبتنی بر ویژگی^۱. ۲. روش‌های مبتنی بر شدت روشنایی^۲.

زمانی که اشیاء دارای ساختارهای شبیه به هم و اصطلاحاً یکسان بوده و همچنین تغییرات و تنوع رنگی که مرتبط با شدت روشنایی هستند، کم می‌باشند، بهتر است از روش‌های مبتنی بر ویژگی استفاده کنیم. در این روش‌ها عموماً با دنبال کردن ویژگی‌های موجود در اشیاء فرایند ردیابی صورت

^۱ Feature Based Methods

^۲ Intensity based Methods

می‌گیرد. در واقع ویژگی‌هایی که از آن‌ها نام می‌بریم، مجموعه‌ای از معیارها^۱ هستند که باید در هر لحظه از فرایند ردیابی وضعیت آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. بنابراین تعریف دیگری که می‌تواند بیان دقیق‌تری از کلیت فرایند ردیابی باشد، دنبال کردن معیارهای موجود که تعیین کننده وضعیت یک شی در یک بازه زمانی مشخص است، ردیابی اشیاء عنوان می‌گردد.

مسئله دیگری که در یک فرایند ردیابی با آن مواجه هستیم، میزان درهم‌ریختگی^۲ محیطی است که فرایند ردیابی را در آن بررسی می‌کنیم. کنترل این میزان درهم‌ریختگی خود یک چالش مهم است که باید به آن توجه نمود. یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که این درهم‌ریختگی محیط ردیابی برای ما در پی دارد، تمییز دادن اشیاء از یکدیگر در زمانی که ما بخواهیم تعداد زیادی شی را ردیابی و یا از یکدیگر جدا کنیم، است. در واقع تعیین وضعیت یک شی در بین تمام اشیاء یکسان و یا غیریکسان دیگر و جدا کردن آن از بقیه، برای رسیدن به هدف مورد نظر اهمیت ویژه‌ای دارد.

با توجه به ماهیت مسئله ردیابی پیش‌رو از الگوریتم‌های متنوعی برای استفاده تخمین وضعیت یک شی استفاده می‌شود، که مهم‌ترین آن‌ها فیلترهای مبتنی بر مدل مارکوف^۳ است. در واقع این فیلترها اصلی‌ترین ایده، در جهت تخمین وضعیت یک شی در حرکت هستند. با توجه به ویژگی ذاتی اشیاء و محیطی که فرایند ردیابی در آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، فیلتر مورد نظر استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان بیان نمود که با توجه به میزان عدم قطعیتی^۴ که در تخمین وضعیت اشیاء در محیط فرایند ردیابی وجود دارد، فیلتر متناسب با توجه به میزان کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه، به بیان مفاهیم و اصطلاحات پایه‌ای مورد نیاز برای فرایند ردیابی خواهیم پرداخت.

¹ Measurement

² Clutter

³ Markov Model Based Filters

⁴ Uncertainty

۲-۳-۲ مفاهیم و اصطلاحات پایه

برای آنکه بخواهیم مفهوم فرایند ردیابی هدف که در یک بازه زمانی مشخص صورت می‌پذیرد را به درستی درک کنیم، در ابتدا باید برخی مفاهیم و اصطلاحات ساده را بشناسیم. در ادامه به توضیح مختصری از هر کدام از این اصطلاحات می‌پردازیم.

• هدف^۱

شاید اولین کاراکتری که در یک فرایند ردیابی هدف، شناخت آن برای ما اهمیت دارد، خود هدف است. اینکه بدانیم هدف چیست؟ در ردیابی هدف مورد نظر، با توجه به محیطی که در آن قرار داریم، تغییرات مکانی هر آنچه برای ما مهم است، هدف نامیده می‌شود. برای مثال در یک محیط بازی فوتبال هدف(اهداف) می‌توانند بازیکنان داخل زمین و یا توپ باشند. مشخصاً ردیابی‌ای که در آن اهداف موجود از یک نوع نبوده و دنبال کردن همه آن‌ها برای ما مهم باشد، دشوارتر و نیازمند تعریف پارامترها و ملزومات بیشتری است.

• معیار

در یک فرایند ردیابی، برای اجرای عملیات، نیازمند پارامترهایی برای سنجش و مشاهده دنباله تغییرات و چگونگی آن‌ها می‌باشیم. در واقع این پارامترها بسته به نوع‌شان، بیانگر چگونگی تعیین وضعیت یک هدف در حالت مشخص، طی فرایند ردیابی هستند. عموماً پارامترهایی که برای دقت تخمین یک هدف، در طول فرایند ردیابی از آن‌ها استفاده می‌گردد، معیار[۲۴] نامیده می‌شود. البته معیارها صرفاً برای بررسی فقط دقت تخمین موقعیت هدف در فرایند ردیابی نیستند. مثلاً میزان نویز^۲ موجود که در یک تخمین‌گر وجود دارد خود یک معیار جهت کنترل فرایند ردیابی است. اما

^۱ Target

^۲ Noise

معیارها را از چند منظر می‌توان دسته‌بندی نمود. عموماً همانطور که بیان شد، یک دسته‌بندی موجود بر اساس نوع یک معیار است. معیارها می‌توانند از نوع شاخص^۱ [۲۴]، یا از نوع حرکتی^۲ [۲۴] باشند. معیارهایی مثل قدرت سیگنال^۳، شدت روشنایی^۴، ماهیت هدف^۵ و نسبت اندازه ابعاد^۶ از جمله معیارهای شاخص هستند. از طرفی، معیارهایی همانند موقعیت مکانی^۷، جهت^۸، دامنه حرکتی^۹ و نرخ دامنه^{۱۰} حرکتی نیز از جمله معیارهای حرکتی هستند. هر معیار با توجه به نوع خود باید دارای یک مقدار ارزش مشخص برای تصمیم‌گیری در جهت استفاده و انتخاب خود داشته باشد. این امکان با استفاده از احتمال معتبر بودن معیار سنجیده می‌شود. در واقع احتمال معتبر بودن یک معیار، گاهی می‌تواند میزان درستی یک تخمین زده شده را بیان نماید. برای مثال می‌توان بیان نمود که با استفاده از یک فیلتر تخمین‌گر، از وضعیت مکانی یک هدف برای هر مرحله تخمینی زده می‌شود. با توجه به مشاهده وضعیت اهداف در مرحله بعد، نیاز به تخصیص هریک از تخمین‌های صورت گرفته داریم. بنابراین با استفاده از فرایند احتمالاتی که یک تخمین‌گر انجام می‌دهد، ما با مقایسه احتمالات موجود به تخمین‌ها، وضعیت مکانی صحیح را به هر هدف تخصیص می‌دهیم. مسئله دیگری که برای یک معیار اهمیت دارد، نوع ایجاد آن (نوع منبع یک معیار)، که با توجه به کلیت آنچه برای آن از لحاظ شهودی تعریف می‌کنیم، می‌باشد. فرض کنیم کلیت معیار را در مسئله‌ای که در حال بررسی آن هستیم، مشاهده یک هدف در هر لحظه بدانیم. بدین ترتیب منبعی که یک معیار می‌تواند داشته باشد، به سه جز تقسیم می‌شود.

۱. مشاهده‌ای (معیار مورد نظر) که از قبل هم وجود داشته است.

¹ Attribute Measurements

² Kinematic Measurements

³ Signal Strenght

⁴ Intensity

⁵ Target Type

⁶ Aspect Ratio

⁷ Position

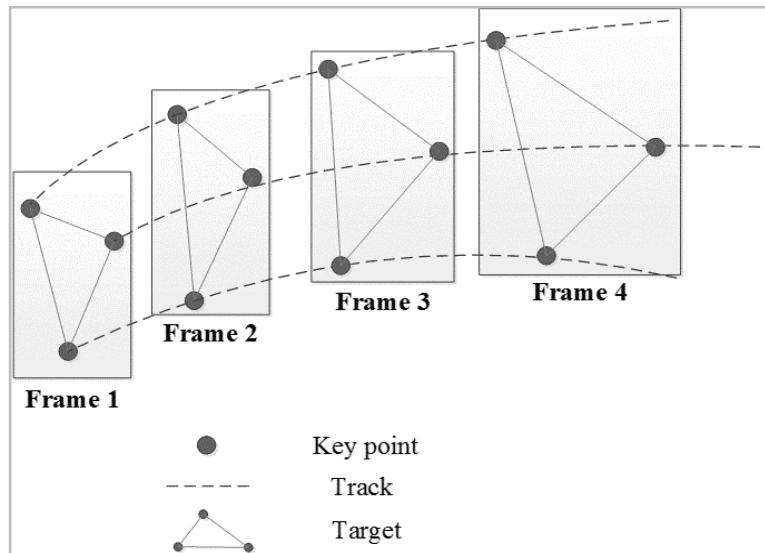
⁸ Bearing

⁹ Range

¹⁰ Range Rate

۲. مشاهده‌ای که در لحظه‌ی کنونی وجود آمده است.

۳. مشاهده‌ای که در لحظه‌ی کنونی از بین رفته است.



شکل ۲-۳ کلیت مفهوم ردیابی

موارد اول و دوم کاملاً واضح هستند. اما در مورد سوم بیان یک نکته ضروری است. توجه داشته باشیم از بین رفتن یک مشاهده‌ای که در قبل وجود داشته است، صرفاً به معنای تمام شدن (ناپدید شدن) آن مشاهده نیست، بلکه با توجه به محیطی که فرایند ردیابی آنجا در حال اجرا می‌باشد، ممکن است عمل ردیابی یک هدف گم شود و یا با توجه به تداخلی که ممکن است با سایر اهداف پیدا کند، فرایند ردیابی مختص به آن هدف متوقف شود. همچنین عدم تشخیص صحیح هدف در فاز تشخیص، ممکن است باعث خاتمه فرایند ردیابی مختص به هدفی شود که در واقعیت همچنان وجود دارد. اما با توجه به کلیتی که از مفهوم معیار بیان نمودیم، می‌توانیم کلیت فرایند ردیابی را دنبال کردن معیارهای موجود برای شناسایی یک هدف، در یک بازه زمانی مشخص تعریف کنیم. شکل ۲-۳ همین دیدگاه کلی در فرایند ردیابی را بیان می‌کند. کلیتی که بیان شد، باعث می‌شود ما نیاز به دانستن مفهومی دیگر تحت عنوان ارتباط داده‌ای باشیم. مفهومی که در بخش بعد آن را توضیح می‌دهیم.

• ارتباط داده‌ای^۱

پیدا و دنبال کردن هر مشخصه‌ی مورد نظر در مجموعه‌ای از فریم‌های متوالی را ارتباط داده‌ای [۲۵] گویند. این توضیح ساده‌ترین شرحی است که می‌توان برای مفهوم ارتباط داده‌ای بیان نمود. مفهوم ارتباط داده‌ای زمانی اهمیت پیدا می‌کند که، ما قصد داشته باشیم روال ردیابی را برای بیش از یک هدف در ویدیو انجام دهیم. در واقع این مفهوم زمانی که ردیابی از نوع چندهدفی^۲ باشد، حائز اهمیت می‌شود. بر خلاف ردیابی تک هدفی، که ارتباط داده‌ای برای آن در یک مرحله قابل انجام است، ردیابی چند هدفی شامل دو مرحله است: ۱. تشخیص تمام مشخصه‌های موجود در دو فریم متوالی و ۲. تخصیص هر مشخصه به مشخصه مربوطه در فریم بعد. مفهوم ارتباط داده‌ای را در یک فرایند ردیابی چندهدفی، به طرق مختلفی می‌توان بیان نمود. متداول‌ترین راهکار برای بیان این مفهوم استفاده از قضایای آماری و استفاده از احتمالات توأم^۳ است. این راهکار دارای روابط ریاضیاتی بسیار پیچیده‌ای است که بیان آن‌ها دشوار است. راهکار ساده‌ی دیگری که نسبت به بیان قضایای احتمالات توأم، روابط ریاضیاتی کمتری دارند، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی^۴ است. یکی از این روش‌ها، استفاده از الگوریتم مجارستانی (مانکرز) است، که ما در فعالیت خود از آن استفاده نموده‌ایم. این الگوریتم در فصل روش پیشنهادی توضیح داده می‌شود.

^۱ Data Association

^۲ Multi Target Tracking

^۳ Joint Probability

^۴ Optimization Methods

۴-۲ مفاهیم پایه پردازش تصویر

۴-۲-۱ نویز و حذف آن

گاه‌ها در هنگام تهیه تصاویر، به دلایل مشخصی همچون لرزش دوربین، حرکت اشیاء و غیره، تصویر دارای برخی از اعوجاجات ناخواسته که در اصطلاح نویز بیان می‌گردد، خواهد شد. وجود بیش از حد نویز ممکن است رسیدن به هدف پیش‌رو را دچار مشکل نماید. بدین منظور باید با توجه به نویز موجود با استفاده از روش مناسب آن را حذف نمود، و در واقع نویز موجود را اصطلاحاً فیلتر نماییم. از انواع روش‌های متداول حذف نویز می‌توان به فیلترهایی همچون گوسین^۱ [۲۶]، میانه^۲ [۲۶]، میانگین^۳ [۲۶]، نمک فلفل^۴ [۲۶] و وینر^۵ [۲۶] اشاره نمود، که همانطور که بیان شد با توجه به نوع نویز موجود، فیلتر مناسب استفاده می‌شود. هر یک از این فیلترها با توجه به حذف نویز موجود در تصویر، اثری مشخص بر روی سایر قسمت‌های تصویر نیز می‌گذارند. به همین دلیل استفاده از فیلتر مناسب جهت حذف نویز بسیار مهم است. از فیلترها می‌توان گاه‌ها به عنوان عملیات پیش‌پردازشی با هدف مشخصی استفاده نمود.

۴-۲-۲ پس‌زمینه^۶ و پیش‌زمینه^۷ تصویر

هر تصویر از دو قسمت اصلی پس‌زمینه و پیش‌زمینه تشکیل شده است. پس‌زمینه یک تصویر همواره ثابت است. در تصاویر ویدیویی زمانی که با استفاده از دوربین ثابت تصویربرداری صورت می‌گیرد، قسمت پس‌زمینه، بیانگر محتوایی هست که در تمام فریم‌های متوالی ویدیو یکسان و بدون تغییر

^۱ Gaussian Filter

^۲ Median Filter

^۳ Average Filter

^۴ Salt & Pepper Filter

^۵ Wiener Filter

^۶ Background

^۷ Foreground

می‌باشد. اما قسمت پیش‌زمینه یک تصویر معمولاً بیانگر محتوایی هست که در نمای یک تصویر و در واقع نزدیک چشم بیننده وجود دارند. به عبارت دیگر، در تصاویر ویدیویی قسمت پیش‌زمینه محتوای پویایی هست که در مجموعه فریم‌های متوالی تغییر می‌کند. معمولاً در تصاویر ویدیویی برای تشخیص پیش‌زمینه و جداسازی آن از پس‌زمینه، باید پس‌زمینه موجود را حذف کنیم. البته این عمل زمانی که اطلاعات موجود در پس‌زمینه چندان برای ما مهم نباشد صورت می‌گیرد. برای انجام عملیات حذف پس‌زمینه (استخراج پیش‌زمینه) راحت‌ترین عملیات پیش‌رو، بدست آوردن اختلاف دو فریم متوالی در یک ویدیو است. به این معنی که با توجه به ماهیت ساختاری تصویر، با انجام عملیات تفاضل دو فریم، پیکسل‌های متناظر که ثابت هستند صفر شده و تنها قسمت‌هایی که متحرک هستند باقی می‌مانند. این قسمت‌های باقی‌مانده همان پیش‌زمینه موجود هستند.

۲-۴-۳ قطعه‌بندی^۱ تصاویر

قطعه‌بندی تصویر به معنی استخراج بخشی از تصویر و یا شیء مورد نظری در آن است [۲۷]. در واقع عملیات قطعه‌بندی تصاویر یک عملیات پردازشی‌ای هست که، در آن یک تصویر به بخش‌ها و ناحیه‌های جدا از هم که هر یک از آن‌ها محتوای با معنایی می‌باشند. تقسیم می‌شود [۲۷]. این عملیات در سطوح مشخص برای تصاویر می‌تواند انجام شود. برای مثال آنچه که به عنوان جداسازی پس‌زمینه و پیش‌زمینه از یکدیگر در بخش قبل بیان گردید، خود می‌تواند یک عملیات قطعه‌بندی محسوب شود، اما در سطحی که شاید تنها یک محتوای کلی را به ما نشان دهد. به عنوان مثالی از عملیات قطعه‌بندی در سطوح بالاتر می‌توان به تفکیک انواع اشیاء متحرک و در واقع تمییز هر یک از آن‌ها از یکدیگر اشاره نمود. انجام دقیق عملیات قطعه‌بندی با توجه به هدف مورد نظر، می‌تواند فرایند پیش‌رو برای رسیدن به هدف کلی مسئله را آسان نماید. در واقع می‌توان از انجام دقیق این عملیات به عنوان یک ویژگی مطلوب جهت حل مسئله موجود نام برد. مهم‌ترین هدفی که می‌توان به

¹ Segmentation

عنوان خروجی عملیات قطعه‌بندی به آن اشاره داشت، تشخیص اشیاء در تصویر است. حال اگر بخواهیم از بین انواع موجود این اشیاء مورد نظر، تعدادی را که برای ما مهم هستند جدا نماییم، نیازمند استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نیز می‌باشیم. رویکردهای گوناگونی برای انجام فرایند قطعه‌بندی وجود دارند، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به قطعه‌بندی مبتنی بر آستانه‌گذاری^۱ [۲۶]، قطعه‌بندی مبتنی بر لبه‌یابی^۲ [۲۶] و قطعه‌بندی مبتنی بر رشد ناحیه^۳ [۲۶] نام برد. در این فعالیت از روش Otsu [۲۶] که دارای یک رویکرد مبتنی بر آستانه‌گذاری است، استفاده شده است.

۲-۴-۴ الگوریتم‌های ریخت‌شناسی^۴

عملیات‌های مربوط به فرایندهای ریخت‌شناسی بر پایه نظریه‌های قدرتمند ریاضی بنا شده‌اند [۲۶]. شاید مهم‌ترین کاربردی که از الگوریتم‌های موجود برای فرایندهای ریخت‌شناسی می‌توان بیان نمود، استفاده در تحلیل و پردازش ساختارهای هندسی^۵ است. استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی این قابلیت را فراهم می‌سازند تا بتوانیم اشیای مورد نظر را با توجه به اشکال^۶ و ساختارهای^۷ موجود شناسایی نماییم [۲۷]. با توجه به اینکه روش‌های ریخت‌شناسی دارای انعطاف‌پذیری بالایی هستند، استفاده از آن‌ها بسیار زیاد است. از جمله کاربردهایی که می‌توان برای این روش‌ها نام برد، استفاده از آن‌ها در تصاویر پزشکی [۲۸] است. مبنای بکارگیری روش‌های مبتنی بر ریخت‌شناسی، استفاده از عملگرهایی است که بر پایه نظریه مجموعه‌ها می‌باشند و همچنین با استفاده از نظریه موجود قابلیت استفاده در گراف‌ها را دارند [۲۶]. از مهم‌ترین عملگرهای موجود می‌توان به چهار عملگر انتقال^۸،

^۱ Thresholding

^۲ Edge Detection

^۳ Region Growing

^۴ Morphological Algorithms

^۵ Geometrical Structures

^۶ Shapes

^۷ Structures

^۸ Transition

انعکاس^۱، گسترش^۲ و سایش^۳ اشاره نمود. استفاده از این عملگرها بخش عظیمی از الگوریتم‌های موجود در فرایندهای ریخت‌شناسی را تشکیل می‌دهند. در فصل روش پیشنهادی، دو عملگر گسترش و سایش را توضیح خواهیم داد و استفاده از آن‌ها در فرایند پیش‌رو را بیان خواهیم نمود.

۵-۲ الگوریتم‌های یادگیری

مقصود از طراحی یک الگوریتم یادگیری^۴، ارائه مدلی ریاضیاتی با توجه به تعدادی از فاکتورهای مشخص موجود است که، بواسطه آن بتوانیم فرایندهایی چون: پیش‌بینی^۵، جداسازی^۶ و تحلیل مورد نظر خود را انجام دهیم. ارائه‌ی مدل‌های ریاضیاتی مورد نیاز جهت رسیدن به هدف مشخص و پیش‌رو برای یک فرایند مشخص همواره ثابت و یکسان نیستند، و با توجه به فاکتورهای موجود، رویکردهای مخصوص به خود را دارند. به‌طور کلی یک الگوریتم یادگیری را می‌توان بر اساس دو رویکرد کلی بیان نمود: ۱. یادگیری با ناظر^۷[۲۹]، و ۲. یادگیری بدون ناظر^۸[۲۹]. هریک از رویکردهای فوق با توجه به پایگاه داده‌ی موجود مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسته به نوع پایگاه داده‌ی موجود، در صورتی که داده‌ها دارای برچسب^۹ خروجی باشند، می‌توان از روش باناظر استفاده نمود، و در صورتی که داده‌ها فاقد برچسب خروجی باشند، لازم است از رویکرد بدون ناظر استفاده شود. در تمام الگوریتم‌های یادگیری موجود، اعم از باناظر یا بدون ناظر برای رسیدن به مدل بهینه‌ی مورد نیاز معمولاً سه مرحله (فاز) باید انجام شود. ۱. آموزش^{۱۰}، ۲. اعتبارسنجی^{۱۱} و ۳. آزمون^{۱۲}. البته

¹ Reflection

² Dilation

³ Erosion

⁴ Learning Algorithm

⁵ Prediction

⁶ Separation

⁷ Supervised Learning

⁸ Unsupervised Learning

⁹ Labeled

¹⁰ Train

¹¹ Validation

¹² Test

برای تمام الگوریتم‌های یادگیری چنین اصولی به صورت از پیش تعیین شده وجود ندارد. گاهی برای برخی روش‌ها تفکیک فازهای رسیدن به مدل مورد نظر به صورت صریح بیان نمی‌شوند. در ادامه به معرفی هر یک از رویکردهای فوق پرداخته و از هریک مثال‌هایی ارائه می‌دهیم.

۲-۵-۱ یادگیری با ناظر

همانگونه که بیان شد، در یادگیری با ناظر هر نمونه داده به صورت یک زوج مرتب k تایی است که متناظر با آن خروجی داده نیز برای ما مشخص است. خروجی مورد نظر می‌تواند نشان‌دهنده یک کلاس^۱، و یا یک مقدار حقیقی باشد. در صورتی که خروجی بیانگر یک کلاس مشخص باشد، مسئله پیش‌رو یک فرایند طبقه‌بندی^۲ را نشان می‌دهد، و در صورتی که خروجی مورد نظر یک مقدار حقیقی باشد، مسئله پیش‌رو یک فرایند پیش‌بینی (تخمین) است. از مهم‌ترین الگوریتم‌های یادگیری با ناظر که فرایند طبقه‌بندی داده‌ها را انجام می‌دهند، می‌توان به مواردی همچون: رگرسیون لجستیک^۳ [۳۰]، ماشین بردار پشتیبان^۴ [۳۱]، شبکه‌ی عصبی پرسپترون^۵ [۳۲] و مدل‌های بیز^۶ [۳۳] نام برد. همچنین از الگوریتم‌های یادگیری با ناظر که جهت پیش‌بینی خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به رگرسیون‌های خطی^۷ [۳۴] و غیرخطی تک و چندمتغیره^۸ [۳۵] اشاره نمود. ما در فعالیت پژوهشی مورد نظر از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان استفاده خواهیم نمود.

