

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

# استخراج آب های سطحی و ردیابی سیل با استفاده از ادغام داده های سنجش از دوری

نگارنده: مصطفی ثقفی

اساتید راهنما

دکتر احمد احمدی

دکتر بهناز بیگدلی

شهریور ۱۴۰۰

شماره: ۵۳۶ / عت

تاریخ: ۱۴۰۰/۷/۲۴

ویرایش:

باسمه تعالی

فرهنگی ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد

مربوط به ورودی های ۹۲ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مصطفی ثقفی با شماره دانشجویی ۹۷۰۴۷۰۴ رشته عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی تحت عنوان "استخراج آب های سطحی و ردیابی سیل با استفاده از ادغام داده های سنجنش از دوری" که در تاریخ ۱۴۰۰/۰۶/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

| <input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰<br><input type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۸/۹۹<br><input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹<br><input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹<br><input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد<br>نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی |                    |            |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|-------|
| عضو هیأت داوران                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
| ۱- استاد راهنمای اول                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | احمد احمدی         | دانشیار    |       |
| ۲- استاد راهنمای دوم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | بهناز بیگدلی       | استادیار   |       |
| ۳- استاد مشاور                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |            |       |
| ۴- استاد داور اول                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | امیرعباس عابدینی   | استادیار   |       |
| ۵- استاد داور دوم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | سعید قرهچلو        | استادیار   |       |
| ۶- نماینده تحصیلات تکمیلی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | محسن کرامتی        | استادیار   |       |

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

تقديم اثر

شکر و قدردانی

# تعمدنامه

اینجانب **مصطفی ثقفی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیل با استفاده از ادغام داده‌های سنجش از دوری تحت راهنمایی دکتر احمد احمدی و دکتر بهناز بیگدلی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

شاهرود

• ۱۴۰۲/۰۵/۰۵

## 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 می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

شناسایی و پایش آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب با استفاده از علم سنجش از دور بدلیل اهمیت در تامین نیازهای بشر و همچنین تصمیم‌گیری‌های سیاسی، در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. از همین‌رو، در این مطالعه با استفاده از سیستم‌های سنجش از دور و با بکارگیری سنجنده‌های سنتینل-۱، سنتینل-۲ و لندست-۸ به مطالعه بر روی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب پرداخته شده است. در این پایان‌نامه دو رویکرد بکار گرفته شد تا در ابتدا آب‌های سطحی شناسایی و سپس سیلاب با دقت بالایی شناسایی شود. هر دو رویکرد از دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری تشکیل شده است تا بتوان با تلفیق نتایج بدست آمده با یکدیگر دقت شناسایی آب‌های سطحی را افزایش داد. از همین رو، در رویکرد اول پس از افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر لندست-۸ از ۳۰ متر به ۱۰ متر، شاخص‌های آب همچون NDWI، MNDWI، AWEI و WI<sub>2015</sub> استخراج گشته و در ادامه با ترکیب اطلاعات بدست آمده از سنجنده‌های نوری با داده‌های سنتینل-۱ در یک لایه به طبقه‌بندی آن‌ها می‌پردازیم. نتایج خروجی طبقه‌بندی کننده‌های SVM، NN و RF که معرف رویکرد ادغام داده‌ها می‌باشد، توسط رویکرد ادغام تصمیم‌گیری و توسط الگوریتم رای‌گیری حداکثری با یکدیگر تلفیق می‌شوند. در رویکرد دوم با بهره‌مندی از روش رویکرد اول، آب‌های سطحی برای قبل و بعد از سیلاب شناسایی و سپس با تفریق نتایج از یکدیگر آب ساکن حذف شده و آب سیلابی به‌طور دقیقی

شناسایی می‌شود. در انتها نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌های SVM، NN، RF و KNN با استفاده از الگوریتم رای‌گیری حداکثری و دمپسترشافر با یکدیگر تلفیق شده و دقت نتایج خروجی را به حد خوبی بهبود می‌دهند. دقت‌های بدست آمده از هر دو رویکرد نشان می‌دهد که روش ادغام تصمیم‌گیری سبب افزایش دقت نتایج نهایی شده است. در رویکرد اول شاهد آن هستیم که روش ادغام تصمیم‌گیری توانسته است دقت کلی را به میزان ۲ درصد نسبت به طبقه‌بندی کننده RF که از دقت بهتری نسبت به دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها برخوردار بود، از ۹۶/۸۷ به ۹۸/۸۶ درصد برای سد گلوارد، و از ۹۶/۷۳ به ۹۸/۵۶ درصد برای شهر نکا به‌منظور شناسایی آب‌های سطحی، افزایش دهد. همچنین در رویکرد دوم، روش ادغام تصمیم‌گیری دقتی حدود ۱/۵ درصد بیشتر از روش ادغام داده‌ها ثبت کرد. این رویکرد باعث شد تا دقت کلی طبقه‌بندی کننده RF برای تصاویر سیلابی سنتینل-۱ و سنتینل-۲ به ترتیب از ۹۱/۵۱ و ۹۴/۶۱ درصد به ۹۴/۸۹ درصد برای رای‌گیری حداکثری و ۹۵/۷۱ درصد برای ادغام‌گر دمپسترشافر افزایش یابد. دو رویکرد پیشنهادی به خوبی نشان می‌دهند که رویکرد ادغام تصمیم‌گیری برای هر دو منطقه مطالعاتی به خوبی سبب افزایش دقت شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب شده است.

**کلمات کلیدی :** آب‌های سطحی، سیلاب، سنجش از دور، ادغام داده، ادغام تصمیم‌گیری

# لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- M. Saghafi, A. Ahmadi, and B. Bigdeli, "Sentinel-1 and Sentinel-2 data fusion system for surface water extraction," Journal of Applied Remote Sensing, vol. 15, no. 01, pp. 1–21, 2021, doi: 10.1117/1.jrs.15.014521.

۲- م. ثقفی، ا. احمدی، و ب. بیگدلی، "شناسایی آب های سطحی با رویکرد ادغام داده های سنجنده های سنچس از راه دور سنتینل ۲- و لندست ۸،" دوازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، ۱۳۹۹، [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1120644>

۳- م. ثقفی، ا. احمدی، ب. بیگدلی، " روشی برای شناسایی آب های سطحی با استفاده از ادغام داده های ماهواره ای نوری و راداری،" مجله علوم و مهندسی آب خیزداری ایران

# فهرست مطالب

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| و  | فهرست جداول                   |
| ح  | فهرست اشکال                   |
| ل  | فهرست علائم                   |
| ۱  | فصل ۱: کلیات                  |
| ۲  | ۱-۱ مقدمه.....                |
| ۶  | ۲-۱ سنجش از دور.....          |
| ۶  | ۱-۲-۱ سنجنده‌های چندطیفی..... |
| ۱۳ | ۲-۲-۱ سنجنده‌های راداری.....  |
| ۱۷ | ۳-۱ ضرورت تحقیق.....          |
| ۲۰ | ۴-۱ اهداف تحقیق.....          |
| ۲۱ | ۵-۱ فرضیات تحقیق.....         |
| ۲۲ | ۶-۱ ساختار پایان‌نامه.....    |

۲-۱ مقدمه ..... ۲۴

۲-۲ مطالعات شناسایی آب‌های سطحی با استفاده از رویکرد تک سنجنده‌ای ..... ۲۵

۲-۲-۱ استفاده از سنجنده‌های چند طیفی ..... ۲۵

۲-۲-۲ استفاده از سنجنده‌های راداری ..... ۳۰

۲-۳ مطالعات شناسایی آب‌های سطحی با استفاده از رویکرد چند سنجنده‌ای ..... ۳۴

۲-۴ نتیجه‌گیری ..... ۳۹

۳-۱ مقدمه ..... ۴۲

۳-۲ روش‌های تحقیق ..... ۴۲

۳-۲-۱ پردازش داده‌های نوری ..... ۴۴

۳-۳ پردازش داده‌های راداری ..... ۵۱

۳-۳-۱ پیش‌پردازش ..... ۵۲

۳-۳-۲ آستانه‌گذاری ..... ۵۳

۳-۴ طبقه‌بندی کننده ..... ۵۴

۳-۴-۱ طبقه‌بندی کننده‌های نظارت نشده ..... ۵۵

|    |                                                                                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۶ | .....۲-۴-۳ طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده                                                 |
| ۶۴ | .....۵-۳ ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها                                                        |
| ۶۴ | .....۱-۵-۳ رای‌گیری حداکثری MV                                                           |
| ۶۸ | .....۲-۵-۳ ادغام‌گر دمپسترشافر DS                                                        |
| ۶۴ | .....۶-۳ صحت سنجی                                                                        |
| ۶۶ | .....۱-۶-۳ دقت کلی (OA)                                                                  |
| ۶۶ | .....۲-۶-۳ ضریب کاپا (Kappa)                                                             |
| ۶۷ | .....۳-۶-۳ Omission خطا                                                                  |
| ۶۷ | .....۴-۶-۳ Commission خطا                                                                |
| ۶۹ | .....۷-۳ روش انجام تحقیق                                                                 |
|    | .....۱-۷-۳ رویکرد پژوهشی اول : شناسایی آب‌های سطحی با ادغام داده‌های سنجنده نوری و       |
| ۷۰ | .....راداری (منطقه مطالعاتی : مازندران)                                                  |
|    | .....۲-۷-۳ رویکرد پژوهشی دوم : ردیابی سیلاب با استفاده از ادغام داده‌های سنجنده سنتینل-۲ |
| ۷۲ | .....و سنتینل-۱                                                                          |
| ۷۵ | .....۸-۳ نتیجه‌گیری                                                                      |

## فصل ۴ : پیاده سازی روش تحقیق و بررسی نتایج

|    |                |
|----|----------------|
| ۷۸ | .....۱-۴ مقدمه |
|----|----------------|

۲-۴ داده‌های مطالعاتی..... ۷۸

۳-۴ منطقه مطالعاتی..... ۸۰

۱-۳-۴ منطقه مطالعاتی اول (مازندران)..... ۸۱

۲-۳-۴ منطقه مطالعاتی دوم (اهواز)..... ۸۳

۴-۴ پیاده‌سازی روش تحقیق..... ۸۵

۱-۴-۴ رویکرد پژوهشی اول : شناسایی آب‌های سطحی با ادغام داده‌های سنجنده نوری و

راداری (منطقه مطالعاتی : مازندران)..... ۸۵

۲-۴-۴ رویکرد پژوهشی دوم: ردیابی سیلاب با روش شناسایی آب‌های سطحی (منطقه

مطالعاتی : اهواز)..... ۱۰۳

۵-۴ نتیجه‌گیری..... ۱۱۹

**فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات** ۱۲۱

۱-۵ مقدمه..... ۱۲۲

۲-۵ بررسی فرضیات مسئله..... ۱۲۲

۳-۵ نتیجه‌گیری..... ۱۲۳

۴-۵ پیشنهادات..... ۱۲۶

۱۲۷

پیوست

۱۲۸

مراجع

# فهرست جداول

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| جدول ۱-۱- اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های غیرفعال بر اساس نوع سنجنده.....                               | ۸   |
| جدول ۲-۱- اطلاعات باندهای سنجنده لندست-۸.....                                                        | ۱۰  |
| جدول ۳-۱- اطلاعات باندهای سنجنده سنتینل-۲.....                                                       | ۱۲  |
| جدول ۴-۱- اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های فعال راداری.....                                              | ۱۴  |
| جدول ۱-۲- دقت نتایج سه رویکرد پیشنهادی.....                                                          | ۲۹  |
| جدول ۱-۳- نمایی از ماتریس خطا برای طبقه‌بندی کننده دو کلاس.....                                      | ۶۵  |
| جدول ۲-۳- بازه بررسی ضریب کاپا.....                                                                  | ۶۶  |
| جدول ۱-۴- اطلاعات سنجنده‌های مورد استفاده در رویکرد اول- آب‌های سطحی.....                            | ۷۹  |
| جدول ۲-۴- داده‌های استفاده شده رویکرد دوم- ردیابی سیلاب.....                                         | ۸۰  |
| جدول ۳-۴- صحت‌سنجی نتایج استفاده از دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری.....                     | ۹۵  |
| جدول ۴-۴- بررسی خطای Commission و Omission برای روش ادغام داده‌ها.....                               | ۹۶  |
| جدول ۵-۴- بررسی خطای Commission و Omission برای روش ادغام تصمیم‌گیری.....                            | ۹۷  |
| جدول ۶-۴- مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش‌های موجود برای شناسایی آب‌های سطحی در منطقه سد گلوارد..... | ۹۸  |
| جدول ۷-۴- مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش‌های موجود برای شناسایی آب‌های سطحی در منطقه شهر نکا.....   | ۹۹  |
| جدول ۸-۴- بررسی روش‌های متفاوت در ادغام داده‌ها منطقه سد گلوارد و شهر نکا.....                       | ۱۰۱ |
| جدول ۹-۴- نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنتینل-۲ و سنتینل-۱ برای سیلاب اهواز.....                         | ۱۱۴ |

جدول ۴-۱۰- مقایسه دو پارامتر Commission و Omission به منظور صحت‌سنجی طبقه‌بندی کننده‌ها

برای داده‌های سنجنده سنتینل-۱ و سنتینل-۲..... ۱۱۴

جدول ۴-۱۱- دقت کلی وضرب کاپا برای نتایج بدست آمده از روش ادغام تصمیم‌گیری..... ۱۱۶

جدول ۴-۱۲- خطای Commission و Omission برای دو ادغام‌گر پیشنهادی..... ۱۱۷

# فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- درصد وقوع بلایای طبیعی بر اساس نوع فاجعه در سالهای ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ ..... ۳
- شکل ۲-۱- مقایسه تعداد بلایای طبیعی بر اساس نوع فاجعه در سالهای ۲۰۱۹-۱۹۸۰ ..... ۳
- شکل ۳-۱- سنجنده فعال و سنجنده غیرفعال ..... ۷
- شکل ۴-۱- کاربردهای سنجنده‌های نوری. (الف) شناسایی زمین‌های کشاورزی و پوشش‌های گیاهی، (ب) شناسایی آب‌های سطحی، (ج) شناسایی مناطق مسکونی و راه‌ها ..... ۸
- شکل ۵-۱- سنجنده سنتینل-۲ ..... ۱۱
- شکل ۶-۱- سنجنده راداری سنتینل-۱ ..... ۱۵
- شکل ۷-۱- حالت‌های جمع‌آوری تصویر توسط سنجنده سنتینل-۱ ..... ۱۵
- شکل ۸-۱- انواع مدل‌های قطبش ..... ۱۷
- شکل ۱-۲- روش‌های پیشنهادی به‌منظور شناسایی آب‌های سطحی با رویکردهای متفاوت در منطقه نپال ..... ۲۸
- شکل ۲-۲- بررسی نتایج Bayik و همکاران ..... ۳۲
- شکل ۳-۲- رویکرد پیشنهادی توسط Beste و همکاران ..... ۳۸
- شکل ۱-۳- روش کلی استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دور ..... ۴۳
- شکل ۲-۳- آستانه‌گذاری محلی ..... ۵۴
- شکل ۳-۳- شبکه عصبی مصنوعی Neural Network ..... ۵۹
- شکل ۴-۳- جنگل تصادفی Random Forest ..... ۶۲

- شکل ۳-۵- نزدیکترین همسایگی K یا KNN..... ۶۳
- شکل ۳-۶- ادغام تصمیم‌گیری یا ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها..... ۶۴
- شکل ۳-۷- رویکرد اول- شناسایی آب‌های سطحی..... ۷۱
- شکل ۳-۸- رویکرد دوم- روش پیشنهادی سری زمانی برای استخراج آبهای سطحی و ردیابی سیلاب منطقه مطالعاتی اهواز..... ۷۴
- شکل ۴-۱- خسارت‌های سیلاب به دو منطقه مطالعاتی..... ۸۱
- شکل ۴-۲- منطقه مطالعاتی اول استان مازندران - نکا..... ۸۱
- شکل ۴-۳- منطقه مطالعاتی اول- (الف) سد گلوارد واقع در شهرستان نکا- (ب) شهر نکا..... ۸۲
- شکل ۴-۴- منطقه مطالعاتی دوم- اهواز - رودخانه کارون..... ۸۴
- شکل ۴-۵- تصاویر پن‌شارپ شده سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ برای هر دو بخش مطالعاتی. (الف) تصویر ۱۵ متری سنجنده لندست-۸ برای منطقه سد گلوارد. (ب) باند شبه پانکروماتیک سنتینل-۲. (پ) تصویر ۱۰ متری شده توسط ادغام داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸..... ۸۶
- شکل ۴-۶- ویژگی‌های استخراج شده از منطقه اول مطالعاتی (سد گلوارد). (الف) شاخص NDWI، (ب) شاخص MNDWI، (پ) شاخص AWEI-sh، (ت) شاخص AWEI-nsh، (ث) شاخص WI<sub>2015</sub>..... ۸۷
- شکل ۴-۷- ویژگی‌های استخراج شده از منطقه اول مطالعاتی (شهر نکا). (الف) شاخص NDWI، (ب) شاخص MNDWI، (پ) شاخص AWEI-sh، (ت) شاخص AWEI-nsh، (ث) شاخص WI<sub>2015</sub>..... ۸۸
- شکل ۴-۸- پیکسل‌های آموزش طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده رنگ آبی= آب، رنگ قرمز= غیر-آب. الف- سد گلوارد. ب- شهر نکا..... ۸۹
- شکل ۴-۹- پیکسل‌های صحت‌سنجی طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده. الف- سد گلوارد. ب- شهر نکا..... ۹۰

شکل ۴-۱۰- نتایج بدست آمده برای منطقه مطالعاتی اول (سد گلوارد). (الف) خروجی طبقه‌بندی کننده SVM، (ب) خروجی طبقه‌بندی کننده NN، (پ) خروجی طبقه‌بندی کننده RF، (ت) نتیجه ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها توسط رای‌گیری حداکثری..... ۹۲

شکل ۴-۱۱- نتایج بدست آمده برای منطقه مطالعاتی اول (نکارود). (الف) خروجی طبقه‌بندی کننده SVM، (ب) خروجی طبقه‌بندی کننده NN، (پ) خروجی طبقه‌بندی کننده RF، (ت) نتیجه ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها توسط رای‌گیری حداکثری..... ۹۳

شکل ۴-۱۲- نمودار ضریب کاپا و دقت کلی برای منطقه مطالعاتی اول. سد گلوارد و شهر نکا..... ۹۵

شکل ۴-۱۳ دقت کلی و ضریب کاپا برای مقایسه دیگر روشهای شناسایی آب‌های سطحی در مقابل روش پیشنهادی. (الف) دقت کلی برای منطقه سد گلوارد. (ب) ضریب کاپا برای منطقه سد گلوارد. (پ) دقت کلی برای منطقه شهر نکا. (ت) ضریب کاپا برای منطقه شهر نکا..... ۱۰۰

شکل ۴-۱۴- استفاده از الگوریتم LMVM به منظور پن‌شارپ کردن تصاویر سنتینل-۲. (الف) تصویر با توان تفکیک مکانی ۲۰ متری، (ب) باند شبه پانکروماتیک، (پ) تصویر پن‌شارپ شده سنتینل-۲ با توان تفکیک مکانی ۱۰ متری..... ۱۰۴

شکل ۴-۱۵- شاخص‌های آب برای داده‌های قبل از سیلاب. (الف) شاخص NDWI. (ب) شاخص MNDWI. (پ) شاخص AWEI\_nsh. (ت) شاخص WI2015..... ۱۰۵

شکل ۴-۱۶- شاخص‌های آب برای داده‌های بعد از سیلاب. (الف) شاخص NDWI. (ب) شاخص MNDWI. (پ) شاخص AWEI\_nsh. (ت) شاخص WI2015..... ۱۰۶

شکل ۴-۱۷- تصاویر قبل و بعد سیلاب به همراه تصویر شناسایی تغییرات که در آب‌های سیلابی به رنگ سفید مشخص شده است. (الف) تصویر قبل سیلاب و در تاریخ ۰۳/۱۵ ثبت شده است که آب‌های ساکن را نشان می‌دهد. (ب) تصویر بعد سیلاب که در تاریخ ۰۴/۱۴ ثبت گشته است و آب‌های ساکن و سیلابی

- را نشان می‌دهد. (پ) تصویر شناسایی تغییرات که در آن آب‌های ساکن از آب سیلابی حذف شده است.
- ۱۰۷.....
- شکل ۴-۱۸- تصویر آستانه‌گذاری شده سراسری..... ۱۰۸.....
- شکل ۴-۱۹- پیکسل‌های آموزش طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده رنگ زرد= آب، رنگ سبز= غیر آب.
- الف- مجموعه داده آموزش آب. ب- مجموعه داده آموزش غیر-آب..... ۱۰۹.....
- شکل ۴-۲۰- نتایج طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده SVM، NN، RF، KNN برای هر دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ بطوری‌که تصاویر سمت چپ خروجی تصاویر سنتینل-۱ و سمت راست خروجی تصاویر سنتینل-۲. (الف) طبقه‌بندی کننده SVM برای سنجنده سنتینل-۱. (ب) طبقه‌بندی کننده SVM برای سنجنده سنتینل-۲. (پ) طبقه‌بندی کننده NN برای سنجنده سنتینل-۱. (ت) طبقه‌بندی کننده NN برای سنجنده سنتینل-۲. (ث) طبقه‌بندی کننده RF برای سنجنده سنتینل-۱. (ج) طبقه-بندی کننده RF برای سنجنده سنتینل-۲. (د) طبقه‌بندی کننده KNN برای سنجنده سنتینل-۱. (ی) طبقه‌بندی کننده KNN برای سنجنده سنتینل-۲..... ۱۱۲.....
- شکل ۴-۲۱- روش ادغام تصمیم‌گیری بوسیله دو ادغام گر رای‌گیری حداکثری و دمپسترشافر. (الف) رای‌گیری حداکثری. (ب) دمپسترشافر..... ۱۱۸.....
- شکل ۴-۲۲- مقایسه دقت کلی روش‌های ادغام تصمیم‌گیری با داده‌های بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده..... ۱۱۸.....
- شکل ۴-۲۳- مقایسه دو نقطه در تصویر خروجی به‌جهت مقایسه دقت در شناسایی آب‌های سطحی و استخراج سیل..... ۱۱۹.....

# فہرست علائم

|              |                                            |
|--------------|--------------------------------------------|
| <b>NDWI</b>  | Normalized Difference Water Index          |
| <b>MNDWI</b> | Modified Normalized Difference Water Index |
| <b>AWEI</b>  | Automated Water Extraction Index           |
| <b>WI</b>    | Water Index                                |
| <b>GS</b>    | Gram-Schmidt                               |
| <b>LMVM</b>  | Local Mean and Variance Matching           |
| <b>SVM</b>   | Support Vector machine                     |
| <b>NN</b>    | Neural Network                             |
| <b>RF</b>    | Random Forest                              |
| <b>KNN</b>   | K- Nearest Neighbors                       |
| <b>MV</b>    | Majority Voting                            |
| <b>DS</b>    | Dempster–Shafer                            |
| <b>CM</b>    | Confusion Matrix                           |
| <b>OA</b>    | Overall Accuracy                           |
| <b>K</b>     | Kappa                                      |

# فصل ۱: کلیات

## ۱-۱ مقدمه

وابستگی جوامع امروزی و اکوسیستم به محیط زیست باعث شده که در چند سال اخیر تغییرات محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار باشند [۱]–[۴]. در این میان، آب‌های سطحی (آب‌های جاری بر سطح زمین از قبیل باتلاق‌ها، دریاچه‌ها، و رودخانه‌ها) را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین نیازهای جامعه بشری عنوان کرد، به‌طوری‌که هرنوع تغییر در پارامترهای کمی و کیفی آن سبب ایجاد خسارات جبران ناپذیری می‌شود. [۵].

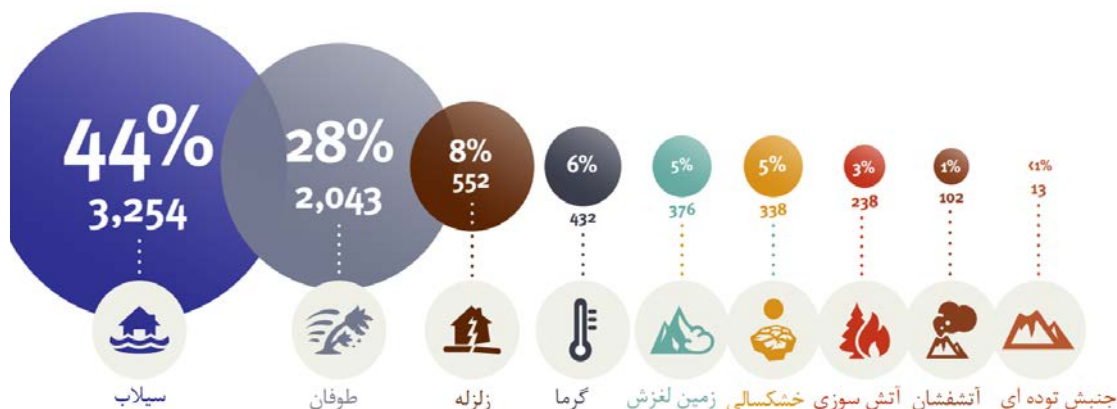
سیل به عنوان نوعی از آب‌های سطحی مسئله حیاتی به شمار می‌رود، از این‌رو پایش و شناسایی آب‌های سطحی که سبب ایجاد سیل می‌شوند بسیار اهمیت پیدا می‌کند [۱]. سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن سطح آب در رودخانه به صورت غیر منتظره در اثر برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی آب و هوایی در یک منطقه، افزایش پیدا کرده باشد و باعث خسارات مالی و جانی گردد [۶]. برخی از علل وقوع انواع سیلاب را می‌توان ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد، لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد. با گسترش شهرنشینی، نفوذناپذیری زمین‌ها افزایش یافته است که این موضوع موجب افزایش حجم روان آب ناشی از باران در فضای شهری شده و سالانه باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری در نقاط مختلف جهان می‌شود.

در میان سوانح طبیعی، سیل بیشترین خسارت را به بخش‌های کشاورزی، شیلات و مسکن وارد می‌کند و به‌شدت روی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تاثیر می‌گذارد. از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده خسارات ناشی از سیل، تغییر کاربری اراضی و توسعه ساخت و سازها و دخل و تصرف غیر مجاز در بستر حریم رودخانه می‌باشد [۷].

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، فراوانی وقوع سیل بسیار بیشتر از سایر بلایای طبیعی می‌باشد. در سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ میلادی، برآورد شده است که حدود ۴۴ درصد از کل فاجعه‌های

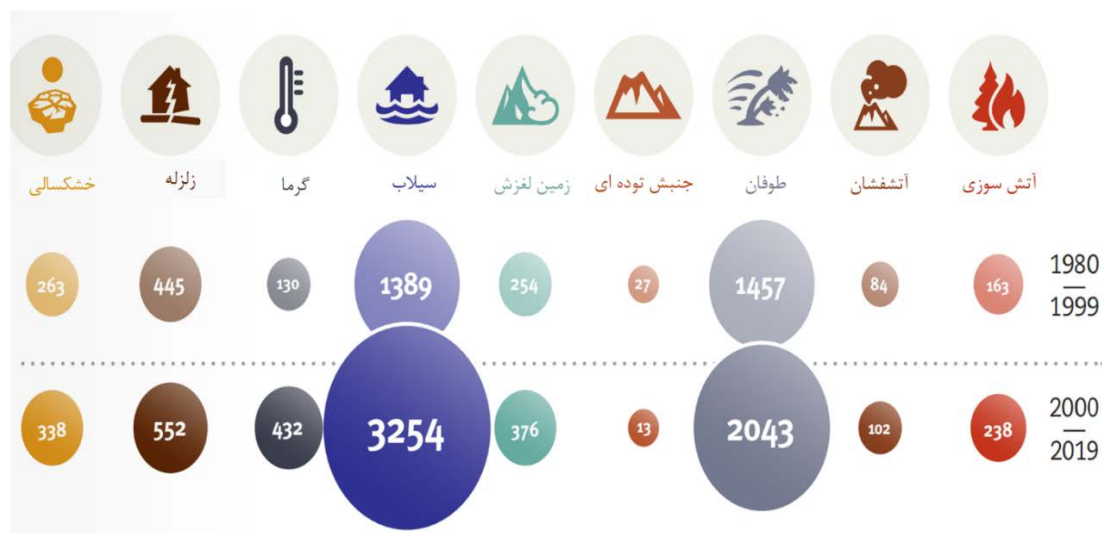
مربوط به آب و هوا به سیل اختصاص دارد و با توجه به شکل ۱-۲ تعداد رخداد های ناشی از سیل به بیش از ۳۰۰۰ واقعه مستند در جهان رسیده است. گستردگی رخداد و قدرت تخریب آن پژوهشگران را وادار کرده است تا این پدیده را به طور کامل بررسی کنند [۸]، [۹].