^۱ Class

^۲ Classification

^۳ Logistic Regression

^۴ Support Vector Machine

^۵ Perceptron Neural Network

^۶ Bayes Model

^۷ Multivariate Linear Regression

^۸ Multivariate Nonlinear Regression

۲-۶ مروری بر فعالیتهای پیشین

استفاده از بینایی ماشین در تشخیص پاتوبیولوژی ساختاری اسپرمها و همچنین در تعیین میزان تحرک پذیری اسپرمها به کرات استفاده شده است. برخی فعالیتها نیز وجود دارند که سعی در تفسیر ارتباط بین آسیب شناسی ساختاری اسپرمها و نتایج حاصل در رفتار حرکتی آنها دارند [۳۶]. هرچند تا بحال ارتباط دقیقی بین میزان ناهنجاری موجود در ساختار اسپرم، و نوع حرکت و پارامترهای موجود در آن به اثبات نرسیده است. در این بخش تنها به بررسی تعدادی از مطالعاتی که به زمینه حرکت شناسی اسپرمها پرداخته اند، اشاره نموده و جنبه های مختلف هر یک را بررسی می کنیم. وجه اشتراک اغلب پژوهش هایی که صورت پذیرفته اند، این است که از فیلترهایی همچون کالمن و ذره^۱ در فعالیت خود استفاده نموده اند. هرچند هستند فعالیت هایی که از روش هایی دیگر در کار خود استفاده کرده اند. مسئله ای که در همه این کارها اهمیت دارد، این است که هریک به نحوی سعی در بهبود میزان دقت موجود در فرایند ردیابی دارند. وجه اشتراک دیگری که برای اکثر آنها می توان بیان کرد، این است که بیشتر فعالیت های انجام شده، جهت بهبود فرایند ردیابی تمرکز خود را بر بهینه سازی در اولین گام آن، یعنی تشخیص هدف^۲ قرار داده اند. بدین معنی که همه فعالیت های انجام شده، هریک به این مهم که اصلی ترین نقش در بهبود یک فرایند ردیابی تعیین و تشخیص بهینه اهداف هستند، اتفاق نظر دارند. مسئله مهم دیگری که در تعدادی از فعالیت های انجام گرفته دیده می شود [۲۱ و ۳۸-۳۷]، این است که فعالیت آنها با شرایط ایده آل آزمایشگاهی و عملیات اعتبارسنجی جهت استفاده در سازمان جهانی سلامت انجام پذیرفته اند. طبق استانداردهایی که سازمان جهانی سلامت در هر سال تعیین می کند، میزان پارامترها و کمیت های موجود در تفسیر و ارزیابی باروری یک اسپرم از لحاظ بررسی تحرک پذیری آن ممکن است متفاوت باشد. به همین دلیل، فعالیت هایی که انجام می شوند، باید

¹ Particle Filter

² Detect Target

حتی المقدور این استانداردها را در نظر داشته باشند. البته همانطور که بیان گردید، فعالیت‌هایی که به منظور ردیابی اسپرم‌ها انجام می‌شوند، بیشتر تمرکز خود را بر روی افزایش میزان دقت ردیابی اسپرم‌ها معطوف کرده‌اند و کمتر به بررسی تأثیر پارامترهای موجود در تفسیر تحرک‌پذیری اسپرم‌ها پرداخته‌اند. عکس این مسئله نیز وجود دارد. یعنی فعالیت‌های پژوهشی که صرفاً در زمینه تحلیل پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها انجام می‌شوند، روال ردیابی آن‌ها را مدنظر قرار نمی‌دهند. فعالیت‌هایی هم وجود دارند که به طور کلی، دینامیک ساختار حرکتی اسپرم‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این فعالیت‌ها، محوریت کار عملیات ردیابی و روش‌های موجود در آن‌ها نیست. برای مثال در [۳۹] دینامیک ساختاری اسپرم‌ها، تأثیرات آن‌ها در نحوه حرکت‌شان و شماتیک کلی نوع حرکت آن‌ها در یک فضای سه‌بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع، خود روال ردیابی و جزئیات آن در فعالیت صورت پذیرفته مورد توجه قرار نگرفته است. از مواردی که در فعالیت نامبرده روی آن تأکید زیادی صورت پذیرفته، مقایسه تمام مشاهدات برای اسپرم‌های بین انسان و گاو است. همچنین مورد دیگری که به آن توجه گردیده، تأثیر اجزای ساختاری اسپرم همچون سر و دم، در دینامیک حرکتی آن بوده است. از موارد دیگری که با این دید می‌توان به آن‌ها اشاره نمود، فعالیت‌های صورت گرفته در [۴۰ و ۴۱] می‌باشند، که به بررسی ساختارهای کلی حرکتی اسپرم‌ها به صورت سه‌بعدی پرداخته‌اند. در این موارد نامبرده نیز محوریت فعالیت انجام شده، روال ردیابی و جزئیات آن نیست، و تنها بررسی حرکت اسپرم در سه بعد، و مشخص کردن و تعیین نوع حرکت اسپرم از دید شکل حرکتی آن است. برای مثال در شماره [۴۰]، فعالیت انجام گرفته، ارائه یک روش جهت مشاهده حرکت اسپرم‌ها به صورت سه بعدی است. به این منظور از یک لنز و قرار دادن آن بر روی یک تراشه تصویر و استفاده در میکروسکوپ، جهت تهیه تصاویر مورد نیاز اقدام شده است. نکته‌ای که در مورد این فعالیت وجود دارد عملکرد صحیح و مورد انتظار در مشاهده نوع حرکت اسپرم‌ها می‌باشد. البته روند مشاهدات برای هر اسپرم به صورت انفرادی صورت پذیرفته است و مشاهده برای تعداد بیشتر از یک اسپرم به صورت همزمان انجام نگرفته است. همچنین محاسبه پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها با توجه به نوع و ماهیت

تصویربرداری قابل امکان می‌باشد. البته محاسبات موجود، وابسته به در نظرگیری ویژگی‌های استفاده شده، همچون نوع زاویه‌ی قرار گرفته برای تراشه‌ای است که قابلیت تصویربرداری را فراهم می‌سازد.

اما در فعالیت‌هایی که بحث محوری آن‌ها صرفاً عملیات ردیابی و جزئیات آن می‌باشد، مسئله حائز اهمیت استفاده از تکنیک‌هایی است که بتوانند چالش‌های موجود در عملیات ردیابی صحیح را کنترل کنند. چالش‌هایی که ممکن است در هریک از فازهای موجود در روال ردیابی بوجود آیند. از جمله فعالیت‌هایی که می‌توان به آن اشاره نمود، پژوهش انجام شده در [۴۲] است. در این فعالیت اقدام به استفاده از ترکیب فیلترهای کالمن و ذره برای ردیابی اسپرم‌ها شده است. دلیل استفاده ترکیبی و توأم فیلترهای کالمن و ذره، بدست آوردن یک ردیابی پایدار و قابل اطمینان^۱ برای هر اسپرم است. روشی که در این فعالیت اجرا شده است، در جهت غلبه بر احتمال ردیابی اهداف گم شده و یا اهدافی غیر از آنچه هدف مورد نظر می‌باشد، بوده است. یک منطق استفاده از چنین روشی با توجه به مدل حرکتی غیرخطی اهداف است. منطق دیگری که از فیلترهای نامبرده به صورت همزمان استفاده شده است، کنترل و رسیدگی و دربرگیری هر دو حالت پیوسته^۲ و گسسته^۳ در فرایند ردیابی است. از آنجا که محیط در حال بررسی، نوعاً پیوسته و از طرفی نحوه مشاهدات^۴ با توجه به ماهیت همبستگی داده‌ای گسسته هستند، استفاده ترکیبی از هر دو فیلتر فرایندی منطقی به نظر می‌رسد. چرا که با استفاده از فیلتر ذره جنبه پیوسته بودن ماهیت ردیابی و با استفاده از فیلتر کالمن و همچنین بکارگیری الگوریتم مجارستانی در آن جنبه گسسته بودن فرایند ردیابی را کنترل نموده است. نتیجه‌ای که افراد اجرا کننده این فعالیت با توجه به الگوریتم خود بدست آورده‌اند، آن‌چنان قابل توجه نبوده است. از ضعف‌هایی که می‌توان برای فعالیت آن‌ها بیان نمود، یکی، عدم توانایی بالا در کنترل میزان برخوردها^۵ هنگامی که غلظت نمونه بالا بوده است، دوم، تشخیص پس زمینه بعنوان اسپرم به اشتباه

¹ Reliable

² Continous

³ Discrete

⁴ Observation

⁵ Collision

که دلیل آن می‌تواند با توجه به کیفیت پایین تصاویر و همچنین وجود نویز باشد و سوم اینکه نرخ بالای ردیابی‌های از دست رفته (حدود ۴ تا ۱۶ درصد) بوده است. البته مشکل دیگری که می‌توان به عنوان یک نکته حائز اهمیت در این فعالیت به آن اشاره نمود، پیچیدگی زمانی^۱ بالای الگوریتم اجرایی آن است.

فعالیت دیگری که در آن سعی بر کنترل میزان برخوردهای موجود در اسپرم‌ها نموده است [۴۳]، می‌باشد. در این فعالیت با استفاده از مدل اصلاح شده فیلتر ترکیبی^۲ چگالی‌های احتمالی نرمال^۳ اقدام به تخمین وضعیت هر اسپرم در هر مرحله نموده است. بدین منظور با استفاده فیلتر بکاربرده، عملیات کنترل در جهت عدم ردیابی مواردی که به عنوان هدف مورد نظر نمی‌باشند، صورت می‌گیرد. این کار با استفاده از یک عملیات پردازشی هرس‌سازی^۴ انجام می‌شود. به طوری که در هر مرحله از میان تمام اهداف موجود، آن‌هایی که از احتمال بالاتری برای تخمین وضعیت بعدی یک اسپرم برخوردار هستند، جهت ادامه ردیابی انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد که روش استفاده شده بهتر قادر به استخراج برخوردها در هنگام ردیابی نسبت به روش الگوریتم پایه‌ای می‌باشد. همچنین روش ارائه شده در این فعالیت مدیریت بهتری بر روی برچسب‌گذاری و جداسازی اسپرم‌ها در زمان بعد از برخورد و عدم وضوح به هنگام ادغام مجدد اهداف در فضای ردیابی انجام می‌دهد.

جاتی و همکاران [۴۴]، در فعالیت خود با استفاده از روش کالمن و بکارگیری الگوریتم مجارستانی اقدام به ردیابی اسپرم‌ها در ویدیوهای با نرخ پایین فریم^۵ شده است. در این فعالیت در مرحله

¹ Time Complexity

² Synthetic Filter

³ Normal Probability Density

⁴ Pruning

⁵ Low frame Rate Video

تشخیص هدف و در فاز عملیات پیش‌پردازشی از فیلتر گوسی دوبعدی برای کاهش نویز استفاده شده است. همچنین عملیات تشخیص در این فعالیت تنها برای اسپرم‌های در حال حرکت می‌باشد. دلیل استفاده از الگوریتم مجارستانی در این کار به منظور حل مشکل عدم توانایی فیلتر کالمن بر استفاده در ردیابی چند هدفی است. در واقع، از این الگوریتم برای تخصیص مقادیر تخمین زده شده توسط فیلتر کالمن برای اهداف موجود استفاده می‌شود. از نکات مثبتی که با توجه به نتایج حاصل از پژوهش صورت گرفته می‌توان به آن‌ها اشاره نمود، مشاهده کارایی قابل قبول در کلیت روش انجام شده و همچنین انجام موفقیت‌آمیز ردیابی در مجموعه‌ای از فریم‌ها با نرخ پایین می‌باشد. همچنین از نکات منفی در پژوهش نیز، می‌توان به تشخیص‌های گاه اشتباه برخی نویزهای موجود به عنوان اسپرم اشاره نمود و اینکه برای ویدیوهای با سرعت بالای اسپرم الگوریتم مجارستانی بکاررفته در روش کالمن قادر به تخصیص صحیح تخمین‌های زده شده به واسطه فیلتر کالمن نبوده است.

در پژوهش [۴۵] نیز جهت بهبود عملیات ردیابی مورد نظر، اقدام به بهبود مرحله تشخیص صورت گرفته است. بدین منظور با استفاده از مدل ترکیبی گوسین، هدف ابتدایی، بهبود تشخیص صحیح اسپرم‌ها در محیط مورد نظر است. برای این کار با پر کردن محفظه‌های خالی در تصویر پس‌زمینه، و در واقع با نشان دادن یک اسپرم با رنگ سفید در پس زمینه مورد نظر و با تعیین تمام ساختار یک اسپرم، نهایتاً به انجام عمل ردیابی پرداخته شده است. در واقع، معیاری که در این فعالیت به عنوان تشخیص یک اسپرم بکار گرفته شده است، مشخص نمودن یک مجموعه به هم پیوسته به عنوان اسپرم مورد نظر می‌باشد. برای روال انجام گرفته در مرحله تشخیص، از معیارهایی همچون Accuracy و Kappa، در جهت ارزیابی روش بکار رفته استفاده شده است. در مرحله هدف نیز از روش کالمن استفاده گردیده شده است. نکته قابل توجه در مورد این فعالیت، یک مقایسه جامع از

روش‌های تشخیص هدف در بین فعالیت‌های دیگر است. همچنین، نکاتی نیز در مورد فعالیت نامبرده وجود دارند که بیانگر ضعف‌های موجود در آن می‌باشند. از جمله اینکه، در روش ردیابی صورت گرفته کیفیت اسپرم^۱ از لحاظ میزان باروری اندازه‌گیری نشده است. در ضمن، علاوه بر کلیت فعالیت انجام گرفته که با محوریت ردیابی اسپرم صورت پذیرفته، در مقایسات موجود تنها بر روی فاز تشخیص تمرکز گردیده است و نگاهی به

میزان ردیابی صحیح وجود ندارد.

به‌یا و همکارانش [۴۶]، در فعالیت دیگری از یک ایده جدید جهت تشخیص اسپرم‌ها استفاده نمودند. آن‌ها در فعالیت از یک رویکرد BOW^۲ به همراه یک رده‌بند ماشین بردار پشتیبان جهت تشخیص اسپرم‌ها در فریم ابتدایی هر ویدیو استفاده شده است، و سپس با استفاده از الگوریتم میانگین انتقال^۳ به عملیات ردیابی اسپرم‌ها پرداخته است. عملیات صورت گرفته در این فعالیت برای تعداد سه نمونه ویدیو آزمایش گردیده است، که نتایج مرحله تشخیص اسپرم‌ها بسیار قابل توجه است. (دقت حداقل ۹۳ درصدی در فاز تشخیص و مقدار ۹۴ درصد ریشه میانگین کمترین مربعات خطا^۴ در عملیات بازیافت^۵). اما از نکاتی که در این پژوهش انجام شده وجود دارند، که علاوه بر وجود نتایج فوق باعث تضعیف فعالیت صورت گرفته می‌شوند، می‌توان به دو مورد اشاره نمود. یکی عدم تعمیم‌پذیری برای تعداد ویدیوهای بالا و شرایط متفاوت، و دوم اینکه تعداد اسپرم‌ها در هریک از ویدیوهای مورد بررسی پایین بوده است (در هر ویدیو نهایتاً فقط ۴ تا ۱۰ اسپرم در حال حرکت بوده‌اند).

مقاله [۴۷]، فعالیت دیگری می‌باشد که در آن، به ارزیابی کیفیت اسپرم‌ها با استفاده از محاسبه سه مورد از پارامترهای حرکتی موجود در آن‌ها پرداخته است. در این فعالیت هدف اصلی بر پایه

^۱ Sperm Quality

^۲ Bag Of Word

^۳ Mean Shift Algorithm

^۴ Root of Mean Least Square Error

^۵ Recall

بهبود فرایند دودوئی‌سازی^۱ تصاویر ویدیویی پیش رو با استفاده از اصلاح نمودن روش انجام پذیرفته در [۴۸] قرار داده شده است. در [۴۸]، هدف شمارش خودکار تعداد اسپرم‌ها با استفاده از، تعیین یک آستانه محلی سازگار برای تشخیص ساختارهای بیضوی^۲ مشخص کننده سر اسپرم بوده است. بدین منظور، برای اصلاح فرایند دودوئی‌سازی فریم‌های ویدیو، انحراف معیار سراسری^۳ هریک از آن‌ها افزایش، و بدین وسیله میزان جزئیات موجود در دودوئی‌سازی هدف بیشتر انجام گرفته است، و نهایتاً با این کار، نتیجه حاصل جهت تشخیص هدف برای فرایند ردیابی بهبود بخشیده شده است. در گام بعدی با استفاده از دنبال کردن هریک از اسپرم‌ها، اقدام به محاسبه سرعت‌های مستقیم، منحنی‌وار و نهایتاً محاسبه میزان جابجایی خطی اسپرم پراخته شده است. یکی از نکات مثبت فعالیت انجام شده در [۴۷]، دقت بالای فاز تشخیص برای فرایند ردیابی است و دیگری را می‌توان نحوه محاسبه معیارهای کیفیت حرکتی اسپرم دانست که در حال حاضر استفاده می‌شود. اما نکته منفی کار، پایین بودن میزان دقت نسبی کلیت فرایند ردیابی با توجه به همبستگی ارتباطی اسپرم‌ها در بین فریم‌های متوالی است.

مورد دیگری که می‌توان به آن اشاره داشت، فعالیت صورت پذیرفته در [۴۹] است. در این فعالیت که جهت شمارش و ردیابی خودکار اسپرم‌ها صورت پذیرفت، بر خلاف اکثر فعالیت‌های قبلی که فریم‌های ویدیوی ورودی را از حالت RGB به یک حالت خاکستری تبدیل می‌کردند، و سپس عملیات‌های پیش‌پردازشی دیگر را انجام می‌دادند، در این فعالیت تبدیل فضای حالت از RGB به HSV انجام گردیده است. شاید هدف از انجام این رویکرد، افزایش تفکیک‌پذیری انتخابی میزان شدت روشنایی، در جهت تعیین حد آستانه بهینه‌تر برای تشخیص اسپرم‌ها باشد. عملیاتی که در این فعالیت انجام شده، به بیان نویسنده در ۹ فاز صورت پذیرفته است، که نهایتاً به انجام فرایند ردیابی و شمارش اسپرم‌ها در فریم‌های جداگانه پرداخته است. نکته مهم دیگری که در کار انجام شده وجود دارد، این

^۱ Binarization

^۲ Ellipse Structures Detection

^۳ Global standard Deviation

است که عملیات تفاضل فریم‌های متوالی جهت مشخص نمودن صرفا اسپرم‌های متحرک انجام پذیرفته و در آن، تمام اسپرم‌ها، اعم از ایستا و متحرک را تشخیص داده است. در مورد حاصل خروجی کار نیز باید بیان نمود که نتایج عملیات برای سه ویدیو با نرخ فریم‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است که میانگین درصد دقت در فاز شمارش اسپرم‌ها برابر با ۹۴.۳ درصد بوده است. اما از ایرادات و نکات منفی فعالیت نیز می‌توان به عدم تعیین مناسب مسیر ردیابی و محاسبه پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها اشاره نمود.

آنچه در بالا بیان گردید، نمونه‌هایی از فعالیت‌های انجام گرفته در زمینه‌هایی چون دینامیک کلی حرکت اسپرم‌ها و البته ردیابی حرکتی آن‌ها با استفاده الگوریتم‌های موجود در ردیابی بوده است. هرکدام از آن‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود بودند که به هرکدام اشاره شد. همان‌طور که بیان گردید، اکثر فعالیت‌های نامبرده هریک با ایده اصلی که جهت بهبود مرحله تشخیص هدف در فرایند ردیابی وجود دارد، سعی در بهینه کردن ردیابی داشتند. در ادامه نیز، برخی دیگر از فعالیت‌های مهم انجام شده، به همراه الگوریتم بکار رفته در فرایند ردیابی و نهایتا مزایا و معایب آن‌ها در جدول ۱-۲ دیده می‌شوند. برای پژوهش‌های نام برده شده در این جدول، فعالیت‌ها بیشتر با محوریت بهبود فرایند ردیابی می‌باشند. در این فعالیت‌ها هدف بر انجام بهتر فرایند ردیابی، به منظور افزایش دقت تحلیل پارامترهای حرکتی بوده است.

جدول ۲-۱ تعدادی از فعالیتهای پیشین [۵۰]

پژوهش	هدف و کلیت روش انجام شده	مزایا و معایب
کورکیدی ۲۰۰۸ [۵۱]	هدف ردیابی حرکت اسپرم‌ها به صورت سه بعدی روش - قرار دادن یک دوربین در زیر لام حاوی نمونه و تهیه تصاویر سه بعدی از حرکت اسپرم با فرکانس ۷۰ فریم بر ثانیه - ردیابی اسپرم‌ها به صورت سه بعدی - محوریت فعالیت مشاهده حرکت سه‌بعدی بوده است نه انجام فرایند ردیابی با جزئیات آن	مزایا - سیستم طراحی شده قادر به ردیابی با استفاده از یک میکروسکوپ و یک دوربین بود. - قابل استفاده بودن ردیابی تهیه شده در تحلیل نوع حرکت برای اسپرم‌ها . معایب - بر روی اسپرم‌های یخ زده جانوران ردیابی انجام گردیده است. - عدم تعیین و مشخص نمودن درصد ردیابی صحیح و غیرصحیح . - عدم تعیین مزایای موجود در بررسی حرکت سه بعدی اسپرم.
ایمانی و همکاران ۲۰۱۵ [۵۲]	هدف ارائه یک روش جدید ردیابی اسپرم‌های انسان روش - تشخیص و ردیابی اسپرم‌های فقط در حال حرکت - استفاده از فیلتر نفوذ غیرخطی جهت هموارسازی تصویر و رفع نویز - استفاده از روش کالمن و الگوریتم مجارستانی با رویکرد تطابق الگو	مزایا - عملیات برای نمونه‌های با غلظت بین ۱ تا ۱۰ اسپرم بسیار خوب کار می‌کند. - عملیات به عنوان یک معیار در سازمان جهانی سلامت تأیید شده است. محدودیت - برای نمونه‌های با غلظت بالا روش مؤثر نیست. - اسپرم‌های که از خارج وارد می‌شوند دارای مشکل ردیابی هستند. - از برخوردهای جزئی صرف‌نظر شده است.
آراسته و همکاران ۲۰۱۶ [۵۳]	هدف ارزیابی الگوریتم‌های حرکت اسپرم‌ها بر روی پایگاه داده ترکیبی روش - توسعه یک شبیه‌ساز مبتنی بر وب جهت تسهیل ارزیابی سیستم تحلیلگر اسپرم - استفاده از پارامترهای مفید جهت بررسی حالات متنوع عملیات ردیابی - استفاده از فیلترهای کالمن و ذره در مقایسه نتایج حاصل	مزایا - عملکرد مناسب سیستم جهت آزمون اولیه برای دادگان موجود. - وجود پارامترهایی همچون افزودن نویز و تاری. - قابل تنظیم بودن تعداد اسپرم‌های مورد بررسی توسط خود کاربر. معایب - پایگاه داده ترکیبی به صورت صریح برای عملیات آزمون فعالیت اعتبارسنجی نشده است.(معتبر نبودن پایگاه داده موجود) .

با توجه به فعالیت‌های فوق چالش‌های اصلی موجود در زمینه ردیابی اسپرم‌ها را می‌توان موارد زیر دانست.

۱. سرعت بالای اسپرم‌ها در هنگام عملیات ردیابی
۲. تعداد بالای برخوردها در حین فرایند ردیابی
۳. وجود نویز بالا در هنگام تشخیص هدف و تعیین موقعیت مکانی دقیق آن
۴. عدم تمرکز دقیق بر روی مشخص نمودن دقت فرایند ردیابی
۵. عدم وجود یک روال الگوریتمیک برای تعیین اهمیت و تأثیر پارامترهای جانبی در میزان باروری اسپرم
۶. عدم وجود مدل ریاضیاتی جهت طبقه‌بندی اسپرم‌ها از لحاظ عملکرد باروری با پارامترهای حرکتی

۷-۲ نتیجه‌گیری

در این فصل به بیان مفاهیم پایه مورد نیاز و استفاده شده در یک فرایند ردیابی هدف در ویدیو پرداخته شد. انواع روش‌ها و الگوریتم‌های ردیابی را بیان نمودیم. همچنین به بررسی تعدادی از فعالیت‌های انجام شده در زمینه تحلیل حرکت اسپرم‌ها پرداختیم. از آنچه که برای تمام فعالیت‌های بررسی شده بیان گردید، تعدادی از اصلی‌ترین چالش‌های موجود در زمینه ردیابی اسپرم‌ها و تحلیل پارامترهای حرکتی آن‌ها بیان گردید. مهم‌ترین مشکلی که در ارزیابی کیفیت حرکتی یک اسپرم به عنوان یک چالش مطرح است، عدم وجود روش جامع پارامتریک جهت طبقه‌بندی یک اسپرم جهت ارزیابی میزان عملکرد باروری آن می‌باشد. ما قصد داریم با استفاده از پارامترهایی که معرفی شدند، اقدام به ارائه‌ی یک طبقه‌بند در جهت جداسازی دو نوع حرکتی متداول موجود نماییم.

فصل سوم: روش پیشنهادی

۱-۳ مقدمه

در این فصل ابتدا به تشریح مراحل فرایند ردیابی هدف می‌پردازیم. کلیات فرایند پیش رو را در غالب یک دیاگرام بیان نموده و هریک از اجزای موجود در آن را تشریح می‌کنیم. چالش‌های موجود در فرایند انجام کار را نام برده و ایده‌هایی که می‌توانند در جهت حل هریک از آن‌ها بکار گرفته شوند، بیان می‌کنیم.

۲-۳ فرایند ردیابی

شکل ۱-۳ روندنمای کلی روش ارائه شده جهت ردیابی اسپرم‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل همانطور که مشاهده می‌شود، دو قسمت وجود دارد. قسمت اول، که در نیمه سمت چپ شکل قابل مشاهده است، مراحل کلی روش را به صورت واحدهای کلی نشان می‌دهد، که هریک از این واحدها خود با استفاده از چند مرحله، هدف اصلی مورد نظر را انجام می‌دهند. قسمت سمت راست شکل نیز به صورت جزئی‌تری مراحل اجرایی هریک از واحدها را توضیح می‌دهد. در ادامه به توضیح و تشریح هریک از این واحدها و مراحل آن‌ها خواهیم پرداخت.

۱-۲-۳ تفاضل دو فریم متوالی (حذف اولیه پس‌زمینه)

یکی از معمول‌ترین روش‌های ردیابی اهداف در تصاویر ویدیویی، دنبال کردن فقط اهداف متحرک^۱ می‌باشد. در این روال، اولین پردازش لازم که باید برای شناسایی اهداف متحرک انجام شود، حذف پس‌زمینه^۲ موجود در تصاویر ویدیویی است. این اقدام باعث می‌شود آنچه پس از عملیات حذف صورت گرفته باقی می‌ماند، اهدافی باشند که در حال حرکت هستند. بدین منظور، اولین فرایند پردازشی لازم که جهت حذف پس‌زمینه برای شناسایی انجام می‌گیرد، تفاضل دو فریم متوالی است. خروجی تفاضل

^۱ Motion Targets

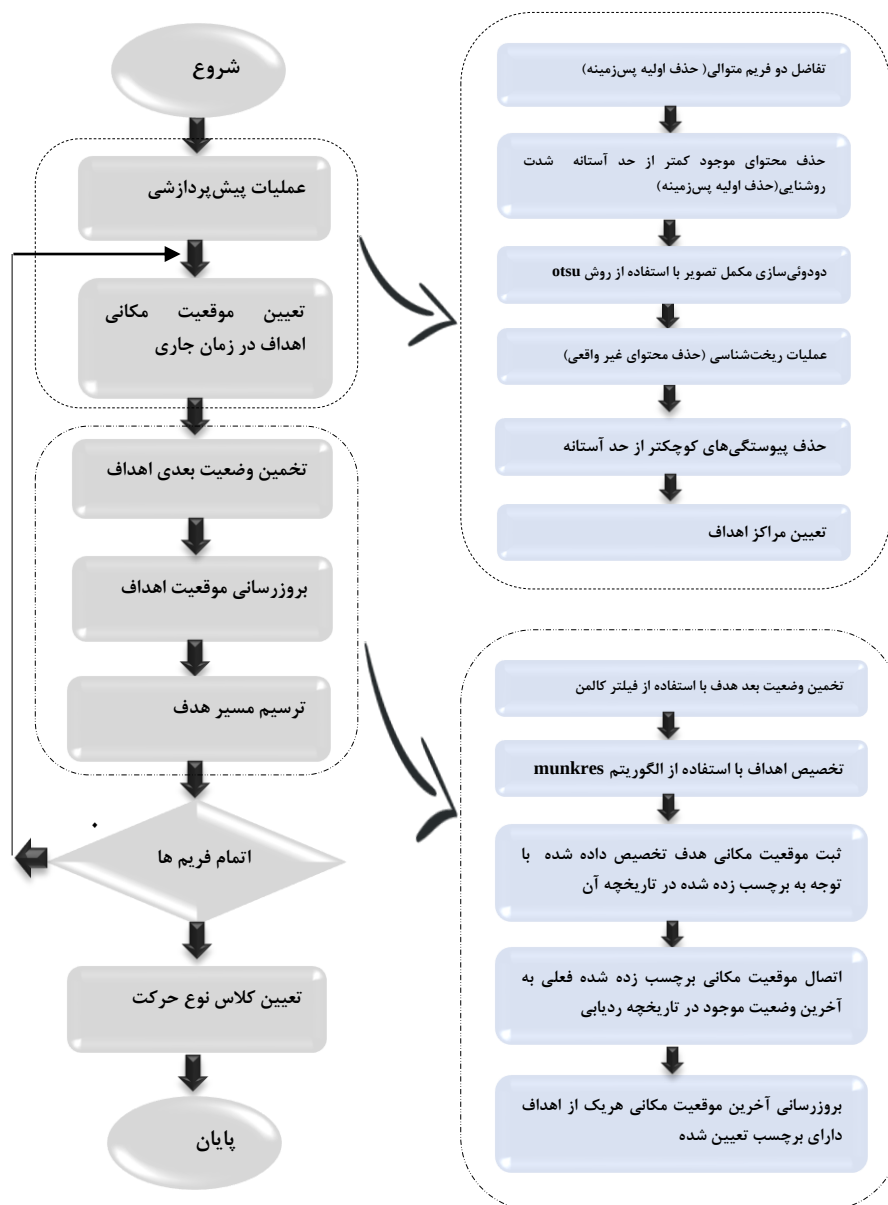
^۲ Background Deletion

دو فریم متوالی، تصویری است که در آن قسمت‌های یکسان موجود در دو فریم متوالی صفر شده‌اند.

در واقع، قسمت‌های ثابت تصاویر ویدیویی که در همه فریم‌ها بدون تغییر هستند، به عنوان بخشی از

پس‌زمینه مه‌چود، حذف می‌شوند.

$$f_{ab}(x, y) = f_{i+1}(x, y) - f_i(x, y)$$



شکل ۳-۱: روند کلی روش پیشنهادی ردیابی اسپرم‌ها

در شکل ۲-۳، قسمت‌های (الف) و (ب) دو فریم متوالی از یک ویدیو مورد نظر را نشان می‌دهند. در

قسمت (ج) نیز تفاضل حاصل از دو فریم متوالی را نشان داده شده است.



(ب) : فریم دوم ویدیو



(الف) : فریم اول ویدیو



شکل ۲-۳: حذف پس‌زمینه با تفاضل دو فریم متوالی

۲-۲-۳ حذف محتوای موجود کمتر از حد آستانه شدت روشنایی

با تفاضل دو فریم متوالی قسمت‌های یکسان که دارای شدت روشنایی برابر هستند، صفر می‌شوند. اما

قسمت‌هایی دیگر وجود دارند که با توجه به عواملی همچون، تغییرات شدت روشنایی محیط، لرزش

دوربین و گاهی نویز ایجاد شده، ممکن است علاوه بر ثابت بودن محتوای موجود در تصاویر

ویدیویی، دارای اختلافات بسیار جزئی در شدت روشنایی باشند. این قسمت‌ها در عمل هیچ ارزشی ندارند. لذا برای انجام عملیات دقیق‌تر فرایند تشخیص موقعیت مکانی هدف، بهتر است که این محتوای موجود باقی مانده نیز به عنوان پس‌زمینه موجود حذف گردند. لذا برای این کار، در هنگام تفاضل دو فریم متوالی، پیکسل‌های متناظری که اختلاف شدت روشنایی آن‌ها کمتر از یک مقدار حد آستانه مشخصی هستند، صفر در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب این قسمت‌ها نیز به عنوان بخشی از پس‌زمینه موجود حذف خواهند شد. بنابراین رابطه‌ی (۳-۱) را می‌توان به طور کامل‌تری به صورت زیر بیان نمود:

$$f_{abit}(x, y) = \begin{cases} 0 & f_{db} \leq I_T \\ f_{db} & f_{db} > I_T \end{cases} \quad (۳-۲)$$

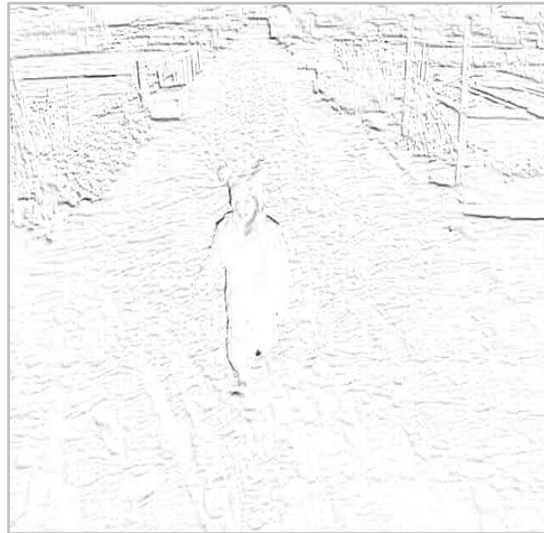
در رابطه بیان شده، I_T مقدار حد آستانه شدت روشنایی حداقل برای حذف پیکسل‌های با مقادیر فاقد ارزش محتوایی است. همچنین $f_{abit}(x, y)$ نیز تصویر فرضی حاصل از حذف مقادیر کمتر از حد آستانه در تفاضل دو فریم متوالی است. سوالی که اینجا مطرح می‌شود، این است که چرا تصویر $f_{abit}(x, y)$ را فرضی عنوان می‌کنیم؟ ما در عمل اقدام به محاسبه مستقل تصویر خروجی $f_{abit}(x, y)$ نداشته‌ایم. دلیل آن نیز عدم آگاهی دقیق از مقدار بهینه‌ای است که باید برای I_T در نظر بگیریم. بنابراین بعد از محاسبه تصویر $f_{db}(x, y)$ نیاز به مقدار بهینه حد آستانه مورد نیاز برای حذف محتوای بی‌ارزش داریم. این حد آستانه که پارامتر T می‌باشد، باید با استفاده از هیستوگرام^۱ نوع تصویر بدست آید. بنابراین مقدار حد آستانه بهینه، با توجه به تعداد طیف خاکستری^۲ که در هیستوگرام حاصل از تفاضل دو فریم متوالی بدست می‌آید، برای دودوئی‌سازی تصویر $f_{db}(x, y)$ استفاده می‌شود. به این معنی که حذف محتوای کم‌ارزش تصویر فرضی $f_{abit}(x, y)$ را در هنگام

^۱ Histogram

^۲ Gray Scale

تبدیل تصویر $f_{db}(x, y)$ به یک تصویر دودوئی^۱ انجام می‌دهیم. اما نکته مهم و حائز اهمیت چگونگی محاسبه این حدآستانه بهینه است که در بخش بعد به توضیح آن خواهیم پرداخت.

۳-۲-۳ دودوئی‌سازی مکمل^۲ تصویر با استفاده از روش آستانه گذاری otsu



شکل ۳-۳: تصویر مکمل تفاضل دو فریم متوالی

در بخش‌های ۱-۲-۳ و ۲-۲-۳ چگونگی حذف اولیه پس‌زمینه تشریح شد. ایده اصلی انجام عملیات را تعیین اهداف متحرک عنوان نمودیم. اما اجرای حذف پس‌زمینه، با آنچه که به عنوان عملیات بیان گردیده شد، به اتمام نمی‌رسد. در ۱-۲-۳ نحوه چگونگی حذف محتوای کم‌ارزشی که دارای مقدار شدت روشنایی کمتر از حد آستانه مشخصی بودند، با استفاده از تبدیل تفاضل فریم‌های متوالی به یک تصویر دودوئی بیان شد. در فرایند تبدیل به تصویر دودوئی، خروجی نهایی قسمت سر هر اسپرم متحرک جهت تعیین موقعیت مکانی آن است. در واقع فرایند ردیابی هر اسپرم با استفاده از تشخیص سر آن به عنوان موقعیت مکانی‌اش، و سپس ردیابی آن صورت می‌پذیرد. بدین منظور برای انجام

¹ Binary Image

² complement

عملیات مورد نظر، ابتدا تصویر بدست آمده از تفاضل دو فریم متوالی را مکمل می‌کنیم. هدف از انجام این کار، افزایش دقت و آسان‌تر بودن عملیات تبدیل دودوئی است. رابطه ۳-۳ چگونگی مکمل‌سازی تصویر را نشان می‌دهد.

$$f_{comp-db}(x, y) = 255 - f_{db}(x, y) \quad (3-3)$$

جهت تبدیل به تصویر دودوئی، از روش آستانه‌گذاری Otsu استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه در این روش، عملیات قطعه‌بندی بر اساس بیشینه‌سازی واریانس^۱ بین دو قطعه انجام می‌گردد، مقداری برای حد آستانه انتخاب می‌شود که بیشترین اختلاف (واریانس) برای دو قطعه بوجود آید. دلیل این امر، اختلاف شدت روشنایی زیاد سر اسپرم با بدنه (دم) آن است. در واقع اختلاف کم شدت روشنایی‌ای که در دم هر اسپرم، با شدت روشنایی‌ای که در پس‌زمینه تصاویر ویدیویی وجود دارد، روش آستانه‌گذاری Otsu باعث می‌شود در عملیات قطعه‌بندی تصویر و تبدیل آن به یک تصویر دودوئی، دم و بدنه اسپرم حذف و قسمت سر آن باقی بماند. لذا با تشخیص سر هر اسپرم می‌توان آن را ردیابی نمود. رابطه ۳-۴ ماهیت کلی تصویر دودوئی حاصل از تبدیل مکمل تفاضل دو فریم متوالی را بیان می‌کند.

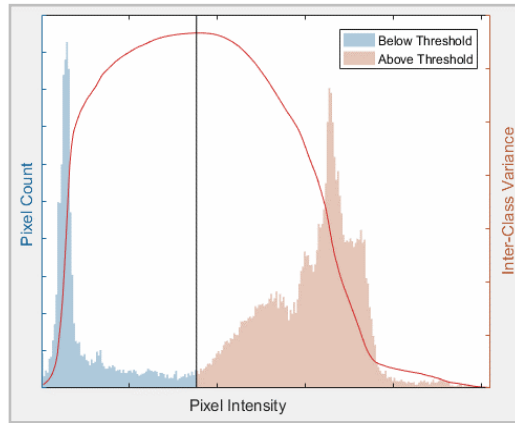
$$f_{bin}(x, y) = \begin{cases} 0 & f_{comp-db}(x, y) < T \\ 1 & otherwise \end{cases} \quad (4-3)$$

رابطه ۳-۵ کلیت ماهیت ریاضیاتی آنچه که در مورد نحوه عملکرد روش Otsu نشان می‌دهد.

$$\sigma^2 = \sigma^2_W(T) + \sigma^2_B(T) \quad (5-3)$$

با توجه به رابطه بیان شده در فوق، خروجی در نهایت برای انتخاب مقدار حد آستانه از لحاظ مفهومی مطابق با آنچه در شکل ۳-۴ مشاهده می‌نمایید خواهد شد

¹ Variance Maximization



شکل ۳-۴: مقدار حد آستانه بهینه در روش Otsu

در رابطه ۳-۵ پارامتر σ_W واریانس درون کلاسی و σ_B واریانس مابین کلاسی بیان شده در انجام عملیات به روش Otsu است. بعد از فرایند تبدیل به تصویر دودویی، آخرین مرحله پردازشی جهت حذف

پس‌زمینه مورد نظر، انجام عملیات‌های ریخت‌شناسی برای از بین بردن نویزهای اضافی در هنگام عملیات دودویی‌سازی است، که در بخش بعد توضیح خواهیم داد. در شکل ۳-۵ (الف) خروجی تصویر دودویی

حاصل از بکارگیری روش Otsu برای تصویر خاکستری شکل ۳-۲ (الف) و در ۳-۵ (ب) نیز خروجی بکارگیری روش برای تصویر ۳-۴ مشاهده می‌شود.



(ب) : تصویر دودویی حاصل از شکل ۳-۲



(الف) : تصویر دودویی حاصل از شکل ۳-۲ (الف)

شکل ۳-۵: تصاویر دودویی حاصل از بکارگیری روش Otsu

۳-۲-۴ عملیات ریخت‌شناسی (حذف محتوای غیر واقعی)^(۶-۳)

با ایجاد تصویر دودوئی محتوایی (لکه‌های سیاه‌رنگ کوچک) در تصویر وجود دارند که، می‌توانند حاصل از تغییرات ناچیز در شدت روشنایی در پیکسل‌ها، حاصل از جابجایی سایر سلول‌های موجود در نمونه (Round Cell) و یا اینکه نویز حاصل از تصویربرداری باشند. این قسمت‌ها ممکن است در اثر اشتباه به عنوان اسپرم تشخیص داده شوند. مسئله‌ای که در فعالیت‌های گذشته نیز، به عنوان مشکل‌های موجود به آن اشاره گردید. بنابراین لازم است جهت کنترل و جلوگیری از چنین خطایی عملیات مناسب انجام گردد. بدین منظور از دو عملگر کاهش و گسترش در جهت حذف آن‌ها استفاده می‌شود. در اینجا هریک از عملیات‌های نامبرده و ماهیت عملکردی آن‌ها را به طور مختصری توضیح می‌دهیم.

• عملگر سایش

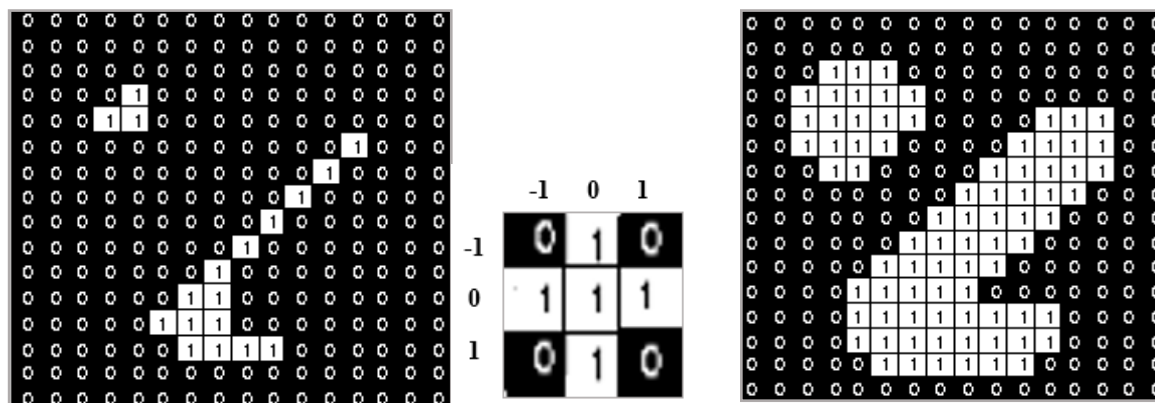
هدف در استفاده از عملگر سایش، تمیز کردن تصویر از لکه‌هایی هست که ممکن‌اند به اشتباه جزء اسپرم‌های تشخیص داده شده به عنوان اهداف مورد نظر باشند. لذا این عملگر با پاک کردن این لکه‌های موجود در تصویر دودوئی باعث کاهش احتمال خطا در تشخیص اهداف مورد نظر می‌شود. برای انجام این عملیات نیاز به یک عنصر سازنده^۱ جهت اعمال بر روی تصویر دودوئی پیش‌رو و انجام هدف مورد نظر است. عنصر سازنده با توجه به ساختاری که دارد، با لغزش^۲ بر روی تصویر، تغییرات مورد نیاز در پیکسل‌های آن را انجام می‌دهد. معمولاً این تغییرات برای تصاویر دودوئی به صورت جمع و ضرب منطقی هستند، که برای عملگر سایش عملیات مورد نظر، ضرب در پیکسل‌های متناظر هستند. رابطه ۶-۳ ماهیت ریاضیاتی عملگر سایش را بیان می‌کند. همچنین شکل ۶-۳ عملکرد انتزاعی این عملگر در یک تصویر دودوئی را نشان می‌دهد.

$$A \ominus B = \bigcap_{x \in B} A_x = \{W : B_w \subseteq A\} \quad (۶-۳)$$

^۱ Structure Element

^۲ Convolution

در رابطه بیان شده، A تصویر و B عنصر سازنده هستند. همچنین W نیز مقدار مورد نظر در سازنده است. شکل ۳-۶ (الف) تصویر دودوئی فرضی را نشان می‌دهد که با استفاده از یک عنصر سازنده (شکل ۳-۶ (ب))، عملگر سایش بر روی آن انجام گرفته شده است و نهایتاً تصویر حاصل در شکل ۳-۷ (ج) حاصل شده است. چگونگی عملیات سایش به این صورت است که در هر مرحله از لغزش عنصر سازنده در تصویر، اگر تطابق با پنجره انتخاب شده، وجود داشته باشد، مرکز ماتریس عنصر سازنده به عنوان خروجی لحاظ می‌گردد. و در نهایت با اجتماع خروجی‌های بدست آمده تصویر حاصل یافته ایجاد می‌شود. در مورد عنصر سازنده، باید به این نکته اشاره نمود که، این عنصر دارای اندازه و انواع مختلفی است. اندازه این عنصر معمولاً به صورت ماتریس مربعی، با تعداد سطر و ستون فرد کارایی مناسب‌تری دارد. نوع عنصر سازنده نیز، با نحوه چینش مقادیر صفر و یک داخل آن تعیین می‌شود. ما در انجام سایش برای پاک‌سازی نویزهای تصویر دودوئی حاصل، جهت تشخیص اسپرم‌ها، از سازنده ۳ در ۳ مکعبی^۱ شکل استفاده نموده‌ایم. استفاده از این سازنده با عمل سعی و خطای و تشخیص بهبود نسبی در نحوه تشخیص اسپرم‌ها صورت گرفته است.



(ج): تصویر حاصل

(ب): عنصر سازنده

(الف): تصویر دودوئی فرضی

شکل ۳-۶: عملیات سایش

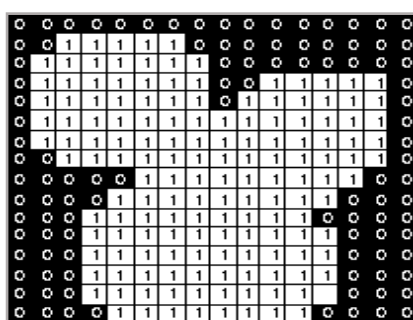
¹ Cubic Structure

• عملگر گسترش

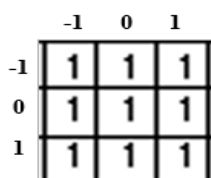
پس از عملیات حذف و از بین بردن لکه‌ها و نویزهای موجود در تصویر دودویی با استفاده از عملگر سایش، با توجه بر تأثیرگذاری این عملگر بر روی قسمت‌های صحیح سگمنت شده که معرف اهداف صحیح تشخیص داده شده در تصویر هستند، نیاز به استفاده از عملگر و عملیاتی هستیم که این قسمت‌ها را به حالت اولیه خود بازگرداند. برای این کار از عملگر گسترش استفاده نموده‌ایم. رابطه ۳-۷ ماهیت ریاضیاتی عملگر گسترش را بیان می‌کند. این عملگر با استفاده از یک عنصر سازنده تصویر را به مختصات مشخص انتقال می‌دهد. سپس با اجتماع تمام انتقال‌های صورت گرفته، تصویر حاصل را ایجاد می‌کند. به این نکته باید توجه داشت که هر درایه از عنصر سازنده، دارای اندیسی هست که با توجه به مقدار مختصات آن درایه، عملیات انتقال صورت می‌گیرد. شکل ۳-۷ نشان‌دهنده عملیات گسترش با استفاده از سازنده مشخص بر روی تصویر دودویی فرضی است.

$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} A_x = \{(x, y) + (u, v) : (x, y) \in A, (u, v) \in B\} \quad (7-3)$$

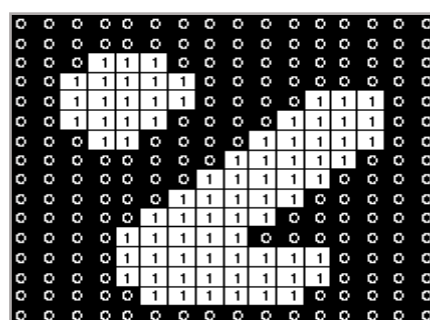
در رابطه‌ی فوق x و y مختصات پیکسلی تصویر، u و v نیز مختصات مقادیر عنصر سازنده هستند.