#### درصد رخداد های طبیعی بین سال های ۲۰۱۹-۲۰۰۰



شکل ۱-۱- درصد وقوع بلایای طبیعی بر اساس نوع فاجعه در سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ [۱۰]

#### مقایسه تعداد رخداد های طبیعی در سال های ۲۰۱۹-۱۹۸۰



شکل ۲-۱- مقایسه تعداد بلایای طبیعی بر اساس نوع فاجعه در سال های ۲۰۱۹-۱۹۸۰ [۱۰]

انواع سیلاب را می توان به پنج مدل طبقه بندی کرد، این مدل ها عبارتند از [۱۱]-[۱۳] :

- سیلاب‌های ناگهانی<sup>۱</sup>

در مناطقی که شیب تند وجود دارد، باران شدید می‌تواند باعث شود که بستر رودخانه‌ای که در ابتدا آب بسیار کمی را نگه داشته یا بدون آب است، ناگهان پر از آب روان شود. آب باران در دامنه‌ها جمع آوری می‌شود سپس به سرعت در سرازیری جریان می‌یابد و تمام آب در بستر رودخانه جمع می‌شود. سطح آب به سرعت بالا می‌رود و آب از لبه رودخانه عبور می‌کند و سبب ایجاد سیل می‌شود.

- سیلاب‌های ساحلی<sup>۲</sup>

به بیان ساده، سیلاب ساحلی زمانی رخ می‌دهد که ساحل توسط امواج دریا به زیر آب فرو رود. علت چنین موج‌های سهمگین و خطرناکی طوفان‌های شدید است که از سمت دریا به ساحل می‌وزد و به سبب آن امواج بلندی تشکیل شده و تا مسافت طولانی ادامه پیدا می‌کند. به سبب چنین اتفاقی آب دریا سواحل شنی را شسته و به حاشیه شهرها ورود پیدا می‌کند.

- سیلاب‌های شهری<sup>۳</sup>

سیلاب شهری به نوعی از سیلاب گفته می‌شود که علت آن عدم وجود زهکشی مناسب در مناطق شهری می‌باشد. از آنجا که خاک کمی وجود دارد که می‌تواند برای ذخیره آب مورد استفاده قرار گیرد تقریباً همه بارش‌ها باید به آبروها و یا سیستم فاضلاب منتقل شوند. هنگامی که سیستم فاضلاب شهری و کانال‌های تخلیه ظرفیت لازم برای تخلیه مقدار باران در حال بارندگی را ندارند، بارندگی شدید می‌تواند باعث جاری شدن سیل شود و حتی ممکن است آب در یک مکان وارد سیستم فاضلاب شود و سپس در جاهای دیگر شهر بالا آید.

- سیلاب‌های رودخانه‌ای<sup>۴</sup>

---

<sup>۱</sup> Flash Floods

<sup>۲</sup> Coastal Floods

<sup>۳</sup> Urban Floods

<sup>۴</sup> River Floods

بارندگی در یک دوره طولانی و یک منطقه گسترده می‌تواند باعث جاری شدن سیل در رودخانه‌های اصلی شود. آب می‌تواند مناطق وسیعی را پوشش دهد و در نتیجه مناطق پایین دست درحالی‌که باران زیادی دریافت نکرده‌اند ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرند.

- سیلاب آبگیری<sup>۵</sup>

جاری شدن نوعی سیل است که در مناطق نسبتاً مسطح رخ می‌دهد. آب باران معمولاً در زمین، در کانال‌ها یا دریاچه‌ها ذخیره، تخلیه یا پمپ می‌شود. هنگامی که آب باران بیش از حد توان سیستم وارد سیستم آب می‌تواند از سیستم خارج شده و سبب بروز سیلاب گردد. این دسته از سیل، باران مستقیماً بوجود آورنده سیل می‌باشد، به همین دلیل به آن "سیلاب بارانی" نیز می‌گویند.

فقط در یک سال (سال ۹۸) خسارات ناشی از سیل ناگهانی در ایران بسیار تکان‌دهنده و قابل تامل بود. براساس اعلام سازمان صدا و سیما در ۱۶ فروردین فروردین ۱۳۹۸، ۵۰ نفر در استان‌های جنوب و غرب کشور در مدت سیل‌های فروردین ۱۳۹۸ جان خود را از دست داده‌اند. از این تعداد ۲۱ نفر در شیراز، ۳ نفر در خراسان شمالی، ۲ نفر در کهگیلویه و بویراحمد، ۱۵ نفر در لرستان، ۵ نفر در استان همدان، ۲ نفر در کرمانشاه، ۱ نفر در خوزستان، ۱ نفر در استان سمنان و ۱ نفر هم در خراسان رضوی بودند. همچنین افزون بر این افراد در جریان سیل گلستان و مازندران نیز به ترتیب در این استان‌ها ۸ و ۵ نفر کشته شدند. به گفته وزارت کشور خسارت سیل اخیر در ایران را بین ۳۰ تا ۳۵ هزار میلیارد تومان برآورد شده است و حدود ۲۵ استان و بیش از چهار هزار و ۴۰۰ روستا در کشور درگیر سیل شده‌اند. [۱۴]

راهکارهای مدیریتی متفاوتی از نوع زودگذر و آنی تا دراز مدت و دائمی برای کنترل و استفاده از پتانسیل پنهان سیل و سیلاب وجود دارد که بسته به نوع منطقه و شرایط محیطی اجتماعی می‌تواند تغییر کند. ایجاد سدهای کوتاه یا آب بندهایی در مسیر پیش‌بینی شده سیلاب با هدف تغذیه سفره‌های

---

<sup>۵</sup> Pluvial Floods

زیرزمینی، علاوه بر کنترل جریان‌های پرفشار ناشی از سیلاب با جمع‌آوری مواد آبرفتی از شسته شدن زمین‌ها در یک نقطه خاص و آماده‌سازی برای رشد صنعت کشاورزی، مانع از افزایش دبی ناگهانی رودخانه پایین دست نیز می‌شود. و یا با آماده‌سازی بستر رودخانه و لایروبی مسیل قبل از وقوع سیلاب می‌توان از قدرت تخریب‌کننده سیلاب تا حد بسیاری زیادی کم کرد.

## ۲-۱- سنجش از دور

سیستم‌های سنجش از دور<sup>۶</sup> در شناسایی عوارض زمین و همچنین تهیه مجموعه داده از سطح زمین، نقش مهمی ایفا می‌کنند [۱۵]. در دو دهه اخیر به‌منظور شناسایی و پایش منابع آبی همچون شناسایی دریاچه‌ها، پیش‌بینی سیل و ارزیابی کیفیت منابع آب، نظارت بر تغییرات ساحل و فرسایش آن، سنجنده‌های سنجش از دور بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۶].

### ۱-۲-۱- سنجنده‌های چندطیفی

سنجنده‌های سنجش از دور جهت جمع‌آوری داده مطابق شکل ۱-۳ به دو دسته فعال<sup>۷</sup> و غیرفعال<sup>۸</sup> تقسیم می‌شوند. در دسته غیرفعال (تک طیفی<sup>۹</sup>، چندطیفی<sup>۱۰</sup> و فراطیفی<sup>۱۱</sup> و ماکروویو<sup>۱۲</sup>) امواج نوری تابیده شده به سطح زمین توسط سنجنده دریافت و تحلیل می‌شود. مهم‌ترین ویژگی این دسته از سنجنده‌ها، توانایی آن‌ها در دریافت اطلاعات باندهای مرئی و مادون قرمز می‌باشد، به‌طوری‌که طیف

---

<sup>۶</sup> Remote sensing

<sup>۷</sup> Active

<sup>۸</sup> Passive

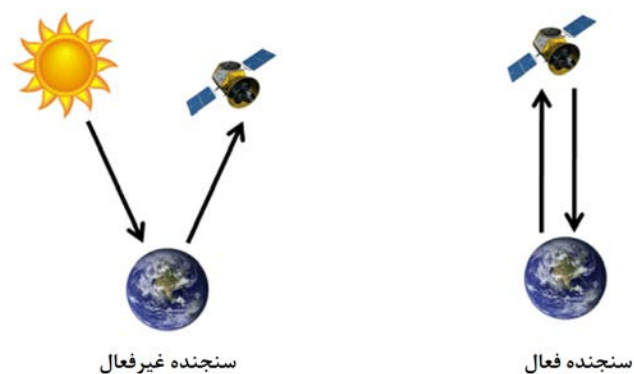
<sup>۹</sup> Panchromatic

<sup>۱۰</sup> Multispectral

<sup>۱۱</sup> Hyperspectral

<sup>۱۲</sup> Microwave

وسیع‌تری از داده‌ها را در جهت بررسی عوارض سطح زمین با دقت خوبی در اختیارمان قرار می‌دهند. در مقابل در شرایط آب و هوایی صاف و بدون هیچ گونه ابر، مه و بارندگی و فقط در طول روز که نور حاصل از تابش خورشید به سطح زمین برخورد دارد، قادر به دریافت اطلاعات می‌باشند.



شکل ۱-۳- سنجنده فعال و سنجنده غیرفعال [۱۷]

یکی از کاربردهای تصاویر چندطیفی شناسایی و تشخیص آب‌های سطحی می‌باشد، به‌طوری‌که اگر ابرها، درختان و پوشش‌های گیاهی شناور، سبب پوشیده شدن سطح آب نگردند، آب‌های سطحی و سیل به راحتی قابل شناسایی می‌باشند [۱۸]. به دلیل برخورداری سنجنده‌های چندطیفی از باندهای مادون قرمز و حرارتی، پوشش‌های گیاهی و آب‌های سطحی و مناطق سیل‌زده به وضوح قابل شناسایی هستند.

باندهای طیفی که برای پوشش گیاهی و شناسایی آب بیشتر استفاده می‌شود، سبز، قرمز و مادون قرمز می‌باشد که مادون قرمز می‌تواند به شدت توسط آب جذب شود، اما توسط زمین منعکس می‌شود. بنابراین باند مادون قرمز عمدتاً برای تشخیص مناطق سیل‌زده، رودخانه و آب‌های سطحی موثر هستند [۱۹]. علاوه بر این مطابق شکل ۱-۴، شناسایی پوشش‌های گیاهی، جاده‌ها، و مناطق مسکونی به راحتی

توسط این دسته از سنجنده‌ها قابل جداسازی و تشخیص می‌باشد.



شکل ۱-۴- کاربردهای سنجنده‌های نوری. (الف) شناسایی زمین‌های کشاورزی و پوشش‌های گیاهی، (ب) شناسایی آب‌های سطحی، (ج) شناسایی مناطق مسکونی و راه‌ها

همچنین در جدول ۱-۱ تعدادی از سنجنده‌های غیرفعال چندطیفی به همراه اطلاعات کاربردی آن‌ها از قبیل توان تفکیک زمانی که بازه زمانی بین هر دوره تصویربرداری سنجنده‌ها را نشان می‌دهد به همراه دقت مکانی آن‌ها، معرفی شده است.

جدول ۱-۱- اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های غیرفعال بر اساس نوع سنجنده

| نوع<br>Type              | سنجنده<br>Sensor | توان تفکیک زمانی<br>Temporal resolution | توان تفکیک مکانی<br>Spatial resolution |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| تک طیفی<br>Panchromatic  | Landsat          | ۱۶ روز                                  | ۱۵ متر                                 |
|                          | Spot             | ۵ روز                                   | ۱,۵ تا ۱۰ متر                          |
| چندطیفی<br>Multispectral | Landsat          | ۱۶ روز                                  | ۳۰ تا ۱۲۰ متر                          |
|                          | Spot             | ۵ روز                                   | ۶ تا ۲۰ متر                            |
|                          | Sentinel-2       | ۱۰ روز                                  | ۱۰ تا ۶۰ متر                           |
| فراطیفی                  | AVIRS            | ۳۶۵ روز                                 | ۲۰ متر                                 |

|        |        |               |               |
|--------|--------|---------------|---------------|
| ۳۰ متر | ۱۶ روز | EO-1 Hyperion | Hyperspectral |
|--------|--------|---------------|---------------|

در بین سنجنده‌های نوری چندطیفی مورد مطالعه در این پایان‌نامه، سنجنده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ علاوه بر توان تفکیک مکانی مناسب، از توان تفکیک زمانی مشابهی نیز نسبت به هم برخوردار هستند و مهم‌ترین مزیت این دو سنجنده به رایگان بودن و در دسترس بودن داده‌های آن‌ها می‌توان اشاره کرد.

### ۱-۲-۱-۱ لندست-۸

لندست-۸، نتیجه همکاری بین ناسا (اداره ملی هوانوردی و فضایی) و USGS، جدیدترین ماهواره از برنامه لندست است. ابزارهای لندست در باند X و در باند ۸-۱۲ گیگاهرتز (طول موج ۲/۵-۳/۷۵  $\mu\text{m}$ ) از طیف الکترومغناطیسی کار می‌کنند و از توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه برخوردار می‌باشد، اما همراه با مدل قبلی خود، لندست ۷، چرخه تکرار ترکیبی لندست فقط ۸ روز است [۲۰].

سنجنده لندست-۸ از دو ابزار تصویربرداری عملیاتی (OLI)<sup>۱۳</sup> و سنسور مادون قرمز حرارتی (TIRS)<sup>۱۴</sup> برخوردار می‌باشد. سنسور OLI داده‌ها را در ۹ باند موج کوتاه با وضوح مکانی ۳۰ متر (۸ باند) و ۱۵ متر (۱ باند) جمع‌آوری می‌کند. TIRS دارای دو باند حرارتی موج بلند است که هر دو با وضوح ۱۰۰ متر دمای سطح زمین را پایش می‌کنند. در جدول ۱-۲ مشخصات باندهای سنجنده لندست-۸ ذکر شده است.

<sup>۱۳</sup> Operational Land Imager

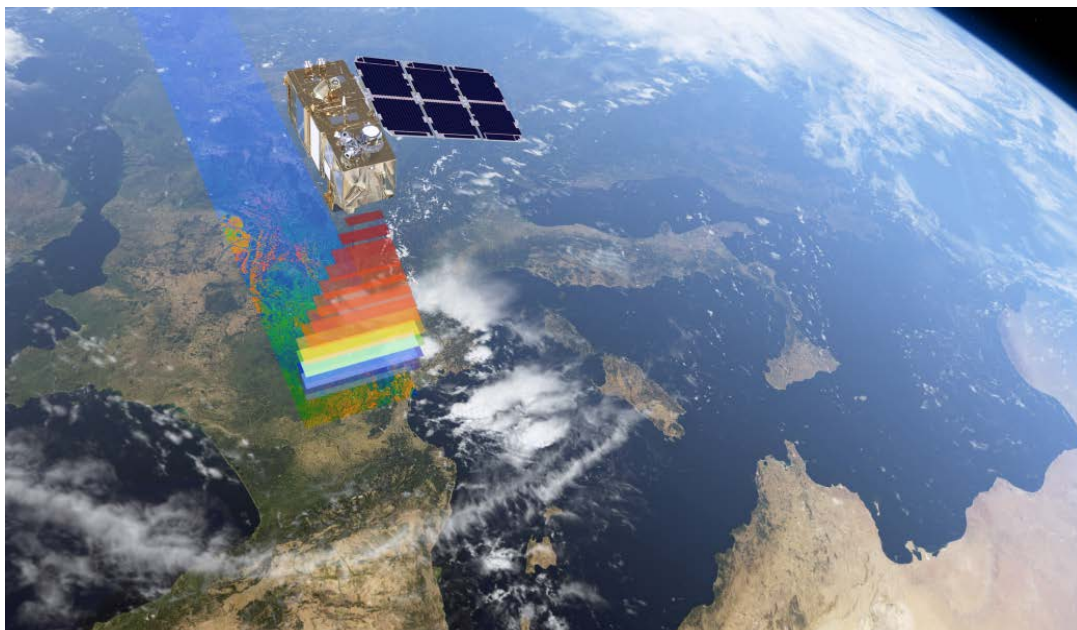
<sup>۱۴</sup> Thermal Infrared Sensor

جدول ۱-۲- اطلاعات باندهای سنجنده لندست-۸

| نوع<br>سنسور | شماره<br>باند | نام باند                     | میانگین طول موج<br>( $\mu\text{m}$ ) | توان تفکیک<br>مکانی (m) |
|--------------|---------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| OLI          | ۱             | Coastal / Aerosol            | ۰/۴۵-۰/۴۳                            | ۳۰                      |
|              | ۲             | Blue                         | ۰/۵۱-۰/۴۵                            | ۳۰                      |
|              | ۳             | Green                        | ۰/۶۰-۰/۵۲                            | ۳۰                      |
|              | ۴             | Red                          | ۰/۶۸-۰/۶۳                            | ۳۰                      |
|              | ۵             | Near Infrared                | ۰/۸۸-۰/۸۴                            | ۳۰                      |
|              | ۶             | Short Wavelength<br>Infrared | ۱/۶۶-۱/۵۶                            | ۳۰                      |
|              | ۷             | Short Wavelength<br>Infrared | ۲/۳-۲/۱                              | ۳۰                      |
|              | ۸             | Panchromatic                 | ۰/۶۸-۰/۵۰                            | ۱۵                      |
|              | ۹             | Cirrus                       | ۱/۳۹ - ۱/۳۶                          | ۳۰                      |
| TIRS         | ۱۰            | Long Wavelength<br>Infrared  | ۱۱/۳-۱۰/۳                            | ۱۰۰                     |
|              | ۱۱            | Long Wavelength<br>Infrared  | ۱۲/۵-۱۱/۵                            | ۱۰۰                     |

#### ۲-۱-۲-۱ سنیتیل-۲

دومین سری از سنجنده‌های سنیتیل همانند سری قبلی در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ ماموریت خود را با دو ماهواره سنیتیل-۲ (A و B) آغاز کرد. سنیتیل-۲ سنجنده‌ای مدار قطبی است که ماموریت آن اخذ تصاویر چندطیفی با وضوح بالا برای پایش پدیده‌هایی همانند آب، خاک، پوشش گیاهی و... می‌باشد (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- سنجنده سنتینل-۲

سنجنده سنتینل-۲ از ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه تشکیل شده که توان تفکیک مکانی ۴ باند آن ۱۰ متری، ۶ باند ۲۰ متری و ۳ باند ۶۰ متری می‌باشد. تفکیک زمانی این سنجنده به منظور تهیه داده‌های نوری ۱۰ روز برای یک دور کامل و ۵ روز برای اولین تصویربرداری می‌باشد. اطلاعات باندهای این ماهواره در جدول ارائه شده است.

جدول ۱-۳- اطلاعات باندهای سنجنده سنتینل-۲

| شماره باند | نام باند            | میانگین طول موج<br>( $\mu\text{m}$ ) | توان تفکیک مکانی<br>(m) |
|------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| ۱          | Coastal aerosol     | ۰/۴۳                                 | ۶۰                      |
| ۲          | Blue                | ۰/۴۹                                 | ۱۰                      |
| ۳          | Green               | ۰/۵۶                                 | ۱۰                      |
| ۴          | Red                 | ۰/۶۵                                 | ۱۰                      |
| ۵          | Vegetation Red Edge | ۰/۷                                  | ۲۰                      |
| ۶          | Vegetation Red Edge | ۰/۷۴                                 | ۲۰                      |
| ۷          | Vegetation Red Edge | ۰/۷۸                                 | ۲۰                      |
| ۸          | NIR                 | ۰/۸۴                                 | ۱۰                      |
| ۸A         | NIR                 | ۰/۸۶                                 | ۲۰                      |
| ۹          | Water vapor         | ۰/۹۴                                 | ۶۰                      |
| ۱۰         | SWIR – Cirrus       | ۱/۳۷                                 | ۶۰                      |
| ۱۱         | SWIR                | ۱/۶۱                                 | ۲۰                      |
| ۱۲         | SWIR                | ۲/۱۹                                 | ۲۰                      |

از کاربردهای سنجنده سنتینل-۲ می‌توان به مطالعات مربوط به کاربری اراضی و پوشش اراضی، مخاطرات طبیعی (فوران های آتشفشانی، سیل)، محاسبه شاخص‌ها و متغیرهای فیزیکی اشاره نمود.

## ۱-۲-۲ سنجنده‌های راداری

سنجنده‌های فعال بدون نیاز به منبع نوری مانند خورشید به تهیه نقشه از عوارض زمین می‌پردازند. بیشترین کاربرد این دسته از سنجنده‌ها برای شناسایی آب‌های سطحی و سیل می‌باشد [۲۱] که سنجنده‌های لایدار و راداری در این دسته جای می‌گیرند. سنجنده لایدار با روشن کردن هدف با نور لیزر پالسی و اندازه‌گیری پالس‌های منعکس شده به حسگر، فاصله تا یک هدف را اندازه‌گیری کرده و مدل سه‌بعدی از منطقه را ایجاد می‌کند، اما استفاده از آن هزینه قابل توجهی را برای نقشه برداری از مساحت زیاد دربر دارد [۲۲].

در مقابل سنجنده راداری با تمرکز ویژه بر روی شناسایی آب‌های سطحی نتایج بسیار قابل قبولی را در شناسایی و ردیابی آب در اختیارمان قرار می‌دهد. از جمله مزایای این قبیل سنجنده‌ها می‌توان به ثبت تصویر در روز شب و عدم محدودیت تصویربرداری در آب و هوای ابری، بارانی و مه‌آلود، و حساسیت بسیار بالای حسگرها به آب‌های سطحی صاف اشاره کرد. یکی از ویژگی‌های منحصربفرد داده‌های راداری ثبت کنتراست بالایی از انرژی برگشتی<sup>۱۵</sup> بین آب‌های صاف و مناطق خشک می‌باشد [۲۳] و با استفاده از این ویژگی منحصربفرد، آب‌های سطحی از غیرآب (جنگل، مناطق مسکونی، جاده، شوره‌زار) به راحتی متمایز می‌شود. اما در مقابل داده‌های تهیه شده توسط این دسته از سنجنده‌ها دارای نویز بالا و دقت پایینی هستند، به همین دلیل استفاده و تفسیر داده‌های بدست آمده نیازمند انجام پیش‌پردازش و تصحیحات گسترده‌ای می‌باشد. در جدول ۱-۴ از سنجنده‌های راداری به‌همراه اطلاعات کاربردی آن‌ها از قبیل توان تفکیک زمانی به‌همراه دقت مکانی آن‌ها معرفی شده‌اند.

---

<sup>۱۵</sup> Backscatter

جدول ۱-۴- اطلاعات تعدادی از سنجنده‌های فعال راداری

| سنجنده       | توان تفکیک زمانی    | توان تفکیک مکانی    |
|--------------|---------------------|---------------------|
| Sensor       | Temporal resolution | Spatial resolution  |
| ERS-1/2 SAR  | ۳۵ روز              | ۲۵ متر              |
| SIR-C/X-SAR  | —                   | ۲۶ متر              |
| ENVISAT      | ۳۵ روز              | ۳۰ متر تا ۱ کیلومتر |
| RADARSAT-1/2 | ۲۴ روز              | ۳ تا ۱۰۰ متر        |
| RISAT-1      | ۲۵ روز              | ۱ تا ۵۰ متر         |
| Sentinel-1   | ۶ تا ۱۲ روز         | ۵ تا ۲۰ متر         |

سنجنده سنتینل-۱ را می‌توان از بهترین سنجنده‌های راداری رایگان در نوع خود قلمداد کرد، به‌نحوی که تفکیک زمانی عکس‌برداری آن با سنجنده‌های نوری لندست-۸ و سنتینل-۲ بسیار نزدیک به هم بوده و داده‌های یکدیگر را به خوبی پوشش می‌دهند.

#### ۱-۲-۲-۱ سنتینل-۱

سنجنده سنتینل-۱ به عنوان یک مأموریت ماهواره‌ای با سرمایه‌گذاری اتحادیه اروپا و توسط آژانس فضایی اروپا در قالب برنامه‌ای متشکل از دو سنجنده انجام شد. تفکیک زمانی این سنجنده به منظور تهیه داده‌های راداری ۱۲ روز برای یک دور کامل و ۶ روز برای اولین تصویربرداری برای هر دو ماهواره سنتینل-۱A و سنتینل-۱B می‌باشد [۲۴]. سنتینل-۱ مجهز به رادار دهانه ترکیبی (SAR)<sup>۱۶</sup> در باند C که در محدوده فرکانس ۴-۸ گیگاهرتز است (طول موج ۷/۵-۳/۷۵ μm)، در قسمت مایکروویو طیف

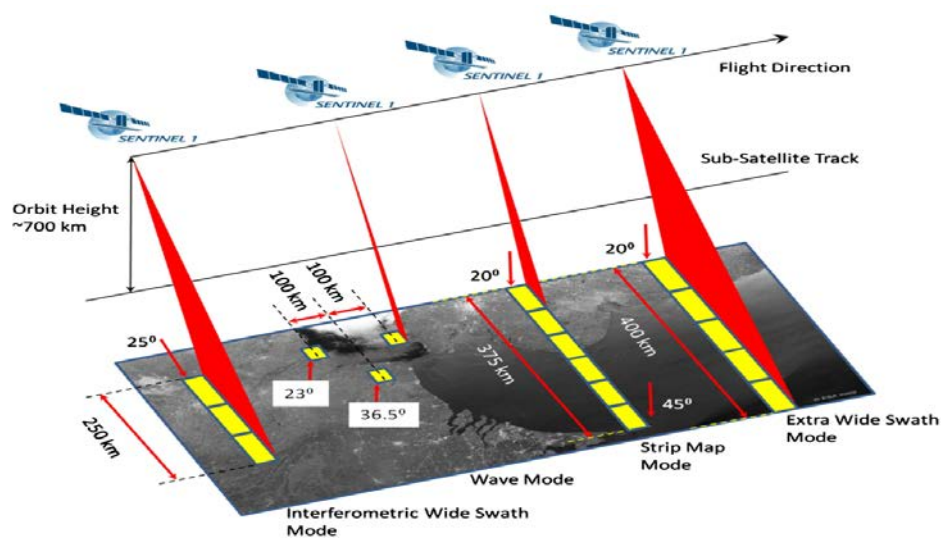
<sup>۱۶</sup> Synthetic Aperture Radar (SAR)

الکترومغناطیسی کار می‌کند. با استفاده از باند C این سنجنده توانایی تصویربرداری در تمامی ساعات شبانه‌روز و همه شرایط آب و هوایی را فراهم می‌آورد. (شکل ۶-۱)



شکل ۶-۱- سنجنده راداری سنتینل-۱

سنتینل به دلیل دسترسی رایگان، در طیف وسیعی از برنامه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل ۷-۱ مشاهده می‌شود، داده‌ها را می‌توان در چهار حالت جمع‌آوری کرد:



شکل ۷-۱- حالت‌های جمع‌آوری تصویر توسط سنجنده سنتینل-۱

- **Strip Map (SM):** داده‌ها را با توان تفکیک مکانی  $5 \times 5$  متر و با عرض نوار ۸۰ کیلومتری جمع‌آوری می‌کند (نوار سطح گرفته شده توسط سنجنده‌های که داده‌ها از آن جمع‌آوری شده

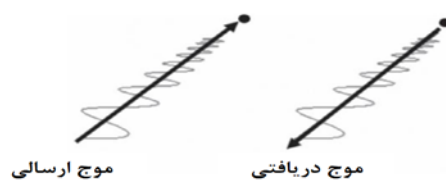
و بعداً مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند). حالت SM عمدتاً برای پشتیبانی از فعالیت‌های مدیریت حوادث استفاده می‌شود.

- **Interferometric Wide Swath (IW):** داده‌ها را با توان تفکیک مکانی  $5 \times 20$  متر و با عرض نوار ۲۵۰-کیلومتری جمع‌آوری می‌کند. پیش‌فرض اطلاعات ثبت شده از سطح زمین توسط این سنجنده با حالت IW صورت می‌پذیرد.

- **Extra Wide Swath mode (EW):** به دلیل پوشش وسیع بیش از ۴۰۰ کیلومتر با وضوح فضایی  $40 \times 20$  متر عمدتاً برای نظارت بر یخ‌ها و نشت نفت و همچنین برای مناطق دریایی و قطبی استفاده می‌شود.

- **Wave mode (WV):** مسیر ثبت داده‌های آن از بقیه متفاوت است و به جای یک مسیر پیوسته، تصاویری به نام پرچم با یک الگوی "جهشی" جمع‌آوری می‌کند. مساحت تصویر ثبت شده توسط این حالت از سنجنده معادل  $5 \times 20$  متر در هر ۱۰۰ کیلومتر با وضوح مکانی  $5 \times 20$  متر بدست می‌باشد. از این حالت بیشتر برای شناسایی و تعیین طول موج، ارتفاع و جهت امواج در دریا استفاده می‌شود.

نحوه تصویربرداری در هر حالت متفاوت از مدل دیگر است بر همین اساس در حالت WV در دو قطبش (VV یا HH) تصویربرداری صورت می‌پذیرد، اما در روش‌های SM، IW و EW در قطبش منفرد و جمعی (VV + VH یا HH + HV) داده‌ها موجود می‌باشد. برای اهداف این تحقیق، فقط از حالت IW استفاده شده است. (شکل ۱-۸)



تصویر تک قطبی (VV or VH)



تصویر قطبش متقاطع (VH or HV)

#### شکل ۱-۸- انواع مدل‌های قطبش

این ماهواره همچنین به گونه‌ای طراحی شده است تا در یک حالت عملیاتی بدون وقفه تصویربرداری از تمام مناطق کره زمین از جمله مناطق ساحلی، راه‌های حمل و نقل و پوشش اقیانوسی در سطح کلان را انجام دهد. از جمله کاربردهای سنجنده سنتینل-۱ می‌توان به پایش مناطق یخ‌بسته دریاها و محیط زیست شمالگان و مراقبت از محیط‌های دریایی، نقشه برداری از سطح زمین، جنگل، خاک و آب، پشتیبانی امدادرسانی در مواقع بحران و مخاطرات طبیعی اشاره نمود.

### ۳-۱- ضرورت تحقیق

جهت بیان ضرورت تحقیق و دلیل توجه به مسئله‌ی تشخیص سیلاب با ادغام داده‌های سنجنده از دور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- شناسایی آب‌های سطحی از اهمیت بالایی در بهره‌مندی از منافع بی‌شمار آن همچون رفع نیاز جامعه بشری به آب و عوامل وابسته به آن، افزایش سطح آب‌های زیرزمینی، کشت و کار هدفمند و... برخوردار می‌باشد.
- تشخیص و استخراج سیل در منطقه سبب می‌شود تا در برنامه‌ریزی‌های کلان منطقه‌ای اثرات آن را لحاظ کرده تا از خطرات سیلاب در منطقه جلوگیری بعمل آید.

- با بررسی سیل‌های رخ داده در گذشته می‌توان نقشه دقیقی از حجم و میزان خسارات احتمالی سیلاب‌های آینده در منطقه بدست آورد.

- حذف آب‌های راکد و دائمی از سیلاب کمک بسیار ارزشمندی به محاسبه دقیق‌تر مساحت زیر سیل می‌کند.

- حضور در شرایط سیلابی در منطقه کاری بسیار دشوار، هزینه‌بر و خطرناک بحساب می‌آید از همین رو، داده‌های سنجش از دوری با حذف حضور عامل انسانی در محل سبب کاهش هزینه شده و با تهیه داده‌های لحظه‌ای از سیل، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد.

از مهم‌ترین اهداف سنجنده‌ها، جمع‌آوری نمونه‌های لازم از سطح زمین و شناسایی عوارض مختلف زمینی به جهت درک بهتر از محیط مطالعاتی می‌باشد. وجود عوارض گوناگون طبیعی مانند درختان، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و باتلاق در کنار عوارض مصنوعی ساخت بشر همچون جاده‌ها و ساختمان‌ها، تفکیک عوارض را با مشکل مواجه می‌کند. با این وجود استفاده از تنها یک سنجنده و طبقه‌بندی کننده‌های معمولی، نمی‌تواند نتیجه قابل قبولی از تفکیک عوارض در اختیارمان قرار دهد. به همین منظور استفاده از یک سنجنده به تنهایی نمی‌تواند از دقت لازم برای جمع‌آوری نمونه‌های لازم از سطح زمین کاربرد داشته باشد، به همین دلیل در سال‌های اخیر ترکیب سنجنده‌ها با یکدیگر و همچنین تلفیق نتایج حاصل از طبقه‌بندی کننده‌های قدرتمند، سبب شده تا دقت داده‌های خروجی به مراتب بالاتر و قابل اطمینان‌تر باشند [۲۵]–[۲۷].

کاربرد سنجنده‌های چندطیفی به‌مرور و با بهبود توان تفکیک مکانی باعث شد تا این دسته از سنجنده‌ها جایگزین مناسبی نسبت به دیگر سیستم‌های سنجش از دور در شناسایی عوارض سطح زمین مورد استفاده قرار گیرند. از مهم‌ترین قابلیت‌های سنجنده‌های چندطیفی می‌توان به:

- سرعت بالا در تصویربرداری از عوارض سطح زمین

- ارائه ویژگی طیفی ( مادون قرمز، حرارتی) در کنار داده‌های رنگی و واضح منطقه مطالعاتی

- توان تفکیک مکانی بالا همراه با اطلاعات طیفی هر نقطه

مهم‌ترین ویژگی داده‌های چندطیفی توانایی آن‌ها در ثبت اطلاعات با جزئیات بالا می‌باشد، به همین دلیل کاربرد داده‌های آن‌ها بسیار سریع‌تر از سنجنده‌های راداری می‌باشد. در مقابل ثبت اطلاعات توسط این دسته از سنجنده‌ها دارای معایبی نیز می‌باشد. مهم‌ترین این عوامل، تصویربرداری در شرایط نامساعد جوی است، به‌طوریکه در هنگام وقوع سیل، وجود پوشش ابری مانع از جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای می‌شود.

بدلیل تصویربرداری در شب و شرایط جوی نامساعد، سنجنده‌های راداری از اهمیت فراوانی برخوردارند. هرچند دقت تصاویر ثبت شده توسط رادار از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد، اما تهیه داده‌های ارزشمند در لحظه که سنجنده چندطیفی قادر به تهیه آن نیست باعث می‌شود تا سیل در هنگام وقوع از چشم ناظر دور نماند. از ویژگی‌های داده‌های راداری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ثبت داده در هر لحظه از شبانه‌روز

- عدم وابستگی به شرایط جوی (وجود ابر، مه، باران)

- حساسیت بالا سنجنده به آب

با توجه به مزایای این قبیل سنجنده‌ها، می‌توان عنوان کرد که سنجنده‌های راداری در تهیه نقشه‌های گسترش سیل و مناطق سیل‌زده از جایگاه حائز اهمیتی برخوردار هستند. در نقطه مقابل کیفیت داده‌های ثبت شده به وضوح تصاویر چندطیفی نمی‌باشد و فقط داده‌های دریافتی حاوی مقدار شدت برگشتی است.

با توجه به گسترش روزافزون سنجنده‌ها و تحت پوشش قرار دادن تمام زمین، هر یک دارای ویژگی‌های منحصر بفردی می‌باشد که باعث شناسایی بهتر عوارض زمین می‌شود. با این حال معایب چندطیفی و راداری باعث کاهش دقت تفکیک‌پذیری عوارض از یکدیگر شده است، به همین دلیل رویکرد ادغام و

ترکیب سنجنده‌ها با یکدیگر روشی کاربردی به جهت پوشش معایب و تقویت دقت داده‌های سنجنده‌ها می‌باشد. ادغام و ترکیب داده‌های سنجنده‌ها به منظور دستیابی به یک یا چند مورد از اهداف زیر است:

- **افزایش وضوح تصاویر چندطیفی:** رویکرد ادغام اطلاعات سنجش از دور باعث می‌شود تا

اطلاعات سنجنده‌هایی که توان تفکیک مکانی پایین دارند اما در عین حال حاوی اطلاعات طیفی بالایی از منطقه مطالعاتی هستند با داده‌های سنجنده‌ای که توان تفکیک مکانی بالایی دارد ولی کیفیت داده‌های طیفی آن پایین می‌باشد، تلفیق شده و نتیجه نهایی داده‌هایی با دقت مکانی و طیفی بالایی می‌باشد.

- **بهبود نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور:** طبقه‌بندی کننده‌ها به منظور شناسایی

هرچه بهتر عوارض نیازمند اطلاعات با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا هستند به همین دلیل با استفاده از این رویکرد انتظار می‌رود تا دقت با افزایش قابل توجهی همراه باشد.

- **بهبود اطلاعاتی داده‌های سنجش از دور:** باید در نظر داشت که سنجنده‌های سنجش از

دور در شرایط جوی نامساعد بعضاً قادر به تهیه اطلاعات کاربردی از منطقه نمی‌باشند، به همین منظور با استفاده از نوع راداری سنجنده‌ها این نقصان بزرگ تا حدی رفع می‌شود در مقابل جزئیات مکانی در این دسته از سنجنده‌ها به شدت افت می‌کند. به همین دلیل ترکیب و ادغام داده‌های سنجنده‌های متفاوت می‌تواند نقش جبران کننده‌ای به جهت گردآوری و بهبود داده‌ها ایفا کند.

## ۴-۱ اهداف تحقیق

هدف از انجام این پایان‌نامه، ادغام و ترکیب داده‌های بدست‌آمده از سنجنده‌های چندطیفی و راداری به جهت بهبود جزئیات طبقه‌بندی و شناسایی هرچه دقیق‌تر آب‌های سطحی و سیل می‌باشد. داده‌های سنجنده چندطیفی بدلیل برخورداری از باندهای حرارتی و مادون قرمز اطلاعات مناسبی از آب‌ها،

پوشش‌های گیاهی، و شوره‌زارها را شامل می‌شود درحالی‌که در شرایط جوی نامساعد همچون پوشش ابر و مه این دسته از سنجنده‌ها قادر به تهیه اطلاعات نیستند. به همین دلیل می‌توان با استفاده از سنجنده راداری در هر شرایط آب و هوایی به اطلاعات منطقه مطالعاتی دسترسی پیدا کرد اما در مقابل نمی‌توان کیفیت تفکیک مکانی پایین رادار را نادیده گرفت. ادغام سنجنده چندطیفی و راداری باعث بهبود هرچه بیشتر نتایج طبقه‌بندی شده و نتایج بدست‌آمده قابلیت اطمینان‌پذیری بیشتری دارد. آنچه در ادغام به جهت دست یافتن به دقت مناسب لازم است، نحوه تلفیق داده‌ها و انتخاب سطح مناسبی از ادغام و ترکیب می‌باشد به‌نحوی که علاوه بر حفظ اطلاعات مفید، دقت نیز افزایش یابد.

در این پایان‌نامه سعی شده است تا نتایج بدست آمده توسط طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده با رویکرد ادغام تصمیم‌گیری با یکدیگر تلفیق شده و دقت نتایج خروجی بهبود یابد. همچنین تلاش شده است با ادغام اطلاعات سنجنده‌های نوری با یکدیگر دقت مکانی و طیفی به‌منظور شناسایی بهتر آب از غیر-آب، افزایش یابد.

## ۵-۱ فرضیات تحقیق

شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب مستلزم پذیرش فرضیاتی است که درستی آن‌ها پذیرفته شده است. این فرضیات عبارتند از:

- اطلاعات سنجنده‌های چندطیفی و راداری به تنهایی از دقت بالایی برای طبقه‌بندی آب از غیر-آب برخوردار نمی‌باشند.
- طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده از توانایی بالایی در تفکیک عوارض از یکدیگر بر اساس داده‌های آموزش، برخوردار می‌باشند.
- استفاده از سنجنده‌های چندطیفی در شرایط جوی نامساعد امکان‌پذیر نمی‌باشد.
- حذف آب‌های راکد از تصاویر سیل، اثرات سیل بر منطقه را نمایان می‌کند.

تلاش شده تا با پیاده کردن عوامل بیان شده در این بخش، درستی یا نادرستی آن‌ها مورد تحقیق قرار گیرد:

- شناسایی سرشاخه رودها و کم اثر کردن زمین‌های کشاورزی آبیاری شده به کمک شاخص-های آب و رویکرد یادگیری ماشینی.
- بررسی توانایی سنجنده راداری سنتینل-۱ در شناسایی آب‌های سطحی و استخراج نقشه سیلابی.
- تاثیر روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری در افزایش دقت نتایج خروجی بدست آمده.

## ۱-۶ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه پیش‌رو در پنج فصل تدوین گردیده است. در **فصل اول: کلیات**، مفهوم آب‌های سطحی و سیل به همراه مبانی اولیه سنجنده‌های چندطیفی و راداری مورد بحث قرار گرفته است. در **فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده**، تعدادی از مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته در رابطه با استفاده تک سنجنده‌ای، چند سنجنده‌ای در شناسایی آب سطحی و سیلاب، مورد بررسی قرار گرفته است. در **فصل سوم: روش تحقیق**، به روش کلی رویکرد پیشنهادی می‌پردازد و همچنین مقدمه‌ای بر روابط حاکم در شاخص‌های آب، سیستم‌های طبقه‌بندی کننده و روش‌های مختلف ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها مطرح گردیده است. در **فصل چهارم: پیاده سازی روش تحقیق و نتایج**، شامل داده‌های استفاده شده در پایان‌نامه و منطقه مطالعاتی می‌باشد، همچنین به دو رویکرد بکاررفته در شناسایی آب‌های سطحی و رویکرد ردیابی سیلاب با ادغام سنجنده‌های چندطیفی و راداری پرداخته است. در **فصل پنجم: نتیجه-گیری و پیشنهادات** حاوی نتایج حاصل از روش‌های پیشنهادی و ارزیابی کیفی نتایج می‌باشد و سعی شده تا به مزایا و معایب روش‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه بپردازد و پیشنهاداتی جهت بهبود روند طبقه‌بندی و تحقیقات آینده در این زمینه ارائه گردد.

## فصل ۲ : مروری بر تحقیقات انجام شده

## ۱-۲ مقدمه

تغییرات اقلیمی و ارتباط مستقیم آن با محیط زیست سبب شده تا علت بسیار از بلایای طبیعی را در تغییراتی که در محیط زیست رخ می‌دهد بتوان جستجو کرد. سیل به عنوان یکی از بلایای طبیعی که مسبب خسارات فراوان جانی و مالی می‌باشد، از آب‌های سطحی و تغییراتی که در سطح و حجم این دسته از آب‌ها رخ می‌دهد می‌توان شناسایی کرد و نقاط خطر خیز را قبل از ایجاد سیلاب مشخص نمود. سنجش از دور با فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز جهت بررسی آب‌های سطحی، کمک شایانی به شناسایی سیلاب کرده است. در دو دهه اخیر به‌منظور شناسایی و پایش منابع آبی همچون شناسایی دریاچه‌ها، پیش‌بینی سیل و ارزیابی کیفیت منابع آب، نظارت بر تغییرات ساحل و فرسایش آن، سنجنده‌های سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۶].

در این میان رویکردهای گوناگونی به‌جهت تشخیص آب‌های سطحی و پایش سیلاب توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج اولیه اکثر مقالات و تحقیقات نشان می‌دهد که ادغام داده‌های سنجش از دور و استفاده از رویکرد چند سنجنده‌ای به بهبود دقت شناسایی، کمک شایانی می‌کند. به‌طور مثال در بسیاری از شرایط که دسترسی به داده‌های لحظه‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد سنجنده‌های چندطیفی ممکن است قادر به ارائه اطلاعات نباشد و یا جزئیات پایین داده‌ها، شناسایی و تشخیص آب‌های سطحی و سیل را با خطای فروان همراه کند [۲۸]–[۳۰]. در مقابل به‌علت کیفیت پایین سنجنده راداری بسیاری از خسارات بعد سیلاب به درستی قابل تشخیص نیست که با ادغام و تلفیق نتایج سنجنده‌های گوناگون می‌توان کاربرد آن‌ها را گسترش داد [۵]، [۳۱]، [۳۲].

## ۲-۲ مطالعات شناسایی آب‌های سطحی با استفاده از رویکرد

### تک سنجنده‌ای

همانطور که پیش‌تر بررسی شد، رویکردهای متفاوتی جهت استفاده از سنجنده‌ها در شناسایی آب‌های سطحی توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است. در این بخش سعی شده تا سنجنده‌هایی که به تنهایی و منفرد به شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیل پرداخته‌اند، مورد بررسی قرار گیرند.

### ۲-۲-۱ استفاده از سنجنده‌های چند طیفی

در تحقیقات صورت گرفته توسط محققین، سنجنده‌های چندطیفی با برخورداری از باندهای حرارتی و مادون قرمز بیشتر به منظور شناسایی سیلاب و تغییرات بوجود آمده بکار گرفته شده‌اند. Jiang و همکاران در سال ۲۰۲۰ با مطالعه آب‌های سطحی در مقیاس بزرگ، روشی را تحت عنوان شاخص آب سنتینل-۲ (SWI)<sup>۱۷</sup> معرفی کردند [۳۳]. آب‌های سطحی در مقیاس پهنه‌وری یک کشور در زمره شناسایی بزرگ مقیاس‌ها جای می‌گیرد به همین منظور استفاده از شاخص مناسب باعث بهبود هرچه بیشتر شناسایی آب‌ها می‌شود. در این تحقیق در ابتدا با پیاده‌سازی دو شاخص SWI و شاخص تفاوت نرمال آب (NDWI)<sup>۱۸</sup> بر روی داده‌های سنجنده سنتینل-۲، آب‌های سطحی شناسایی شده و سپس با استفاده از روش آستانه‌گذاری اوتسو<sup>۱۹</sup>، آب‌های سطحی شناسایی شده از یکدیگر متمایز شده است [۳۴]. شاخص پیشنهادی SWI در تفکیک آب از غیر-آب همچون نمک، مناطق شهری، یخ‌ها و رسوب‌ها از دقت بالایی نسبت به NDWI برخوردار بوده است، علاوه بر این شاخص پیشنهادی برای شناسایی در مقیاس بزرگ از دقت بالایی برخوردار می‌باشد با این حال شناسایی رودخانه‌های کوچک به درستی صورت پذیرفته است و از معایب روش پیشنهادی بشمار می‌رود. Wieland و همکاران نیز در سال

---

<sup>۱۷</sup> Sentinel-2 Water Index

<sup>۱۸</sup> Normalized Difference Water Index

<sup>۱۹</sup> Otsu

۲۰۲۰ برای شناسایی آب‌های سطحی در مقیاس بزرگ از داده‌های سنجنده سنتینل-۲<sup>۲۰</sup> استفاده کردند با این تفاوت که بجای استفاده از شاخص‌های آب، با بررسی سری زمانی رودخانه‌های کشور آلمان به مدت دو سال به بررسی تاثیر آب‌های سطحی بر روی خشکسالی و افزایش دمای کشور پرداختند [۳۵]. آن‌ها با بررسی بلند مدت رودخانه‌ها و با استفاده از رویکرد تمام خودکار تجمع شبکه عصبی (CNN)<sup>۲۱</sup> به دقت بسیار بالایی در شناسایی تغییرات آب‌های سطحی با وجود تنوع توپوگرافی منطقه مطالعاتی، تغییر کاربری زمین‌ها در مدت مطالعه و شرایط دشوار جوی، دست پیدا کردند. نتایج تحقیق Wieland و همکاران در مقایسه با نتایج زمان واقعی رخدادها، از مطابقت بسیار بالا نتایج بدست‌آمده خبر می‌داد. در تحقیقی دیگر، Regueiro و همکاران در سال ۲۰۲۰ با مطالعه بر روی سه منطقه جغرافیایی به بررسی دقت شاخص‌های پرکاربرد آب با استفاده از روش آستانه‌گذاری<sup>۲۲</sup> برای آب‌های سطحی کوچک، پرداختند [۳۶]. در این مطالعه نیز مشاهده می‌شود که محققین با استفاده از تنها یک سنجنده قادر هستند تا تغییرات آب‌های سطحی را مورد بررسی قرار دهند. Regueiro و همکاران تصمیم گرفتند تا در مناطقی که زمین‌های کشاورزی مستغرق زیادی وجود دارد، از شاخص‌های آب استفاده کرده تا آب از غیر-آب با دقت تفکیک شود. سپس با استفاده از آستانه‌گذاری دقت شاخص‌هایی چون شاخص تفاوت نرمال آب بهینه شده (MNDWI)<sup>۲۳</sup>، شاخص تفاوت نرمال آب-باند قرمز (RE-NDWI)<sup>۲۴</sup>، شاخص استخراج خودکار آب برای مناطق با وجود سایه (AWEIsh) و شاخص استخراج خودکار آب برای مناطق بدون وجود سایه (AWEInsh) را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که برای هر سه منطقه مطالعاتی دقت کلی شاخص NDWI نسبتاً بهتر از دیگر شاخص‌ها می‌باشد، به‌نحوی که آب‌های سطحی

---

<sup>۲۰</sup> Sentinel-2

<sup>۲۱</sup> Convolutional Neural Network

<sup>۲۲</sup> Thresholding

<sup>۲۳</sup> Modified Normalized Difference Water Index

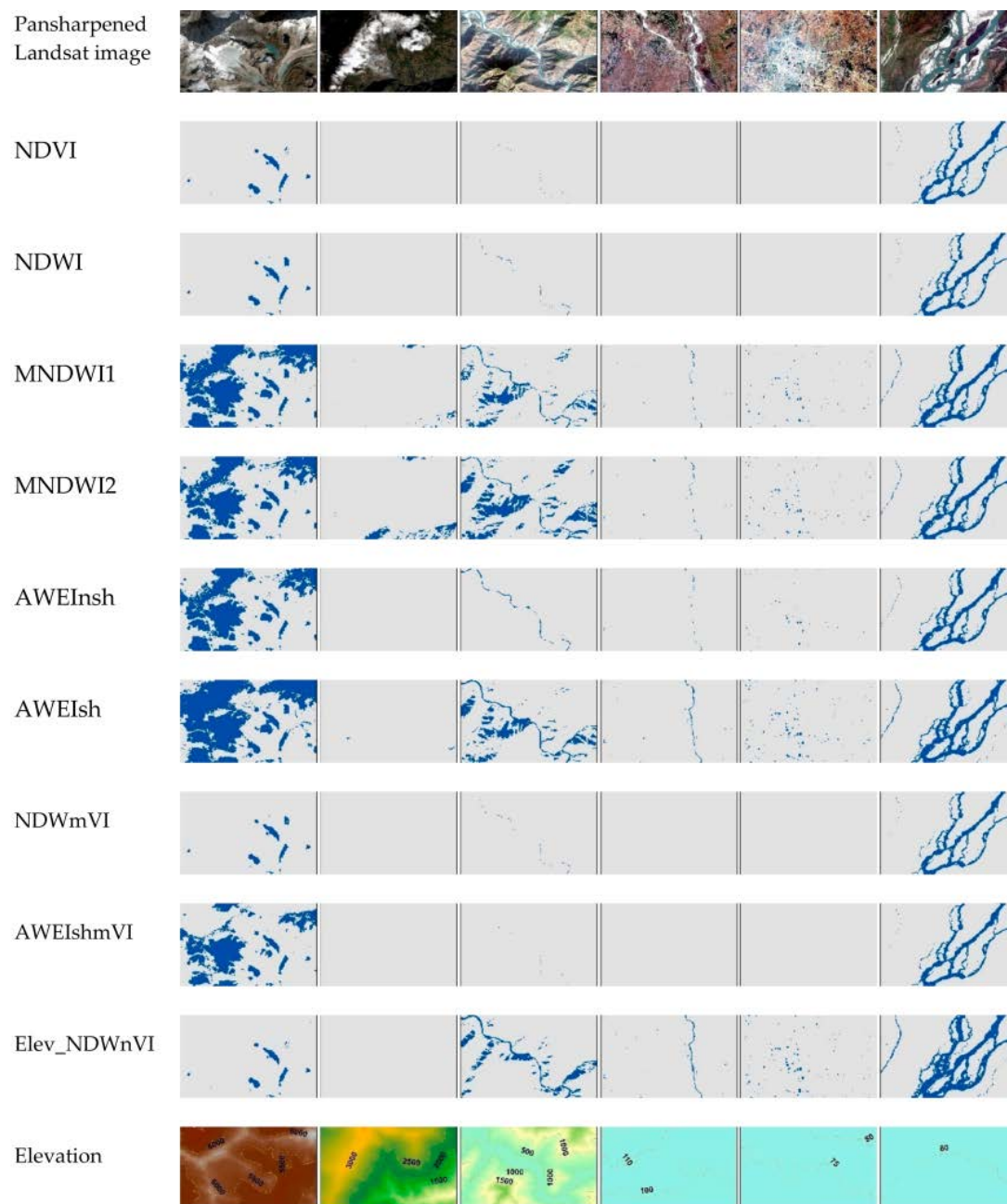
<sup>۲۴</sup> Normalized Difference Water Index-Red Band

کوچک توسط این شاخص بسیار دقیق تشخیص داده شده بود [۳۶]. در ادامه می‌توان با استفاده از سنجنده‌های چندطیفی به بررسی اثرات ساخت مصنوعی توسط بشر و تاثیر آن بر روی منابع طبیعی پرداخت. از همین‌رو، Ali و همکاران در سال ۲۰۱۹ با بکارگیری شاخص‌های آب از قبیل شاخص NDWI و شاخص MNDWI بر روی داده‌های سنجنده لندست-۸، به بررسی تاثیر گسترش شهرک سازی در مناطق ساحلی پرداختند [۳۷]. نتایج مطالعات صورت گرفته نشان داد که با استفاده از سنجنده‌های چندطیفی و فقط با بکاربردن شاخص‌های آب، می‌توان به این مسئله پی برد که در سال‌های اخیر آب‌های سطحی به شدت در اثر ساخت و ساز غیر اصولی دچار کاهش شده است. این نتایج از این جهت حائز اهمیت بود که مشخص کردن حجم تغییرات آب‌های سطحی در اثر گسترش شهرک‌سازی‌ها نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد، اما شاخص‌های آب با تفکیک آب از غیر-آب با دقت مناسبی تغییرات را نمایش می‌دهند. Acharya و همکاران در سال ۲۰۱۹ با مطالعه گسترده بر روی شاخص‌های آب و ترکیب آن‌ها با یکدیگر با استفاده از داده‌های سنجنده لندست-۸ دریافتند که استفاده از ترکیب DEM منطقه و شاخص‌های آب، دقت شناسایی آب‌های سطحی در کشور نپال بهبود چشم‌گیری پیدا کرده است [۳۲]. در این مطالعه که در کشور نپال صورت گرفته بود، با استخراج DEM و ترکیب آن با شاخص‌هایی چون NDWI، MNDWI، شاخص تفاوت نرمال گیاهان (NDVI)<sup>۲۵</sup>، AWEI(sh)، AWEI(nsh) به شناسایی آب‌های سطحی پرداختند. رویکرد متفاوتی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، ترکیب شاخص‌ها با یکدیگر و همچنین ترکیب آن‌ها با DEM منطقه می‌باشد. آن‌ها شاخص جدید NDWnVI را از ترکیب NDWI و NDVI و به‌طور مشابه شاخص AWEIshnVI نیز از ترکیب NDVI و AWEIsh بدست آوردند. مطالعات نشان می‌داد که شاخص NDWnVI در شناسایی آب‌های زلال از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد. در ادامه با شاخص Elev-NDWnVI که از ترکیب DEM منطقه با شاخص NDWnVI بدست آمده بود، نتایج بسیار دقیق‌تری از آب‌های سطحی در مناطقی که

---

<sup>۲۵</sup> Normalized Difference Vegetation Index

پستی بلندی‌های فراوان سبب ایجاد سایه می‌شدند، بدست آوردند. در شکل ۱-۲ به وضوح دقت روش-های پیشنهادی قابل مشاهده و بررسی می‌باشد.



شکل ۱-۲- روش‌های پیشنهادی بمنظور شناسایی آب‌های سطحی با رویکردهای متفاوت در منطقه نیال.

در جدول ۱-۲ می‌توان مشاهده کرد که استفاده از رویکرد ادغام ارتفاع در شاخص‌های آب به بهبود شناسایی آب‌های سطحی در نیال با حذف سایه‌ها کمک شایانی کرده است و سبب افزایش دقت نتایج

بدست آمده توسط این رویکرد نسبت به دو رویکرد جدید دیگر شده است.