(ج): تصویر حاصل



(ب): عنصر سازنده



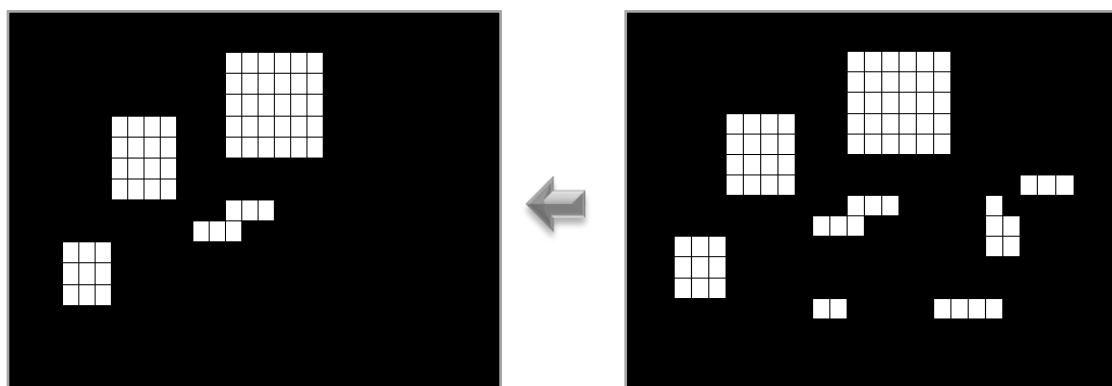
(الف): تصویر دودویی فرضی

شکل ۳-۷: عملیات گسترش

آنچه در ۳-۲-۴ بیان گردید، اعمال لازم جهت حذف محتوای غیر واقعی و نویزهای مربوط به مرحله عملیات پیش‌پردازش است. در واقع، می‌توان گفت، فاز پیش‌پردازشی لازم جهت تشخیص موقعیت مکانی یک اسپرم، شامل ۳ گام برای این کار است که بخش بیان شده، گام‌های اول و دوم را تشکیل می‌دادند. گام سوم و آخرین مرحله از عملیات پیش‌پردازشی لازم، حذف پیوستگی‌های کوچکتر از یک مقدار مشخص است که در بخش بعد به آن می‌پردازیم.

۳-۲-۵ حذف پیوستگی‌های کوچکتر از حد آستانه

پس از حذف محتوای غیر واقعی و نویز که با استفاده از عملیات‌های سایش و گسترش در ۳-۲-۴ انجام گردید، با توجه به اندازه مشخصی که قسمت سر یک اسپرم دارد، باید اقدام به حذف مقادیر به هم پیوسته در تصویر دودوئی پیش‌رو، در جهت تشخیص تعداد و موقعیت مکانی اسپرم‌ها در فریم جاری داشته باشیم. بدین منظور با تعیین یک مقدار حد آستانه با توجه به اندازه سر اسپرم، اقدام به حذف پیکسل‌های به هم پیوسته کوچکتر از آن خواهیم نمود. برای این کار و نیز در جهت اقدام گام بعدی، قبل از حذف پیوستگی‌های کوچکتر از حد آستانه بار دیگر تصویر دودوئی پیش‌رو را مکمل می‌کنیم. این کار، عملیات پردازشی را نیز آسان‌تر خواهد نمود. به‌طوری که برچسب‌گذاری تعداد اسپرم‌ها را برای ما ساده می‌کند. شکل ۳-۸ نمونه‌ای انتزاعی از عملیات موجود را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸: حذف به هم پیوستگی‌های کمتر از ۶ پیکسل در یک تصویر دودوئی فرضی

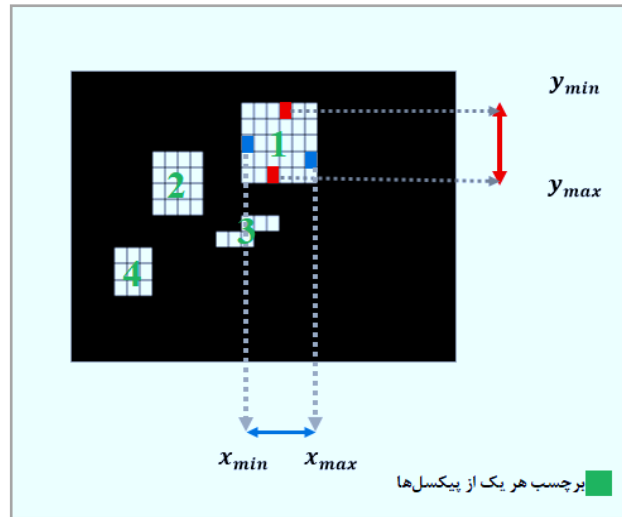
برای حذف به هم پیوستگی‌های موجود در تصویر دودوئی، جهت برچسب‌گذاری اسپرم‌ها، از مقدار حد آستانه ۴۰ استفاده نمودیم. این مقدار با توجه به سعی و خطا و با توجه به میزان دقت حاصل که مشاهده شد، بدست آمده است. پس از حذف محتویات با پیوستگی کمتر از حد آستانه بکار برده شده، باید اقدام به تعیین موقعیت مکانی هر هدف در فریم جاری نماییم.

۳-۲-۶ تعیین مراکز اهداف^۱

برای تعیین مرکز هر هدف در فریم جاری، با توجه به برچسب گذاری انجام شده، کم‌ترین و بیشترین مختصات پیکسل هر هدف را در جهات افقی (سطری) . عمودی (ستونی) بدست آورده و میانه هر کدام از آن‌ها را محاسبه می‌نماییم. بدین ترتیب مختصات پیکسلی موقعیت مکانی هر هدف بدست می‌آید. شکل ۳-۹ روال انجام این کار را به صورت انتزاعی^۲ بر روی قسمتی از شکل ۳-۸ نشان می‌دهد. باید به این نکته توجه داشت که در تصاویر ویدیویی موجود در فعالیت ما، اسپرم‌های تشخیص داده شده، به صورت مستطیل یا مربع شکل نیستند. لذا نقاط کمینه و بیشینه موجود در جهات سطری و ستونی می‌توانند متمایز از یکدیگر باشند. لذا در شکل ۳-۹، سعی نموده‌ایم این مسئله را با مجزا انتخاب نمودن این نقاط در تصویر فرضی موجود بیان کنیم. بنابراین برای محاسبه مختصات مرکز هر هدف، می‌بایست ۴ نقطه متمایز را بدست آوریم. روابط ۳-۸ تا ۳-۱۲ نحوه بدست آوردن نقاط لازم و محاسبه مرکز هر هدف را بیان می‌کند. روابط ۳-۸ تا ۳-۱۱ نحوه محاسبه مختصات لازم جهت محاسبه مرکز یک هدف مشخص را بیان می‌کنند. در این روابط، labelmap تصویری با پس‌زمینه مشکی (مقدار صفر) است، که در آن پیکسل‌های مربوط به هر هدف برابر با برچسب آن هستند.

¹ Targets Centers

² Abstraction



شکل ۳-۹: محاسبه مراکز اهداف تشخیص داده شده

$$x_{min} = \min(\text{col}(\text{target} = \text{labelmap})) \quad (۸-۳)$$

$$x_{max} = \max(\text{col}(\text{target} = \text{labelmap})) \quad (۹-۳)$$

$$y_{min} = \min(\text{row}(\text{target} = \text{labelmap})) \quad (۱۰-۳)$$

$$y_{max} = \max(\text{row}(\text{target} = \text{labelmap})) \quad (۱۱-۳)$$

رابطه ۳-۱۲ نیز، نحوه محاسبه مختصات مرکز هر هدف را بیان می‌کند. در این رابطه برای اینکه

مقادیر مؤلفه‌های x و y دارای مقدار اعشاری نباشند، آن‌ها را داخل علامت جزء صحیح قرار داده‌ایم.

$$\text{center}_{\text{target}} = \left(\left\lfloor \frac{x_{min} + x_{max}}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{y_{min} + y_{max}}{2} \right\rfloor \right) \quad (۱۲-۳)$$

البته باید توجه داشت که در تعیین مرکز هر هدف، مختصات x و y نباید از اندازه تصویر بیشتر بشوند.

شکل ۳-۱۰، الگوریتم کلی نحوه تشخیص موقعیت مکانی اهداف را نشان می‌دهد.

```

1: For each gray scale two sequence frames do:
2: Compute difference between two sequence frames .
3:  $f = \text{imsubtract}(\text{frame}_{-i+1}(x, y), \text{frame}_{-i}(x, y))$ 
4: compute complement the result f.
5:  $f_c(x, y) = 255 - f(x, y)$ 
6: Set a threshold for convert  $f_c(x, y)$  to binary image.
7:  $[\text{thresh}, x] = \text{imhist}(f_{\text{complement}}(x, y), 12)$ 
8: Use of otsu method for computing threshold T.
9:  $T = \text{otsu}(\text{thresh})$ 
10: Convert  $f_c(x, y)$  to a binary image.
11:  $b_f = \text{imbinarize}(f_c(x, y), T)$ 
12: Delete spurious detections of binframe by erosion & dilation .
13:  $eb_f = \text{imerode}(\text{binFrame}, 5 * 5 \text{ diamond})$ 
14:  $db_f = \text{imdilate}(eb_f, 3 * 3 \text{ diamond})$ 
15: Delete detected connection lower than 40 pixel connectivity threshold.
16: Labeling detected sperms.
17: Compute center of detected and labeled sperms.
18: End.

```

شکل ۳-۱۰: الگوریتم پیش‌پردازش و تشخیص موقعیت مکانی اسپرم‌ها

با توجه به آنچه تا به حال بیان گردید، ما توانستیم موقعیت مکانی هر اسپرم در لحظه جاری را تشخیص بدهیم. با توجه به نیاز بودن تخمینی از موقعیت مکانی بعدی هر اسپرم، که باید در لحظه بعد از موقعیت فعلی‌مان، آن را بدست آوریم، تشخیصی که ما فریم به فریم آن را انجام دادیم، در هنگام عملیات تخمین موقعیت هدف به عنوان یک پارامتر موجود به ما کمک خواهد نمود. در واقع، مختصات مرکزهای هریک از اسپرم‌های تشخیص داده شده که در هر لحظه بدست می‌آیند، به عنوان یک پارامتر مشخص در الگوریتم تخمین هدف استفاده می‌شوند. ما برای تخمین موقعیت بعدی هر هدف، از فیلتر کالمن و الگوریتم munkres استفاده نموده‌ایم که در ادامه به توضیح هریک از آنها می‌پردازیم.

۳-۲-۷ تخمین وضعیت با استفاده از فیلتر کالمن

در هر لحظه، علاوه بر داشتن موقعیت مکانی اسپرم‌ها در هر فریم، با توجه به ازدیاد تعداد اهداف، نیاز به داشتن یک اعتبارسنجی از نحوه حرکت هریک از آنها وجود دارد. بنابراین باید از یک سیستم تخمین وضعیت استفاده کنیم. دلیل دیگری که نیاز به تخمین پیش‌رو را الزامی می‌کند، وجود برخی از عدم قطعیت‌هایی همچون نویز می‌باشد. از مهم‌ترین دلایلی که می‌توان نیازمندی به یک سیستم

تخمین‌گر همچون فیلتر کالمن را توجیه نمود، موارد فوق بودند. اما اینکه، در عمل این فیلتر چگونه اقدام به تخمین وضعیت یک حالت از سیستم را انجام می‌دهد را در ادامه توضیح می‌دهیم.

• فیلتر کالمن

اگر بخواهیم معادله حرکت کلی یک شیء متحرک را بیان کنیم، می‌توانیم رابطه‌ی ۱۳-۳ را بنویسیم. این رابطه، بیانگر نوع حرکت دارای شتاب^۱ برای هر شیء متحرک می‌باشد.

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \quad (13-3)$$

در رابطه فوق a شتاب حرکت، v_0 سرعت^۲ اولیه و x_0 مکان^۳ اولیه شیء در حال حرکت است. هدف از فیلتر تخمین‌گر کالمن، تخمین پارامترهایی همچون سرعت و مکان شیء در هر لحظه در سیستم است. در واقع، سرعت و مکان شیء در هر لحظه جز پارامترهای سیستم هستند، که باید در هر لحظه آن‌ها را بروز رسانی کنیم. اما چگونه این ممکن است. دو مسئله‌ای که باعث چالش جدی در فرایند تخمین می‌شوند، یکی وجود شتاب، و دیگری نوع محیطی هست که فرایند تخمین سیستم در آن انجام می‌شود. در واقع، دو مسئله بیان شده باعث تفکیک مدلی فیلتر کالمن می‌شوند. اینکه از چه مدلی برای تخمین باید استفاده کنیم، بسیار مهم است. استفاده درست از نوع مدل، در رسیدن به هدف می‌تواند مؤثر باشد. ۱۴-۳، رابطه کلی تخمین‌گر فیلتر کالمن را بیان می‌کند.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (14-3)$$

در رابطه فوق x_k حالت جاری است. A ماتریس انتقال^۴ است. این ماتریس در هر لحظه با مکان هدف در ارتباط است. B ماتریس کنترل^۵ و u بردار کنترل^۶ هستند. این ماتریس برای پارامترهای

¹ Acceleration

² Velocity

³ Position

⁴ Transition Matrix

⁵ Control Matrix

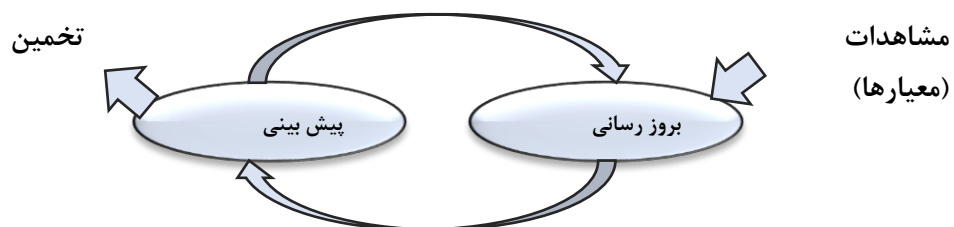
⁶ Control Vector

شتاب حرکت است. و نهایتاً w_k نویز فرایند^۱ حاصل در عمل پردازش است. زمانی که عملیات تخمین و پیش‌بینی موقعیت بعدی یک هدف انجام شد، نیاز به معیاری برای سنجش تخمین صورت گرفته داریم.

رابطه‌ی ۳-۱۵ بیانگر معیاری برای این کار است. که البته به آن معادله خروجی نیز گفته می‌شود. در این معادله y_k معیار صحیح بودن یک حالت را بیان می‌کند و H مدل مشاهدات^۲ است. v_k نیز نویز اندازه‌گیری^۳ است.

$$y_k = Hx_k + v_k \quad (۳-۱۵)$$

عموماً با استفاده از این دو معادله، می‌توان فرایند تخمین یک سیستم را تشریح نمود. اما به‌طور کلی بسیاری از سیستم‌های پویا از مدل فوق تبعیت نمی‌کنند. حتی گاهی ممکن است باعث کاهش تأثیر نتیجه در استفاده از این مدل فیلتر نیز باشیم. لذا لازم به تغییر در نگرش، و بیان مدل فوق طی دو بخش است. عملیات استفاده از فیلتر کالمن را می‌توان با یک معادله بیان نمود، اما معمولاً آن را به دو بخش پیش‌بینی و بروزرسانی تفکیک می‌کنند.



شکل ۳-۱۱: فیلتر کالمن به صورت فازهای تفکیک شده

روابط ۳-۱۶ و ۳-۱۷ عملیات تخمین در بخش پیش‌بینی را بیان می‌کنند.

$$(۳-۱۶)$$

$$(۳-۱۷)$$

^۱ Process Noise

^۲ Observation Model

^۳ Measurement Noise

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k u_k$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k$$

در رابطه‌ی ۱۶-۳، تخمین اولیه‌ای از موقعیت هدف پیش‌بینی شده در لحظه k با استفاده از موقعیت $k-1$ است. F نقش A در رابطه ۱۴-۳ را دارد. B_k و u_k نیز همان نقش‌ها را در ۱۴-۳ را می‌باشند. رابطه‌ی ۱۷-۳ نیز یک تخمین اولیه‌ای از کواریانس پیش‌بینی شده است. در این رابطه Q_k همان نقش نویز فرایند پردازش را دارد.

بخش دوم تفکیک شده در مدل کالمن، فرایند بروزرسانی^۱ را بیان می‌کند. در واقع، این بخش فرایند تخمین‌های اولیه انجام گرفته را با توجه به برخی اطلاعات اولیه موجود، بهبود می‌بخشد. در بخش پیش‌بینی، یک تخمین اولیه از موقعیت مکانی هدف، و یک تخمین اولیه از خطای پیش‌بینی^۲ داشتیم. در این مرحله، هدف بهبود هر یک از تخمین‌های زده شده می‌باشد. نقش اصلی در فرایند بهبود تخمین اولیه، که برای پیش‌بینی موقعیت بعدی هدف انجام شده است، بر عهده پارامتر بهره کالمن^۳ است. این پارامتر، در عمل به عنوان یک نرخ یادگیری^۴ در جهت بهبود تخمین‌های اولیه و کاهش خطای آن‌ها عمل می‌کند. رابطه‌ی ۱۸-۳ تخمین بروزرسانی شده را نشان می‌دهد.

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \tilde{y}_k \quad (۱۸-۳)$$

در این رابطه، K_k پارامتر ماتریسی بهره کالمن است. این پارامتر از رابطه ۱۹-۳ قابل محاسبه است. $\tilde{y}_k$ نیز مشاهده جدید وابسته است، که رابطه‌ی ۲۰-۳ بیانگر چگونگی محاسبه آن می‌باشد. (۱۹-۳)

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1}$$

$$\tilde{y}_k = z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1} \quad (۲۰-۳)$$

^۱ Update Process

^۲ Estimated Covariance

^۳ Kalman Gain

^۴ Learning Rate

در رابطه‌ی بیان شده در ۳-۱۹، S_k کواریانس جدید وابسته در زمان k است. مقدار کواریانس جدید وابسته از رابطه ۳-۲۱ قابل محاسبه است. در رابطه ۳-۲۰، z_k نیز مشاهده انجام شده در زمان k است.

$$S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k \quad (۳-۲۱)$$

در رابطه فوق، R_k نویز حاصل از فرایند اندازه‌گیری است، که مقدار آن مستقل از Q_k در رابطه ۳-۱۷ است و نهایتاً، تخمین کواریانس بروزرسانی شده نیز از رابطه ۳-۲۲ قابل محاسبه است.

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (۳-۲۲)$$

شکل ۳-۱۲، الگوریتم فرایند تخمین حالت سیستم با استفاده از فیلتر کالمن را نشان می‌دهد.

الگوریتم ۲ : فرایند تخمین حالت سیستم با استفاده از فیلتر کالمن	
<i>//Prediction phase</i>	
For number of State..	
➤ Predict current state.	$\hat{x}_{k k-1} = F_k \hat{x}_{k-1 k-1} + B_k u_k$
➤ Predict error covariance	$P_{k k-1} = F_k P_{k-1 k-1} F_k^T + Q_k$
<i>//Update phase</i>	
➤ Predict measurement.	$\hat{y}_k = z_k - H_k \hat{x}_{k k-1}$
➤ Innovation Covariance matrix.	$S_k = H_k P_{k k-1} H_k^T + R_k$
➤ Compute Kalman Gain.	$K_k = P_{k k-1} H_k^T S_k^{-1}$
➤ Update current state prediction.	$\hat{x}_{k k} = \hat{x}_{k k-1} + K_k \hat{y}_k$
➤ Update error covariance.	$P_{k k} = (I - K_k H_k) P_{k k-1}$
➤ Set a new index state.	
End.	

شکل ۳-۱۲: الگوریتم فرایند تخمین حالت سیستم با استفاده از فیلتر کالمن

آنچه بیان گردید روال تخمین هدف با استفاده از فیلتر کالمن بود. در واقع روال فوق باید در هر فریم، (در هر هر لحظه از زمان) برای تعداد اسپرم‌های تشخیص داده شده صورت پذیرد. لذا نکته‌ای که در اینجا مهم است، بحث تخصیص هریک از تخمین‌های زده شده، به‌طور درست به هدف مورد نظر خود می‌باشد. مسئله‌ای که شاید مهم‌ترین چالش موجود در بحث ردیابی چندهدفی باشد. در واقع باید ارتباط صحیح بین داده‌ها(اهداف) را در هر لحظه پیدا کنیم. روش و ماهیت ریاضی کالمن که در بالا توضیح داده شده، برای تخمین موقعیت یک هدف است. در واقع با آموزشی که سیستم تخمین‌گر در طول ردیابی با استفاده از پارامتر بهره کالمن دریافت می‌کند، در طی چند مرحله به سمت هدف همگرا می‌شود. برای رسیدن به این مقصود، از برخی پارامترها همچون مشاهده جدید وابسته و مشاهده

جدید در لحظه k ، همگرایی تخمین به سمت هدف صورت می‌پذیرد. اما با توجه به ماهیت مسئله ردیابی چندهدفی، برای تخصیص هر هدف به تخمین صحیح متناظر خود، با استفاده از همین پارامترها، نیازمند به راهکاری هستیم که از همان لحظه نخست عملیات تخصیص صحیح انجام گیرد. بدین منظور از الگوریتم munkres (این الگوریتم به روش مجارستانی نیز شناخته می‌شود) استفاده می‌کنیم. در ادامه ماهیت کلی این الگوریتم را با مثالی ساده توضیح می‌دهیم.

• الگوریتم munkres

الگوریتم munkres جز دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیباتی است. این الگوریتم‌ها اغلب وظیفه تخصیص وظایف را بر عهده دارند، که در زمان چند جمله‌ای مسئله مورد نظر را حل می‌کنند. در اینجا با ارائه یک مثال ساده به بیان کلیت این الگوریتم می‌پردازیم.

فرض کنیم سه شخص قصد دارند سه کار موجود را با توجه به قیمت مشخصی که برای انجام هر یک از آن کارها درخواست کرده اند، انجام دهند (هر شخص انجام یک کار را بر عهده خواهد گرفت). هدف تخصیص هر کار به یک شخص مورد نظر است، به‌طوری که کمترین هزینه را برای ما در بر داشته باشد. لذا برای این مسئله باید یک مسئله بهینه‌سازی را حل کنیم. شکل ۳-۱۳ جدول قیمت درخواستی تخصیص کار هر شخص را نشان می‌دهد.

	کار ۱	کار ۲	کار ۳
شخص ۱	۲۵۰ دلار	۴۰۰ دلار	۳۵۰ دلار
شخص ۲	۴۰۰ دلار	۶۰۰ دلار	۳۵۰ دلار
شخص ۳	۲۰۰ دلار	۴۰۰ دلار	۲۵۰ دلار

شکل ۳-۱۳: جدول قیمت تخصیص کار در روش munkres

به‌طور مثال یک فرایند تخصیص این است که، کار اول را به شخص اول، کار دوم را به شخص دوم و کار سوم را به شخص سوم دهیم. در این صورت هزینه برابر با ۱۱۰۰ دلار است، که هزینه بهینه‌ای

نیست. هزینه بهینه در حل این مسئله برابر با ۹۵۰ است. اما چگونه به این نتیجه رسیدیم؟ روال کلی الگوریتم مطابق شکل ۳-۱۴ است.

هدف از بکارگیری الگوریتم munkres در مسئله ردیابی، پیدا کردن بهترین تخصیص (بهترین تطابق یا بهترین ارتباط داده‌ای) ممکن برای انتساب هر تخمین زده شده به هدف تشخیص داده شده در حالت جاری است.

الگوریتم ۳: تخصیص بهینه به روش munkres	
➤	Step 1: Subtract row minima
•	For each row, find the lowest element and subtract it from each element in that row.
➤	Step 2: Subtract column minima
•	Similarly, for each column, find the lowest element and subtract it from each element in that column.
➤	Step 3: Cover all zeros with a minimum number of lines
•	Cover all zeros in the resulting matrix using a minimum number of horizontal and vertical lines. If n lines are required, an optimal assignment exists among the zeros. The algorithm stops.
•	If less than n lines are required, continue with Step 4.
➤	Step 4: Create additional zeros
•	Find the smallest element (call it k) that is not covered by a line in Step 3. Subtract k from all uncovered elements, and add k to all elements that are covered twice.

شکل ۳-۱۴: الگوریتم تخصیص munkres

این الگوریتم، از بین تعداد اهداف تشخیص داده شده در حالت جاری، و تعداد اهداف تخمین زده شده از حالت قبل بهترین تخصیص را برای انتساب هر تخمین به هر هدف تشخیص داده شده انجام می‌دهد. بدین منظور خروجی اصلی الگوریتم کالمن که تخمین‌های بروزسانی شده همه اهداف ($\hat{x}_{k|k}$) در فاز دوم آن است، به عنوان ورودی الگوریتم munkres فرستاده می‌شود. این الگوریتم فاصله تمام $\hat{x}_{k|k}$ را از تمام اهداف تشخیص داده شده در فریم جاری محاسبه می‌کند و با توجه به عملکرد الگوریتم munkres، تخصیص متناسب را انجام می‌دهد. در هر مرحله از فرایند تخصیص، با توجه به تعداد نابرابر اسپرم‌ها در فریم‌های متوالی، که به علت ورود و خروج آن‌ها در فریم مورد نظر صورت می‌پذیرد، تعدادی ردیابی جدید ممکن است ایجاد شوند، و یا اینکه تعدادی نیز تمام شوند. لذا در چنین حالتی باید ورود و خروج کنترل شود. پس از فرایند تخصیص در فریم پایانی، با استفاده

مختصات موقعیت مکانی اسپرم‌ها در هر مرحله که نگهداری شده‌اند، پارامترهای حرکتی آن‌ها محاسبه می‌شود. در ادامه به چگونگی محاسبه هریک از پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها می‌پردازیم.