جدول ۲-۱- دقت نتایج سه رویکرد پیشنهادی

| i. No. | Given Abb.  | Segmentation      | Index       | Threshold | PA     | UA     | OA     | Kappa  |
|--------|-------------|-------------------|-------------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 1      | NDWmVI      | -                 | NDWI—NDVI   | 0.6638    | 0.5376 | 0.9091 | 0.8800 | 0.6079 |
| 2      | AWEIshVI    | -                 | AWEIsh—NDVI | 0.5886    | 0.4946 | 0.6093 | 0.8088 | 0.4265 |
| 3      | Elev_NDWnVI | Elevation > 665 m | NDVI        | -0.295    | 0.9140 | 0.929  | 0.9638 | 0.8979 |
|        |             | Elevation < 665 m | NDWI        | -0.05     |        |        |        |        |

Xiong و همکاران در سال ۲۰۱۸ به منظور شناسایی آب‌های زلال با استفاده از سنجنده لندست-۲۶ شیوه نوینی را گسترش دادند. این شیوه که با نام استخراج آب‌های سطحی بوسیله مقیاس زیرپیکسل (SSWE)<sup>۲۷</sup> از آن نامبرده شده است از ترکیب سه رویکرد، استفاده از شاخص آب تمامی باندها<sup>۲۸</sup> (ABWI)، مورفولوژی رودخانه، و رویکرد تجزیه و تحلیل ترکیب طیفی (MESMA)<sup>۲۹</sup> بدست آمده است [۳۸]. در روش پیشنهادی توسط Xiong و همکاران برای شناسایی آب‌های سطحی صاف و شفاف از شاخص ABWI که از ترکیب همه باندهای سنجنده نوری لندست-۸ تهیه شده بود، استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص پیشنهادی سطح آب بیشتری را نسبت به شاخص NDWI شناسایی کرده اند. در ادامه به منظور تفکیک کردن پیکسل‌های آب از زمین که به راحتی قابل جداسازی از یکدیگر نیستند، از اطلاعات مورفولوژی رودخانه استفاده گردید تا سبب افزایش دقت نتیجه بدست آمده از شاخص پیشنهادی شوند. در پایان با رویکرد MESMA مرز بین مخلوط آب و زمین از یکدیگر تفکیک شده و باعث بهبود نتایج روش پیشنهادی شدند.

<sup>۲۶</sup> Landsat-8

<sup>۲۷</sup> Subpixel Surface Water Extraction

<sup>۲۸</sup> All Band Water Index

<sup>۲۹</sup> Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis

## ۲-۲-۲ استفاده از سنجنده‌های راداری

در ادامه به منظور شناسایی سیل سنجنده‌های راداری بدلیل قابلیت نفوذ به ابرها و ثبت داده در شرایط آب و هوایی نامساعد، بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این ویژگی سبب شد تا روش‌ها و رویکردهای متنوعی به منظور شناسایی آب‌های سطحی و سیل برای این دسته از سنجنده‌ها معرفی گردد.

Ovakoglou و همکاران در سال ۲۰۲۱ بدلیل گسترش پشه مالاریا در یونان، تصمیم گرفتند تا به بررسی آب‌های سطحی با استفاده از سنجنده سنتینل-۱<sup>۳۰</sup> بپردازند [۳۹]. هدف از این مطالعه ایجاد رویکردی تماماً خودکار به منظور شناسایی آب‌های سطحی در مزارع برنج و باتلاق‌ها بود است. در این مطالعه چهار رویکرد شناسایی و تشخیص آب‌ها سطحی همچون، آستانه‌گذاری بهینه شده اوتسو<sup>۳۱</sup>، طبقه‌بندی بر اساس ویژگی بافت‌های آنتروپی<sup>۳۲</sup>، طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-means<sup>۳۳</sup> و طبقه‌بندی فازی<sup>۳۴</sup> با استفاده از داده‌های ویژگی عدم تشابه بافت‌ها<sup>۳۵</sup> Haralick، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به واضحی نشان داد که در اول و آخر تابستان که حجم آب به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند، روش آستانه‌گذاری بهینه Otsu [۴۰] از دقت بسیار بالایی برخوردار بوده است. Akabayashi و همکاران در سال ۲۰۲۰ به استخراج مزارع برنج سیل زده در اندونزی که یکی از کشورهای با اهمیت تولید برنج جهان محسوب می‌شود پرداختند. [۴۱]. در این مطالعه با استفاده از داده‌های سنجنده راداری سنتینل-۱ و روش تجزیه و تحلیل تفکیک خطی<sup>۳۶</sup> بر روی باند VV و VH میزان خسارت سیلاب به شالیزارهای برنج را بدست آوردند. آن‌ها دریافتند که واریانس امواج برگشتی از سطح روی سیل دچار کاهش در

---

<sup>۳۰</sup> Sentinel-1

<sup>۳۱</sup> Otsu valley-emphasis

<sup>۳۲</sup> Textural Feature of Entropy

<sup>۳۳</sup> Unsupervised

<sup>۳۴</sup> fuzzy-rules

<sup>۳۵</sup> Haralick's textural feature of dissimilarity

<sup>۳۶</sup> Linear discriminant analysis

مقدار برگشتی می‌شود به همین منظور با مطالعه آنتروپی بازگشتی با استفاده از رویکرد تحلیل انتروپی بافت Haralick و آستانه‌گذاری بر روی باند VV، روش تجزیه و تحلیل تفکیک خطی را بکار بردند تا سیل در منطقه شالیزار شناسایی و استخراج کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که باند VV از دقت بسیار بالایی مطابق روش پیشنهادی برخوردار بوده است. Liang و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای شناسایی هرچه سریع‌تر سیلاب برای منطقه لوئیزیانا آمریکا، از داده‌های سنتینل-۱ استفاده کردند. بدلیل تنوع در جنس خاک و پوشش‌های گیاهی منطقه، شناسایی آب‌های سطحی کاری دشوار و سخت بود به همین منظور آن‌ها با استفاده از رویکردهای آستانه‌گذاری محلی، Otsu، تناسب گاما<sup>۳۷</sup> و تقسیم KI به شناسایی سیلاب در منطقه مطالعاتی پرداختند. نتایج بدست آمده نشان می‌داد که رویکرد آستانه‌گذاری محلی ۴ الی ۱۳ درصد دقت بالاتری نسبت به سه رویکرد دارا می‌باشد [۴۲]. Bayik و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از داده‌های سنجنده راداری سنتینل-۱ و پیاده‌سازی سه رویکرد آستانه‌گذاری دستی، طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده جنگل تصادفی<sup>۳۸</sup> (RF) و ماشین بولتزمن محدود<sup>۳۹</sup> (RBM) به استخراج نقشه زمین‌های متأثر از سیلاب رودخانه Meric پرداختند. با مقایسه نتایج حاصل از رویکردهای پیشنهادی، طبقه‌بندی کننده (RF) توانست نقشه سیلاب منطقه را نسبت به دیگر روش‌ها با دقت بیشتری استخراج کند [۴۳] که در شکل ۲-۲ دقت نتایج بدست آمده توسط سه رویکرد پیشنهادی نشان داده شده است.

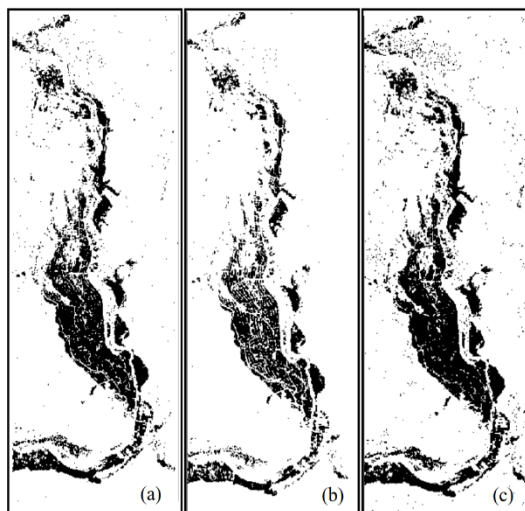
---

<sup>۳۷</sup> Gamma fitting

<sup>۳۸</sup> Random Forest

<sup>۳۹</sup> Restricted Boltzmann Machines

| Overall accuracy<br>Kappa | Thresholding                 |             |
|---------------------------|------------------------------|-------------|
|                           | 17.01-10.02                  | 17.01-22.02 |
|                           | 94.6%                        | 97.6%       |
| Overall accuracy<br>Kappa | Random Forest Classification |             |
|                           | 17.01-10.02                  | 17.01-22.02 |
|                           | 96.3%                        | 99%         |
| Overall accuracy<br>Kappa | Deep Learning Classification |             |
|                           | 17.01-10.02                  | 17.01-22.02 |
|                           | 95%                          | 98.6%       |
| Overall accuracy<br>Kappa | Deep Learning Classification |             |
|                           | 17.01-10.02                  | 17.01-22.02 |
|                           | 79.9%                        | 89.3%       |



شکل ۲-۲ بررسی نتایج Bayik و همکاران

Amitrano و همکاران در سال ۲۰۱۸ روش‌های نظارت‌نشده طبقه‌بندی فازی<sup>۴۰</sup> و نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان (SVM)<sup>۴۱</sup>، شبکه عصبی (NN)<sup>۴۲</sup>، بیشترین شباهت (ML)<sup>۴۳</sup>، K-means و رویکرد آستانه‌گذاری، را با استفاده از داده‌های سنجنده سنتینل-۱ بکار گرفتند و آن‌ها را در شناسایی سیل ناگهانی<sup>۴۴</sup> کارآمد معرفی کردند [۴۴]. Perrou و همکاران در سال ۲۰۱۸ با هدف شناسایی علل رویداد سیل از داده‌های سنتینل-۱ برای پهنه‌بندی سیلاب در ترکیب با داده‌های هیدرومئتئورولوژیکال<sup>۴۵</sup> (بارندگی، اندازه گیری سطح آب رودخانه) استفاده کردند. هدف اولیه و اساسی این تحقیق بررسی ابزار مشاهده سیلاب بر پایه داده‌های راداری سنتینل-۱ جهت ضبط هر دو تغییرات سطح آب و دینامیک رویداد سیل در رودخانه مدنظرشان بوده است. سهم قابل توجهی از تحقیقات به دنبال علل تشدید پدیده سیلاب در حوضه مرزی روخانه می‌باشد. آنها با رویکرد تحلیل داده‌هایی از گذشته منطقه توانستند

<sup>۴۰</sup> Fuzzy classification

<sup>۴۱</sup> Support Vector Machine

<sup>۴۲</sup> Neural Network

<sup>۴۳</sup> Maximum Likelihood

<sup>۴۴</sup> flash flood

<sup>۴۵</sup> in-situ

مشارکت عوامل مختلف را در ایجاد سیلاب تعیین کنند [۴۵]. Hostache و همکاران در سال ۲۰۱۸ روشی مبتنی بر فیلتر ذرات برای یکسان سازی نقشه سیلاب احتمالی حاصل از داده‌های سنجنده راداری به زنجیره پیش بینی‌های سیلاب متشکل از یک مدل مفهومی هیدرولوژیکی و یک مدل هیدرولیکی معرفی کردند. آنها با استفاده از روش بیزین<sup>۴۶</sup>، عدم قطعیت در نقشه‌های سنجنده راداری را به مقدار بسیار زیادی کاهش دادند که این شیوه مبتنی بر اختصاص دادن احتمال آبگرفتگی به هر پیکسل بر اساس بازتاب دریافتی<sup>۴۷</sup> می‌باشد. با در نظر گرفتن چهار دوره سیلاب در رودخانه Severn و Avon و استفاده از سری زمانی تصاویر راداری سنتینل-۱، پردازش این داده‌ها و صحت سنجی انجام شد. این صحت سنجی با استفاده از عکس‌های منطقه‌ای، استفاده از سری زمانی برای گردش جریان در بالا دست حوضه مدل هیدرولوژیکی و چهار ایستگاه در نقاط مختلف جهت سنجش سری زمانی سطح آب در عرض رودخانه صورت پذیرفت. نتیجه حاصل شده نشان داد که یکسان سازی با استفاده از داده‌های گسترش سیلاب سبب ارتقا کارایی سیستم پیش بینی سیلاب می‌شود [۴۶]. Clement و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از داده‌های سنجنده راداری سنتینل-۱ و با روش‌های آستانه‌گذاری و شناسایی تغییرات<sup>۴۸</sup> بر روی داده‌های قطبش VV و VH به صورت جداگانه، به پایش سیلاب در روخانه Yorkshire در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ پرداختند [۴۷]. در روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های سری زمانی<sup>۴۹</sup> و آستانه‌گذاری تصاویر، آب از غیر-آب تفکیک شده و سپس با رویکرد شناسایی تغییرات، حجم سیل و نقشه گسترش آن تهیه گردید. نتیجه حاصل نشان داد که با استفاده از قطبش VV سیل با دقت بیشتری شده است.

---

<sup>۴۶</sup> Bayesian

<sup>۴۷</sup> Backscatter

<sup>۴۸</sup> Change Detection

<sup>۴۹</sup> Time Series

## ۳-۲ مطالعات شناسایی آب‌های سطحی با استفاده از رویکرد

### چند سنجنده‌ای

در تحقیقات یک دهه اخیر، رویکرد استخراج آب‌های سطحی به سمت ادغام داده‌های دو تا چند سنجنده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. علت تمایل به استفاده از چند سنجنده به طور همزمان را می‌توان در مشخصه هر یک از سنجنده‌ها دنبال کرد. به طور مثال در سنجنده‌های نوری وجود مه و شرایط جوی نامناسب مانع اصلی استفاده از این دسته سنجنده می‌شود و به طور مشابه سنجنده‌های راداری نیز با موانعی از قبیل وجود نویز حرارتی و توان تفکیک مکانی پایین مواجه هستند، از همین‌رو با ادغام داده‌های این سنجنده‌ها، خطاهای موجود در شناسایی و پایش عوارض زیست محیطی<sup>۵۰</sup> به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند [۲۸]–[۳۰].

Seaton و همکاران در سال ۲۰۲۰ تصمیم گرفتند تا با بررسی آب رودخانه‌های غیر دائمی در مناطق خشک، میزان کاهش حجم آب رودخانه در سال‌های اخیر را مورد بررسی قرار دهند. همانند دیگر تحقیقات، دو سنجنده نوری لندست-۸ و سنتینل-۲ بکار گرفته شدند تا با استفاده از شاخص‌های آب و همچنین ترکیب آن‌ها با باندهای مادون قرمز لندست-۸، آب‌های سطحی را برای بازه زمانی دو ساله مورد بررسی قرار دهند. شاخص‌های NDWI، MNDWI، AWEI(sh)، AWEI(nsh) به راحتی و با دقت بسیار بالایی آب را از غیر-آب تشخیص دادند، نتایج نشان داد که شاخص‌های MNDWI و AWEI(nsh) قادرند در مناطق نیمه خشک و بیابانی که از توپوگرافی مسطحی برخوردارند آب بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها شناسایی کنند [۴۸]. Zoka و همکاران با هدف استخراج آب‌های سطحی از دیگر عوارض سطح زمین، رویکردهایی را بر روی سه سنجنده راداری سنتینل-۱، لندست-۷ و سنتینل-۲ پیاده کردند. سنجنده‌های راداری به جذب امواج بازتاب شده بسیار حساس هستند به همین جهت شناسایی آب با استفاده از این دسته از سنجنده‌ها از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. آنها با استفاده از

---

<sup>۵۰</sup> Environmental effects

شاخص‌هایی همچون MNDWI، NDWI، TCT<sup>۵۱</sup>، DVW<sup>۵۲</sup>، IFW<sup>۵۳</sup>، WII<sup>۵۴</sup>، MWI<sup>۵۵</sup>، RSWIR<sup>۵۶</sup> و TCW<sup>۵۷</sup> به استخراج آب‌های سطحی پرداختند [۴۹] [۵۰]. نتایج بدست‌آمده نشان داد استخراج آب در هنگام سیلاب به کمک شاخص‌های MNDWI و RSWIR عملکرد قابل قبول‌تری از خود نشان دادند. [۵۱]. گنجی و همکاران با هدف تحقیق در زمینه پهنه‌بندی سیل، از تصاویر سنجنده‌های لندست-۸، سنتینل-۲ و سنتینل-۱ بدلیل رایگان بودن داده‌ها و همچنین برخورداری از توان تفکیک مکانی بالا، برای سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهرستان آق‌قلا مورد استفاده قرار گرفتند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آب NDWI و MNDWI بیشترین مساحت پهنه سیل را بدست‌آورده و سپس به کمک HEC-RAS به بررسی پهنه‌های سیلاب در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد در صورت عدم لایروبی رودخانه گرگانرود در دوره‌های بازگشت ۵۰۰ سال به بالا، بیرون‌زدگی جریان رخ خواهد داد. در در انتها برای صحت‌سنجی نتایج بدست‌آمده از تصاویر هلی‌شات و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای آرشیوی منطقه استفاده گردید [۵۲]. در تحقیقی دیگر به‌منظور شناسایی سیلاب، Bai و همکاران تصمیم گرفتند تا با استفاده از رویکرد یادگیری عمیق و الگوریتم شبکه عصبی پیچشی (CNN)<sup>۵۸</sup> آب‌های سطحی، آب‌های سیلابی و آب‌های موقت را از یکدیگر با دقت بالایی شناسایی و تفکیک نمایند. به همین منظور، با استفاده از دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ داده‌های سیل مناطق مطالعاتی را استخراج و با یکدیگر تلفیق کردند. در این رویکرد تصاویر قبل و بعد سیلاب که توسط سنجنده راداری سنتینل-۱ تهیه شده بود با یکدیگر مقایسه شدند تا آب‌های سطحی از آب سیلابی

---

<sup>۵۱</sup> Tasseled Cap Transformation

<sup>۵۲</sup> Difference Between Vegetation and Water index

<sup>۵۳</sup> Index of Free water

<sup>۵۴</sup> Water Impoundment Index

<sup>۵۵</sup> Modified Water Index

<sup>۵۶</sup> Modified Water Index

<sup>۵۷</sup> tasseled cap wetness

<sup>۵۸</sup> Convolutional Neural Network

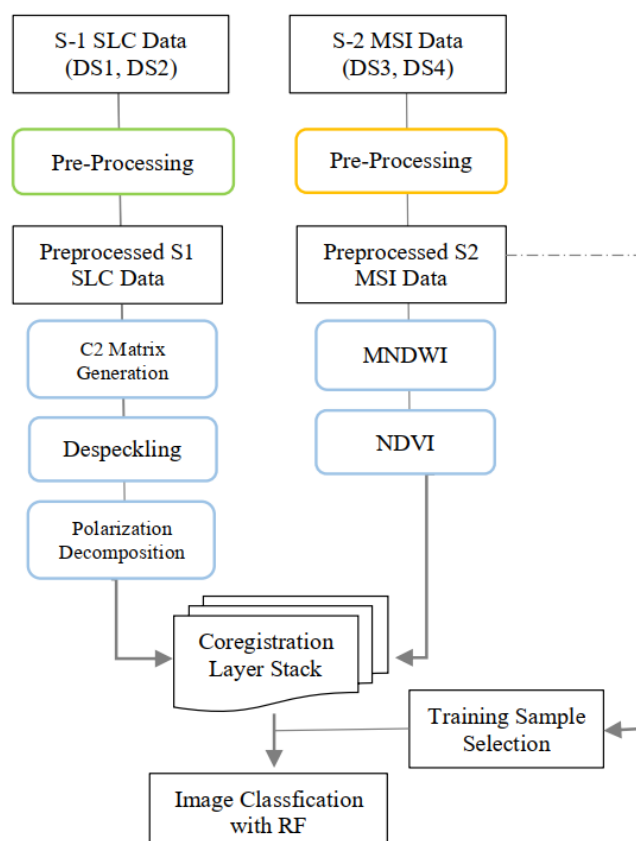
متمایز کردند و سپس با بکارگیری تصویر بعد از سیل سنتینل-۲، آب از غیر-آب را با دقت بسیار بالاتری تفکیک کردند. همچنین با کمک داده‌های سنتینل-۲، سیلاب که سبب آب‌گرفتگی شهر شده بود از سایر آب‌ها دقیق‌تر شناسایی و استخراج گردید. آن‌ها از روش‌هایی همچون آستانه‌گذاری اتسو<sup>۵۹</sup>، U<sup>2</sup>Net و Deeplab3 برای مقایسه با روش پیشنهادیشان استفاده کردند تا نشان دهند روش آن‌ها دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تر از دیگر روش‌ها می‌باشد. نتایج مطالعاتی برای دیگر مناطق نیز نشان دهنده آن بود که دسته‌بندی آب‌ها بعد از سیلاب با روش یادگیری عمیق و تلفیق اطلاعات سنجده‌ها نقش مهمی در افزایش دقت نتایج خروجی ایفا می‌کند [۵۳]. Mateo و همکاران در زمینه شناسایی سیلاب با استفاده از داده‌های دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ به بررسی و تحقیق در این رابطه پرداختند. در این تحقیق که در سال ۲۰۲۱ صورت پذیرفت، آن‌ها با درنظر گرفتن کشور کرواسی به عنوان منطقه مطالعاتی بدلیل برخورداری از تنوع در پوشش گیاهی و با استفاده از داده‌های راداری سنتینل-۱ در هنگام وقوع سیلاب برای چهار دوره زمانی به‌همراه داده‌های قبل از سیل سنتینل-۲ به عنوان داده‌هایی دارای اطلاعات طیفی منطقه، و با استفاده از رویکرد آنالیز تصویر شی محور<sup>۶۰</sup> (OBIA)، پهنه‌بندی سیلاب منطقه و میزان خسارت بجا مانده از سیل را استخراج کردند. در این رویکرد آن‌ها با بکارگیری اطلاعات طیفی منطقه، شاخص‌های گیاهی و بافت منطقه باعث بهبود دقت شناسایی سیل با استفاده از روش OBIA شدند. نتایج نشان داد که سنجنده سنتینل-۱ بدلیل استفاده از باند C از دقت مناسب‌تری در شناسایی انواع آب‌ها برای جنگل‌های بدون برگ (در فصل پاییز و زمستان) برخوردار می‌باشد [۵۴]. Bioresita و همکاران با ادغام داده‌های سری زمانی سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ برای منطقه مطالعاتی ایرلند به شناسایی آب‌های سطحی پرداختند تا با استفاده از این رویکرد و حذف آب‌های ثابت از تصاویر سیلابی، سیلاب رخ داده شده را از دیگر آب‌ها متمایز گردانند. رویکرد پیشنهادی

---

<sup>۵۹</sup> Otsu Threshold

<sup>۶۰</sup> object-based image analysis (OBIA)

آن‌ها شامل شانزده تصویر سنتینل-۱ به همراه تصاویر سنتینل-۲ در بازه سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۶ می-باشد که با استفاده از طبقه‌بندی کننده نظارت نشده فازی، آب از غیر-آب تفکیک می‌گردد و در پایان نتایج بدست آمده با یکدیگر تلفیق شده و خروجی نهایی اطلاعات سیل‌های مختلف را در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی مد نظر با دقت بسیار بالایی نشان می‌دهد [۵۵]. Beste و همکاران به شناسایی سیلاب در شهر اردو در کشور ترکیه با استفاده از ترکیب دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ پرداختند. این سیلاب که در سال ۲۰۱۸ رخ داد از خود آبرفت فراوانی بجا گذاشت که سبب تخریب پوشش‌های گیاهی منطقه شد بود و بدلیل نزدیکی شدت امواج برگشتی از سطح آبرفت و آب، شناسایی آب از غیر-آب توسط سنتینل-۱ کاری دشوار شده بود. به همین منظور آن‌ها پیشنهاد دادند تا علاوه بر استفاده از داده‌های سنتینل-۱، از داده‌های سنتینل-۲ نیز جهت شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب استفاده گردد. به علاوه به کمک داده‌های سنتینل-۲ قادر بودند تا اثرات سیل بر پوشش‌های گیاهی منطقه مطالعاتی را مورد پایش قرار دهند و تغییرات بوجود آمده را شناسایی کنند. در رویکرد پیشنهادی مطابق شکل ۲-۳ آنها با پیاده‌سازی دو شاخص MNDWI و NDVI به ترتیب به شناسایی آب‌های سطحی و سپس پوشش‌های گیاهی با استفاده از سنتینل-۲ پرداختند.



شکل ۲-۳ رویکرد پیشنهادی توسط Beste و همکاران

سپس با ترکیب داده‌های سنتینل-۱ و باندهای نوری سنتینل-۲ و شاخص‌های پیاده شده بر روی سنتینل-۲، با بکارگیری رویکرد طبقه‌بندی داده‌ها و با استفاده از طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده جنگل تصادفی، به شناسایی و ردیابی سیل در منطقه مطالعاتی پرداختند. از نتایج بدست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که شناسایی سیل به‌وسیله سنجنده سنتینل-۲ بسیار راحت و سریع‌تر از سنجنده سنتینل-۱ صورت می‌پذیرد و علاوه بر این، داده‌های سنتینل-۲ در تفکیک مواد آبرفتی از آب کمک فراوانی به طبقه‌بندی کننده کرده و باعث افزایش دقت نتیجه خروجی شده است. اما در شرایط جوی نامساعد تنها داده‌های سنتینل-۱ قادر به شناسایی سیل می‌باشند و ترکیب این دو سنجنده در مواقعی که دسترسی به یک داده امکان‌پذیر نباشد بسیار موثر خواهد بود [۵۶].

## ۴-۲ نتیجه‌گیری

با مطالعه تحقیقات دیگر پژوهشگران در زمینه استفاده از سیستم‌های سنجش از دوری می‌توان نتیجه گرفت که با بکار بردن تنها یک نوع سنجنده، عوارض شناسایی شده در سطح زمین از دقت به‌مراتب کمتری نسبت به ادغام چند نوع سنجنده برخوردار می‌باشد. از همین رو، سعی شده است تا با استفاده از چند سنجنده متفاوت شناسایی و استخراج آب‌های سطحی و سیلاب صورت پذیرد تا علاوه بر شناسایی دقیق‌تر آب از غیر-آب، نقشه قابل اتکایی از منطقه تحت سیل بدست آید.



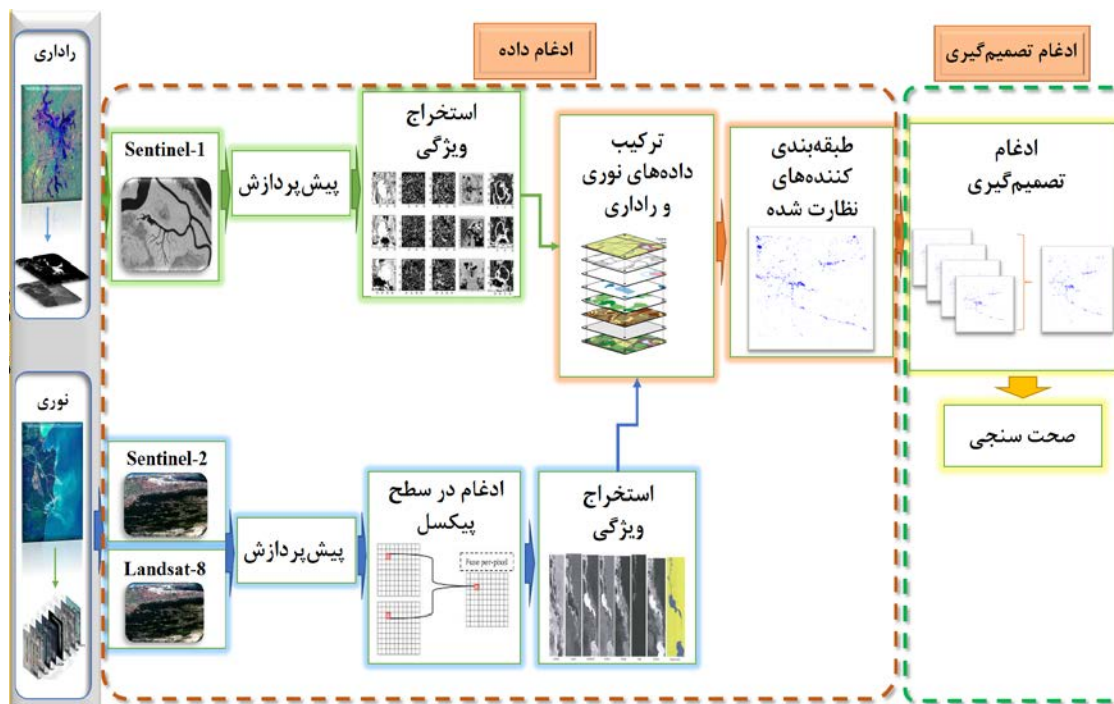
## فصل ۳ : روش تحقیق

### ۳-۱ مقدمه

در شناسایی و استخراج عوارض مختلف از سطح زمین با استفاده از سنجنده‌های سنجش از دور، روش‌های متعددی مورد بررسی و آزمایش پژوهشگران قرار گرفته است. همانطور که در فصل قبل مطالعه شد، هر سنجنده در شرایط خاص اطلاعات منحصر بفرد خود را در اختیار قرار می‌دهد و به همین منظور در این پایان‌نامه سعی شده تا با استفاده از ادغام داده‌های سنجنده‌های نوری و راداری علاوه بر افزایش توان تفکیک مکانی، کیفیت اطلاعات طیفی هر سنجنده نیز حفظ شود. در فصل سوم به بیان تئوریک رویکردهای بکاررفته به منظور شناسایی آب‌های سطحی و همچنین ردیابی سیلاب می‌پردازیم.

### ۳-۲ روش‌های تحقیق

شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب با استفاده از تنها یک سنجنده از نتیجه قابل قبولی برخوردار نخواهد بود، به همین منظور با رویکرد ادغام سنجنده‌ها و نتایج آن‌ها، خروجی بدست‌آمده از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. همانطور که در ساختار کلی روش پیشنهادی شکل ۳-۱ نشان داده شده است، در ابتدا تصاویر سنجنده‌های نوری و راداری پیش‌پردازش می‌شوند تا اثر شرایط جوی باعث افت کیفیت تصاویر دریافتی نشود. در ادامه با ادغام در سطح پیکسل سنجنده‌های نوری، در کنار حفظ کیفیت طیفی، جزئیات اطلاعات مکانی نیز افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند تا بتوان شاخص‌های آب را با جزئیات بیشتری استخراج کرد. سپس با ترکیب اطلاعات بدست‌آمده از داده‌های راداری و شاخص‌های آب در یک لایه، مجموعه داده مورد نیاز جهت طبقه‌بندی آماده می‌گردد و با استفاده از یادگیری ماشینی و طبقه‌بندی‌بندی کننده‌های نظارت شده آب از غیر آب استخراج می‌شود. از این جهت که شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیل به دقت بسیار بالایی احتیاج دارد، با استفاده از رویکرد ادغام تصمیم‌گیری خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها با یکدیگر ادغام شده و تصویری با جزئیات بیشتر و دقیق‌تری بدست می‌آید.



شکل ۳-۱- روش کلی استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دور

همانطور که در شکل ۳-۱ مشاهده می‌شود، ساختار کلی شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دوری از دو مرحله ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری تشکیل شده است. رویکرد ادغام داده‌ها شامل افزایش توان تفکیک مکانی سنجنده‌های نوری، استخراج ویژگی‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها می‌باشد، همچنین رویکرد ادغام تصمیم‌گیری به تلفیق تصاویر خروجی از طبقه‌بندی کننده‌ها با یکدیگر به منظور بدست آوردن یک تصویر با کیفیت و دقیق اطلاق می‌گردد.

روش‌های نوین مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از :

- افزایش توان تفکیک مکانی از ۲۰ متر به ۱۰ متر، در عین حفظ کیفیت داده‌های طیفی،

با استفاده از دو الگوریتم Gram-Schmidt و LMVM.

- استفاده از شاخص‌های کاربرد آب به جهت متمایز کردن آب از غیر-آب، سبب افزایش

دقت طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده بر پایه یادگیری ماشینی شدند.

- استفاده از یادگیری ماشینی در استخراج آب‌های سطحی و پیاده سازی آن بر روی مجموعه داده‌هایی شامل تصاویر نوری ۱۰ متری، شاخص‌های آب و داده‌های راداری.
- طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده همچون ماشین بردار پشتیبان (SVM)، شبکه عصبی (NN)، جنگل تصادفی (RF) و نزدیک‌ترین همسایگی K بواسطه رویکرد ادغام داده‌ها، به طبقه‌بندی آب‌های سطحی می‌پردازند.
- رویکرد ادغام تصمیم‌گیری با استفاده از شیوه رای‌گیری حداکثری و دمپسترشافر سبب شد تا تصاویر خروجی هر سه طبقه‌بندی کننده در یکدیگر ادغام شده و نتیجه خروجی علاوه بر دقت کلی و ضریب کاپای بالاتر، از خطای شناسایی (Omission و Commission) کمتری نیز در شناسایی آب‌های سطحی برخوردار باشد.

### ۳-۲-۱ پردازش داده‌های نوری

مطابق با شکل ۳-۱ سنجنده‌های چندطیفی نقش مهمی در شناسایی آب‌های سطحی ایفا می‌کنند، از همین‌رو برای استفاده و استخراج آب‌های سطحی لازم است تا فرایندهایی همچون پیش‌پردازش، پن-شارپ کردن تصاویر، استخراج شاخص‌های آب، طبقه‌بندی با استفاده از زبان ماشینی و ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها بر روی این دسته از سنجنده‌ها صورت پذیرد.

### ۳-۲-۱-۱ پیش‌پردازش داده‌های نوری (سنتینل-۲ و لندست-۸)

در هنگام تصویربرداری توسط سنجنده‌ها بدایلی همچون حرکت زمین، زاویه تابش آفتاب، امواج الکترومغناطیس تجهیزات رادیویی، ابروسل‌های موجود در جو زمین و عوامل متعدد دیگر تصاویر دریافتی توسط سنجنده‌های نوری دچار اعوجاج، جابجایی، عدم توازن رنگ‌ها و غیره می‌شود. یکی از مهم‌ترین مراحل قبل از استفاده از داده‌های سنجنده‌ها انجام فرایند پیش‌پردازش می‌باشد تا داده‌های

دریافتی بر مبنا ساختار رادیومتریکی، اتمسفریک و هندسی تصحیح شوند. انجام این فرایند باعث بهبود اطلاعات طیفی و مکانی سنجنده شده و داده‌های آن‌ها را برای پردازش آماده می‌کند.

- تصحیح رادیومتریکی<sup>۶۱</sup>

- تصحیح اتمسفریک<sup>۶۲</sup>

تصحیحات بالا به‌منظور از بین بردن اثرات جوی و تصحیح داده‌های دریافتی برای سنجنده‌های چندطیفی صورت می‌پذیرد. در **تصحیح رادیومتریکی** هرگونه عاملی که باعث ایجاد تغییر در انرژی رسیده به سنجنده شود، خطای رادیومتریکی می‌باشد. عوامل ایجاد کننده این خطا خود سنجنده، زمین و اتمسفر هستند. **تصحیح اتمسفریک** عبارت است از اصلاح اثرات اتمسفر از روی امواج رسیده به سنجنده [۵۷].

### ۳-۲-۱-۲ شاخص‌های آب

شاخص‌های آب به عنوان روشی پرکاربرد در ایجاد تمایز بین آب از غیر-آب با استفاده از روابط جبری بر روی باندهای سنجنده‌های چندطیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کار این شاخص‌ها اختصاص دادن مقدار یک به آب و صفر به غیرآب می‌باشد که این امر سبب شناسایی بهتر آب‌ها از دیگر عوارض سطح زمین می‌شود. در بین شاخص‌های آب، پنج شاخص پرکاربرد زیر بکار گرفته شد تا آب با رنگ روشن از محیط پیرامون خود متمایز گردد. شاخص‌های آب پرکاربرد بکار رفته در این تحقیق به شرح زیر می‌باشند.

- NDWI

شاخص تفاوت نرمال آب (NDWI) در سال ۱۹۹۶ توسط مک فیتز به‌منظور ایجاد تمایز بین آب از دیگر عوارض سطح زمین معرفی شد. در این شاخص از دو باند طیفی سبز (Green) و نزدیک فروسرخ

---

<sup>۶۱</sup> Radiometric Calibration

<sup>۶۲</sup> Atmospheric correction

Near-InfraRed (NIR) با طول موج‌های  $0.56 \mu\text{m}$  و  $0.86 \mu\text{m}$  به ترتیب برای آب‌های موجود در گیاهان و آب‌هایی با بازتاب کم یا به اصطلاح آب ضعیف استفاده گردید، که در رابطه (۲-۳) و (۳-۳) اساس آن نشان داده شده است.

$$NDWI = \{\rho(0.86\mu\text{m}) - \rho(1.24\mu\text{m})\} / \{\rho(0.86\mu\text{m}) + \rho(1.24\mu\text{m})\} \quad (۳-۲)$$

$$NDWI = \{(Green - NIR) / (Green + NIR)\} \quad (۳-۳)$$

همانطور که در رابطه (۲-۳) مشاهده می‌شود منظور از عبارت  $\rho(\lambda)$  مقدار بازتاب ظاهری دریافتی می‌باشد و همچنین به طول موج استفاده شده اشاره دارد که می‌توان عبارت  $\rho(\lambda)$  از رابطه (۴-۳) بدست آورد.

$$\pi L(\lambda) / [\cos(\theta_0) E_0(\lambda)] \quad (۳-۴)$$

در این معادله،  $L(\lambda)$  درخشندگی اندازه‌گیری شده  $\theta_0$  زاویه اوج خورشیدی<sup>۶۴</sup> و در نهایت  $E_0(\lambda)$  تابش خورشیدی<sup>۶۵</sup> بالای اتمسفر زمین می‌باشد.

این شاخص در عین حال که از باندهای نزدیک فروسرخ (NIR) استفاده می‌کند، قادر به ایجاد تمایز بین آب و خاک نمی‌باشد، همچنین در مناطق شهری در شناسایی آب‌های سطحی با ضعف‌هایی روبروست. در عین حال، اثرات اتمسفر اثر بسیار اندکی بر روی این شاخص دارند و از دقت آن نمی‌کاهند.  
[۵۸].

#### • MNDWI

شاخص اصلاح شده تفاوت نرمال آب (MNDWI) در سال ۲۰۰۵ توسط هنگو به‌منظور کاهش خطا در شناسایی آب‌های سطحی مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص قادر بود تا اثرات ساختمان‌ها، خطای

---

<sup>۶۳</sup> measured radiance

<sup>۶۴</sup> solar zenith angle

<sup>۶۵</sup> solar irradiance

شناسایی خاک‌های شور و همچنین آب گیاهان را در شناسایی آب‌های سطحی نادیده بگیرد و همچنین از دقت بالاتری نسبت به (NDWI) برخوردار باشد. هنکو با استفاده از باند موج کوتاه فروسرخ (SWIR)<sup>۶۶</sup> با طول موج ۱/۶۱ μm توانست دقت شناسایی آب‌های سطحی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشد این در حالیکه شاخص NDWI از باند نزدیک فروسرخ (NIR) استفاده کرده بود. رابطه (۳-۵) نشان دهنده باندهای بکار رفته در این روش می‌باشد [۵۹].

$$MNDWI = \{(Green - SWIR1) / (Green + SWIR1)\} \quad (۳-۵)$$

#### • AWEI

شاخص استخراج آب خودکار (AWEI)<sup>۶۷</sup> در سال ۲۰۱۴ توسط فیسا و همکاران معرفی گردید. آن‌ها با انجام آزمایشات گسترده بر روی آب‌های شفاف، ضرابی را برای آستانه‌گذاری به‌منظور شناسایی آب‌های سطحی بدست آوردند. اساس این شاخص ایجاد تفاوت بین باندهای طیفی است تا از طریق این رویکرد آب‌ها با دقت بیشتری نسبت به غیر-آب شناسایی شوند. شناسایی آب‌های سطحی در مناطقی که سایه به عنوان یک مشکل اساسی شناخته می‌شود کاری بسیار دشوار می‌باشد، از همین رو شاخص AWEI\_sh با استفاده از باندهای طیفی آبی (Blue)، سبز (Green)، نزدیک فروسرخ (NIR)، موج کوتاه فروسرخ (SWIR-1) و (SWIR-2) به ترتیب با طول موج ۰/۴۹ μm ، ۰/۵۶ μm ، ۰/۸۶ μm ، ۱/۶۱ μm و ۲/۱۹ μm قادرند تا در شرایط پیچیده همچون وجود سایه آب‌های سطحی را با دقت قابل قبولی متمایز کند [۶۰].

• **AWEI\_sh** = این شاخص برای مناطقی که سایه موجود در تصاویر بدلیل اختلاف ارتفاع

منطقه مانع از شناسایی آب‌های سطحی می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

<sup>۶۶</sup> Short-Wave InfraRed (SWIR-1)

<sup>۶۷</sup> Automated Water Extraction Index (AWEI)

$$AWEI_{sh} = Blue + 2.5 \times Green - 1.5 \times (NIR - SWIR1) - 0.25 \times SWIR2 \quad (3-6)$$

•  $AWEI_{nsh}^{25} =$  برای مناطقی که سایه از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$AWEI_{nsh} = 4 \times (Blue - NIR) - (0.25 \times Red + 2.75 \times SWIR2) \quad (3-7)$$

#### • $WI_{2015}$

شاخص آب ( $WI_{2015}$ )<sup>۶۸</sup> که توسط فیشر و همکاران که در سال ۲۰۱۵ معرفی شد نسخه بهبود یافته شاخص  $WI_{2005}$  دانهر و همکاران در سال ۲۰۰۶ می‌باشد [61]. آن‌ها توانستند با استفاده از تصاویر بازتابی از سطح زمین بجای تصاویر بالای اتمسفر  $TOA^{26}$  دقت این شاخص را در ایجاد تمایز و شناسایی آب از غیر آب بهبود بخشند. با استفاده از طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل تفکیکی خطی (LDAC)<sup>۶۹</sup>، ضرایب آستانه‌گذاری بهینه بدست آمد که با ادغام آن در رابطه نهایی، رابطه (۳-۸) بدست آمد [۶۲].

$$WI_{2015} = 1.7204 + 171Green + 3Red - 70NIR - 45SWIR1 - 71SWIR2 \quad (3-8)$$

شاخص  $WI_{2015}$  با استفاده از باندهای NIR و SWIR و آستانه‌گذاری بهینه، دقت بالاتری در ایجاد تمایز بین آب و غیر-آب نسبت به دیگر شاخص‌ها برخوردار می‌باشد. دقت شاخص‌های آب به کیفیت آب و اندازه و حجم آن ارتباط دارد بطوریکه آب‌های عمیق زلال و آب‌های گل‌آلود و رودهای کوچک به سختی شناسایی شده و از همین رو استفاده از شاخص قدرتمند و دقیق سبب بهبود در شناسایی آب‌های سطحی می‌شود.

<sup>۶۸</sup> Water Index 2015

<sup>۶۹</sup> linear discriminant analysis classification

### ۳-۲-۱-۳ پن شارپ<sup>۷۰</sup>

به منظور استخراج عوارض سطح زمین از تصاویر سنجنده‌ها، علاوه بر اطلاعات طیفی به اطلاعات مکانی با جزئیات بالا نیز احتیاج است، به‌طوری‌که در تصاویر چندطیفی، باندهای طیفی از قدرت تفکیک طیفی بالاتری نسبت به باندهای مکانی برخوردار هستند و درمقابل باند پانکروماتیک<sup>۷۱</sup> قدرت تفکیک مکانی بالاتری نسبت به باندهای طیفی دارا می‌باشد. با استفاده از رویکرد پن شارپ کردن تصاویر سنجنده‌ها و ادغام باندهای چندطیفی و باندهای مکانی، تصویری با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا حاصل می‌شود که شناسایی آب‌های سطحی را با دقت بالاتری ممکن می‌سازد.

از همین‌رو رویکرد پن شارپ کردن تصاویر سنجنده‌های نوری امری مهم و کاربردیست که با استفاده از آن می‌توان توان تفکیک مکانی تصاویر را بر اساس باند پانکروماتیک به مقدار قابل توجهی افزایش داد که به سبب آن تصاویر از دقت مکانی و طیفی بالاتری برخوردار می‌شوند.

#### • الگوریتم Gram-Schmidt

الگوریتم Gram-Schmidt که به اختصار GS نامیده می‌شود، به عنوان یکی از روش‌های معتبر در افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر سنجنده‌های نوری استفاده می‌شود [۶۳]. اساس این شیوه استفاده از باند پانکروماتیک می‌باشد که از توان تفکیک مکانی بالایی برخوردار است. باند پانکروماتیک در باندهای چندطیفی ادغام شده و پس از افزایش توان مکانی اطلاعات طیفی را به پیکسل‌های مرتبط اختصاص می‌دهد و بدین نحو در عین حفظ کیفیت اطلاعات طیفی در حد مناسب، توان تفکیک مکانی نیز افزایش یافته و به‌واسطه جزئیات بیشتر، دقت شناسایی عوارض سطح زمین افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند. در تبدیل GS به اندازه تعداد باندهای ادغام شونده، مولفه ایجاد می‌شود. در قدم بعدی با جایگزینی اولین مولفه تصویر با باند اصلی پانکروماتیک، تلفیق صورت می‌پذیرد.

---

<sup>۷۰</sup> Pansharpening

<sup>۷۱</sup> Panchromatic

با فرض اینکه مجموعه  $S = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$  بردارهای پایه متعامد فضای ضرب داخلی  $V$  باشد ،

هر بردار  $w \in V$  را می توان به صورت ترکیبی خطی از بردارهای پایه  $S$  نشان داد [۶۴]–[۶۷].

$$w = \frac{(w, v_1)}{\|v_1\|^2} v_1 + \frac{(w, v_2)}{\|v_2\|^2} v_2 + \dots + \frac{(w, v_n)}{\|v_n\|^2} v_n \quad (3-9)$$

اگر فرض شود که  $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  در فضای ضرب داخلی  $V$  پایه مورد نظر است ، میتوان با استفاده از

الگوریتم GS پایه متعامد  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  را تشکیل داد:

$$\text{Proj}_v(u) = \frac{(u, v)}{\|v\|^2} v \quad (3-10)$$

مرحله اول

$$v_1 = u_1 \quad (3-11)$$

مرحله دوم

$$v_2 = u_2 - \text{Proj}_{v_1}(u_2) \quad (3-12)$$

مرحله سوم

$$v_3 = u_3 - \text{Proj}_{v_1}(u_3) - \text{Proj}_{v_2}(u_3) \quad (3-13)$$

مرحله N ام

$$v_n = u_n - \sum_{j=1}^{n-1} \text{Proj}_{v_j}(u_n) \quad (3-14)$$

در این حالت ، بردار  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  متشکل از  $N$  بردار خطی مستقل به عنوان پایه متعامد این فضا

شکل می گیرد [۶۸].

• الگوریتم متوسط محلی و انطباق واریانس (LMVM)<sup>۷۲</sup>

در بین شیوه‌های پن‌شارپ الگوریتم متوسط محلی و انطباق واریانس (LMVM) کمیت اطلاعات مکانی و کیفیت اطلاعات طیفی را به‌درستی حفظ می‌کند. در واقع، این الگوریتم یک کانال شبه طیفی جدید با وضوح مکانی بهبود یافته با استفاده از باند پانکروماتیک با طول موج مشخص ایجاد می‌کند. رابطه (۱۵-۳) به تشریح الگوریتم بکاررفته در این رویکرد می‌پردازد [۶۹]، [۷۰].

$$F_{(c,l)} = \frac{(DN_{H(c,l)} - \mu_{H(c,l)})(\sigma_{L(c,l)})}{\sigma_{H(c,l)}} + \mu_{L(c,l)} \quad (۳-۱۵)$$

در رابطه (۱۵-۳)،  $F_{(c,l)}$  تصویر تلفیق شده را در مختصات  $(c,l)$  نشان می‌دهد. همچنین  $DN_{H(c,l)}$  مقدار تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا را در مختصات  $(c,l)$  نشان می‌دهد.  $\mu_{H(c,l)}$  بیانگر مقدار متوسط محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا در مرکز مختصات  $(c,l)$  می‌باشد.  $\mu_{L(c,l)}$  بیانگر مقدار متوسط محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی پایین در مرکز مختصات  $(c,l)$  می‌باشد.  $\sigma_{H(c,l)}$  نشان‌دهنده میانگین محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا متمرکز بر مختصات  $(c,l)$  می‌باشد.  $\mu_{H(c,l)}$  نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار محلی استاندارد تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا، متمرکز بر مختصات  $(c,l)$  است.  $\mu_{L(c,l)}$  مقدار انحراف معیار محلی استاندارد تصویر با دقت تفکیک مکانی پایین، متمرکز بر مختصات  $(c,l)$  را نشان می‌دهد.

### ۳-۳ پردازش داده‌های راداری

پردازش داده‌های راداری شامل مجموعه فرایندهایی می‌باشد که اطلاعات بدست‌آمده از سنجنده‌های راداری را به‌منظور طبقه‌بندی آماده می‌کند.

---

<sup>۷۲</sup> Local Mean and Variance Matching

### ۳-۳-۱ پیش پردازش

سنجنده‌های راداری همچون سنجنده‌های چندطیفی در هنگام تصویربرداری با خطاهایی همراه هستند که علت این خطاها بعضاً در اثر عوارض روی سطح زمین و از طرف سنسورهای سنجنده راداری رخ می‌دهد. به همین علت، از بین بردن خطاها و اصلاح تصاویر راداری سبب می‌شود تا اطلاعات مورد پردازش از شدت و دقت مناسب برخوردار باشند [۵۷].

- **اختصاص اطلاعات گردش (AOF)**<sup>۷۳</sup>: اولین مرحله پردازش اختصاص اطلاعات گردش در محصولات سنتینل-۱ به منظور ارائه اطلاعات دقیق موقعیت و سرعت ماهواره می‌باشد.
- **حذف نویزهای حرارتی (TNR)**<sup>۷۴</sup>: حذف نویز حرارتی باعث کاهش اثرات نویز در بافت تصاویر می‌شود، همچنین با نرمال‌سازی سیگنال برگشتی باعث کاهش ناپیوستگی بین پستی بلندی‌ها در صحنه می‌شود.
- **کالیبراسیون**<sup>۷۵</sup>: هدف از کالیبراسیون ارائه تصاویری است که در آن مقادیر پیکسل مستقیماً با قدرت برگشتی از صحنه مرتبط شود.
- **فیلتر اسپکل**<sup>۷۶</sup>: فیلتر Refine Lee بهبودیافته فیلتر Lee می‌باشد و می‌تواند برجستگی لبه‌ها ، ویژگی‌های خطی ، نقاط هدف و اطلاعات بافت را حفظ کند [۷۱].

---

<sup>73</sup> Apply-Orbit-File (AOF)

<sup>74</sup> Thermal-Noise-Removal (TNR)

<sup>75</sup> Calibration

<sup>76</sup> Speckle-Filter

- **تصحیح زمین<sup>۷۷</sup>:** تصحیح زمین Range Doppler با تصحیح اعوجاج های هندسی ناشی از توپوگرافی مانند سایه ها و فشردگی تصاویر<sup>۷۸</sup>، با استفاده از DEM منطقه برای تصحیح موقعیت هر پیکسل بکار می رود.

### ۳-۲-۳ آستانه گذاری

یکی از ساده ترین روش های طبقه بندی تصاویر آستانه گذاری<sup>۷۹</sup> تصویر می باشد. در این روش تصویر موجود با استفاده از روش های بهینه به تصویری باینری (سیاه و سفید) تبدیل می گردد و اشیاء مورد نظر از پس زمینه جدا می شوند. با استفاده از این رویکرد داده هایی که برای ناظر از اهمیت کمتری برخوردار می باشند، حذف شده و مقدار آن به صفر تغییر می یابد و اطلاعات با اهمیت بیشتر مقدار یک را دریافت می کند و جدا می شوند. این روش علاوه بر سرعت بالا از دقت نسبی مناسبی برخوردار می باشد به همین دلیل از خروجی این رویکرد جهت کمک به پردازش تصویر توسط دیگر طبقه بندی کننده ها استفاده می شود [۴۲].

به طور کلی روش های آستانه گذاری تصویر به دو دسته تقسیم می شوند:

- **آستانه گذاری سراسری<sup>۸۰</sup>:** یک سطح آستانه برای همه پیکسل های تصویر تعریف می شود. این روش به عنوان کلی ترین و ساده ترین روش آستانه گذاری برای تمامی پیکسل های موجود در صحنه، یک مقدار مشخص در نظر گرفته می شود و سپس مقدار روشنایی باقی پیکسل ها با مقدار مشخص شده مقایسه می شود. چنانچه مقدار روشنایی (شدت) پیکسل ها کمتر از مقدار تعریف شده باشد آن پیکسل ها به رنگ سیاه (صفر) تغییر می یابد و پیکسل هایی که مقدارشان

---

<sup>۷۷</sup> Terrain-Correction

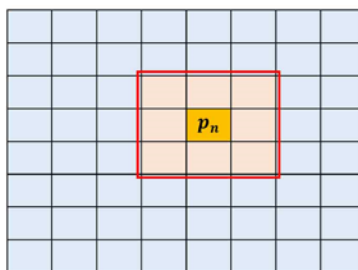
<sup>۷۸</sup> Foreshortening

<sup>۷۹</sup> Thresholding

<sup>۸۰</sup> global thresholding

بیشتر از شدت تعریف شده باشد به رنگ سفید (یک) تغییر می‌یابند. مهم‌ترین ویژگی روش سراسری سرعت آن در جداسازی داده‌ها می‌باشد در مقابل این روش برای داده‌هایی که از دو شدت روشنایی تشکیل شده باشند کاربردی می‌باشد و در محیط‌هایی با آشفتگی داده، نتیجه خوبی حاصل نمی‌گردد. به همین منظور به سراغ آستانه‌گذاری محلی (انطباقی) می‌رویم.

- **آستانه‌گذاری محلی<sup>۸۱</sup>:** سطح آستانه به صورت محلی تعریف می‌شود، به عبارتی مطابق شکل ۳-۲ به ازای هر پیکسل یک سطح آستانه مجزا تعریف می‌شود. در این روش برای آستانه‌گذاری، پیکسل‌های همسایه پیکسل مورد نظر نیز در تعیین مقدار آستانه نقش ایفا می‌کنند و هر ناحیه از تصویر از آستانه منحصر بفردی برخوردار می‌باشد و تمامی بخش‌های تصویر بطور بهینه باینری می‌شوند.



شکل ۳-۲- آستانه‌گذاری محلی

## ۳-۴ طبقه‌بندی کننده

مهم‌ترین و اساسی‌ترین مرحله در استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب بدون شک طبقه‌بندی آن‌ها می‌باشد. این مسئله از این جهت اهمیت دارد که طبقه‌بندی کننده‌ها بدلیل حساسیت بالایی که به نمونه‌های جمع‌آوری شده دارند، از دقت‌های متفاوتی نیز برخوردار هستند. در فرایند طبقه‌بندی باید به کیفیت نمونه‌های جمع‌آوری شده و همچنین تعداد آن توجه ویژه‌ای داشت، زیرا آنچه که در کمک

---

<sup>۸۱</sup> local/adaptive thresholding

به شناسایی بهتر عوارض توسط طبقه‌بندی کننده‌ها نقش اساسی ایفا می‌کند دو عامل کیفیت و تعداد هستند. از این جهت که تعداد نامناسب سبب آشفتگی در شناسایی شده و همچنین کیفیت پایین نمونه‌ها در فرایند یادگیری طبقه‌بندی کننده‌ها اخلال ایجاد کرده و دقت نتیجه خروجی را بشدت پایین می‌آوردند. چالش دیگر انتخاب طبقه‌بندی کننده نظارت شده می‌باشد، چراکه تشخیص و انتخاب درست طبقه‌بندی کننده مناسب نقش بسیار تعیین کننده‌ای در دقت خروجی آن ایفا می‌کند [۷۲].

### ۳-۴-۱ طبقه‌بندی کننده‌های نظارت نشده

در محیط‌هایی که پوشش عوارض منطقه برای کاربر گیج کننده بوده و یا بطور مثال از تنوع پوشش گیاهی یا خاک منطقه اطلاعاتی در دست نباشد، تعلیم طبقه‌بندی کننده با استفاده از نمونه‌های آموزشی کاری دشوار و پیچیده‌ای خواهد بود، به همین دلیل طبقه‌بندی کننده‌های نظارت نشده وارد عمل شده و منطقه یا داده‌هایی که قابلیت دسته‌بندی با آموزش را ندارند، دسته بندی می‌کنند. یک طبقه بندی کننده بدون نظارت پیکسل ها را برای طبقه بندی با هیچ اطلاعات قبلی مقایسه نمی‌کند. بلکه تعداد زیادی از نقاط داده ناشناخته را بررسی کرده و آنها را بر اساس خواص ذاتی داده‌ها به کلاس‌ها تقسیم می‌کند [۷۳]، [۷۴].