۳-۳ ارزیابی تحرک‌پذیری اسپرم‌ها از لحاظ عملکرد باروری

برای اینکه بتوانیم میزان عملکرد باروری از روی تحرک‌پذیری آن ارزیابی کنیم، نیازمند محاسبه تعدادی از مؤلفه‌های حرکتی اسپرم‌ها می‌باشیم. در واقع با توجه به این مؤلفه‌ها و به صورت تجربی در مورد تحرک‌پذیری یک اسپرم از لحاظ عملکرد باروری، تصمیم‌گیری می‌شود. روال کلی تقسیم‌بندی میزان تحرک‌پذیری یک اسپرم در فصل دوم بیان گردید. همان‌طور که عنوان شد، یک اسپرم از لحاظ میزان تحرک‌پذیری در یکی از چهار وضعیت پیشروندگی بالا، متوسط، ضعیف و بدون حرکت قرار می‌گیرد. هر یک از این موارد فوق، با توجه به مقادیر پارامترهای حرکتی محاسبه می‌شوند. در واقع میزان خطی بودن حرکت یک اسپرم (Linearity)، عامل اصلی در تعیین میزان و نوع پیشروندگی حرکت یک اسپرم است. این پارامتر خود با استفاده از دو پارامتر دیگر محاسبه می‌شود. لذا برای اینکه این رابطه را بتوان بیان نمود، نیازمند اطلاعات از پارامترهای دیگری می‌باشیم. پارامترهایی که بیانگر برخی از حالات حرکتی و نیز جابجایی‌های یک اسپرم هستند. در ادامه به معرفی انواع حرکتی اسپرم‌ها و محاسبه پارامتر می‌پردازیم.

۳-۳-۱ میانگین سرعت مسیر واقعی اسپرم

در این نوع حرکت معمولاً مسیر واقعی و تمام جابجایی‌های یک اسپرم مشخص است. تغییرات جهت حرکت اسپرم، و نیز حرکت مارپیچی^۱ شکل آن کامل مشخص است. همچنین مجموع میزان جابجایی لحظه به لحظه هر اسپرم، نشان‌دهنده پارامتر مسیر طی شده این نوع حرکت است و عموماً با CLV نشان داده می‌شود. رابطه ۳-۲۳ نشان دهنده این پارامتر است.

^۱ Chiral

$$CLV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (23-3)$$

رابطه فوق نشان‌دهنده این است که، پارامتر CLV برابر با میانگین فاصله اقلیدوسی^۱ هر دو نقطه‌ی متوالی است که اسپرم در یک بازه زمانی طی می‌کند. که در آن طول تمام بازه‌های زمانی برابر است. محاسبه بر اساس مختصات سر اسپرم می‌باشد. نکته دیگر اینکه واحد اندازه‌گیری این پارامتر بر اساس میکرومتر بر ثانیه^۲ بیان می‌گردد. این بدین معنی است که در واقع پارامتر CLV بیانگر یک سرعت متوسط از حرکت اسپرم در یک بازه زمانی مشخص است که ردیابی در آن انجام پذیرفته است. لازم به ذکر است، با توجه به محیط و اندازه بزرگنمایی^۳ صورت گرفته در هنگام تصویربرداری از حرکت اسپرم‌ها، مقدار حاصل بدست آمده را باید در ۲۵ میکرومتر (ابعاد پیکسل در تصاویر ویدیویی) ضرب نماییم تا بتوان مقدار واقعی سرعت متوسط حرکت واقعی اسپرم را بدست آورد.

۲-۳-۳ میانگین سرعت جابجایی مستقیم اسپرم

زمانی که یک اسپرم در مسیر مشخصی حرکت می‌کند، از لحظه‌ی شروع حرکت، در هر لحظه، میزان فاصله‌ای مشخص از نقطه شروع خود دارد. این میزان فاصله، جابجایی کلی یک اسپرم در آن بازه زمانی است. حال اگر فاصله‌ی شروع حرکت اسپرم (مبدأ فرایند ردیابی اسپرم)، و نقطه‌ی نهایی آن (لحظه اتمام فرایند ردیابی) را بدست آوریم، میزان جابجایی کلی اسپرم را بدست آورده‌ایم. با توجه به اینکه در طول فرایند ردیابی در بازه‌های زمانی برابر موقعیت اسپرم قابل مشاهده است، با تقسیم میزان جابجایی کلی اسپرم از لحظه شروع تا لحظه پایان، و تقسیم آن بر تعداد بازه‌های زمانی، سرعت

¹ Euclidean Distance

² Micrometer/second

³ Magnify

متوسط جابجایی کلی آن بدست خواهد آمد. رابطه‌ی ۳-۲۴ بیانگر این پارامتر حرکتی اسپرم است، که معمولاً با SLV نشان داده می‌شود.

$$SLV_{t_s} = \frac{1}{t_s} \|z_{t_s} - z_0\| \quad , \quad z = (x, y) \quad (۳-۲۴)$$

در رابطه فوق t_s زمان محاسبه میزان جابجایی خطی اسپرم می‌باشد. برای این پارامتر نیز که معرفی یکی دیگر از انواع سرعت حرکتی اسپرم است، مقدار نهایی بدست آمده را باید در ۲۵ میکرومتر ضرب کنیم تا مقدار نهایی آن بدست آید.

۳-۳-۳ میزان خطی بودن اسپرم

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در تعیین میزان پیشروندگی اسپرم‌ها نقش دارد، بررسی میزان خطی بودن یک اسپرم است. این پارامتر را نمی‌توان به صورت مستقل محاسبه نمود. در واقع، برای محاسبه این پارامتر نیاز به داشتن دو پارامتر بیان شده در قبل می‌باشد. رابطه‌ی ۳-۲۵ نشان‌دهنده نحوه محاسبه این پارامتر است.

$$LIN = \frac{SLV}{CLV} \quad (۳-۲۵)$$

این پارامتر به صورت درصد بیان می‌گردد. در واقع مستقل از نوع، و اندازه بزرگ‌نمایی تصاویر ویدیویی است.

۳-۳-۴ میانگین سرعت مسیر همواره شده اسپرم

یکی دیگر از پارامترهای حرکتی اسپرم که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، محاسبه میزان مسیر هموار^۱ طی شده، برای آن است. در واقع، مسیر هموار شده یک اسپرم میانگینی از جابجایی‌های متناوب آن در هر k تعداد جابجایی در بازه زمانی مشخص است. به این معنی که اگر ما به ازای هر k بار یک مختصات میانگین از جابجایی یک اسپرم را بدست آورده، و مسافت‌های طی شده در این

¹ Smoothed Path

مختصات را بدست آوریم، طول مسیر هموار شده آن را محاسبه نموده‌ایم. حال با تقسیم این مقدار بر تعداد کل بازه‌های زمانی ردیابی اسپرم، میانگین سرعت اسپرم در مسیر هموار شده را بدست آورده‌ایم. رابطه ۳-۲۶ نحوه محاسبه کلی این پارامتر را بیان می‌کند.

$$VAP = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n \sqrt{(\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i)^2 + (\bar{y}_{i+1} - \bar{y}_i)^2}$$

که در رابطه فوق $\bar{x}_k$ با توجه به آنچه در رابطه ۳-۲۷ بیان گردیده شده، میانگین جابجایی در k بازه زمانی می‌باشد. x مختصات دکارتی موقعیت اسپرم در لحظه مورد نظر است.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}^{i+\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} x_i, \quad \bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}^{i+\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} y_i \quad (27-3)$$

با توجه به ماهیت این پارامتر، کاملاً مشخص است که واحد اندازه‌گیری و بیان آن بر اساس میکرومتر بر ثانیه است. در واقع، این پارامتر نیز بیانگر نوعی سرعت است. با توجه به تصاویر ویدیویی پیش رو، برای بیان دقیق این پارامتر، بعد از محاسبه آن باید در ۲۵ میکرومتر ضرب شود.

۳-۳-۵ میزان حرکت مستقیم اسپرم

یکی دیگر از پارامترهایی که در تعیین میزان باروری یک اسپرم نقش زیادی دارد، میزان حرکت اسپرم در یک خط مستقیم است. در واقع، این پارامتر بیانگر درصد نسبت پیشروی حرکت طولی اسپرم به حرکت منحنی‌وار هموار شده آن است. رابطه ۳-۲۸ چگونگی محاسبه این پارامتر را بیان می‌کند.

$$STR = \frac{SLV}{VAP} \quad (28-3)$$

با توجه به واحد یکسان اندازه‌گیری برای هریک از پارامترهای SLV و VAP ، کاملاً مشخص است که بیان پارامتر STR برحسب درصد باید بیان گردد. معمولاً با استفاده از ۲ پارامتر STR و LIN میزان پیشروندگی یک اسپرم را بیان می‌کنند. اما سوال پیش‌رو، دلیل لزوم اندازه‌گیری پارامترهای دیگری

است که در ادامه بررسی می‌کنیم. همچنین سوال دیگری که مطرح می‌شود، میزان اهمیت هریک از پارامترها نسبت به یکدیگر در تعیین کلاس حرکتی اسپرم است.

۳-۳-۶ انحراف سر در مسیر جانبی

با توجه به ماهیت دینامیکی حرکت اسپرم که در آن سر هنگام پیشروی به سمت جلو، به طرفین جابجا می‌شود، دو برابر بیشترین مقدار فاصله‌ای که سر اسپرم در مسیر هموار شده خود، نسبت به مسیر واقعی خود پیدا می‌کند، به عنوان انحراف سر در مسیر جانبی معرفی می‌گردد. رابطه ۳-۲۹ نحوه محاسبه این میزان انحراف را نشان می‌دهد. در این رابطه $\bar{x}_i$ و $\bar{y}_i$ طبق رابطه بیان شده در ۳-۲۷ محاسبه می‌شوند.

$$ALH = 2 \cdot \max_{i=0}^{m-1} \{ \sqrt{(\bar{x}_i - x_i)^2 + (\bar{y}_i - y_i)^2} \} \quad (۳-۲۹)$$

۳-۳-۷ میزان جنبش سر اسپرم

یکی از پارامترهایی که در تحریک‌پذیری اسپرم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، جنبش سر آن به دو سمت در هنگام حرکت می‌باشد. این پارامتر که با WOB نشان داده می‌شود، از رابطه ۳-۳۰ بدست می‌آید.

$$WOB = \frac{VAP}{VCL} \quad (۳-۳۰)$$

۳-۳-۷ میانگین جابجایی زاویه‌ای اسپرم

با توجه به ویژگی حرکتی اسپرم‌ها که به‌هنگام جابجایی سر آن‌ها به اطراف می‌رود، در هر تغییر مکان، یک زاویه جابجایی مشخص دارند. زاویه‌ای که اسپرم برای لحظه فعلی در آن تغییر موقعیت می‌دهد، به حالت قبل و بعد از حالت آن بستگی دارد. روابط ۳-۳۱ تا ۳-۳۳ نحوه محاسبه تغییر زاویه جابجایی هر اسپرم برای لحظه t را نشان می‌دهند.

$$\cos \theta_k = \frac{[dist(t_{k-1}, t_{k+1})]^2 + [dist(t_k, t_{k-1})]^2 - [dist(t_k, t_{k+1})]^2}{2 \cdot [dist(t_{k-1}, t_{k+1}) \cdot dist(t_{k-1}, t_k)]} \quad (31-3)$$

که با توجه به رابطه ۳۰-۳ مقدار زاویه θ به آسانی و با استفاده از رابطه ۳۱-۳ قابل محاسبه است.

$$\theta_k = \cos^{-1} \left(\frac{[dist(t_{k-1}, t_{k+1})]^2 + [dist(t_k, t_{k-1})]^2 - [dist(t_k, t_{k+1})]^2}{2 \cdot [dist(t_{k-1}, t_{k+1}) \cdot dist(t_{k-1}, t_k)]} \right) \quad (32-3)$$

و با توجه به میانگین محاسبه شده برای زوایای بدست آمده، پارامتر مورد نظر با رابطه ۳۲-۳ محاسبه می‌شود.

$$MAD = \frac{1}{m-1} \sum_k \theta_k \quad (33-3)$$

پارامترهای قابل محاسبه دیگری نیز با توجه به کاربرد مورد نظرشان، در تحلیل تحرک پذیری یک اسپرم می‌توانند بکار رفته شوند. اما در حال حاضر و با توجه به پارامترهای بررسی شده، ما به موارد بیان شده بسنده کرده و با استفاده از همین پارامترها سعی در تحلیل حرکتی اسپرم‌ها خواهیم نمود. در ادامه به چگونگی این امر پرداخته و نحوه طبقه‌بندی را با استفاده از پارامترها توضیح خواهیم داد.

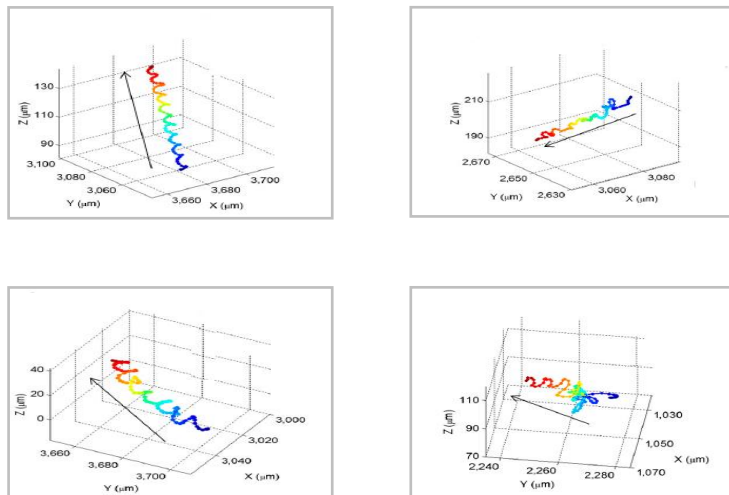
۳-۴ تحلیل تحرک پذیری و تعیین کلاس اسپرم‌ها

همانطور که در قبل بیان گردید، تحلیل تحرک پذیری و تعیین کلاس حرکتی یک اسپرم، با توجه به اندازه‌گیری پارامترهای حرکتی اسپرم و میزان جابجایی مستقیم آن صورت می‌پذیرد. البته شماتیک ظاهری حرکتی یک اسپرم، که در زیر میکروسکوپ دیده می‌شود نیز بیانگر توانایی تحرک پذیری یک اسپرم به صورت شهودی خواهد بود. در تعیین مدل حرکتی اسپرم‌ها دسته‌بندی‌های گوناگونی صورت می‌گیرد. برای مثال یک نوع دسته‌بندی به صورت، ۱. حرکت مارپیچ دوره تناوب بالا^۱، ۲. حرکت مارپیچ دوره تناوب پایین^۲، ۳. جابجایی حرکت بیش فعال^۳ و ۴. حرکت معمول^۱، است. شکل ۳-۱۵ این نوع دسته‌بندی را نشان می‌دهد.

^۱ Hyper Helical

^۲ Helical

^۳ Hyper Activated



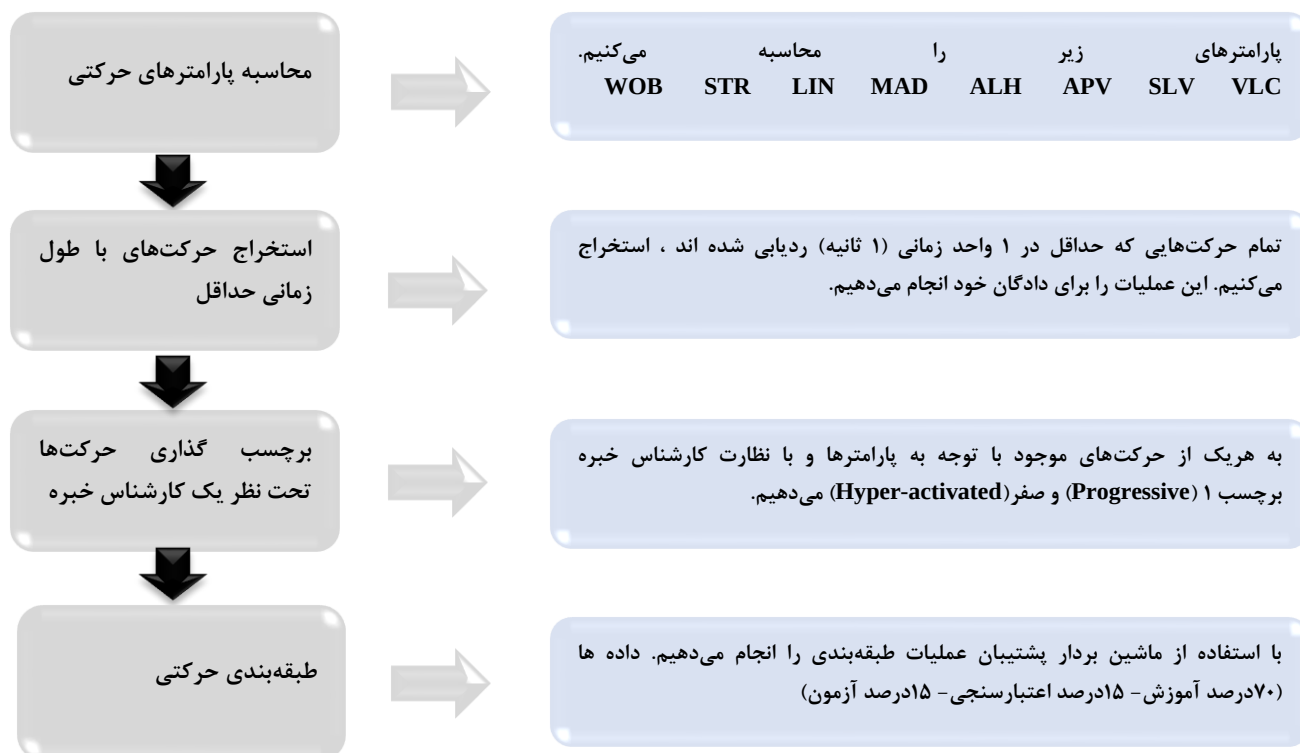
(الف): نمونه حرکتی معمول (ب): حرکت مارپیچ دوره تناوب پایین

شکل 3- ۱۵. طبقه‌بندی حرکتی اسپرم‌ها از دیدگاه ماهیت کلی حرکتی.

گروه‌بندی و تفکیک بیش از مورد در انواع حرکتی، پیچیدگی تحلیل و بررسی نوع حرکتی را زیاد نموده و همچنین احتمال خطا در روال عملیات طبقه‌بندی را بالا می‌برد. هدف ما در این است که به‌طور کلی تمام انواع حرکتی را در دو گروه پیش‌رونده، و غیرپیش‌رونده طبقه‌بندی کنیم. البته می‌توان در فرایند طبقه‌بندی، پس از یک بار انجام اولیه عملیات، یک بار نیز به صورت جانبی یک گروه‌بندی درون‌کلاسی برای هر یک انجام داد. بدین ترتیب به همان گروه‌بندی ۴ تایی اولیه که در فصل ۲ ارائه دادیم خواهیم رسید. با این کار در واقع روال تحلیل را آسان‌تر و همچنین به‌صورت جامع و کامل‌تری انجام داده‌ایم.

¹ Typical

دیاگرام موجود در شکل ۳-۱۶ روال کلی فرایند تحلیل تحرک پذیری را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶: دیاگرام فرایند طبقه‌بندی حرکتی اسپرم‌ها

۳-۴-۱ محاسبه پارامترهای حرکتی برای ردیابی‌های تعیین شده

محاسبه پارامترهای حرکتی، برای تمام اهداف ردیابی‌های شده، با هر تعداد فریم مشاهده گردیده انجام می‌شوند. اما آن‌هایی که در طول ردیابی، تعداد مشاهدات‌شان (تعداد فریم‌های متوالی دیده شده) از تعداد از پیش تعیین شده‌ای کمتر است، در عملیات تحلیلی استفاده نمی‌شوند.

۳-۴-۲ استخراج حرکتهای دارای ردیابی با حداقل طول مشخص

با توجه به اینکه در هریک از ویدیوهای ردیابی موجود، اسپرم‌هایی وارد فریم شده و یا از آن خارج می‌شوند، طول فرایند ردیابی برای همه آن‌ها یکسان نیست. لذا باید اسپرم‌هایی را جهت بررسی‌های

تحلیلی جهت ارزیابی عملکرد باروری حرکتی مشخص نمود که، دارای حداقل طول ردیابی باشند. بدین ترتیب با مشاهده مسیر ردیابی برای هریک از اسپرم‌های ردیابی شده، آن‌هایی که دارای حداقل زمان (تعداد فریم) ردیابی هستند، برای انجام عملیات تحلیلی و طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند. حداقل زمان برای هریک از ردیابی‌های موجود به اندازه ۱۰ فریم در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۳ برچسب‌گذاری ردیابی‌های انجام شده

با توجه به ماهیت عملیات طبقه‌بندی، نیازمندیم از یک روش با ناظر استفاده کنیم. لذا برای پایگاه داده پیش‌رو، برچسب‌گذاری داده‌ها را انجام می‌دهیم. بدین منظور با نظارت یک کارشناس متخصص فرایند نامبرده صورت می‌گیرد. با توجه به در نظر داشتن دو کلاس برای اسپرم‌ها به هریک از آن‌ها یکی از دو کلاس موجود اختصاص داده می‌شود. کلاس یک برای اسپرم‌های پیشرونده و کلاس صفر برای اسپرم‌های غیرپیشرونده در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۴ طبقه‌بندی ردیابی‌های صورت گرفته

پس از برچسب‌گذاری ردیابی‌ها، طبقه‌بندی هریک از نمونه‌ها را انجام می‌دهیم. با توجه به دسته‌بندی اولیه‌ای که از قبل بیان نمودیم، اقدام به جداسازی ردیابی‌های پیشرونده و غیرپیشرونده خواهیم نمود. بدین منظور از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان استفاده خواهیم نمود. در ادامه این روش طبقه‌بندی و ویژگی‌های آن را توضیح خواهیم داد.

• ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان، یکی از انواع روش‌های طبقه‌بندی می‌باشد که، در آن ایده اصلی بر ارائه یک مرز تصمیم مناسب به‌طوری است که بتوان با استفاده از آن فاصله دو کلاس موجود را حداکثر

نمود. این روش برای استفاده‌ی بیش از دو کلاس نیز قابل امکان‌پذیر می‌باشد. اصلی‌ترین دلیلی که می‌توان برای استفاده از این روش بیان نمود، قدرتمند بودن روش در عین سادگی و پایین بودن پیچیدگی محاسباتی آن است. مبنای اصلی استفاده از این روش، طبقه‌بندی داده‌هایی است که به صورت خطی جداپذیر می‌باشند. در عین حال برای داده‌هایی که به صورت غیرخطی از یکدیگر قابل جداسازی هستند نیز، با به‌کار بردن توابع کرنل قابل استفاده است. همانطور که بیان شد، این روش با حداکثرسازی مرز تصمیم بین دو کلاس، اقدام به جداسازی و طبقه‌بندی داده‌های موجود می‌کند. معادله مرز تصمیم بین دو کلاس را می‌توان با رابطه‌ی ۳-۳۴ نشان داد.

$$y = w \cdot X + b$$

در این رابطه X نمونه مورد نظر و w بردار پشتیبان را معرفی می‌کنند. برای اینکه این خط که به‌عنوان مرز تصمیم (حاشیه) بین دو کلاس نسبت به هرکدام از آن‌ها دارای فاصله بیشینه گردد، مستلزم حل یک مسئله بهینه‌سازی می‌باشیم. بدین منظور لازم است رابطه لاگرانژ بیان شده در ۳-۳۵ را کمینه نماییم.

$$\min_{w,b,\alpha} \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i [y_i (w \cdot X_i - b) - 1] \right\} \quad (3-35)$$

برای کمینه کردن رابطه‌ی ۳-۳۵، باید قسمتی از آن که عبارت شامل سیگما می‌باشد را بیشینه نماییم. تا به مقدار کمینه برای کل عبارت داخل آکولاد برسیم. برای بیشینه نمودن عبارت مورد نظر، لازم است α_i های را بدست آوریم که به ازای آن‌ها بتوانیم عملیات بهینه‌سازی قسمت مورد نظر از رابطه‌ی ۳-۳۵ را انجام دهیم. با محاسبه‌ی پارامترهای α_i ، با قرار دادن آن‌ها در رابطه‌های ۳-۳۶ و ۳-۳۷ می‌توان مرز تصمیم مورد نظر را بدست آورد. ماهیت تمام موارد بیان شده در شکل ۳-۱۷ قابل مشاهده است.