طبقه بندی تصویر بدون نظارت کاملاً بر اساس شناسایی خودکار و اختصاص پیکسل های تصویر به گروه های طیفی که در منطقه وجود دارد عمل می‌کند. این برنامه تنها اندازه‌گیری فاصله طیفی را در نظر می‌گیرد و حداقل تعامل با کاربر را شامل می‌شود. این رویکرد پس از طبقه‌بندی نیاز به تفسیر دارد. کاربر اغلب تعداد کلاس‌هایی را که باید پیدا شود را مشخص می‌کند و این کلاس‌ها نامعین هستند (یعنی این که کاربر باید معنای فیزیکی آنها را تعیین کند).

به‌طور کلی، یک طبقه‌بندی کننده بدون نظارت نیاز به پارامترهای زیر دارد که توسط کاربر مشخص

می‌شود:

- تعداد کلاس‌ها

- تعداد باند
- فاصله طیفی یا شعاع در فاصله طیفی
- پارامترهای فاصله فضایی طیفی هنگام ادغام خوشه ها

### ۳-۴-۲ طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده

بعد از انتخاب صحیح طبقه‌بندی کننده مناسب برای محیط تحقیقاتی، نوبت به انتخاب نقاط آموزش می‌رسد که در این مرحله تشخیص کلاس‌ها و برچسب‌گذاری پیکسل‌ها به عنوان دو اصل مهم و اساسی در طبقه‌بندی داده‌ها می‌باشند. در مرحله تشخیص کلاس‌ها به دسته‌بندی یا کلاس‌بندی عوارض زمین می‌پردازیم، به عبارتی وقتی بدنبال آب و غیر-آب هستیم دو کلاس برای طبقه‌بندی کننده مشخص می‌کنیم، یک کلاس به طبقه‌بندی کننده آب را تعلیم می‌دهد و کلاس دیگر تمام عوارض زمین را که آب در آن نیست را تعلیم می‌دهد. در مرحله بعد نوبت به برچسب‌گذاری پیکسل‌ها می‌رسد که به معنی اختصاص کلاس‌های مشخص شده به پیکسل‌های روی تصویر می‌باشد. نقاطی که قصد آموزش و یاددهی آب را برای طبقه‌بندی کننده دارند را مشخص کرده حال نوبت به آن می‌رسد که پیکسل‌های حاوی اطلاعات آب را بر اساس نقاط آموزشی که مشخص شده برچسب‌گذاری شود تا طبقه‌بندی کننده آماده استخراج آب گردد [۷۵].

### ۳-۴-۲-۱ ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان را می‌توان یکی از پرکاربردترین طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده در طبقه‌بندی انواع داده با استفاده از یک ابرصفحه در فضای چندبعدی نام برد. این طبقه‌بندی کننده خطی نظارت شده که به اختصار SVM شناخته می‌شود، اولین بار توسط Boser و Vapnik به منظور دسته‌بندی خطی داده‌ها معرفی شد [۷۶]. از آنجایی که طبقه‌بندی کننده SVM در دسته طبقه‌بندی کننده‌های خطی جای گرفته است، از این رو داده‌های ورودی به دو دسته یا کلاس  $+1$  یا  $-1$  اختصاص پیدا می‌کند.

از آنجایی که SVM طبقه بندی خطی می‌باشد می‌توان ضرب اسکالر را برای آن از رابطه  $w^T X = \sum_i w_i x_i$  تعریف کرد. این رابطه را بر روی مجموعه داده  $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$  که برداری با اجزای  $x_i$  (i امین نمونه مجموعه داده) و  $y_i$  کلاس تعریف شده برای نمونه ورودی  $x_i$  باشد، می‌توان تعریف کرد. رابطه (۳-۱۵) فرم کلی طبقه‌بندی کننده‌های خطی را نشان می‌دهد.

$$f(x) = w^T X + b \quad (3-16)$$

در این رابطه  $w$  نشان دهنده بردار وزن و  $b$  بایاس می‌باشد. این رابطه مرز بین دو کلاس را در یک صفحه با تقسیم کردن آن به دو قسمت مشخص می‌کند. نقاطی که در این مجموعه جای دارند به صورت یک خط در حالت دو بعدی، یک صفحه در حالت سه بعدی و یک چند صفحه در حالت کلی (ابر صفحه) ایجاد می‌کنند. از همین رو مرز تصمیم‌گیری بر اساس مرز بین نواحی شکل می‌گیرد. مسئله اساسی که در صفحات تقسیم کننده شکل می‌گیرد، انتخاب صفحه جداکننده بهینه از میان صفحات موجود می‌باشد. صفحه بهینه قادر است تا مجموعه داده‌های ورودی را به بهترین شکل و با حاشیه اطمینان مناسب نسبت مرز از یکدیگر جدا کند، به همین منظور برای انتخاب بهترین حالت به سراغ حل مسئله بهینه‌سازی مقید مطابق رابطه (۳-۱۷) می‌رویم.

$$\text{Minimize} : \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (3-17)$$

$$\text{Subject to} : y_i (w^T x_i + b) \geq 1$$

برای حل مسئله درجه دوم بهینه‌سازی از ضرایب لاگرانژ مطابق با رابطه (۳-۱۸) استفاده می‌کنیم.

$$L(w, b; h) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^N h_i [y_i (w x_i + b) - 1] \quad (3-18)$$

به‌طور کل طبقه‌بندی داده‌ها به صورت خطی بدلیل عدم پیوستگی در اطلاعات ورودی در اکثر موارد امکان‌پذیر نمی‌باشد و به‌همین دلیل الگوریتم SVM برای بدست آوردن صفحه مناسب داده‌ها را به ابعاد بزرگتر انتقال می‌دهد. به عبارتی با استفاده از تابع انتقال که هسته مرکزی نامیده می‌شود، داده‌ها در فضایی غیرخطی طبقه‌بندی می‌شوند [۷۷].

توانایی SVM در یادگیری و آموزش و همچنین پردازش حجم بالایی از داده‌ها، سبب شده تا امروزه استفاده از این طبقه‌بندی کننده خطی افزایش چشمگیری پیدا کند. در کنار قدرت بالا یادگیری و پردازش، این طبقه‌بندی کننده تنها قادر است داده‌هایی دو کلاسه را پردازش و طبقه‌بندی کند. از این جهت که در سنجش از دور به بیشتر از دو کلاس در تحلیل و بررسی منطقه مطالعاتی نیاز است، محققین با تلاش زیاد SVM چند کلاسه را توزیع و انتشار داده‌اند. در این نسخه از الگوریتم SVM مسئله به چند زیر مسئله تقسیم می‌شود و نتایج هر زیر مسئله در یکدیگر ادغام شده و نتیجه نهایی را شکل می‌دهند.

### ۳-۲-۴ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، که به اختصار شبکه‌های عصبی (NN) نامیده می‌شوند، سیستم‌های محاسباتی هستند که از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی که مغز حیوانات را تشکیل می‌دهند، الهام گرفته‌اند. شبکه عصبی مصنوعی بر اساس مجموعه‌ای از گره‌های متصل به نام نورون‌های تشکیل شده است که نورون‌ها را در یک مغز مدل می‌کنند. هر اتصال مانند سیناپس‌های مغز، می‌تواند سیگنالی را به سایر نورون‌ها منتقل کند. شبکه‌های عصبی از جمله گسترش برگشتی BP<sup>۸۲</sup>، پرسپترون چند لایه MLP<sup>۸۳</sup> و توابع شعاعی پایه RBF<sup>۸۴</sup> و غیره انواع مختلف این الگوریتم می‌باشند که به تحلیل و آنالیز داده‌ها می‌پردازند. این طبقه‌بندی کننده نظارت شده بدلیل استقلال از توزیع نرمال در طبقه‌بندی و همچنین ساختار غیرپارامتریک آن در سه دهه اخیر بسیار مورد توجه محققین در سنجش از دور قرار گرفته است.

یادگیری در این سیستم‌ها تطبیقی است، به این معنی که با استفاده از مثال‌ها، وزن سیناپس‌ها به

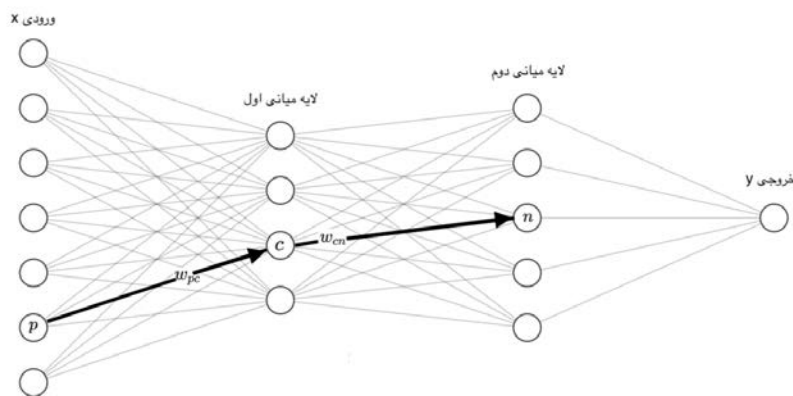
---

<sup>82</sup> BackPropagation

<sup>83</sup> Multi-Layer Perceptron

<sup>84</sup> Radial Basis Function

گونه‌ای تغییر می‌کند که سیستم جدید پاسخ صحیح ایجاد می‌کند. یکی از متداول‌ترین روش‌های حل مسئله بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی پس‌انتشار است [۷۸]، [۷۹]. یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین ویژگی آن عدم نیاز به داده‌های آموزشی زیاد و متغیرهای آماری می‌باشد که همین امر سبب شده تا علاوه بر سرعت بالا در بدست آوردن خروجی، دامنه کاربرد آن نیز گسترده‌تر شود [۷۴]. مطابق شکل ۳-۳ طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی از سه جزء متشکل از داده‌های آموزشی، اعتبار سنجی شبکه و خروجی طبقه‌بندی، تشکیل شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در شبکه عصبی بعد از دریافت داده‌های ورودی و وزندهی بر روی داده‌ها، آن‌ها را در لایه پنهان مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد. از آنجاکه شبکه عصبی BP مورد نظر است، بعد از تحلیل داده‌ها چنانچه در هنگام صحت‌سنجی داخلی معیارهای لازمه توسط تحلیل و بررسی حاصل نشود، مجدداً داده‌ها به ورودی بازگشت داده شده و مورد وزندهی و دسته‌بندی مجدد قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که تعیین تعداد لایه‌های پنهان از طریق انجام سعی و خطا بدست می‌آید [۸۰]. برای جزئیات دقیق‌تر می‌توان به [۸۱]، [۸۲] مراجعه کرد.



شکل ۳-۳- شبکه عصبی مصنوعی Neural Network

همانگونه که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود، ورودی که از سلول عصبی P به سلول عصبی C وارد می‌شود را با  $b_{pc}$  نمایش می‌دهیم. در معادله ۳-۱۹ وزن ورودی به عصب C را با عبارت  $w_{pc}$  نشان داده، همچنین  $a_c$  مجموع ضرب ورودی‌ها به همراه وزن‌هایشان را نمایش می‌دهد.

$$a_c = \sum_p w_{pc} \times b_{pc} \quad (۳-۱۹)$$

در ادامه با استفاده از معادله ۳-۱۹ تابع غیرخطی  $\theta_c$  را روی  $a_c$  اعمال می‌کنیم.

$$b_c = \theta_c(a_c) \quad (3-20)$$

همچنین خروجی سلول  $c$  که به سلول  $n$  وارد می‌شود را با عبارت  $b_{cn}$  نشان می‌دهیم و وزن آن را  $W_{cn}$  می‌نامیم. از آنجایی که هدف، یادگیری این وزن‌ها می‌باشد تمام وزن‌ها را در مجموعه‌ای با نام  $W$  قرار می‌دهیم. چنانچه خروجی داده‌های  $x, y$  باشد و همچنین خروجی شبکه عصبی نیز  $h_w(x)$  باشد، هدف بدست آوردن مقدار  $W$  می‌باشد به‌طوری‌که داده‌های  $y$  و  $h_w(x)$  همگرا شده و نتایج آن‌ها به یکدیگر نزدیک شود. هدف از این کار کوچک کردن تابع هزینه بر روی تمامی داده می‌باشد به عبارتی دیگر، تابع هزینه را با  $I$  و داده‌ها را با  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  نشان دهیم، کمینه تابع  $Q(W)$  هدف شبکه عصبی گسترش برگشتی می‌باشد.

$$Q(W) = \sum_{i=1}^n I(h_w(x_i), y_i) \quad (3-21)$$

### ۳-۲-۴-۳ جنگل تصادفی

طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی با تجميع تعدادی طبقه‌بندی کننده ضعیف درخت تصمیم‌گیری در کنار یکدیگر و با استفاده از ساختار کیسه‌گذاری<sup>۸۵</sup>، طبقه‌بندی کننده قدرتمندی را شکل می‌دهد. بدین نحو در روش طبقه‌بندی به وسیله جنگل تصادفی، جنگل‌ها نقش طبقه‌بندی کننده‌های ضعیف را ایفا می‌کنند و درختان موجود در هر جنگل به صورت مستقل و تصادفی مجموعه داده‌هایی را به خود اختصاص می‌دهند [۸۳]. این الگوریتم قادر است در عینی که درختان برای آموزش از داده‌های تکراری برخوردار باشند و تعدادی از ویژگی‌ها به‌طور کل به درختان اختصاص نیافته باشد، اما با قدرت و دقت به طبقه‌بندی داده‌ها پردازد. از عمده ویژگی‌های جنگل تصادفی انتخاب تصادفی نمونه‌ها می‌باشد. درختان موجود در جنگل با استفاده از ترکیب تصادفی ویژگی‌ها ترکیب بهینه را برای طبقه‌بندی بدست

---

<sup>۸۵</sup> Bagging

می‌آوردند و از همین رو انتظار می‌رود تا اثرگذاری ویژگی‌های نامرتبط به کمترین حد خود برسد و ویژگی‌های اصلی به درستی شناسایی شود. با استفاده از بردار ویژگی برای درختان جنگل، کارایی طبقه‌بندی کننده بسته به آموزش و تصمیم‌گیری‌های متفاوت، متفاوت خواهد بود.

با در نظر گرفتن مجموعه داده‌های آموزشی  $(x_i, y_i)$  که برداری از  $M$  متغیر و  $y_i$  متغیر پاسخ متناظر را شکل می‌دهند چنانچه کل درخت‌های مدل با  $n_{tree}$  نشان داده شوند، مراحل زیر الگوریتم ایجاد هر درخت را بیان می‌کند.

- در آغاز تمامی داده‌های ورودی به همه درختان ارسال می‌شود سپس بصورت تصادفی هر درخت به نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد داده‌های را انتخاب می‌کند و باقی آن را (۳۰ درصد) برای ارزیابی جواب خود در نظر می‌گیرد.
- در قدم بعد  $m$  متغیر تصادفی برای تصمیم‌گیری داده‌هایی که به هر گره می‌رسد انتخاب می‌شود. سپس برای تقسیم فضای متغیرها از مقادیر  $m$  و نمونه  $N$  تایی که در گام اول بدست آمد، استفاده می‌شود تا متغیر بهینه و نقطه افراز مناسب بدست بیاید.
- به منظور افراز نواحی موجود در مرحله قبل به دو قسمت، روش درخت رگرسیون با استفاده مجدد از  $m$  متغیر و نمونه  $N$  تایی انتخاب شده در مرحله اول، بکار می‌رود.
- با انجام این مراحل درخت رگرسیونی  $\lambda$ ام به نواحی  $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{i,ri}$  تقسیم می‌گردد و مدل درخت رگرسیون را تشکیل می‌دهد.

$$\hat{f}_i(X) = \sum_{j=1}^n \hat{C}_j I_{R_{ij}}(X) \quad (22-3)$$

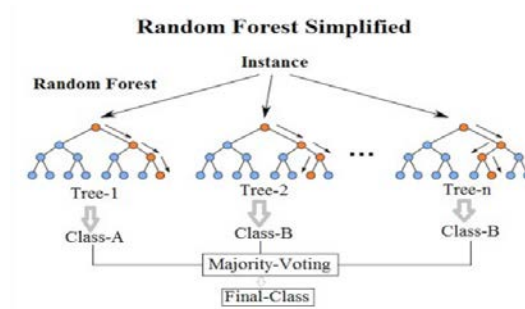
که در آن  $\hat{C}_j = \hat{y}_j$  و  $I_{R_{ij}}(X) = \{1, X \in R_{ij}\} \text{ or } \{0, X \notin R_{ij}\}$  می‌باشد.

در این دسته از مسائل با میانگین‌گیری از مدل خروجی رابطه (۳-۲۳)، میزان متغیر پاسخ بدست می‌آید.

$$\hat{y}(x) = \frac{1}{n_{tree}} \sum_{i=1}^{n_{tree}} \hat{f}_i(X) \quad (3-23)$$

خروجی طبقه‌بندی با استفاده از مکانیسم رای‌گیری از نتایج همه درخت‌ها صورت می‌پذیرد که در

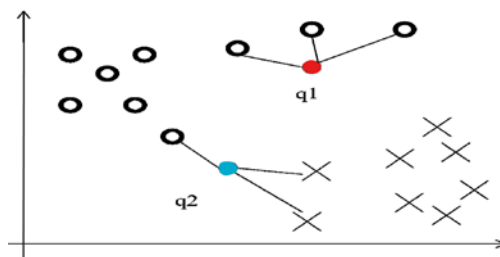
شکل ۳-۴ قابل مشاهده می‌باشد [۸۴]



شکل ۳-۴ - جنگل تصادفی Random Forest

### ۴-۲-۴-۳ نزدیک‌ترین همسایگی

طبقه‌بندی کننده نزدیک‌ترین همسایگی، جزو ساده‌ترین طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده جای می‌گیرد و داده‌ها با در نظر گرفتن نزدیک‌ترین همسایگی‌ها طبقه‌بندی می‌شوند به همین دلیل بهترین حالت هنگامی رخ می‌دهد که تعداد همسایگی‌ها از یکی بیشتر باشد. این طبقه‌بندی کننده به داده‌های تعلیمی نیاز دارد و در دسته طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده جای می‌گیرد. در ادامه این روش را با نزدیک‌ترین همسایگی K یا KNN نشان می‌دهند. همانطور که در شکل نشان داده شده است می‌توان مشاهده کرد که برای طبقه‌بندی سه همسایگی نزدیک برای دو کلاس در فضای دو بعدی توسط KNN به شکل زیر صورت می‌پذیرد.



### شکل ۳-۵- نزدیک ترین همسایگی K یا KNN

همانطور که مشاهده می شود، دو نمونه  $q_1$  و  $q_2$  بدنبال نزدیک ترین برچسب همسایگی می گردند. نمونه  $q_1$  بدلیل نزدیکی به همسایگی کلاس O، به همین کلاس اختصاص داده می شوند، اما برای نمونه  $q_2$  که در بین کلاس های X و O قرار دارد تشخیص دشوار می شود. برای این حل این مسئله از الگوریتم KNN استفاده می شود که در آن با رای گیری ساده یا به عبارتی دیگر، بر اساس روش فواصل وزن دار  $q_2$  به محتمل ترین کلاس تعلق می گیرد. می توان نتیجه گرفت که طبقه بندی کننده KNN از دو مرحله اساسی زیر تشکیل شده است

- تشخیص نزدیک ترین همسایگی ها
- انتخاب کلاس نمونه بوسیله همسایگی ها

اگر  $(x_i)_{i \in [1, |D|]}$  از مجموعه داده های آموزشی D از داده هایی با کلاس مشخص تشکیل شده باشند و نمونه ها را با F نشان دهیم، فضای ویژگی در بازه  $[0, 1]$  قرار می گیرد. سپس برای داده نامعلوم q و طبقه بندی آن باید فاصله بین q و نمونه  $x_i$  از رابطه زیر محاسبه شود.

$$d(q, x_i) = \sum_{f \in F} w_f \delta(q_f, x_{if}) \quad (3-24)$$

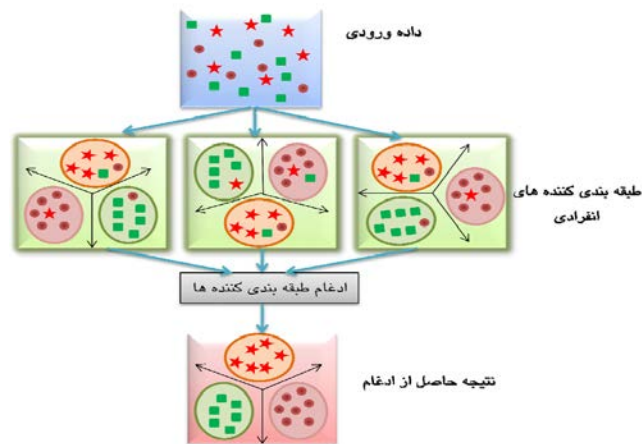
توابع فواصل مختلفی را می توان برای رابطه فاصله در نظر گرفت. از همین رو رای گیری بین نزدیک ترین همسایگی یکی از کاربردی ترین و ساده ترین رویکردها برای تعیین فاصله نمونه نامعلوم می باشد. برای تعیین وزن می توان از تابع معکوس فاصله نیز استفاده کرد [۸۵].

$$Vote(y_i) = \sum_{c=1}^k \frac{1}{d(q, x_c)^n} 1(y_i, y_c) \quad (3-25)$$

در تعیین مقدار  $n$  می توان مقدار یک را به حالت نرمال در نظر گرفت اما هرچه این مقدار بزرگ تر باشد تاثیر همسایگی های دورتر کاهش می یابد.

### ۳-۵ ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها

ادغام تصمیم‌گیری، تصمیمات مختلف از روش‌ها یا داده‌های مختلف را با هم تلفیق می‌کند تا نتیجه نهایی در مقایسه با نتیجه یک تصمیم منفرد، از دقت بالاتری برخوردار باشد که در شکل ۳-۶ به بهترین نحو منظور از رویکرد ادغام تصمیم‌گیری را نشان داده است.



شکل ۳-۶ ادغام تصمیم‌گیری یا ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها

### ۳-۶ صحت سنجی

بعد از طبقه‌بندی داده‌های مورد نظر، نوبت به صحت سنجی و محاسبه میزان دقت هر طبقه‌بندی کننده در شناسایی پدیده‌های مورد مطالعه فرا می‌رسد. به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی کننده‌ها، از ماتریس خطا (CM)<sup>۸۶</sup> مطابق جدول ۳-۱ که مربوط به نتیجه هر طبقه‌بندی کننده می‌باشد استفاده می‌شود که داده‌های سطری، ستونی و قطری آن‌ها اطلاعات مربوط به دقت و صحت‌سنجی هر طبقه‌بندی کننده قابل استخراج می‌باشد. از آنجایی که طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده نیازمند تعلیم و آموزش می‌باشند، تعدادی نمونه به منظور آموزش برای این دسته از طبقه‌بندی کننده‌ها در نظر گرفته می‌شود، همچنین در هنگام نمونه‌برداری از مجموعه داده‌های مطالعاتی، تعدادی نقطه که اطمینان کامل داریم

<sup>۸۶</sup> Confusion Matrix

در آن محل، فلان پوشش یا فلان رخداد، رخ داده است نیز به عنوان داده‌های تست در نظر می‌گیریم. این عمل سبب می‌شود تا نقاطی که برای آموزش طبقه‌بندی کننده در نظر گرفته شده با نقاطی که در زمین رخداد صد درصدی آن وجود دارد صحت سنجی شود [۷۵]، [۸۹].

جدول ۱-۲- جدول ۱-۳- نمایی از ماتریس خطا برای طبقه‌بندی کننده دو کلاسه

| ماتریس خطا<br><br>Confusion Matrix |   | پیش‌بینی توسط الگوریتم |    |
|------------------------------------|---|------------------------|----|
|                                    |   | ۱                      | ۲  |
| برچسب واقعی<br>(زمین مرجع)         | ۱ | TP                     | FN |
|                                    | ۲ | FP                     | TN |

- حالتی که نقاط در آن نقطه آب (کلاس ۱) باشد و الگوریتم هم به درستی آب را تشخیص داده باشد که به آن True Positive یا همان TP می‌گویند.
- حالتی که بر روی زمین آب باشد ولی الگوریتم به اشتباه آن نقاط را غیر-آب (کلاس ۲) تشخیص دهد به آن False Negative یا همان FN می‌گویند.
- حالتی که در آن نقاط غیر-آب باشند ولی الگوریتم به اشتباه بگوید که آب تشخیص داده است. در این حالت False Positive یا همان FP رخ می‌دهد.
- و در نهایت حالتی که نقاط غیر-آب باشند و الگوریتم نیز بگوید که آن نقاط غیر-آب تشخیص داده است به این حالت هم True Negative یا همان TN می‌گویند.

### ۳-۶-۱ دقت کلی (OA)<sup>۸۷</sup>

پرباربردترین فاکتوری که در ماتریس خطا برای صحت‌سنجی داده‌ها استفاده می‌شود، دقت کلی (OA) می‌باشد. این پارامتر با اطلاعات قطر ماتریس خطا، تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را نسبت به کل پیکسل‌ها می‌سنجد که در رابطه (۳-۳۰) نشان داده شده است.

$$OA = \frac{(TP + FN)}{(TP + FN + FP + TN)} \quad (3-30)$$

### ۳-۶-۲ ضریب کاپا (Kappa)

فاکتور دیگری که در صحت‌سنجی داده‌ها اهمیت فراوانی دارد، ضریب کاپا می‌باشد. این پارامتر صحت-سنجی برعکس دقت کلی که فقط پیکسل‌های درست شناسایی شده برای دو کلاس را مورد بررسی قرار می‌داد، تمامی پیکسل‌های درست و غلط را در ارزیابی خود مطابق معادله (۳-۳۱) شرکت می‌دهد.

$$kappa = \frac{[(TP + FN + FP + TN) \times (TP + TN)] - [(TP + FN) \times (TP + FP) - (FP + TN) \times (FN + TN)]}{[TP + FN + FP + TN]^2 - [(TP + FN) \times (TP + FP) - (FP + TN) \times (FN + TN)]} \quad (3-31)$$

تفسیر معیار برای صحت‌سنجی داده‌های چندکلاسه توسط صحت‌سنج کاپا در جدول ۳-۲ آمده است:

جدول ۳-۲- بازه بررسی ضریب کاپا

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| ضعف شدید در عملکرد       | کمتر از ۰        |
| ضعف در عملکرد            | بین ۰ تا ۰/۲     |
| عملکرد متوسط رو به پایین | بین ۰/۲۱ تا ۰/۴۰ |
| عملکرد متوسط             | بین ۰/۴۱ تا ۰/۶  |

<sup>۸۷</sup> Overall Accuracy

|             |             |
|-------------|-------------|
| عملکرد خوب  | ۰/۶۱ تا ۰/۸ |
| عملکرد عالی | ۰/۸۱ تا ۱   |

### ۳-۶-۳ خطا Omission

این فاکتور صحت سنجی به آن دسته از نمونه هایی که در فرایند تفسیر نتیجه مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، اشاره دارد یا به عبارتی از بین پارامترهایی که برای کلاس ۱ بر روی زمین به درستی در نظر گرفته شده است، به اشتباه در کلاس‌های دیگر قرار گرفته باشد.

$$Omission = \frac{(TP + FN) - TP}{(TP + FN)} \quad (3-32)$$

### ۳-۶-۴ خطا Commission

این پارامتر نیز به آن دسته از پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند اشاره دارد. این پارامتر بدان معناست که در کلاس یک از بین N نمونه تعلیمی که به طبقه‌بندی کننده داده شده است، تعداد L نمونه (پیکسل) به درستی در کلاس خود شناسایی و طبقه‌بندی شده اند.

$$Commission = \frac{(TP + FP) - TP}{(TP + FP)} \quad (3-33)$$

### ۳-۶-۵ رای‌گیری حداکثری MV

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در تلفیق تصمیم‌گیری، روشی مبتنی بر مفهوم رأی‌گیری است [۸۶] که در آن هر نتیجه به عنوان یک رأی در نظر گرفته می‌شود. ساده‌ترین شکل این روش رأی حداکثری MV است. در این روش، اگر تمام نتایج از وزن و دقت یکسانی برخوردار باشند، نتیجه همه

طبقه‌بندی کننده‌ها با یکدیگر تلفیق شده و تصمیم با بالاترین رأی به عنوان کلاس برنده معرفی می شود. در روش رأی‌گیری حداکثری اگر وزن تمام نتایج بدست‌آمده از طبقه‌بندی کننده‌ها برابر باشد، کلاس با تعداد آرا بیشتر انتخاب خواهد شد (معادله ۳-۲۶).

$$\sum_{i=1}^L d_{i,k} = \max_{j=1}^L d_{i,j} \quad (3-26)$$

در معادله (۳-۲۶)،  $d_i$  برای  $i = 1, 2, \dots, m$  (که در آن  $m$  تعداد مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری است) و به ازای  $j = 1, 2, \dots, c$  (که در آن  $c$  تعداد کلاس‌های موجود است)، برای هر طبقه‌بندی کننده می‌توان بردار  $c$  بعدی  $\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}\}$  بکار برد. همچنین مقدار  $d_{i,j}$  می‌تواند یکی از مقادیر  $\circ$  یا  $1$  باشد [۸۷].

### ۳-۶-۶ ادغام گر دمپستر شافر DS

ادغام گر دمپستر شافر با اختصار DS<sup>۸۸</sup> به عنوان یکی از قدرتمندترین روش‌های ادغام نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این ادغام گر به جای محاسبه شباهت بین  $c$  الگوی تصمیم (که به صورت  $DT_1, DT_2, \dots, DT_c$  ساخته می‌شوند) و پروفیل تصمیم‌گیری، از رابطه ۳-۲۷ استفاده می‌گردد:

$$\Phi_{j,i}(x) = \frac{(1 + \|DT_j^i - D_i(x)\|^2)^{-1}}{\sum_{k=1}^c (1 + \|DT_k^i - D_i(x)\|^2)^{-1}} \quad (3-27)$$

---

<sup>۸۸</sup> Dempster Shafer

در این رابطه عبارت  $DT_j^i$  نشان دهنده آیین مورد از  $DT_j$  و  $D_i(x)$  خروجی کلاس‌های فازی شده از طبقه‌بندی کننده  $D_i$  می‌باشد. این بدان معناست که مقدار  $\Phi_{j,i}(x)$  نشان دهنده میزان مجاورت یا نزدیکی بین  $DT_j^i$  و خروجی طبقه‌بندی کننده  $D_i$  برای مقدار ورودی  $x$  می‌باشد.

بعد از محاسبه معادله ۳-۲۷ برای هر کلاس، نوبت به محاسبه برای هر طبقه‌بندی کننده با استفاده از رابطه ۳-۲۸ می‌رسد:

$$b_j(D_i(x)) = \frac{\Phi_{j,i}(x) \prod_{k \neq j} (1 - \Phi_{k,j}(x))}{1 - \Phi_{j,i}(x) [1 - \prod_{k \neq j} (1 - \Phi_{k,j}(x))]} \quad (3-28)$$

و درجه نهایی حمایت از رابطه ۳-۲۹ بدست می‌آید:

$$\alpha_j(x) = k \prod_{i=1}^L b_j(D_i(x)) \quad (3-29)$$

یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین ویژگی‌های ادغام‌گر دمپسترشافر، تلفیق نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها با وزن‌دهی به آن‌ها می‌باشد. این عامل سبب شده تا تصویر بدست آمده از این رویکرد در مقابل استفاده تنها از طبقه‌بندی کننده‌ها از دقت مناسب‌تری برخوردار باشد. Hegarat در موارد مختلف تشخیص و شناسایی الگو به منظور طبقه‌بندی انواع داده‌ها از این الگوریتم استفاده کرده است [۸۸].

### ۳-۷ روش انجام تحقیق

برای مطالعه آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب دو رویکرد با رویکردهای متفاوت برای مناطق مطالعاتی، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در **رویکرد اول**، آب‌های سطحی با ادغام و ترکیب داده‌های سه سنجنده لندست-۸، سنتینل-۲ و سنتینل-۱ برای منطقه مطالعاتی اول استخراج شدند. **رویکرد دوم** با رویکرد شناسایی آب‌های سطحی برای دو بازه زمانی هنگام سیلاب و قبل سیلاب، با ادغام داده‌های سنتینل-۲ و سنتینل-۱ با هدف ردیابی سیلاب برای منطقه مطالعاتی دوم بکار گرفته شد و با استفاده

از داده‌های راداری سنتینل-۱ و برای یک دوره سیلاب که متشکل تصاویر قبل و بعد سیلاب می‌شود به ردیابی و استخراج سیلاب پرداخته شد.

### ۳-۷-۱ رویکرد پژوهشی اول : شناسایی آب‌های سطحی با ادغام داده‌های سنجنده نوری و راداری (منطقه مطالعاتی : مازندران)

خلاصه رویکرد پیشنهادی:

- پیش‌پردازش داده‌های راداری سنتینل-۱ و نوری سنتینل-۲ و لندست-۸
- پن‌شارپ داده‌های لندست-۸ به منظور ارتقا کیفیت توان تفکیک مکانی از ۳۰ متر به ۱۵ متر
- ادغام داده‌های سنجنده سنتینل-۲ و لندست-۸ به‌منظور ارتقا توان تفکیک مکانی از ۱۵ متر به ۱۰ متر

- استخراج شاخص‌های آب از داده‌های ۱۰ متری

- تهیه لایه‌ای شامل داده‌های

➤ باندهای ۱۰ متری

➤ شاخص‌های آب

➤ باند VV سنجنده سنتینل-۱

❖ طبقه‌بندی لایه پیشنهادی با استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده

➤ ماشین بردار پشتیبان SVM<sup>۸۹</sup>

➤ شبکه عصبی NN<sup>۹۰</sup>

➤ جنگل تصادفی RF<sup>۹۱</sup>

---

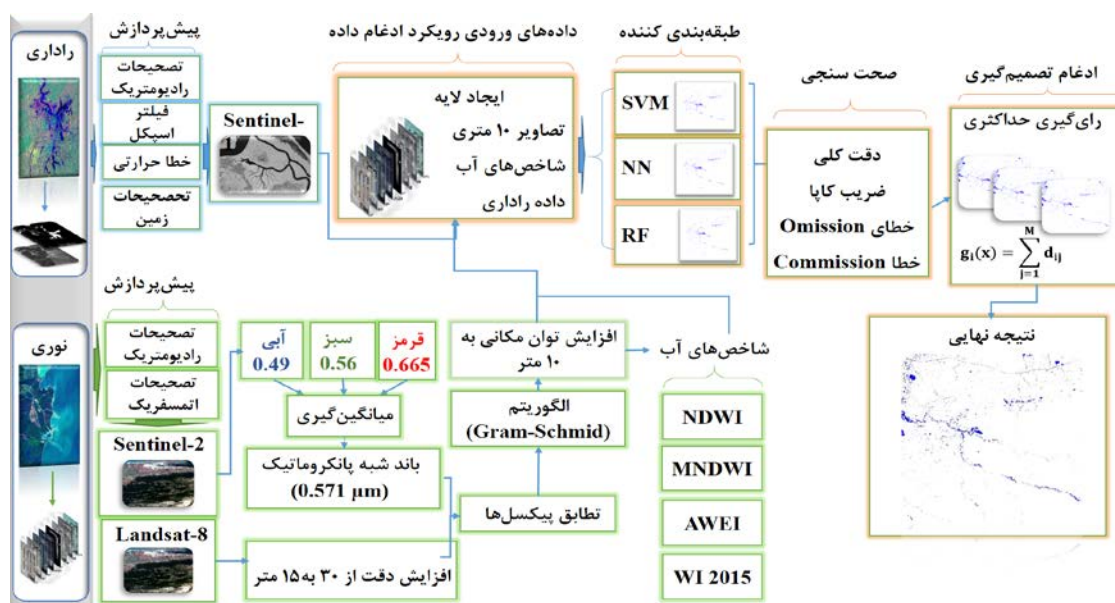
<sup>۸۹</sup> Support Vector Machine

<sup>۹۰</sup> Neural Network

<sup>۹۱</sup> Random Forest

❖ ادغام تصمیم‌گیری با استفاده از رویکرد رای‌گیری حداکثری<sup>۹۲</sup>

در رویکرد اول مطابق شکل با رویکرد افزایش توان تفکیک مکانی سنجنده‌های نوری و استفاده از شاخص‌های آب به ادغام نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده به منظور شناسایی آب-های سطحی، می‌پردازیم.



شکل ۳-۷- رویکرد اول- شناسایی آب های سطحی

مطابق با رویکرد پیشنهادی در شکل ۳-۷، پس از اخذ تصاویر مربوط به منطقه مطالعاتی اول، داده‌های هر سه سنجنده بکار رفته در تحقیق در ابتدا پیش پردازش شده و بعد از حذف خطاهای موجود آماده استفاده می‌گردد. از آنجایی که سنجنده لندست-۸ از باند اختصاصی پانکروماتیک جهت افزایش توان تفکیک مکانی برخوردار می‌باشد، تصاویر این سنجنده از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا پیدا می‌کند. حال نوبت به افزایش توان تفکیک مکانی از ۱۵ متر به ۱۰ متر می‌رسد تا جزئیات هر پیکسل بهبود یابد، به همین منظور به سراغ باندهای ۱۰ متری سنتینل-۲ (آبی، سبز، قرمز) می‌رویم. با ترکیب این باندها با یکدیگر و گرفتن میانگین از سه باند، یک باند با طول موج نزدیک به پانکروماتیک لندست-۸ بدست می‌آید،

<sup>92</sup> Majority Voting

سپس مجدداً عمل پن‌شارپ بر روی مجموعه داده‌های ۱۵ متری لندست-۸ صورت می‌پذیرد. در نهایت مجموعه داده‌های مطالعاتی چندطیفی به ۱۰ متر ارتقا پیدا می‌کند.

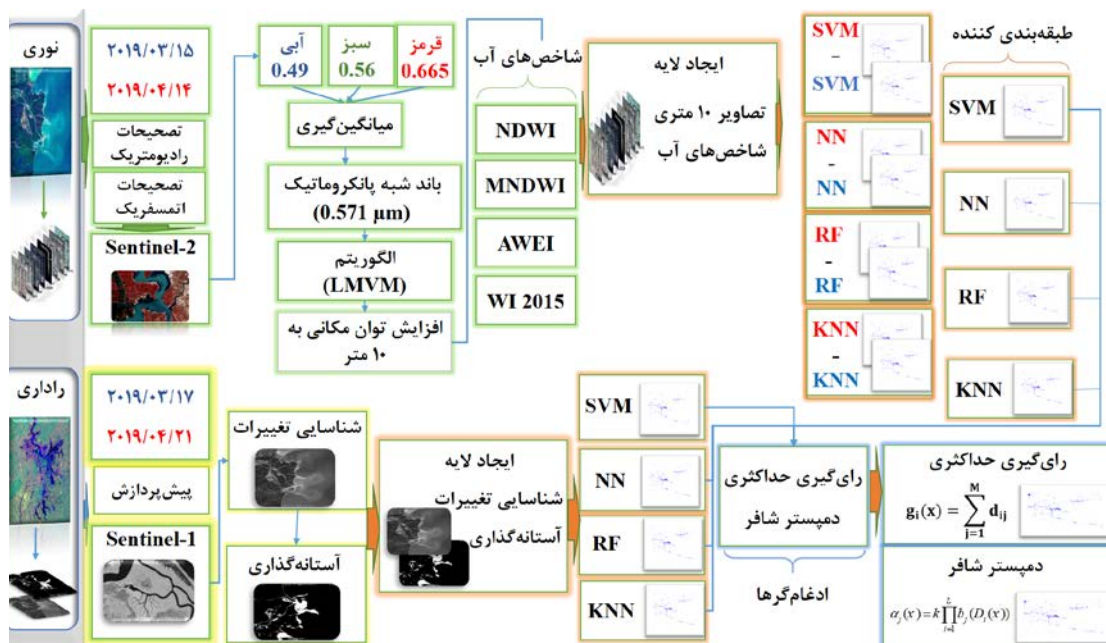
بعد از ایجاد مجموعه داده‌های ۱۰ متری نوبت به استخراج شاخص‌های آب از تصاویر چندطیفی می‌رسد و پنج شاخص پرکاربرد آب در این تحقیق مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه کار نوبت به جمع‌بندی داده‌ها در یک لایه می‌باشد تا با استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده، آب از غیر-آب شناسایی و استخراج گردد. در لایه پیشنهادی به ترتیب شاخص‌های آب، باندهای نوری ۱۰ متری و باند قطبش VV سنجنده راداری سنتینل-۱ قرار می‌گیرد. لایه هدف توسط سه طبقه‌بندی کننده SVM، NN و RF طبقه‌بندی می‌شود. تا اینجای کار مرحله اول یعنی ادغام داده‌ها صورت پذیرفته است و خروجی کار شامل سه تصویر حاصل از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده می‌باشد. در آخر، مرحله ادغام تصمیم‌گیری بر روی تصاویر خروجی با استفاده از الگوریتم رای‌گیری حداکثری صورت می‌پذیرد و هر سه نتیجه خروجی به یک نتیجه با دقت بالا تبدیل می‌شوند. در این رویکرد هر دو مرحله ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری به‌منظور شناسایی آب‌های سطحی صورت پذیرفته است. رویکرد اول روشی برای ردیابی سیلاب با استفاده از شناسایی آب‌های سطحی برای رویکرد دوم می‌باشد و به همین منظور از اهمیت بالایی در نحوه و ترتیب انجام فرایند شارپ سازی و طبقه‌بندی کردن تصاویر برخوردار می‌باشد.

### **۳-۷-۲ رویکرد پژوهشی دوم: ردیابی سیلاب با استفاده از ادغام داده‌های سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱**

خلاصه رویکرد پیشنهادی:

- تهیه نقشه قبل و بعد وقوع سیلاب برای هر دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱
- پیش‌پردازش داده‌های راداری سنتینل-۱ و نوری سنتینل-۲

- حذف آب‌های ساکن و بدست آوردن آب سیلابی
  - آستانه‌گذاری سراسری بر روی تصویر تفریق آب ساکن از تصویر هنگام سیل
  - تهیه لایه‌ای شامل (سنتینل-۱)
    - تصویر آب سیلابی بدست آمده از تفریق آب ساکن از تصویر هنگام سیل
    - تصویر آستانه گذاری شده تفریق آب ساکن از تصویر هنگام سیل
  - پن‌شارپ داده‌های سنتینل-۲ به منظور ارتقا کیفیت توان تفکیک مکانی از ۲۰ متر به ۱۰ متر
  - استخراج شاخص‌های آب برای هر دو داده قبل و بعد رخداد
  - تهیه لایه‌ای شامل (سنتینل-۲)
    - باندهای ۱۰ متری به همراه شاخص‌های آب
  - طبقه‌بندی لایه پیشنهادی با استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده برای استخراج آب‌های سطحی یکبار برای قبل سیلاب و یکبار برای بعد سیلاب
    - ماشین بردار پشتیبان SVM
    - شبکه عصبی NN
    - جنگل تصادفی RF
    - نزدیک‌ترین همسایگی K (KNN)
  - تفریق آب ساکن (قبل وقوع سیلاب) از تصویر سیلاب (بعد وقوع)
  - ادغام تصمیم‌گیری با استفاده از روش
    - رای‌گیری حداکثری MV
    - دمپسترشافر DS
- در رویکرد دوم تلاش شده تا با استفاده از دو روش جدید به استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیل پرداخته شود (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- رویکرد دوم- روش پیشنهادی سری زمانی برای استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب منطقه مطالعاتی اهواز

این روش بر روی یک سیکل سیلابی که حاوی تصاویر دو سنجنده نوری و راداری برای قبل و بعد از سیلاب می‌باشد، پیاده‌سازی شده است.

در رویکرد دوم بر مبنای ردیابی سیلاب با استفاده از شناسایی آب‌های سطحی و حذف آب‌های ساکن از سیل طراحی و اجرا شده است. در این رویکرد تلاش شده تا با استفاده از داده‌های سری زمانی برای یک دوره سیل در فرودین سال ۹۸ برای منطقه مطالعاتی اهواز سیل و نقشه گسترش آن استخراج گردد. این روش یکبار بر روی داده‌های سنتینل-۲ و یکبار بر روی داده‌های سنتینل-۱ پیاده شد تا در پایان نتایج بدست‌آمده با یکدیگر توسط ادغام‌گرها ادغام شده و نقشه سیلاب رخ داده در منطقه به وضوح نشان داده شود.

در قسمت اول از رویکرد دوم به سراغ داده‌های سنجنده چندطیفی سنتینل-۲ می‌رویم و همانند رویکرد اول لایه‌ای متشکل از شاخص‌های آب، باندهای ۱۰ متری تشکیل داده می‌شود. شناسایی آب‌های سطحی در این مرحله یکبار بر روی تصاویر قبل سیل صورت می‌پذیرد و بار دیگر بر روی تصاویر بعد از سیل. سپس نتایج بدست‌آمده که توسط چهار طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده (SVM، NN، RF، KNN)

با روش حذف آب ساکن (نتایج قبل سیل) از نتایج سیلاب منطقه (نتایج بعد سیل)، آب گسترش یافته از سیلاب را بدست می‌آورد. در پایان چهار تصویر که آب‌های ساکن و نقش آن‌ها در سیل حذف شده است باقی می‌ماند.

در قسمت دوم نوبت داده‌های راداری می‌رسد که بعد از پیش‌پردازش، تصویر قبل از وقوع سیل از تصویر بعد وقوع سیل به‌منظور شناسایی سیل و حذف آب راکد، از یکدیگر کم می‌شوند. سپس با استفاده از تعیین آستانه بر روی داده‌ها، آب از غیر آب به وضوح جدا می‌شود. حال لایه‌ای شامل تصویر قطبش VV سیلاب منطقه و تصویر آستانه‌گذاری شده، به‌منظور طبقه‌بندی توسط طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده (SVM، NN، RF و KNN) شکل می‌گیرد. در پایان چهار تصویر خروجی از سیل منطقه بدست می‌آید.

در ادامه نوبت به روش ادغام تصمیم‌گیری می‌رسد که سعی شد داده‌های خروجی سیلابی سنتینل-۲ در قسمت اول، با داده‌های خروجی سیلابی سنتینل-۱ در قسمت دوم توسط دو ادغام‌گر وزن‌دار دمپسترشافر و بدون وزن رای‌گیری حداکثری، با یکدیگر ادغام شوند.

### ۳-۸ نتیجه‌گیری

در این فصل به معرفی دو روش پیشنهادی ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری در شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب و دو رویکرد تحقیقی در این امر پرداخته شد. روش تحقیق مد نظر بر پایه شناسایی آب‌های سطحی مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت و سپس با تفریق دو تصویر آب سطحی قبل و بعد سیل، آب‌های سطحی راکد از سیلاب رخ داده حذف شد و خروجی نهایی تصویری حاوی نقشه گسترش سیلاب رخ داده بدون آب ساکن می‌باشد. همچنین مراحل صورت پذیرفته در افزایش توان تفکیک مکانی و نحوه تشکیل لایه‌ها به‌جهت استخراج و ردیابی سیل توضیح داده شد است.



## فصل ۴: پیاده سازی روش تحقیق و بررسی نتایج

## ۴-۱ مقدمه

در دو دهه اخیر پژوهشگران زیادی به استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیل با استفاده از داده‌های سنجش از دور و روش‌های متفاوت شناسایی و ردیابی، پرداخته‌اند. در اکثر تحقیقات می‌توان مشاهده نمود که تلفیق داده‌های سنجنده‌های متفاوت باعث بهبود اطلاعات طیفی و جزئیات مکانی شده است، از همین رو تلفیق و داده‌ها و نتایج آن‌ها بسیار مورد اهمیت می‌باشد. در این فصل به تفصیل نتایج دو رویکرد شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب که مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته‌اند را با یکدیگر مقایسه و ارزیابی می‌کنیم. در این پایان‌نامه تلاش شده است تا اهمیت ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری را در شناسایی و ردیابی سیل با استفاده از روش‌های نوین و دقیق، نشان دهیم. هر رویکرد در این فصل بر دو بخش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری بنا نهاده شده است که روش ادغام داده‌ها، بعد از افزایش جزئیات مکانی و طیفی طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده به شناسایی آب می‌پردازند و در ادامه با روش ادغام داده‌ها نتایج بدست آمده با یکدیگر ادغام می‌شوند.

## ۴-۲ داده‌های مطالعاتی

در این تحقیق از داده‌های رایگان سنجنده‌های نوری لندست-۸ و سنتینل-۲، و سنجنده راداری سنتینل-۱ در شناسایی آب‌های سطحی و سیلاب استفاده شده است. داده‌های سنجنده‌های سنتینل-۲ و سنتینل-۱ به صورت رایگان در وبسایت COAH<sup>۹۳</sup> در دسترس می‌باشد. سنجنده لندست-۸ نیز با فراهم‌آوری مجموعه داده‌های رایگان برای محققین در وبسایت USGS<sup>۹۴</sup> دسترسی و استفاده به این مجموعه داده را بسیار آسان کرده است.

داده‌های مطالعاتی برای رویکرد اول (شناسایی آب‌های سطحی) در جدول ۴-۱ و رویکرد دوم

---

<sup>۹۳</sup> Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>)

<sup>۹۴</sup> United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

(شناسایی آب‌های سطحی به‌منظور ردیابی سیلاب) در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- اطلاعات سنجنده‌های مورد استفاده در رویکرد اول- آب‌های سطحی

| سنجنده     | نوع سنجنده | توان تفکیک مکانی | تعداد باندها | تاریخ تصویربرداری |
|------------|------------|------------------|--------------|-------------------|
| Landsat-8  | نوری       | ۳۰ متر           | ۱۱           | ۱۳۹۸/۰۳/۱۶        |
| Sentinel-2 | نوری       | ۲۰ متر           | ۱۳           | ۱۳۹۸/۰۳/۱۴        |
| Sentinel-1 | راداری     | ۲۰ × ۵ متر       | ۲            | ۱۳۹۸/۰۳/۱۳        |

در جدول ۴-۱ می‌توان مشاهده کرد که داده‌های دریافتی از بعد زمانی به‌یکدیگر بسیار نزدیک بوده و گپ ۱ روزه دارند. این امر سبب می‌شود تا شناسایی آب‌های سطحی که برای یک منطقه مطالعاتی قرار است صورت بگیرد از جزئیات یکسانی برخوردار باشد همچنین به‌جهت افزایش توان تفکیک مکانی با روش پن‌شارپ کردن داده‌های لندست-۸، داده‌های نزدیک بهم سبب حفظ بیشتر جزئیات طیفی نیز می‌شود و به همین علت این روش در انتخاب داده از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

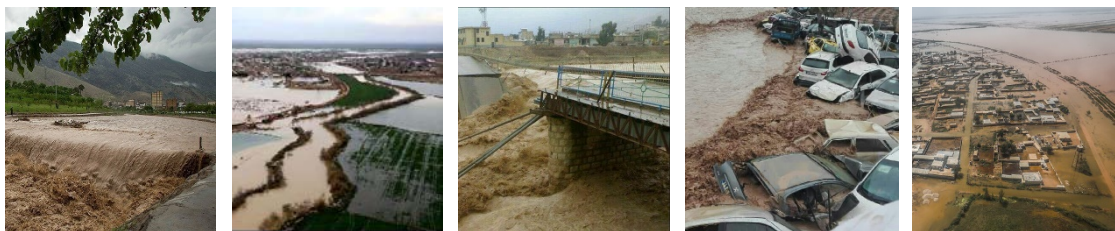
در رویکرد دوم برخلاف روش رویکرد قبل، گپ مابین تصاویر اخذ شده از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد، به نحوی که مهمترین ملاک‌ها جهت اخذ داده، عاری بودن از پوشش ابر برای سنجنده سنتینل-۲ و تصویر سیل رخ داده در سنتینل-۱، می‌باشد. در ادامه به‌منظور حذف آب‌های راکد و دائمی از سیل رخ داده، دو تصویر از سنجنده تهیه شد تا با محاسبه اختلاف بین این دو، تنها اطلاعات سیلاب باقی بماند. در جدول ۴-۲ اطلاعات داده اخذ شده برای هر دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ قبل و بعد از سیل نشان داده شده است. این تصاویر مربوط به سیل فروردین ۱۳۹۸ می‌باشند که در آن حجم بارندگی زیاد سبب زیر آب رفتن شهر و خانه‌ها شده است، همچنین داده‌های قبل سیل نیز در حدود یک ماه قبل از وقوع سیل تهیه شده است تا سیلاب از آب ساکن متمایز گردد.

جدول ۴-۲- داده‌های استفاده شده رویکرد دوم- ردیابی سیلاب

| سنجنده     | نوع سنجنده | توان تفکیک مکانی | تعداد باندها | تاریخ تصویربرداری |              |
|------------|------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Sentinel-2 | نوری       | ۲۰ متر           | ۱۳           | ۱۳۹۷/۱۲/۲۶        | قبل وقوع سیل |
|            |            |                  |              | ۱۳۹۸/۰۲/۰۱        | بعد وقوع سیل |
| Sentinel-1 | راداری     | ۲۰ × ۵ متر       | ۲            | ۱۳۹۷/۱۲/۲۴        | قبل وقوع سیل |
|            |            |                  |              | ۱۳۹۸/۰۱/۲۵        | بعد وقوع سیل |

### ۳-۴ منطقه مطالعاتی

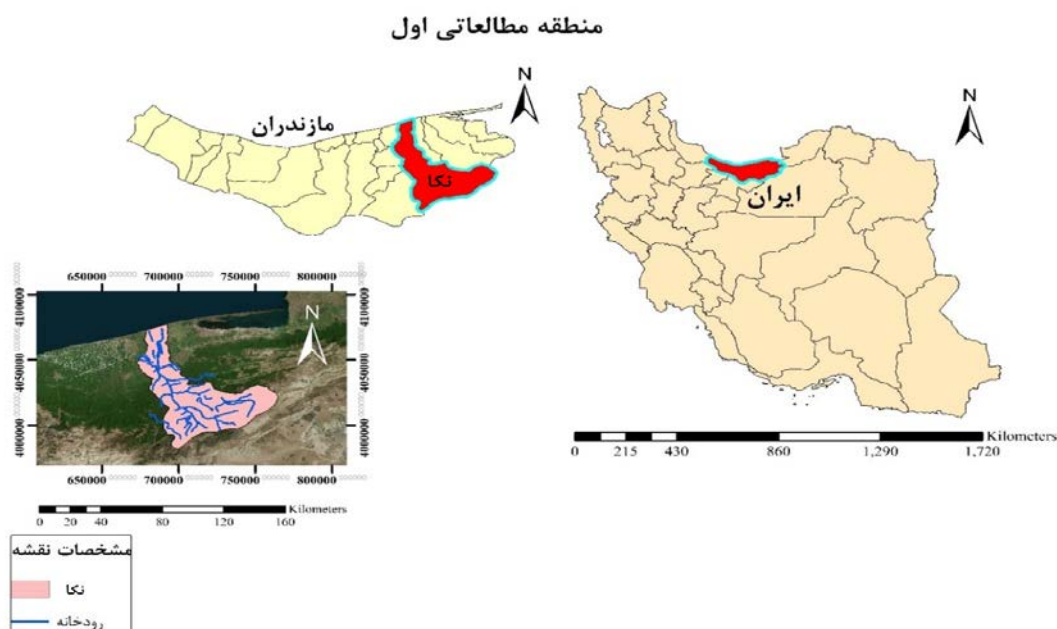
در این پایان‌نامه تلاش شده است تا با استفاده از روش‌های نوین و دقیق، به شناسایی آب‌های سطحی و سیلاب در مناطق پرخطر بپردازیم. کشور پهناور ایران از تنوع زیست محیطی فراوانی برخوردار است به‌نحوی که توزیع پستی و بلندی‌ها و تفاوت شرایط آب و هوا در شمال و غرب کشور باعث شده تا خطر سیل و طغیان رودخانه‌ها نیز بشدت افزایش پیدا کند. به همین منظور دو منطقه مطالعاتی با در نظر گرفتن اهمیت شهرها از نظر جمعیت، خطر سیل و گسترش سیلاب، انتخاب و پایش اطلاعات مورد نیاز بر روی آن‌ها انجام گرفت. در سال‌های ۹۸ و ۹۹ به سبب بارندگی ناگهانی بیشتر از حد قابل کنترل رودها در اکثر نقاط کشورمان سیل‌های عظیم با خسارات مادی و انسانی جبران ناپذیری بوجود آمد. باتوجه به همین مسئله، شهرهای نکا در استان مازندران و اهواز در استان خوزستان بدلیل عبور به ترتیب رودخانه‌های نکارود و کارون مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۱- خسارت‌های سیلاب به دو منطقه مطالعاتی

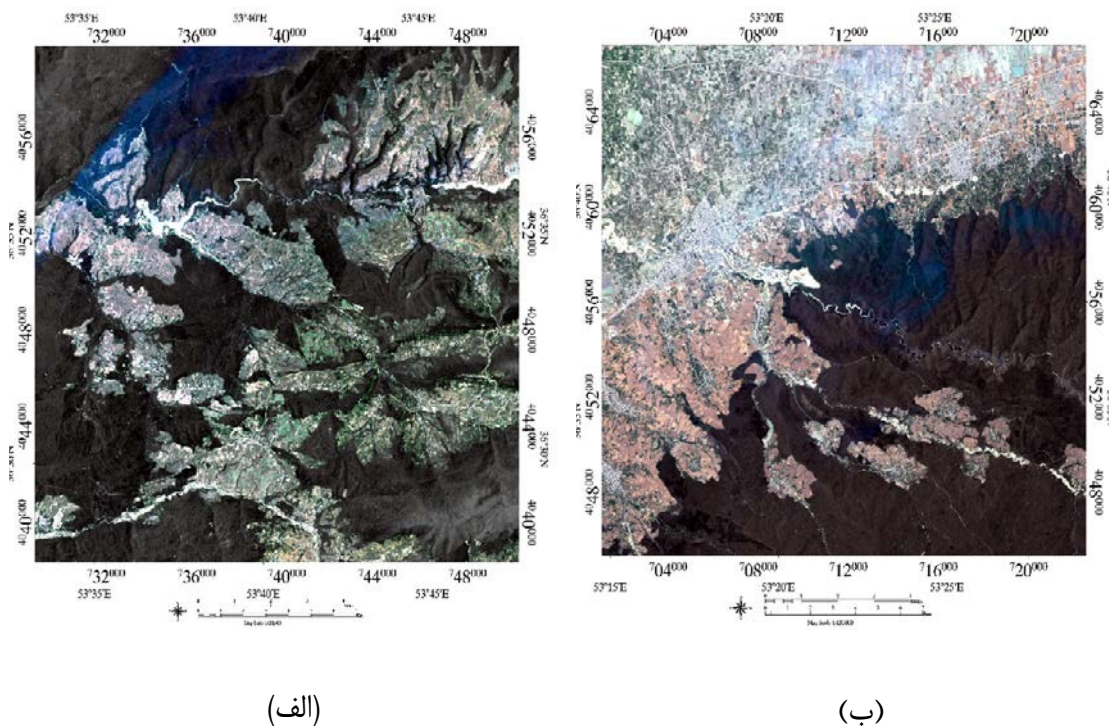
### ۴-۳-۱ منطقه مطالعاتی اول (مازندران)

به منظور بررسی و استخراج آب‌های سطحی در استان مازندران دو منطقه با اهمیت شناسایی بالا مورد مطالعه قرار گرفت. استان مازندران با وسعتی به مساحت ۲۳۸۳۳ کیلومتر مربع که در موقعیت جغرافیایی ۳۶/۵۶۵۶ درجه شمالی و ۵۳/۰۵۸۸ درجه شرقی واقع شده و حدود ۱/۵ درصد از مساحت کشور ایران را تشکیل می‌دهد. بدلیل وسعت بالا منطقه، تصمیم براین شد تا مطابق شکل ۴-۲ در منطقه مطالعاتی اول دو بخش که رودخانه‌های فراوانی با عرض‌های متفاوت و پوشش‌های گیاهی فراوان و مناطق مسکونی در خطر سیل وجود دارند، مورد بررسی قرار گیرند.