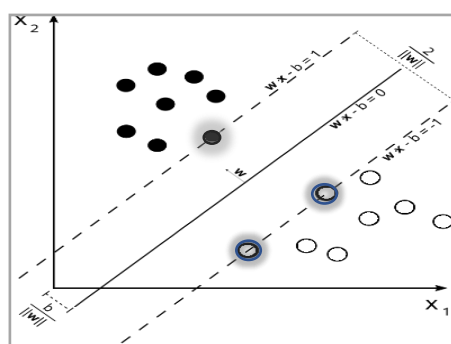
$$w = \sum_i \alpha_i y_i X_i$$

$$b = \frac{1}{N_{SV}} \sum_{i=1}^{N_{SV}} (w \cdot X_i - y_i) \quad (3-37)$$

در رابطه‌ی ۳-۳۷ متغیر N_{SV} تعداد بردارهای پشتیبان ما هستند. همانطور که بیان گردید برای داده‌هایی که به صورت خطی جداپذیر نیستند، داده‌ها را با استفاده از یک تابع انتقال از فضای غیرخطی به فضای خطی نگاشت می‌دهیم. لذا رابطه مرز به صورت رابطه تعمیم یافته ۳-۳۸ تبدیل می‌شود.

$$g(x) = w^t \varphi(x) + b = \sum_{i \in SV} \alpha \varphi(x_i)^t \varphi(x) + b = \sum_{i \in SV} \alpha k(x_i, x) + b \quad (3-38)$$

در رابطه‌ی ۳-۳۸ همان هسته^۱ مورد استفاده در طبقه‌بند SVM می‌باشد.



شکل ۳-۱۷: طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان

۳-۵ نتیجه‌گیری

در این فصل به تشریح روش ارائه شده در ردیابی اسپرم‌ها پرداختیم. در ادامه به طبقه‌بندی آن‌ها از لحاظ عملکرد باروری بر اساس میزان تحرک‌پذیری هریک اشاره نمودیم. با توجه به پارامترهای حرکتی محاسبه شده‌ی آن‌ها یک مدل کلی برای تعیین کلاس هر اسپرم ارائه گردید. بدین منظور با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان اقدام به جداسازی دو کلاس موجود نمودیم.

¹ Kernel

فصل چہارم: نتایج

۴-۱ مقدمه

در این فصل به ارائه خروجی‌ها و نتایج حاصل از روش به‌کارگیری شده خواهیم پرداخت. مسائل مورد بررسی عمدتاً با توجه به آنچه در فصل قبل بیان گردید، واضح می‌باشند. البته در قسمت‌هایی با توجه به اینکه نیاز به بررسی برخی از پارامترها مانند دقت عملکردی روش وجود دارند، برخی از معیارها و مفاهیم را قبل از بیان جزئیات توضیح می‌دهیم. نتایج بدست آمده از روش بکارگرفته‌شده دارای ۲ فاز است. فاز اول مربوط به فرایند ردیابی است، که خروجی‌های حاصل را برای تعدادی از ویدیوهای اجرایی نشان می‌دهیم. فاز دوم مربوط به عملیات تحلیل و طبقه‌بندی است، خروجی‌های حاصل شده، از استخراج داده‌های مربوط به اجرای ویدیوهای موجود در دادگان می‌باشند. در انتها به جمع‌بندی از عملکرد روش خود خواهیم پرداخت. عملیات پیاده‌سازی در محیط متلب ۲۰۱۷ ورژن b با استفاده از سیستم "2.5GHz intel core i5 Processor with 1600 DDR3 8G RAM" صورت پذیرفته شده است.

۴-۲ معرفی دادگان

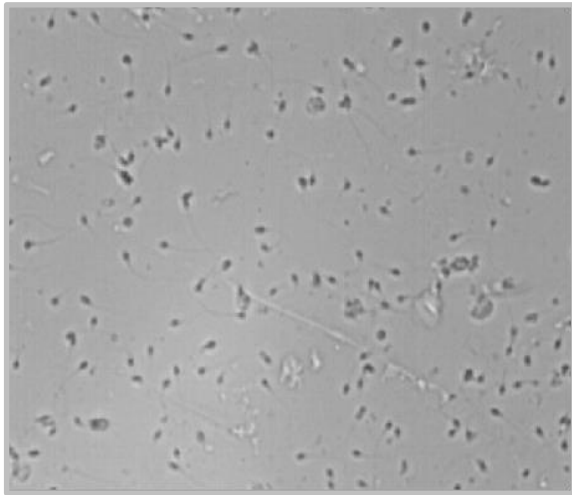
برای انجام فرایند پژوهشی خود، برای عملیات ردیابی که فاز اولیه پژوهش ما می‌باشد، از دادگان با فرمت ویدیویی که از مرکز درمان ناباروری پژوهشکده رویان دریافت نموده‌ایم، استفاده شده است. هریک از داده‌های ویدیویی با مدت زمان دو ثانیه می‌باشند. این دادگان با نرخ فریم بر ثانیه متوسط ۲۷ فریم بر ثانیه و ۱۰۲ نقطه بر اینچ^۱ تهیه شده‌اند برای انجام عملیات طبقه‌بندی تحرک‌پذیری اسپرم‌ها و ارزیابی عملکرد باروری آن‌ها از دادگان با فرمت عددی که از محاسبه پارامترهای حرکتی‌شان استخراج شده است، استفاده نموده‌ایم.

^۱ Dot Per Inch

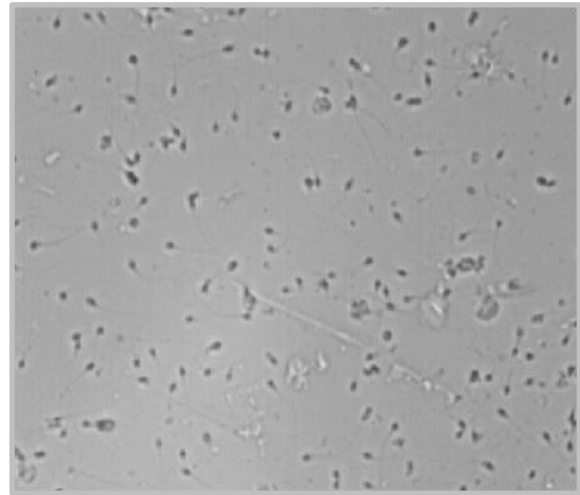
۳-۴ نتایج روش ارائه شده

۱-۳-۴ دقت تشخیص

اولین گام در یک فرایند ردیابی، تشخیص هدف می‌باشد. در مسئله ردیابی، اساس اولیه فرایند تشخیص صحیح اهداف موجود است. ما در مسئله پیش‌رو تنها به بررسی و ردیابی اهداف متحرک پرداختیم. بدین منظور طبق مراحل بیان گردیده در فصل قبل، نتیجه‌ی حاصل از فرایند تشخیص هدف برای یک ویدیوی نمونه طبق آنچه در شکل‌های ۱-۴ الی ۵-۴ مشاهده می‌شود، است.



(ب): فریم دوم ویدیو



(الف): فریم اول ویدیو

شکل ۱-۴ : دو فریم متوالی ویدیو

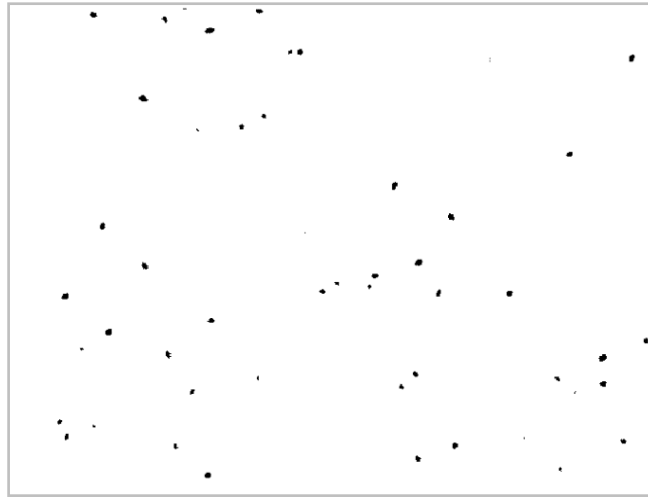


(ب): مکمل شکل ۲-۴ (الف)

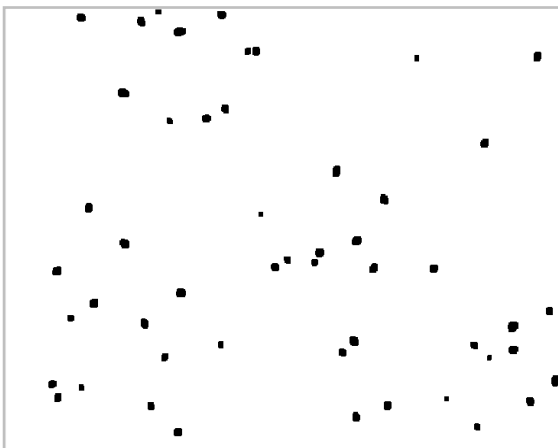


(الف): تفاضل دو فریم متوالی شکل ۱-۴

شکل ۲-۴ : تفاضل و مکمل تفاضل فریم‌های شکل ۱-۴



شکل ۴-۳: تصویر دودوئی حاصل از شکل ۲-۴ (ب)

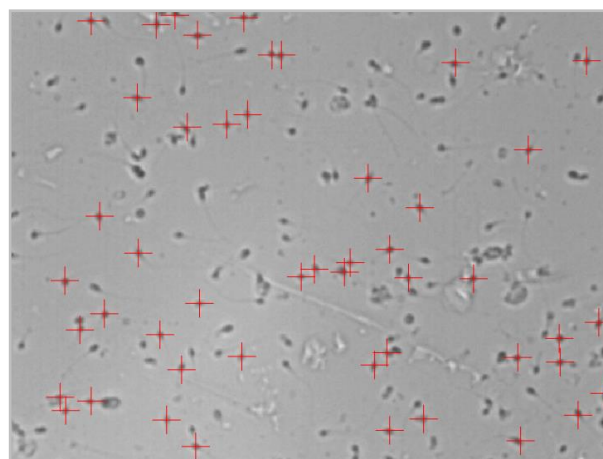


(ب) : تصویر حاصل از عمل گسترش بر روی ۴-۴(الف)



(الف) : تصویر حاصل از عمل سایش بر روی ۳-۴

شکل ۴-۴: تصاویر حاصل از عملیات ریخت‌شناختی



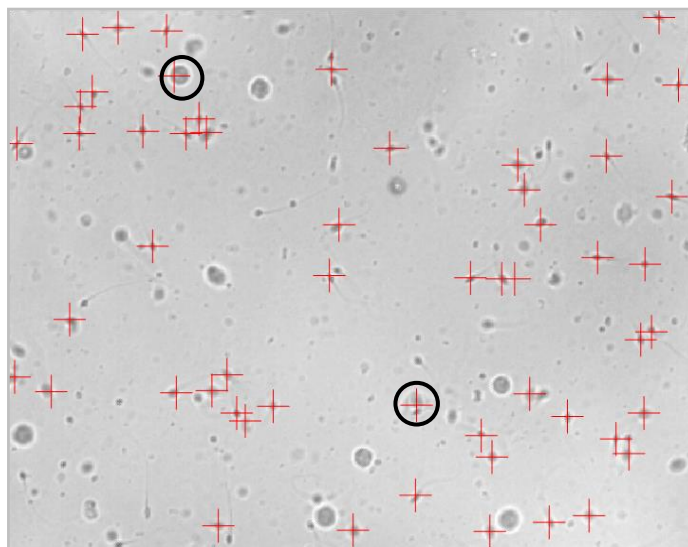
شکل ۴-۵: تعیین مراکز اهداف تشخیص داده شده

با توجه به اینکه ما تنها اهداف متحرک را تشخیص می‌دهیم، مراکز انتخاب شده به صورت شکل ۴-۵ هستند، و اسپرم‌هایی که علامت‌گذاری نشده‌اند، در واقع جز اهداف متحرک نبوده و بعنوان پس‌زمینه در فرایند پیش‌پردازشی تشخیص، حذف گردیده‌اند. اما برای اینکه درصد دقت تشخیص را بدست آوریم، باید تعداد تشخیص‌های درست و نادرست را بدست آورده و سپس با استفاده از رابطه ۴-۱ که مربوط به دقت است، درصد دقت تشخیص را محاسبه نماییم.

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4-1)$$

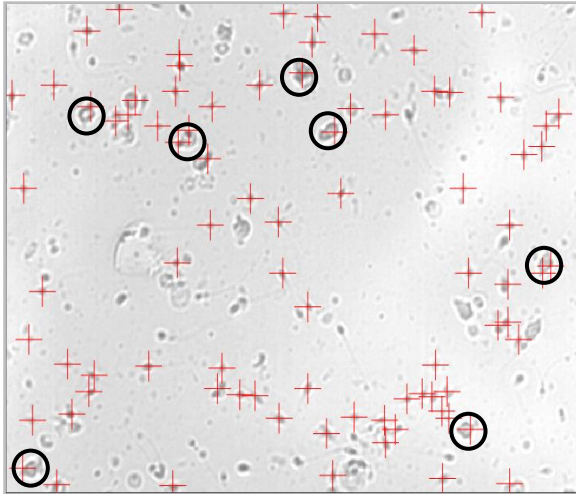
برای محاسبه کلی دقت تشخیص، باید تمام اهداف متحرک را شناسایی نموده درصد دقت برای اهداف متحرک را به عنوان خروجی گزارش کنیم. برای بیان دقت کلی روش، یک میانگین از تمام ویدیوهای که بررسی شده‌اند، گزارش نموده‌ایم. نکته‌ی دیگری که در تشخیص اهداف وجود دارد، همانطور که بیان گردید به دلیل شناسایی تنها اهداف متحرک، میزان FP به مراتب نسبت به TP کمتر است. بنابراین درصد دقت برای ویدیوهای که اسپرم متحرک کمی دارند، بالا است. از طرفی، به غیر از اسپرم‌ها، گاهی سلول‌های دیگری که تحت Round Cell(RC) شناخته می‌شوند، حرکت کمی دارند و موجب می‌شوند که این ذرات نیز ردیابی شوند. مدیریت این اهداف یکی از چالش‌هایی است که سیستم برای تحلیل داده‌ها در هنگام تعیین کلاس خواهد داشت. البته هدف ما در این پژوهش بررسی این چالش نبوده است. این اهداف خود بعنوان RC گزارش می‌شوند. این اهداف می‌توانند میزان Precision را در مرحله تشخیص کم کنند. شکل ۴-۶ نمونه‌ای از این فرایند را نشان می‌دهد. دقت تشخیص با توجه به اجراهای صورت گرفته برای تمام ویدیوهای موجود برابر با ۹۲.۶ درصد بوده است. یکی از پیامدهایی که تشخیص نادرست در پی دارد، بالا رفتن بی‌رویه‌ی برچسب ردیابی‌های موجود در هر عملیات ردیابی است. همانطور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، دو مورد از اهداف تشخیص داده شده‌ای که دور آن‌ها دوایری نشان داده شده است، خطاهای تشخیص هستند. البته ذکر این نکته نیز لازم است که بیان کنیم، اکثر این سلول‌ها به دلیل عدم تحرک‌پذیری بالا، در

هنگامی که ما فریم‌های متوالی را از یکدیگر کم می‌کنیم، خودبخود حذف می‌شوند. چرا که در تغییرات فریم‌های متوالی پشت سر هم، این اهداف حرکت چندانی ندارند. همچنین میزان ردیابی این سلول‌ها با مشاهده افراد تکنیسین گزارش می‌شود. و نرم‌افزارهای موجود در شناسایی این اهداف مشکل دارند. برای شکل ۴-۶ ما فریم‌های دهم و اول یک ویدیو را از یکدیگر کم نمودیم تا بتوانیم مسئله بیان شده را نشان دهیم. به‌طور کلی می‌توانیم این نکته را بیان نماییم که در بررسی اهداف متحرک، درصد تشخیص هدف زمانی که اهداف از لحاظ نوع، همانند مسئله پیش‌رو یکسان باشند، نرخ دقت مرحله تشخیص بالا می‌باشد و اساساً آنچه که در شکل ۴-۶ برای نشان دادن خطای تشخیص احتمالی بیان گردید، بسیار پایین است.

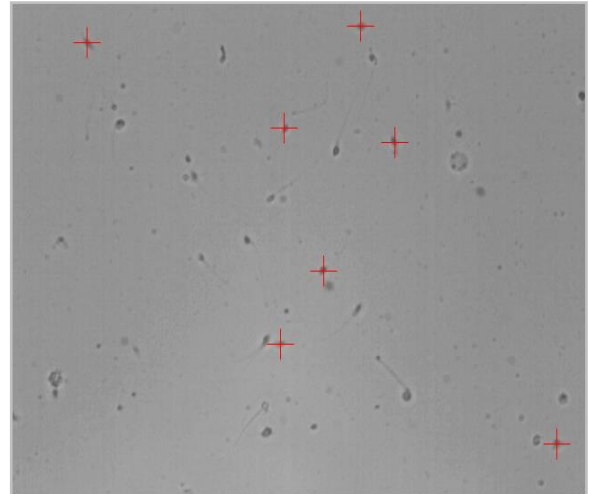


شکل ۴-۶: خطای تشخیص اسپرم با شناسایی اهداف RC

همان‌طور که بیان کردید، دقت تشخیص زمانی که تعداد اهداف متحرک کم باشند، بالا و زمانی که تعداد اهداف متحرک زیاد باشند، پایین است. البته عوامل دیگری همچون شدت روشنایی فریم‌ها، درهم‌ریختگی



ب: نمونه‌ی تشخیص اهداف متحرک با تراکم بالا (دقت پایین شناسایی)



الف: نمونه‌ی تشخیص اهداف متحرک با تراکم پایین (دقت بالای شناسایی)

شکل ۴-۷: نمونه‌های تشخیص اهداف متحرک با تراکم‌های بالا و پایین

اهداف و نویز نیز تأثیر فراوانی دارند. برای دو ویدیو از دادگان موجود همان‌طور که در تصویر ۴-۷ مشخص است، اهداف متحرک بالا و پایین هستند.

۴-۳-۲ دقت ردیابی

برای اینکه دقت ردیابی یک هدف را ارزیابی کنیم، باید چند معیار مشخص را مورد بررسی قرار دهیم.

- برای هر لحظه از فرایند ردیابی در یک محیط درهم‌ریخته، هنگام تخمین موقعیت هدف باید دید آیا تخمین صورت گرفته صحیح است یا خیر. برای این منظور اولین پارامتری را که می‌توان استفاده نمود، نرخ تخمین صحیح صورت گرفته است. همچنین نرخ تخمین نادرست نیز پارامتر بعدی است که باید اندازه‌گیری شود. این دو پارامتر با استفاده از رابطه‌های ۴-۲ و ۴-۳ که در [۴۳] بیان شده‌اند، بدست می‌آیند. در دو رابطه‌ی بیان شده، هم دقت تشخیص اهمیت دارد، هم فیلتر تخمین زننده‌ی موقعیت هدف در هر لحظه از فرایند ردیابی مهم است. رابطه‌ی ۴-۳ در واقع زمانی بوجود می‌آید که برای یک هدف مشخص دو برچسب یکسان تخمین زده شود.

(۲-۴)

$$ReR = \frac{\#True\ estimated\ targets}{\#True\ target}$$

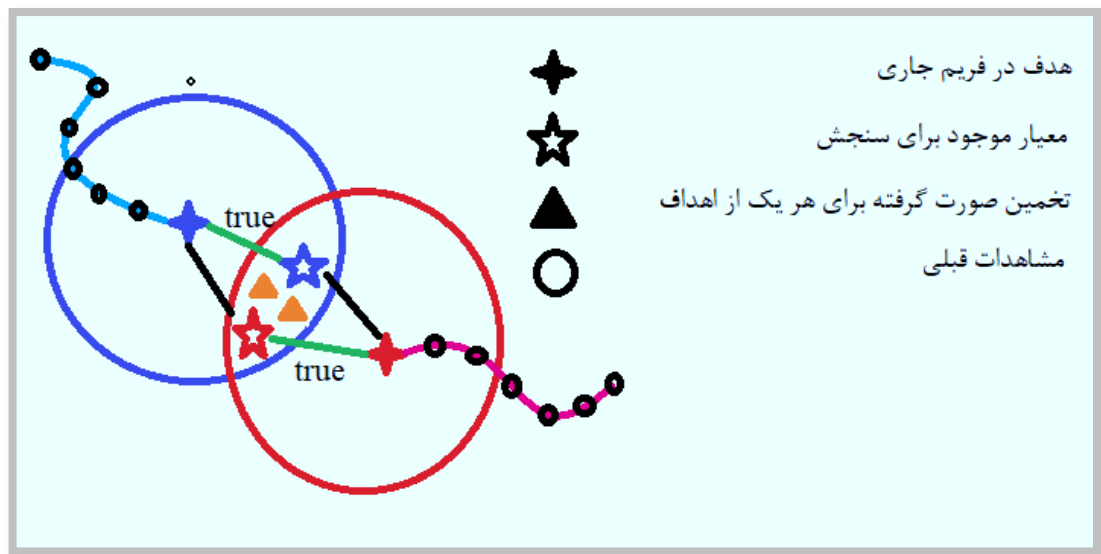
$$FAR = \frac{\#False\ estimated\ targets}{\#True\ target} \quad (۳-۴)$$

• در هنگام برخورد دو هدف هنگام ردیابی، ممکن است مسیر یک و یا هر دو آنها بعد از برخورد از دست برود. بدین منظور باید عمل ردیابی اهداف را هنگام برخورد آنها بررسی کنیم. با استفاده از بررسی خروجی ردیابی در هنگام برخوردها، می‌توانیم دو پارامتر دیگر را تعریف و محاسبه کنیم. یکی نرخ از دست رفتن (گم شدن) ردیابی، و دیگری نرخ عدم کنترل در ردیابی است. روابط ۴-۴ و ۵-۴ نیز که در [۴۳] عنوان شده‌اند، بیانگر چگونگی نحوه‌ی محاسبه‌ی هریک از این پارامترها هستند.

$$MTR = \frac{\#Missed\ Trajectories}{\#Trajectories} \quad (۴-۴)$$

$$MOR = \frac{\#Misshandeled\ Occlusions}{\#Occlusions} \quad (۵-۴)$$

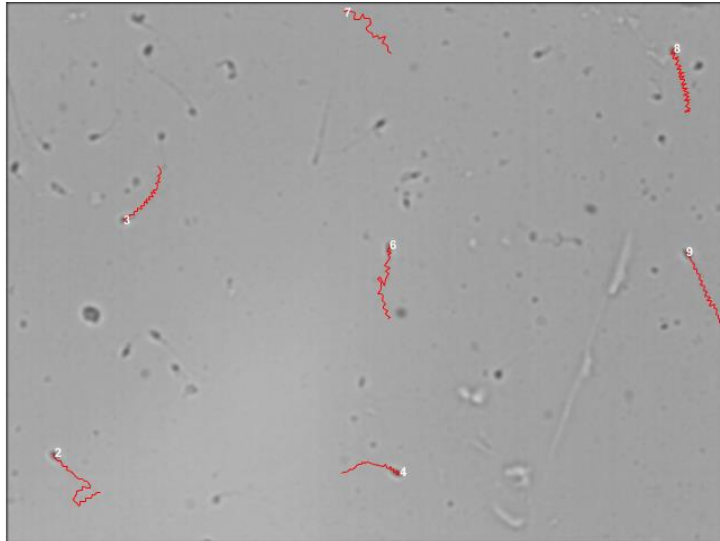
بنابراین برای بیان کیفیت کلی عملکرد ردیابی، ما تعداد ردیابی صحیح در طول کل فرایند و همچنین میزان کنترل صحیح برخوردها را باید بررسی نماییم. شکل ۴-۸ مدل مفهومی عمل برخورد را نشان می‌دهد. شکل‌های ۴-۹ الی ۴-۱۲ نتایج اجرایی ردیابی برای چهار ویدیوی مختلف را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۸: مدل مفهومی برخورد

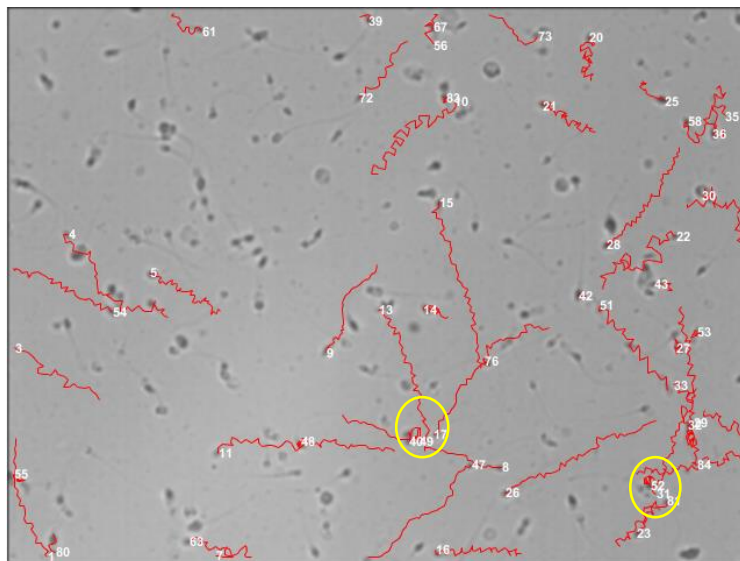
در شکل ۴-۸ با توجه به شعاع تخمین زده شده از هدف مورد نظر در آن قرار گرفته است، هر یک از معیارها(اهداف) می‌توانند با توجه به معیار موجود برای تخمین زده شده انتخاب شوند. در صورت انتخاب صحیح هدف مورد نظر، مشکل برخورد به صورت صحیح کنترل شده است، اما در صورت اشتباه در انتخاب معیار(اهداف)، با توجه به مشکل ایجاد شده دو ردیابی موجود از بین می‌روند و اصطلاحاً گم خواهند شد.

در شکل ۴-۹ همانطور که مشخص است، با توجه به تراکم پایین اسپرم متحرک، و عدم وجود برخورد، نتایج حاصل برای پارامترهای بیان شده در وضعیت ایده‌آل خود قرار دارند.



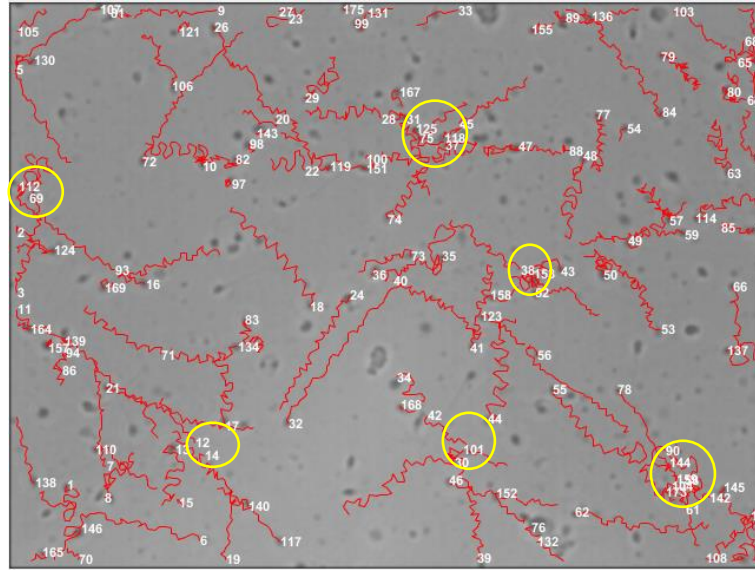
شکل ۴-۹: نتیجه حاصل از ردیابی برای ویدیوی با تراکم پایین اسپرم متحرک و عدم وجود برخورد.

شکل ۴-۱۰، یک نمونه ویدیوی دیگری است که در آن تراکم اسپرمهای متحرک نسبت به شکل نشان داده شده در ۴-۹ بالاتر است، اما میزان برخوردها در آن زیاد نیست.

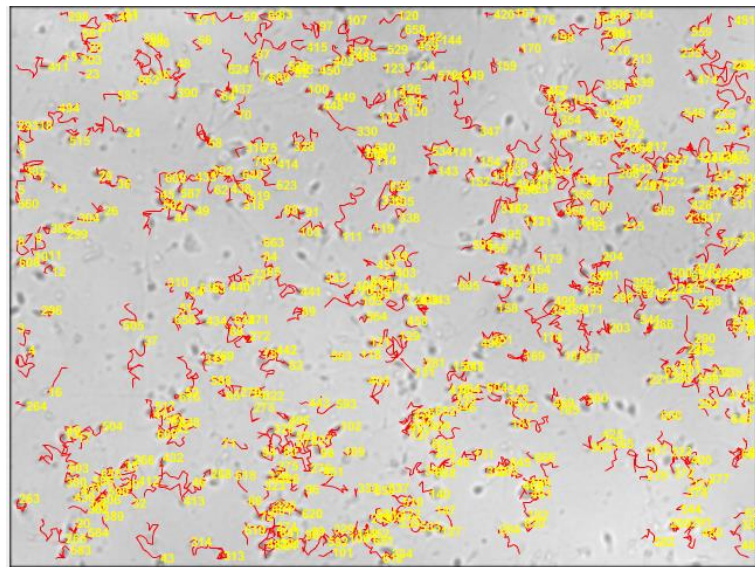


شکل ۴-۱۰: نتیجه حاصل از ردیابی برای ویدیوی با تراکم متوسط اسپرم متحرک و برخوردها کم

در شکل ۴-۱۱ که در ادامه قابل مشاهده است، میزان تراکم اسپرمهای متحرک و میزان برخوردهای موجود نسبت به شکل ۴-۱۰ بالاتر می باشد.



شکل ۴-۱۱: نتیجه حاصل از ردیابی در ویدیویی با تراکم اسپرم‌های متحرک زیاد و میزان بالای برخوردها



شکل ۴-۱۲: نتیجه حاصل از ردیابی ویدیویی با تراکم بسیار زیاد اسپرم‌های متحرک و کنترل نامناسب برخوردها

در آخرین تصویری که از نتیجه حاصل در عمل ردیابی برای ویدیویی دیگر مشاهده می‌شود، میزان تراکم اسپرم‌های متحرک بسیار بالا و میزان برخوردها موجود نیز بسیار زیاد است. برای این ویدیو، الگوریتم ارائه شده از لحاظ عملکرد اجرایی نتیجه‌ی ضعیفی را در میزان ردیابی و میزان کنترل برخوردها داشته است. البته با توجه به طول داده‌ی مورد نظر و تراکم بالای اسپرم‌های متحرک، در چنین مواردی اکثر الگوریتم‌های ردیابی موجود قادر به انجام عملیات ردیابی به‌طور دقیق نیستند. در

واقع برای چنین ویدیوهایی با تراکم بالا و برخوردها زیاد، به دلیل عدم توانایی حرکت اسپرم‌ها به دلیل تراکم برخوردهای موجود، در مراکز ناباروری نمونه گرفته شده از بیمار را در محلول مخصوصی رقیق نموده و سپس عملیات بررسی را انجام می‌دهند. یکی دیگر از مشکلاتی که برای چنین نمونه‌هایی وجود دارد، به دلیل برخوردها زیاد اسپرم‌ها، گزارش صحیحی از تعداد اسپرم‌ها نمی‌توانند ارائه دهند. با توجه به اجرای الگوریتم ارائه شده بر روی دادگان موجود، بهترین، بدترین و مقدار میانگین پارامترهای بیان شده در جدول ۴-۱ نشان داده شده‌اند. پارامترهای موجود با مشاهده خروجی هریک از دادگان و تشخیص ردیابی‌های مورد نیاز موجود، بدست آمده‌اند.

جدول ۴-۱- پارامترهای حاصل از انجام عملیات ردیابی

پارامتر / نحوه بررسی	ReR	FAR	MOR	MTR
بهترین	۱	۰.۰۱	صفر	صفر
بدترین	۰.۸۹	۰.۰۱۶	۰.۶۱	۰.۶۹
میانگین	۰.۹۳	۰.۰۰۷	۰.۳۱	۰.۳۲

با توجه به مقادیری که در جدول ۴-۱ قابل مشاهده است، مقادیر بدست آمده برای پارامترهای MOR و MTR بیانگر عملکرد نسبتاً خوب روش ارائه شده در فرایند ردیابی می‌باشد. البته تمرکز فرایند بیشتر به نحوه طبقه‌بندی ردیابی‌های صورت گرفته شده است تا خود عمل ردیابی. لذا می‌توان بیان نمود که بهبود پارامترهای نامبرده نیز دور از امکان نیست. در ادامه به بیان آخرین قسمت از نتایج موجود که مربوط به ارزیابی و طبقه‌بندی اسپرم‌ها از نظر عملکرد باروری برای پارامتر تحرک‌پذیری‌شان است، خواهیم پرداخت.

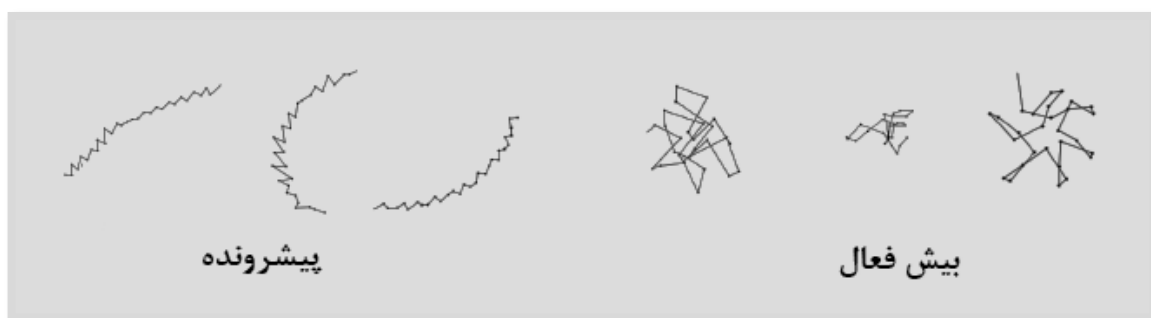
۳-۳-۴ ارزیابی و طبقه‌بندی عملکرد باروری اسپرم‌ها

به منظور ارزیابی و طبقه‌بندی عملکرد باروری اسپرم‌ها با بررسی تحرک‌پذیری هریک از آن‌ها، با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به تحلیل رفتار حرکتی‌شان پرداختیم. در ادامه به تشریح نحوه‌ی عملیات انجام شده می‌پردازیم.

• طبقه‌بندی دادگان استخراجی با استفاده از روش SVM

برای طبقه‌بندی و تعیین کلاس حرکتی هر اسپرم، در اولین فاز از روش SVM استفاده نموده‌ایم. بدین منظور، ابتدا با استفاده از تشخیص کلاس حرکتی هر اسپرم از روی مشاهده بصری حرکت آن که بواسطه تکنیسین شاغل در مرکز درمان ناباروری انجام شده است، اقدام به آموزش طبقه‌بند نموده ایم.

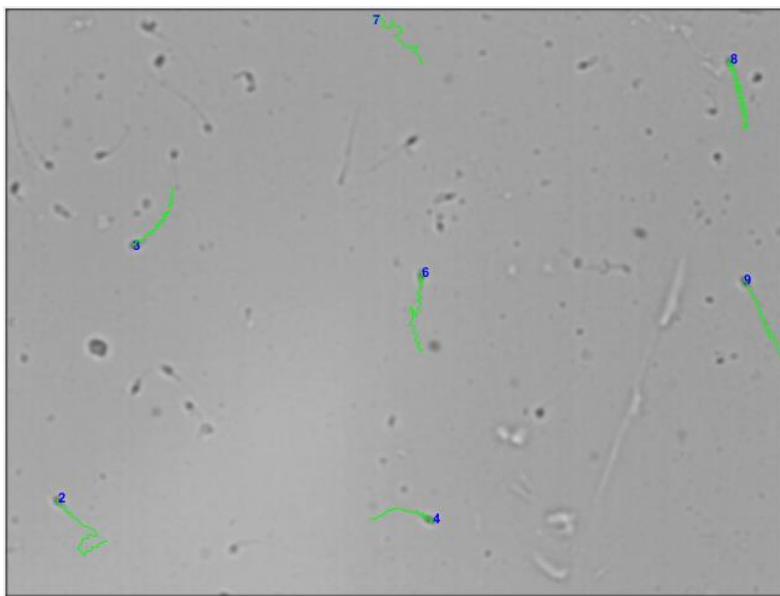
بدین منظور ابتدا با تجمیع کلاس‌های حرکتی پیشرونده و حرکت پیشرونده ضعیف در مقابل کلاس بیش‌فعال به جداسازی این نوع حرکت‌ها از یکدیگر پرداختیم. شکل ۴-۱۳ نمونه‌ی حرکتی هریک از این موارد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳. انواع کلی حرکتی از لحاظ عملکرد باروری

شکل فوق، ماهیت کلی انواع حرکت‌های پیشرونده و بیش‌فعال را نشان می‌دهد. البته برای هریک از آن‌ها تعداد حرکت‌های دیگری نیز وجود دارند، که ما در اینجا برای هریک ۳ مورد از مهم‌ترین اشکال بصری در حرکت‌های موجود را نشان داده‌ایم. ما تحت نظر کارشناس مرکز ناباروری رویان، اقدام به برچسب‌گذاری ۳۵۰ ردیابی صورت گرفته از ۲۰ ویدیوی مورد نظر نمودیم. شرایط موجود برای

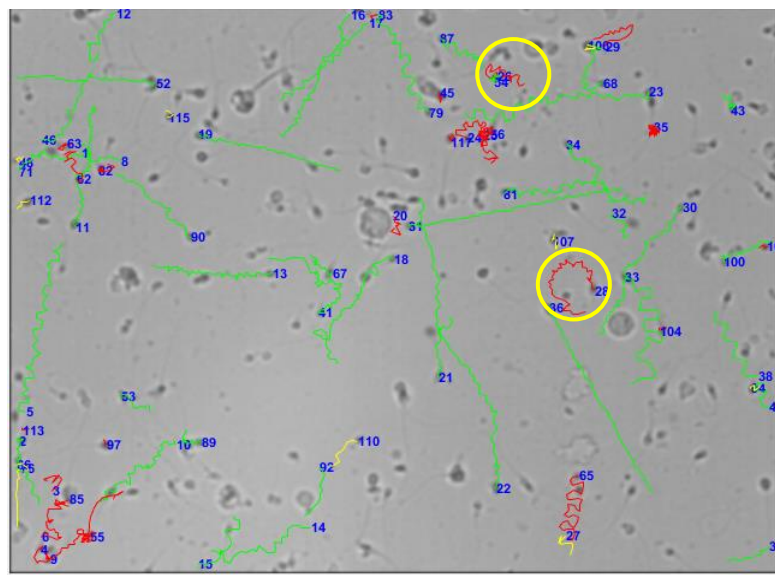
ردیابی‌های مورد نظر، به این صورت بود که حداقل تعداد ۲۰ فریم باید برای هر اسپرم در ردیابی وجود داشته باشد. پس از استخراج ردیابی‌های مورد نظر، با توجه به پارامترهای حرکتی محاسبه شده برای هریک، اقدام به آموزش یک طبقه‌بند SVM با هسته مربعی (Quadratic Kernal) نمودیم. نتیجه صحت^۱ حاصل از عمل آموزش بر روی این دیتاست برابر با ۸۸.۹ درصد شد. پس از آموزش مدل مورد نظر آن را بر روی ۵ ویدیوی مورد نظر که به عنوان داده‌های تست وجود داشتند، اجرا نمودیم. نتایج حاصل از اجرای طبقه‌بند بر روی ویدیو دادگان تست در ادامه آمده است. در ویدیوهای مورد نظر، هر یک از ردیابی‌های سبز رنگ معرف یک نمونه حرکت پیشرونده، و هر ردیابی قرمز رنگ نیز معرف حرکت بیش فعال است. نکته حائز اهمیت، اجرای طبقه‌بند برای ردیابی‌های بین ۱۱ تا ۱۹ فریم است. ردیابی‌های زرد رنگ برای کمتر از ۱۰ فریم هستند که در عملیات طبقه‌بندی استفاده نشده‌اند. شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۱۷ نتایج حاصل از عملیات طبقه‌بندی را بر روی تعدادی از ویدیوهای موجود نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱۴. عملیات طبقه‌بندی بر روی ویدیوی با تعداد تراکم پایین اسپرم متحرک و بدون برخورد

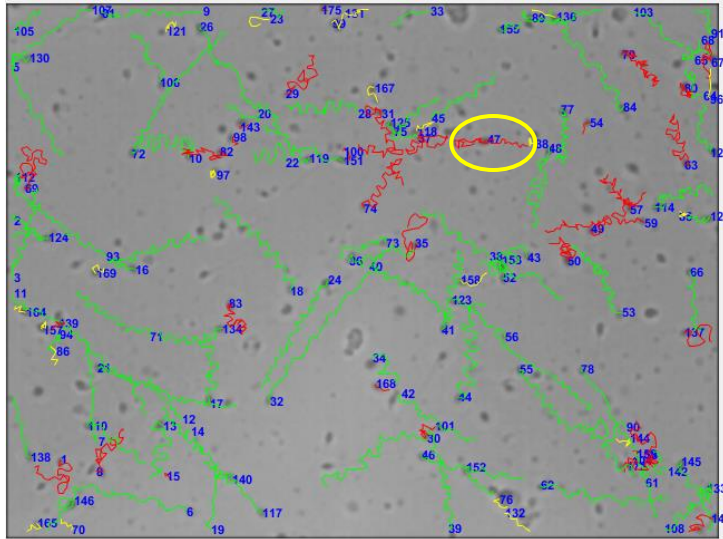
¹ Accuracy

در این ویدیو تمام اسپرم‌های متحرک در فاز ابتدایی درست طبقه‌بندی شده‌اند. شکل ۴-۱۵ نتیجه حاصل از عمل ردیابی را بر روی ویدیوی دیگری نشان می‌دهد. در این ویدیو، تراکم اسپرم‌های متحرک نسبت به ویدیوی قبلی بالاتر و وجود برخورد نیز مشخص است.



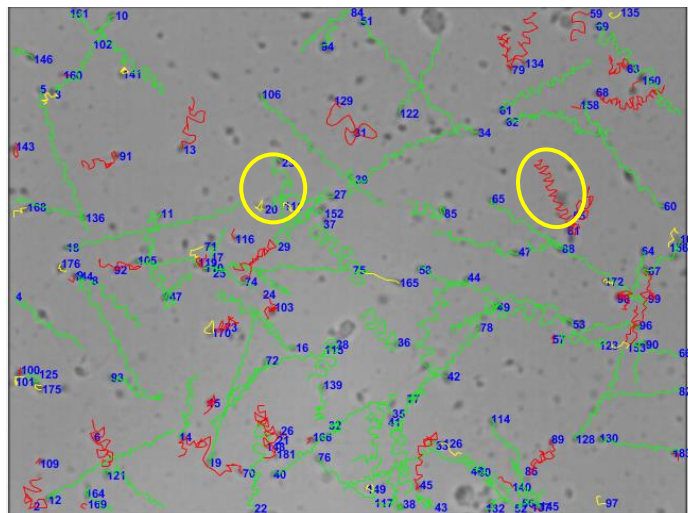
شکل ۴-۱۵. نتیجه حاصل از طبقه‌بندی برای ویدیویی با تراکم اسپرم متحرک نسبتاً بالا و برخورد کم.

همانطور که در شکل مشخص شده است، طبقه‌بندی در دو مورد عملیات تعیین نوع ردیابی را به اشتباه انجام داده است. در شکل ۴-۱۶ تراکم اسپرم‌های متحرک بالا، و میزان برخوردها نیز کمی بیشتر از شکل ۴-۱۵ است. با این حال طبقه‌بندی برای اسپرم‌ها با دقت مناسبی انجام گردیده است.



شکل ۴-۱۶. تراکم بالای اسپرم متحرک و میزان برخوردهای نسبتاً بالا. عملیات طبقه‌بندی مناسب

اما آخرین موردی که در این قسمت مشاهده می‌شود، نتیجه‌ی حاصل از طبقه‌بندی بر روی یک ویدیو با تراکم بالای اسپرم‌های متحرک و برخوردهای زیاد است. مشاهده می‌شود طبقه‌بندی SVM به طرز مناسبی عملیات طبقه‌بندی ردیابی‌های صورت گرفته را انجام داده است. هرچند تعدادی خطا نیز وجود دارد.



شکل ۴-۱۷. تراکم بالای اسپرم‌های متحرک و برخوردهای نسبتاً بالا. طبقه‌بندی مناسب الگوریتم ارائه شده

الگوریتم SVM با هسته مربعی عملکرد مناسبی در جداسازی ردیابی اسپرم‌های بیش فعال و پیشرونده از خود نشان داده است. این روش برای دادگان ویدیویی که به عنوان مجموعه تست بکارگرفته شد،

توانست به دقت ۸۶.۳ درصد عملیات طبقه‌بندی حرکت اسپرم‌های ردیابی شده را انجام دهد. نکته حائز اهمیت در طبقه‌بندی حرکت اسپرم‌ها، نرخ بالای طبقه‌بندی صحیح اسپرم‌های پیشرونده است. چرا که تشخیص صحیح این اسپرم‌ها باعث بالا بردن اطمینان انتخاب اسپرم‌های با وضعیت مناسب در هنگام عمل IVF است.

● مقایسه عملکرد طبقه‌بندی

جهت طبقه‌بندی اسپرم‌ها از لحاظ میزان باروری‌شان در فعالیت‌های متفاوت، از ویژگی‌ها (پارامترهای حرکتی) مختلفی استفاده نموده‌اند. گزارش میزان باروری یک اسپرم با توجه به پارامترهای حرکتی آن صورت می‌پذیرد. برای مثال از VCL, AHL, و SLV در یک نمونه طبقه‌بندی از روش رگرسیون لجستیک جهت طبقه‌بندی نوع حرکتی استفاده شده است. در نمونه دیگر از LIN و STR به همراه VAP استفاده شده است. ما عملیات طبقه‌بندی را بر روی تمام پارامترها در روش SVM با استفاده از اعمال PCA انجام دادیم. بکارگیری عمل PCA برای حذف وابستگی‌هایی است که در ویژگی‌های مورد استفاده وجود دارد. نکته‌ی دیگر طبقه‌بندی نوع حرکت در تعداد مشخص فریم ردیابی انجام شده است. (برای مثال ۲۰ فریم). ما حرکت‌های با تعداد فریم‌های ۲۰ به بالا را در طبقه‌بندی استفاده نمودیم. اما به منظور صحت کار تعداد فریم ردیابی شده را نیز به عنوان یک ویژگی اضافی انجام دادیم. نتایج حاصل از طبقه‌بندی با دیدگاه‌های فوق در جدول ۴-۲ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۲ مقایسه عملکردی روش‌های رگرسیون لجستیک و روش ارائه شده با پارامترهای حرکتی پیشنهادی

صحت	روش طبقه‌بندی	پارامترهای مورد استفاده در طبقه‌بندی	
86.4	LogisticRegression SVM	ALH, CLV, SLV	روش اول
86.7			
87.5	LogisticRegression SVM	LIN, STR, VAP	روش دوم
86.1			
87.8	LogisticRegression SVM	VCL, SLV, VAP, LIN, STR, MAD, ALH, WOB	روش ارائه شده
88.9			

روش پیشنهادی در استفاده از تمام پارامترها نسبت به روش رگرسیون لجستیک بهتر عمل نموده است. دلیلی که میتوان برای عملکرد بهینه روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش رگرسیون

لجستیک بیان نمود، انتخاب ویژگی‌هایی است که نسبت به یکدیگر از همبستگی کمتری برخوردار هستند. ویژگی‌هایی که از آن‌ها در روش لجستیک استفاده شده است، به صورت انتخابی صورت گرفته‌اند. در واقع عمل PCA ویژگی‌هایی را انتخاب نموده است که بهترین عملکرد را در طبقه‌بندی داده‌ها دارند.

فصل پنجم: جمع بندی

۵-۱ مقدمه

در این پایان‌نامه از روشهای متداول ردیابی اسپرم‌ها جهت ارزیابی عملکرد باروری آن‌ها از مشاهده تحرک‌پذیری استفاده نمودیم. همچنین با استفاده از تحلیل‌های آماری، مدلی برای تخمین باروری آن‌ها از روی پارامترهای حرکت طراحی نمودیم. در این فعالیت با چالش‌هایی از جمله کیفیت دیتای پیشرو، زمان کوتاه هریک از فریم‌های ویدیویی مواجه بودیم، اما خوشبختانه توانستیم با بکارگیری ابزار و الگوریتم مناسب تا حد قابل قبولی آن‌ها را رفع و فرایند مورد نظر خود را پیش ببریم.

۵-۲ نوآوری تحقیق

در این پژوهش، علاوه بر انجام فرایند ردیابی که قسمتی پایه‌ای و مورد نیاز از پژوهش مورد نظر را شامل می‌شد، یک فاز تحلیلی بسیار جامع با بررسی ۸ مورد از مهم‌ترین پارامترهای حرکتی اسپرم‌ها صورت گرفت. اهمیت تحلیل آماری صورت پذیرفته در این پژوهش زمانی مشخص می‌شود که یکپارچگی خروجی بین روش‌های جداسازی استفاده شده با الگوریتم‌های یادگیری برای هر یک از اسپرم‌ها، با نظر و تحلیل کارشناس خبره‌ی فنی و همچنین خروجی بصری حاصل از ردیابی ویدیویی حرکت اسپرم‌ها باهم، همگی بر یک نتیجه‌ی واحد و یکسان دلالت داشتند. دیگر اهمیت فعالیت انجام شده، تأیید این نکته می‌باشد که می‌توان برای ردیابی اسپرم‌ها، روش‌های پارامتریک جهت طبقه‌بندی آن‌ها ارائه نمود.

۵-۳ پیشنهادات

البته فعالیت صورت پذیرفته دارای نقایصی نیز بود که قابلیت ارتقا و بهبود بیشتر نیز دارند. در ادامه به برخی از پیشنهادات موجود در زمینه بهبود پژوهش صورت پذیرفته اشاره خواهیم نمود.

- تمام تحلیل‌های انجام شده برای تعیین باروری اسپرم‌ها برای پارامترهایی همچون VAP، VSL، VCL و ALH بر مبنای میکرومتر برثانیه صورت پذیرفته است. محاسبه دقیق این

پارامترها با یکای نامبرده، دیتای مورد بررسی را محدود به شرایط خاص و لزوم وجود ویژگی‌های مشخصی در نوع تصویربرداری‌های ویدیویی یا لزوماً آگاهی از این ویژگی‌ها خواهد نمود. بدین منظور می‌توان از روش‌های بادقت بالاتری همچون دخیل کردن دینامیک ساختاری اسپرم‌ها در حرکت، و تحلیل و تفسیر باروری آن‌ها با استفاده از آن معیارها اقدام نمود.

- در نرم‌افزارهای مورد استفاده در آزمایشگاه‌ها و مراکز ناباروری به همراه ردیابی صورت گرفته شده، بحثی تحت عنوان بررسی دیگر سلول‌های موجود در نمونه semen تحت عنوان round_cell مطرح می‌گردد، که به‌طور کلی گزارش می‌شوند. طبق استاندارد بیان شده در سایت سازمان جهانی سلامت تفکیک این سلول‌ها از یکدیگر، در تفسیر نوع دلایل بیماری در شخص دارای این مشکل اهمیت دارد.

- یکی از ایده‌آل‌های موجود در بررسی ناباروری افراد، انجام توأم دو فاکتور ساختار ریختی اسپرم و نحوه تحرک‌پذیری موجود در آن است. قاعدتاً این مسئله نیاز به وجود دیتای بسیار حجیم و جامع از انواع ناهنجاری‌های ساختاری موجود در اسپرم‌ها دارد. این مورد بیان شده نیز یکی از کمبودهای بیان شده برای نرم‌افزارهای مورد استفاده در آزمایشگاه‌ها و مراکز ناباروری است، که سازمان جهانی سلامت آن را عنوان نموده است.

- می‌توان سیستمی آموزش داد که با استفاده از ساختار نهایی شکلی حرکتی، بجای استفاده از پارامترهای حرکتی که عموماً محاسبه آن‌ها دارای پیچیدگی زمانی بالایی می‌باشد، استفاده نمود. این روال یک مزیت دیگر نیز دارد. استانداردهایی که سازمان جهانی سلامت بیان می‌کند، با توجه به شرایط و تحقیقاتی است که در برخی از کشورهای مشخصی انجام می‌گیرد. قاعدتاً با توجه به شرایط متنوع و تفاوت‌های فیزیولوژی که در مردم نقاط مختلف دنیا وجود دارد، بیان استانداردهای لازم منوط به وجود یک جامعیت تحقیقاتی است. از طرفی پارامترهای حرکتی محاسبه شده ممکن است برای همه این افراد یکسان نباشد. لذا جایگزینی پارامترهایی که بررسی کیفیت تحرک‌پذیری یک اسپرم را بتوانند مستقل از پارامترهای حرکتی موجود انجام دهند، می‌تواند مناسب باشد. برای

مثال پارامترهایی همچون کمترین مساحت مربعی برای ردیابی و یا نرخ کمترین مساحت مربعی می‌توانند به عملیات طبقه‌بندی اسپرم‌ها از لحاظ حرکتی کمک زیادی کنند.

فهرست واژگان

Image Processing.....پردازش تصویر.....	ا
Background.....پس زمینه.....	احتمال توأم.....Joint Probability.....
Time Complexity.....پیچیدگی زمانی.....	ارتباط داده‌ای.....Data Association.....
Convolution.....پیچش.....	اسپرم.....Sperm.....
Progressivity.....پیشروندگی.....	آستانه‌گذاری.....Thresholding.....
prediction.....پیش‌بینی.....	آسیب‌شناسی ساختاری اسپرم.....Sperm Morphology Pathology.....
Foreground.....پیش‌زمینه.....	اعتبارسنجی.....Validation.....
continous.....پیوسته.....	اعوجاج.....Noise.....
ت	اعوجاج حاصل از پردازش.....Process Noise.....
Sperm Analysis.....تحلیل اسپرم.....	الگوریتم انتقال میانگین.....Mean Shift Algorithm.....
Covariance Estimated.....تخمین کواریانس.....	الگوریتم‌های ریخت‌شناسی.....Morphological Alorghms.....
Physical Test.....تست فیزیکی.....	الگوریتم مجارستانی.....Hungarian Algorithm.....
Genetic Test.....تست ژنتیک.....	الگوریتم یادگیری.....Learning Algorithm.....
Detect Target.....تشخیص هدف.....	آموزش.....Training.....
Ellipse Structure Detection.....تشخیص ساختارهای بیضوی.....	انتقال.....Transition.....
Binary Image.....نصیر دودویی.....	انتزاعی.....Abstraction.....
Sperm Count.....تعداد اسپرم.....	انحراف سر از مسیر جانبی.....Amplitude of Lateral Head.....
ج	انحراف معیار استاندارد سراسری.....Global Standard Deviation.....
Sepration.....جداسازی.....	انعکاس.....Reflection.....
Bearing.....جهت.....	اهداف متحرک.....Motion Targets.....
Wobble.....جنبش سر.....	ب
چ	باز یافت.....Recall.....
Normal Probability Density.....چگالی احتمال نرمال.....	بدون حرکت.....No Motile.....
ح	بر خورد.....Collision.....
Background Deletion.....حذف پس زمینه.....	برچسب زده.....Labeled.....
Motility.....حرکت.....	بردار کنترل.....Control Vector.....
Progressive Motility.....حرکت پیشرونده.....	بزرگی سر.....Giant Hesd.....
High Motility.....حرکت زیاد.....	بینایی ماشین.....Machine Vision.....
Weak Motility.....حرکت ضعیف.....	بی‌شکلی سر.....Amorphous Head.....
Moderate Motility.....حرکت میانه.....	بیش‌فعالی.....Hyper Activity.....
خ	بیشینه‌سازی واریانس.....Variance Maximization.....
Coiled.....خمیده.....	بزرگ‌نمایی.....Magnify.....
Linearity.....خطی بودن.....	بهره کالمن.....Kalman Gain.....
د	پ
Double Head.....دوسر.....	پارامترهای حرکتی اسپرم.....Sperm Motility Parameters.....
Double Head.....دوسر.....	پارامترهای ژنتیکی.....Genetical Parameters.....

Clutter.....درهم ریختگی

ط

Classification.....طبقه بندی

ع

Uncertainty.....عدم قطعیت

غ

Concentration.....غلظت

ف

Euclidean Distance.....فاصله اقلیدوسی

Erosion.....فرسایش

Synthetic Filter.....فیلتر ترکیبی

Particle Filter.....فیلتر ذره

Kalman Filters.....فیلتر کالمن

Gaussian Filter.....فیلتر گوسی

Average Filter.....فیلتر میانگین

Median Filter.....فیلتر میانه

Salt & Pepper Filter.....فیلتر نمک و فلفل

Wiener Filter.....فیلتر وینر

State Estimation Filters.....فیلترهای تخمین وضعیت

Markov Model Based Filters.....فیلترهای مبتنی بر مدل مارکوف

ق

Reliable.....قابلیت اطمینان

Segmentation.....قطعه بندی

ک

Pin Head.....کوچکی سر

Short Tail.....کوتاهی دم

Class.....کلاس

Bag Ofکیف کلمات

Wordکیفیت

Spermکیفیت اسپرم

Quality

گ

Thinگردن باریک

Neck

Thickگردن زمخت

Neck

Dilation.....گسترش

Discrete.....گسسته

ل

Range.....دامنه

Binarization.....دودویی سازی

ر

Sperm Tracking.....ردیابی اسپرم

Multi Target Tracking.....ردیابی چند هدفی

Optimization Methods.....روش های بهینه سازی

Region Growing.....رشد ناحیه

Regression.....رگرسیون

Multivariate Linear Regression.....رگرسیون خطی چندمتغیره

Multivariate Nonlinear Regression.....رگرسیون غیرخطی چندمتغیره

Logistic Regression.....رگرسیون لجستیک

Feature Based Methods.....روش های مبتنی بر ویژگی

Intensity Based Methods.....روش های مبتنی بر روشنایی

Intensity.....روشنایی

Root Of Mean Square Error.....ریشه میانگین مربعات خطا

س

World Health Organization.....سازمان جهانی سلامت

Sperm Morphology.....ساختار ریختی اسپرم

Sperm Normal Morphology.....ساختار ریختی نرمال اسپرم

Geometrical Structure.....ساختارهای هندسی

Qubic Structuy.....ساختار مکعبی

Tapered Head.....سر هرمی شکل

Velocity.....سرعت

Stright Linearسرعت مستقیم

Velocity

Average Path Velocity.....سرعت مسیر همواره شده

Curve Linear Velocity.....سرعت منحنی وار

System Analyzer.....سیستم های تحلیلگر

Computer Assited Spermسیستم دستیار تحلیل اسپرم

Analysis

ش

Perceptron Neural Network.....شبکه عصبی پرسپترون

Accleration.....شتاب

Signal Strenght.....شدت سیگنال

Broken Tail.....شکستگی دم

Shape.....شکل

ص

Accuracy.....صحت

Edge لبه‌یابی
 Detection
 In Vitro Fertilization..... لقاح درون آزمایشگاهی

م

Transition Matrix..... ماتریس انتقال
 Control Matrix..... ماتریس کنترل
 Chiral..... مارپیچ
 Support Vector ماشین بردار پشتیبان
 Machine
 Bayes Model..... مدل بیز
 Observation مدل مشاهده
 Model
 Smoothed Path..... مسیر هموار شده
 Observation..... مشاهده
 Measurement..... معیار
 kinematic Measuremnt..... معیارهای حرکتی
 Attribute معیارهای شاخص
 Measuremnt
 Gray Scale..... مقایس خاکستری
 Complement..... مکمل
 Position..... موقعیت
 Mean Angular Displacdemnt..... میانگین جابجایی زاویه‌ای

ن

Infertility..... ناباروری
 Primary Infertility..... ناباروری اولیه
 Secondary Infertility..... ناباروری ثانویه
 Abnormality..... ناهنجاری
 Sperm Tail ناهنجاری دم اسپرم
 Abnormality
 Sperm Head Abnormality..... ناهنجاری سر اسپرم
 Sperm Neck ناهنجاری گردن اسپرم
 Abnormality
 Assymetric..... نامتقارن
 Range Rate..... نرخ دامنه
 Learning Rate..... نرخ یادگیری
 Aspect Ratio..... نسبت بهره
 Dot Per Inch..... نقطه بر اینچ
 Target Type..... نوع هدف

ه

Target..... هدف

Prunning.....هرس کردن

Kernel.....هسته

Artificial Intelligence.....هوش مصنوعی

Histogram.....هیستوگرام

ی

Supervised Learning.....یادگیری با ناظر

Unsupervisedیادگیری بدون ناظر
Learning

- [1] Alta Coch, Prof Gerhard van der Horst, “Moving semen analysis into the future”, corporate branding/newsletters/South Africa/2017/N00167 South Africa - Jan2017 Rev000.cdr
- [2] Ramesh, A. N., Kambhampati, C., Monson, J. R., & Drew, P. J. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 86(5), 334.
- [3] Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature medicine*, 25(1), 44.
- [4] He, J., Baxter, S. L., Xu, J., Xu, J., Zhou, X., & Zhang, K. (2019). The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature medicine*, 25(1), 30.
- [5] Pun, T., Gerig, G., & Ratib, O. (1994). Image analysis and computer vision in medicine. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 18(2), 85-96.
- [6] Párraga Álava, J. A. (2015). Computer Vision and Medical Image Processing: A brief survey of application areas. In *Argentine Symposium on Artificial Intelligence (ASAI 2015)-JAIIO 44* (Rosario, 2015).
- [7] Maintz, J. A., & Viergever, M. A. (1996). An overview of medical image registration methods. In *Symposium of the Belgian hospital physicists association (SBPH/BVZF)* (Vol. 12, No. V, pp. 1-22).
- [8] Tahmoush, D., & Samet, H. *Computer Vision and Learning Approaches to Medical Imaging*.
- [9] Pisano, E. D., Cole, E. B., Hemminger, B. M., Yaffe, M. J., Aylward, S. R., Maidment, A. D., ... & Fajardo, L. L. (2000). Image processing algorithms for digital mammography: a pictorial essay. *Radiographics*, 20(5), 1479-1491.
- [10] Gopalakrishna, P. M., & Doyle, M. (2015). U.S. Patent No. 9,179,881. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [11] Barnes, G. T., & Lauro, K. (1989). Image processing in digital radiography: basic concepts and applications. *Journal of digital imaging*, 2(3), 132.
- [12] Ravindran, P., & Gupta, A. (2015). Image processing for optical mapping. *GigaScience*, 4(1), 57.
- [13] Cheng, J., Zhang, J., Han, Y., Wang, X., Ye, X., Meng, Y., ... & Huang, K. (2017). Integrative analysis of histopathological images and genomic data predicts clear cell renal cell carcinoma prognosis. *Cancer research*, 77(21), e91-e100.
- [14] Patil, B. G., & Jain, S. N. (2014). Cancer cells detection using digital image processing methods. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 3(4), 45-49.

- [15] Mohammadzadeh, Z., Safdari, R., Ghazisaeidi, M., Davoodi, S., & Azadmanjir, Z. (2015). Advances in optimal detection of cancer by image processing; experience with lung and breast cancers. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*, 16(14), 5613.
- [16] Ghasemian, F., Mirroshandel, S. A., Monji-Azad, S., Azarnia, M., & Zahiri, Z. (2015). An efficient method for automatic morphological abnormality detection from human sperm images. *Computer methods and programs in biomedicine*, 122(3), 409-420.
- [17] Yániz, J. L., Soler, C., & Santolaria, P. (2015). Computer assisted sperm morphometry in mammals: a review. *Animal reproduction science*, 156, 1-12.
- [18] Welch, G., & Bishop, G. (1995). An introduction to the Kalman filter.
- [19] Kuhn, H. W. (1955). The Hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quarterly*, 2(1-2), 83-97.
- [20] Bongso, T. A., Ng, S. C., Mok, H., Lim, M. N., Teo, H. L., Wong, P. C., & Ratnam, S. S. (1989). Effect of sperm motility on human in vitro fertilization. *Archives of andrology*, 22(3), 185-190.
- [21] Rodríguez-Montaña, D., & Roa-Guerrero, E. (2017). Objective assessment of bull sperm motility parameters using computer vision algorithms. *African Journal of Biotechnology*, 16(37), 1871-1881.
- [22] Kaula, N. (2009). A Computer Science Approach to Identify and Classify Hyperactivated Spermatozoa.
- [23] Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). Object tracking: A survey. *Acm computing surveys (CSUR)*, 38(4), 13.
- [24] Athanasiou, J. J., & Suresh, P. (2012). Systematic survey on object tracking methods in video. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 1(8), 242-247.
- [25] Xu, W., Bao, S., & Liu, Z. (2015, March). Data Association Algorithm Overview and Performance Evaluation. In *2015 International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference*. Atlantis Press.
- [۲۶]. حسن پور، حمید. مفاهیم جامع پردازش تصویر دیجیتال به همراه پیاده‌سازی در متلب، شاهرود، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، سال ۱۳۹۵
- [27] Pal, N. R., & Pal, S. K. (1993). A review on image segmentation techniques. *Pattern recognition*, 26(9), 1277-1294.
- [28] Firoz, R., Ali, M. S., Khan, M. N. U., Hossain, M. K., Islam, M. K., & Shahinuzzaman, M. (2016). Medical image enhancement using morphological transformation. *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 4(01), 1.
- [29] El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What is machine learning?. In *Machine Learning in Radiation Oncology* (pp. 3-11). Springer, Cham.
- [30] Feng, J., Xu, H., Mannor, S., & Yan, S. (2014). Robust logistic regression and classification. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 253-261).

- [31] Hsu, C. W., Chang, C. C., & Lin, C. J. (2003). A practical guide to support vector classification.
- [32] Gardner, M. W., & Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
- [33] Kaur, G., & Oberai, E. N. (2014). A review article on Naive Bayes classifier with various smoothing techniques. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(10), 864-868.
- [34] Goldberger, A. S. (1962). Best linear unbiased prediction in the generalized linear regression model. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 369-375.
- [35] Bates, D. M., & Watts, D. G. (1988). *Nonlinear regression analysis and its applications* (Vol. 2). New York: Wiley.
- [36] Parinaud, J., Vieitez, G., Moutaffian, H., Richoilley, G., & Milhet, P. (1996). Relationships between motility parameters, morphology and acrosomal status of human spermatozoa. *Human reproduction*, 11(6), 1240-1243.
- [37] Tomlinson, M. J., Pooley, K., Simpson, T., Newton, T., Hopkisson, J., Jayaprakasan, K., & Pridmore, T. (2010). Validation of a novel computer-assisted sperm analysis (CASA) system using multitarget-tracking algorithms. *Fertility and sterility*, 93(6), 1911-1920.
- [38] Abaigar, T., Barbero, J., & Holt, W. V. (2012). Trajectory Variance and Autocorrelations Within Single-Sperm Tracks as Population-Level Descriptors of Sperm Track Complexity, Predictability, and Energy-Generating Ability. *Journal of andrology*, 33(2), 216-228.
- [39] Nosrati, R., Driouchi, A., Yip, C. M., & Sinton, D. (2015). Two-dimensional slither swimming of sperm within a micrometre of a surface. *Nature communications*, 6, 8703.
- [40] Su, T. W., Choi, I., Feng, J., Huang, K., McLeod, E., & Ozcan, A. (2013). Sperm trajectories form chiral ribbons. *Scientific reports*, 3, 1664
- [42] Sørensen, L., Østergaard, J., P. Johansen, & de Bruijne, M. (2008). Multi-object Tracking of Human Spermatozoa, p. 69142C,
- [41] Dai, C., Zhang, Z., Huang, J., Wang, X., Ru, C., Pu, H., ... & Jarvi, K. (2018). Automated Non-Invasive Measurement of Single Sperm's Motility and Morphology. *IEEE transactions on medical imaging*, 37(10), 2257-2265.
- [43] Hesar, H. D., Moghaddam, H. A., Safari, A., & Eftekhari-Yazdi, P. (2018). Multiple sperm tracking in microscopic videos using modified GM-PHD filter. *Machine Vision and Applications*, 29(3), 433-451.
- [44] Jati, G., Gunawan, A. A., Lestari, S. W., Jatmiko, W., & Hilman, M. H. (2016, October). Multi-sperm tracking using hungarian kalman filter on low frame rate video. In *2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)* (pp. 530-535). IEEE.

- [45] Nurhadiyatna, A., Latifah, A. L., Fryantoni, D., Wirahman, T., Wijayanti, R., & Muttaqien, F. H. (2014, November). Comparison and implementation of motion detection methods for sperm detection and tracking. In 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (pp. 1-5). IEEE.
- [46] Beya, O., Hittawe, M., Sidibé, D., & Meriaudeau, F. (2015, November). Automatic detection and tracking of animal sperm cells in microscopy images. In 2015 11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS) (pp. 155-159). IEEE.
- [47] Hidayatullah, P., Awaludin, I., Kusumo, R. D., & Nuriyadi, M. (2015, November). Automatic sperm motility measurement. In 2015 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI) (pp. 1-5). IEEE.
- [48] Hidayatullah, P., & Zuhdi, M. (2014, November). Automatic sperms counting using adaptive local threshold and ellipse detection. In 2014 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI) (pp. 56-61). IEEE.
- [49] Khalifa, N. E. M., Taha, M. H. N., & Hassanien, A. E. (2018, September). Automatic Counting and Visual Multi-tracking System for Human Sperm in Microscopic Video Frames. In International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics (pp. 525-531). Springer, Cham.
- [50] Hidayatullah, P., Mengko, T. L. E. R., & Munir, R. (2017). A survey on multisperm tracking for sperm motility measurement. *Int. J. Mach. Learn. Comput*, 7, 144-151.
- [51] Corkidi, G., Taboada, B., Wood, C. D., Guerrero, A., & Darszon, A. (2008, May). Three-dimensional image acquisition system for multi-sperm tracking. In 2008 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro (pp. 145-148). IEEE.
- [52] Imani, Y., Teyfour, N., Ahmadzadeh, M. R., & Golabbakhsh, M. (2014). A new method for multiple sperm cells tracking. *Journal of medical signals and sensors*, 4(1), 35.
- [53] Arasteh, A., & Vahdat, B. V. (2016). Evaluation of multi-target human sperm tracking algorithms in synthesized dataset. *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research (IJMSTR)*, 4(2), 16-29.
- [54] Urbano, L. F., Masson, P., VerMilyea, M., & Kam, M. (2016). Automatic tracking and motility analysis of human sperm in time-lapse images. *IEEE transactions on medical imaging*, 36(3), 792-801.

Abstract

Nowadays , one of the major problems in developed countries is the issue of infertility and its treatment . The problem that left many couples involved . In examining the infertility problem, first strategy being investigated is study of the problem in the male side couple . According to the different causes that may be involved in male infertility ,test and analyze his sperm is the first step to study of specialist doctors. Sperm analysis in the male couple is examined in several aspects , including the study of the form of a sperm , as well as the analysis and evaluation of the strength of the motility of sperm. Of the two mentioned factors, the second is the most important factor. Since the second one has most importance if it will necessary to vitro fertilization . due to the structural nature and motion characteristics of sperms , the use of accurate and powerful tools for analysis and evaluation of sperms motility has particular importance .

Nowadays , artificial intelligence and especially machine vision-are used as one of the most important tools in different fields of medicine . In this research , we use microscopic video frames of sperms. First we using kalman filter and Hungarian algorithm to trace them and extract the original and conventional kinetic parameters. In the second step of this study , using existing algorithms in machine learning domain. In order to analysis , evaluation and classification of fertility performance of each sperm in terms of their motility power . In our activity , we used a support vector machine to classify the sperms in terms of motility power in two existing classes . According to the results , the final output from classification using support vector machine method , with accuracy of 88.9 percent , could predict the class related to sperms . The importance of this research is to carry out the classification operation for all the main features available for the sperms . therefore, it is shown that , for assessing the quality of motion , parametric methods can be introduced to classify them using the parameters from motion detection .

Keywords:Seperm Motility, Fertility Evaluating, Target Tracking, Kalman Filter, Hungarian Algorithm, Classification Algorithm , Suport Vector Machine, K-means Algorithm



Shahrood University of Technology

Faculty of Computer Engineering

M.Sc. Thesis in Artificial Intelligence Engineering

Evaluation the Dynamic Behavior of Sperms by Using Video Images to Categorize Them in Terms of Fertility Performance

By: Masoud Khouri

Supervisors:

Dr. Hamid Hassanpour

Advisor:

Dr . Niloufar Sedifi

July 2019