شکل ۴-۲- منطقه مطالعاتی اول استان مازندران - نکا

بخش اول در این مطالعه محدوده سد گلوارد و بخش دوم محدوده شهر نکا از توابع استان مازنداران می‌باشد، که بدلیل وجود شرایط پیچیده محیطی همچون وجود جنگل‌های انبوه متنوع، رودخانه‌های گل‌آلود و زمین‌های کشاورزی و مسکونی متعدد مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.



شکل ۳-۴ - منطقه مطالعاتی اول - (الف) سد گلوارد واقع در شهرستان نکا - (ب) شهر نکا

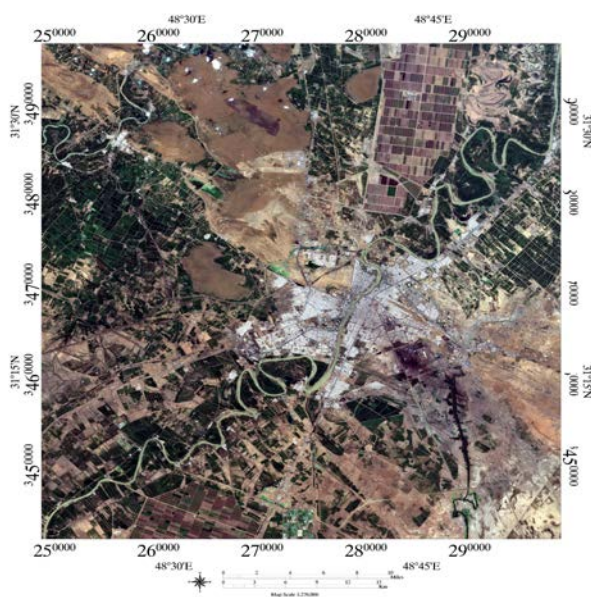
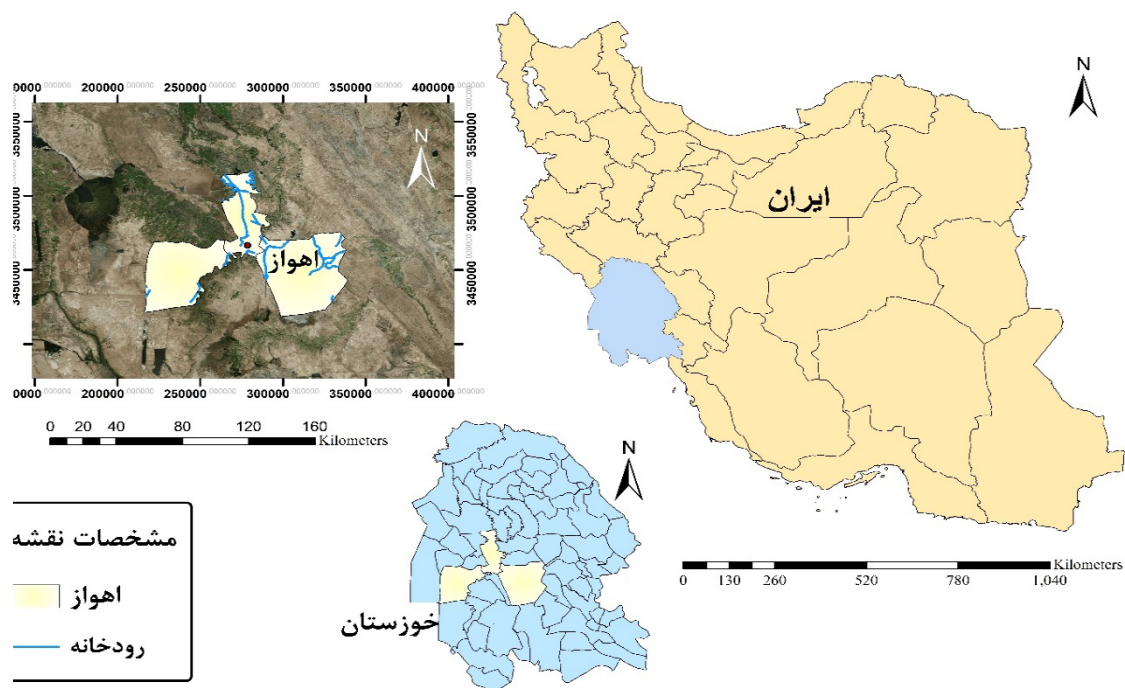
بخش اول منطقه مطالعاتی، سد گلوارد در شکل ۳-۴ (الف) با مساحتی معادل ۴۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد که بدلیل وجود جنس خاک و رودخانه‌هایی که به این سد وارد می‌شوند انتخاب گردید است. در تصویر مشاهده می‌شود که بدلیل وجود کوه، پوشش‌ها گیاهی و رودخانه‌های کم‌عرض شناسایی آب‌های سطحی با مشکلاتی همراه می‌باشد. همچنین وجود سد در این بخش به معنی وجود رودخانه‌های فراوان منتهی به آن می‌باشد در نتیجه این بخش از منطقه مطالعاتی علاوه بر وجود مصائب بسیار در شناسایی از اهمیت بالایی در به نمایش گذاشتن قدرت روش ادغام داده و ادغام تصمیم‌گیری برخوردار بود. بخش دوم شکل ۳-۴ (ب)، شهر نکا از توابع استان مازنداران به مساحت ۴۲۰ کیلومتر مربع انتخاب شده است. این بخش مطالعاتی به دلیل تنوع در پوشش گیاهی، وجود مناطق مسکونی متراکم و ازدیاد

زمین‌های کشاورزی غرق آبی از پیچیده‌ترین شرایط مطالعاتی برخوردار می‌باشد. همچنین بدلیل عبور رودخانه نکارود از مرکز شهر و سابقه سیلابی شدن آن، اهمیت این منطقه مطالعاتی بسیار زیاد می‌باشد.

#### ۴-۳-۲ منطقه مطالعاتی دوم (اهواز)

اهواز به‌عنوان مرکز استان خوزستان و چهارمین کلان شهر ایران با مساحت تقریبی ۱۸۷ کیلومتر مربع در غرب ایران واقع می‌باشد. شهر اهواز در بخش جلگه‌ای و هموار استان خوزستان قرار دارد اما بدلیل کمبود پوشش گیاهی و عبور رودخانه بزرگ کارون از مرکز این شهر، پتانسیل رخداد سیلاب در ناطق مسکونی این شهر را دوچندان کرده است. این رودخانه با طول ۹۵۰ کیلومتر طول‌ترین رودخانه در ایران می‌باشد که با وجود پیچ و خم‌های فراوان عامل بوجود آمدن جلگه‌های فراوانی در این استان گشته است. اهمیت این منطقه جغرافیایی بدلیل رخ دادن سیل مشهور فروردین ۹۸ می‌باشد که توجه به وجود سدهای فراوانی که بر روی رودخانه کارون به‌منظور کنترل سیلاب و ذخیره آب قرار گرفته، انتظار نمی‌رفت که اهواز و دیگر شهرهای استان خوزستان در اثر جاری شدن سیل با مشکل سیلاب و آب گرفتگی شهر مواجه شوند. سدهایی که بر روی رودخانه کارون قرار گرفته‌اند عبارتند از: گتوند ۵ میلیارد متر مکعب، سد مسجدسلیمان ۲/۶ میلیارد متر مکعب، سد کارون ۱ ۳/۱ میلیارد متر مکعب، سد کارون ۳، ۲/۹ میلیارد متر مکعب، سد کارون ۴ ۲/۲ میلیارد متر مکعب که جمعا حدود ۱۵/۸ میلیارد متر مکعب آب توسط این سدها مهار و ذخیره می‌شود. حال آنکه در ۹ فروردین بدلیل شدت بارندگی فراوان تصمیم گرفته شد تا جهت کنترل سیل، از آب پشت سدها کاسته شود تا نقشی کنترلی در مواجهه با سیل و جلوگیری از ورود آن به شهر ایفا کنند. این تصمیم تا هفته‌های دوم و سوم فروردین ادامه داشت تا اینکه در شمال اهواز رودخانه‌های کارون، دز و کرخه به‌یکدیگر رسیده و دشت سیلابی بزرگی را تشکیل دادند به‌طوری‌که سیلاب در منطقه تا اواخر اردیبهشت همان سال در منطقه ادامه داشت. منطقه‌ای با پستی بلندی‌های اندک و دارای زمین‌های کشاورزی و تالاب‌های بزرگ سبب شد تا این منطقه جغرافیایی از جذابیت مطالعاتی زیادی برخوردار باشد [۹۰]، [۹۱].

## منطقه مطالعاتی دوم



شکل ۴-۴ - منطقه مطالعاتی دوم - اهواز - رودخانه کارون

در شکل ۴-۴ به وضوح تنوع پوشش‌های گیاهی، جنس خاک، وجود رودخانه کارون و منطقه مسکونی نشان داده است.

## ۴-۴ پیاده‌سازی روش تحقیق

### ۴-۴-۱ رویکرد پژوهشی اول : شناسایی آب‌های سطحی با ادغام

#### داده‌های سنجنده نوری و راداری (منطقه مطالعاتی : مازندران)

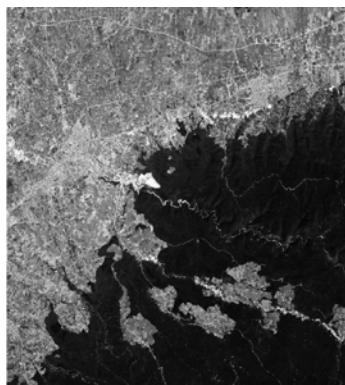
در این رویکرد به بررسی دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری در منطقه مازندران پرداخته شد تا با استفاده از این روش به توان آب‌های سطحی را با دقت قابل قبولی از دیگر عوارض سطح زمین متمایز سازیم. به طور خلاصه از داده‌های سنتینل-۲ به منظور پن‌شارپ کردن تصاویر لندست-۸ و دست یافت به دقت ۱۰ متری استفاده گردید و سپس با استخراج شاخص‌های آب و قرار دادن آن‌ها با داده‌های قطبش VV سنتینل-۱ در یک لایه، طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده به شناسایی آب‌های سطحی می‌پردازند و نتایج آن‌ها با روش ادغام تصمیم‌گیری با یکدیگر تلفیق شده و تنها یک نقشه خروجی با دقت بسیار بالاتری نسبت به دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها بدست می‌آید.

### ۴-۴-۱-۱ پن‌شارپ Gram-Schmidt

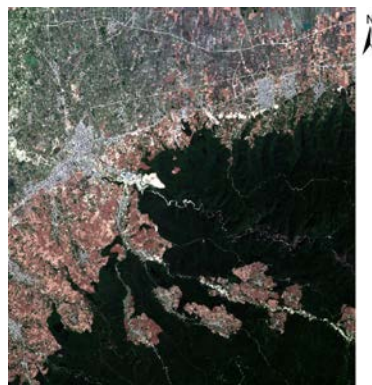
در ابتدا بعد از پیش‌پردازش بر روی هردو دسته سنجنده نوری و راداری، با استفاده از باند پانکروماتیک لندست-۸ با طول موج  $0.49\mu\text{m}$ ، توان تفکیک مکانی آن‌را با استفاده از الگوریتم Gram-Schmidt پن‌شارپ کرده و دقت تصاویر را از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا می‌دهیم اما با توجه به وجود رودخانه‌های کم عرض، این دقت هنوز مناسب شناسایی دقیق این عوارض زمینی نمی‌باشد و احتیاج است تا دقت از ۱۵ متر نیز بیشتر شود. به همین منظور با ترکیب سه باند آبی، سبز و قرمز و میانگین‌گیری از این سه باند، باندی با طول موج  $0.571\mu\text{m}$  ایجاد می‌شود که آن را باند شبه پانکروماتیک می‌نامیم. سپس همانند روش قبلی باندهای ۱۵ متری لندست-۸ مجدداً با الگوریتم Gram-Schmidt پن‌شارپ شده و هر پیکسل آن به دقت ۱۰ متری ارتقا پیدا می‌کند [۹۲].



(الف)



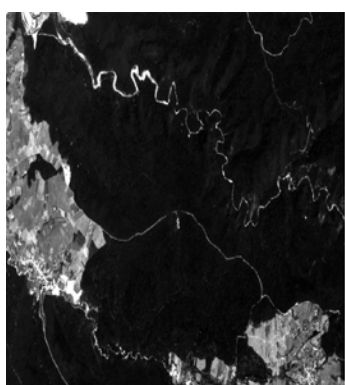
(ب)



(پ)



(ت)



(ث)



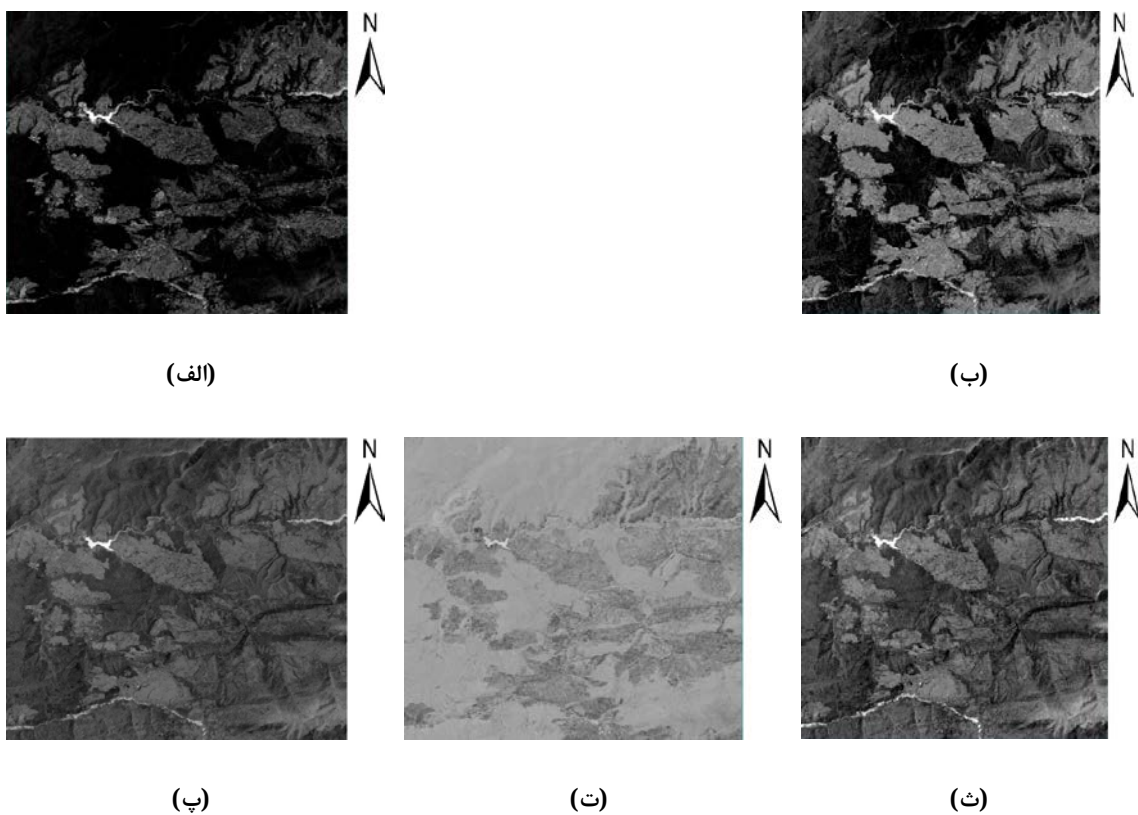
(ج)

شکل ۴-۵- تصاویر پن‌شارپ شده سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ برای هر دو بخش مطالعاتی. (الف) تصویر ۱۵ متری سنجنده لندست-۸ برای منطقه سد گلوارد. (ب) باند شبه پانکروماتیک سنتینل-۲. (پ) تصویر ۱۰ متری شده توسط ادغام داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸. (ت) تصویر ۱۵ متری سنجنده لندست-۸ برای منطقه مطالعاتی نکا. (ث) باند شبه پانکروماتیک سنتینل-۲. (ج) تصویر ۱۰ متری شده توسط ادغام داده‌های سنتینل-۲ و لندست-۸.

در شکل ۴-۵ می‌توان مشاهده نمود که باند شبه پانکروماتیک علاوه بر بهبود چشمگیر اطلاعات مکانی توانسته است اطلاعات طیفی را نیز حفظ کند که در منطقه‌ای با وجود رودهای فراوان و کم‌عرض این مطلب بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

#### ۴-۱-۲ شاخص‌های آب

حال نوبت به استخراج شاخص‌های کاربردی آب از تصاویر ۱۰ متری می‌رسد تا سبب سرعت بخشیدن به شناسایی آب‌های سطحی توسط طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده شوند. شاخص‌هایی از قبیل تفاوت نرمال آب (NDWI)<sup>۹۵</sup>، تفاوت نرمال آب بهبود یافته (MNDWI)<sup>۹۶</sup>، استخراج خودکار آب (AWEI)<sup>۹۷</sup> و شاخص آب (WI)<sup>۹۸</sup>، آب را از غیرآب تفکیک می‌کنند و همین امر سبب می‌شود تا آب‌های سطحی با رنگی درخشان از محیط پیرامون خود متمایز گردند (شکل ۴-۶) و (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۶- ویژگی‌های استخراج شده از منطقه اول مطالعاتی (سد گلوارد). (الف) شاخص NDWI، (ب) شاخص MNDWI، (پ) شاخص AWEI-sh، (ت) شاخص AWEI-nsh، (ث) شاخص WI<sub>2015</sub>

<sup>۹۵</sup> Normalized Difference Water Index (NDWI)

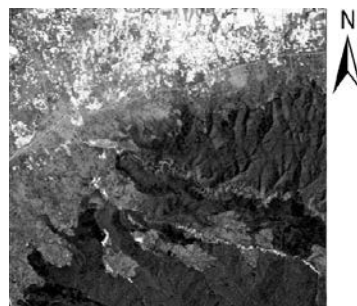
<sup>۹۶</sup> Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)

<sup>۹۷</sup> Automated Water Extraction Index (AWEI)

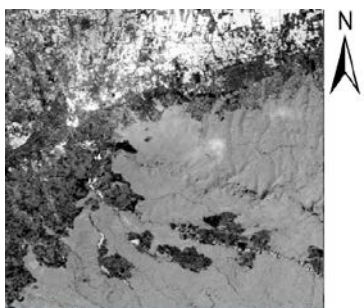
<sup>۹۸</sup> Water Index 2015 (WI)



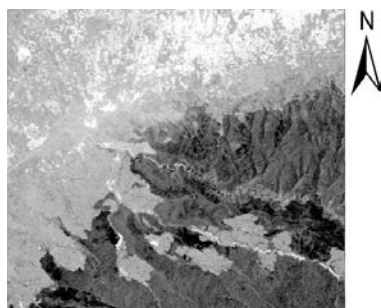
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)



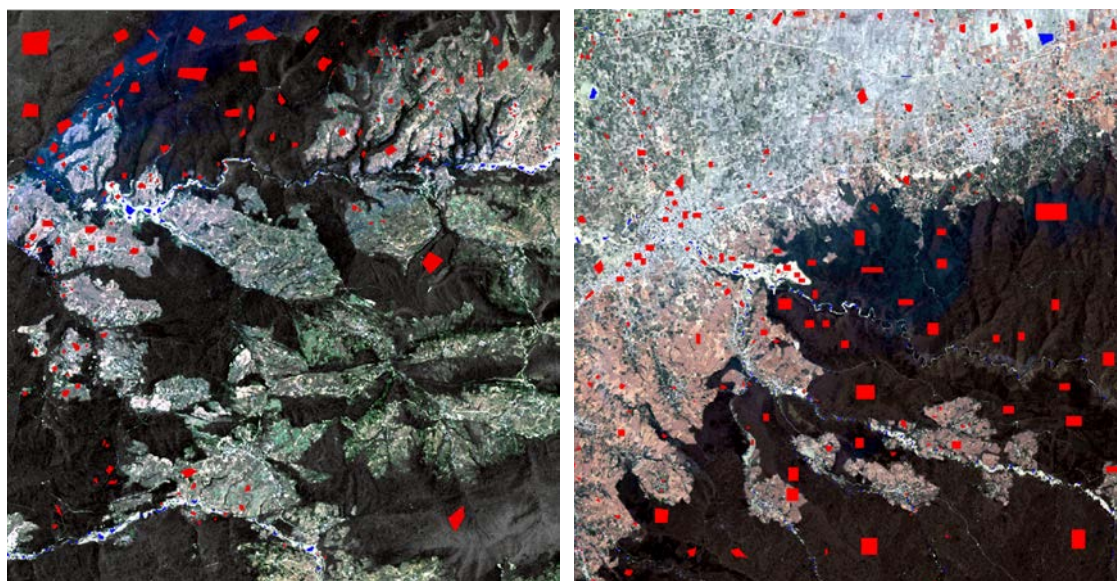
(ث)

شکل ۴-۷- ویژگی‌های استخراج شده از منطقه اول مطالعاتی (شهر نکا). (الف) شاخص NDWI، (ب) شاخص MNDWI، (پ) شاخص AWEI-sh، (ت) شاخص AWEI-nsh، (ث) شاخص  $WI_{2015}$

#### ۴-۱-۳ داده‌های آموزش و صحت سنجی

شناسایی و تفکیک عوارض از یکدیگر با استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده با استفاده از داده‌های آموزش صورت می‌پذیرد. این دسته از داده‌ها با برچسب‌گذاری و کلاسه‌بندی داده‌های موجود به تعداد تعیین شده اقدام به طبقه‌بندی داده‌ها می‌کنند. برچسب‌گذاری داده‌ها بدلیل کم‌عرض بودن رودها و شناسایی سخت آن‌ها در میان انبوه درختان و پوشش‌های گیاهی در نرم افزار Google Earth pro صورت پذیرفت تا انتخاب نقاط آموزش با دقت و حساسیت بالایی صورت پذیرد. همانگونه که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است، برای منطقه مطالعاتی سد گلوارد تعداد ۵۲۳۴۷ و شهر نکا تعداد ۴۰۱۳۸ پیکسل جهت آموزش طبقه‌بندی کننده‌ها در شناسایی آب از غیر-آب انتخاب شده است. الگو

انتخاب داده‌های آموزش با تمرکز بر اطلاعات طیفی آب جاری در رودها، دریاچه‌ها و باتلاق می‌باشد زیرا به کمک اطلاعات طیفی موجود در هر پیکسل، طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده یادگیری ماشینی اثر زمین‌های کشاورزی و دریاچه‌های مصنوعی را کم‌رنگ می‌کنند و آب‌های سطحی همچون آب رودها، باتلاق‌ها، دریاچه‌های طبیعی با دقت مناسب‌تری از غیر-آب تفکیک می‌شوند.

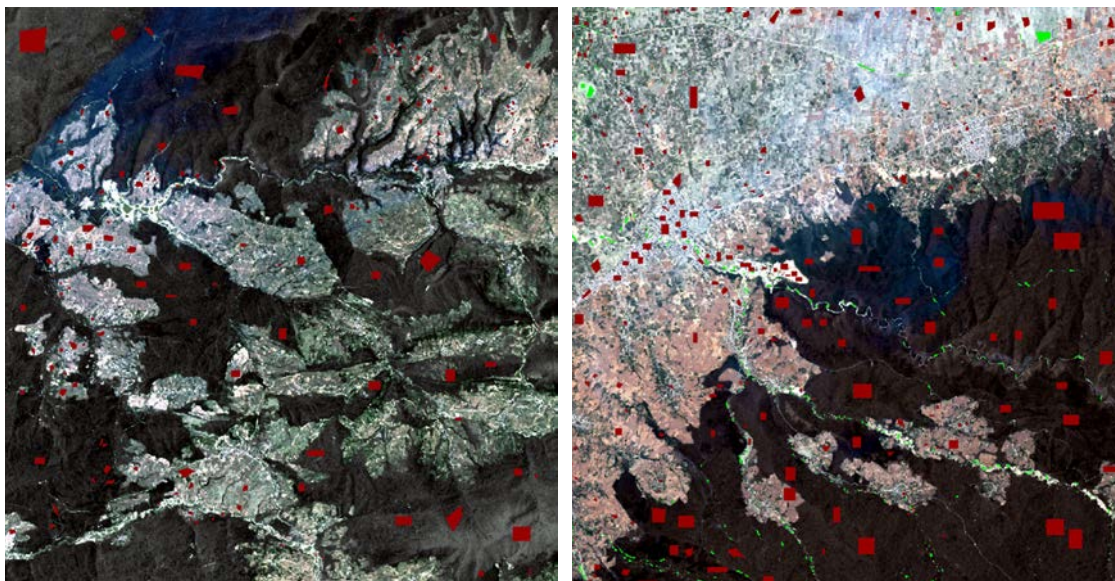


(الف)

(ب)

شکل ۴-۸- پیکسل‌های آموزش طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده رنگ آبی = آب، رنگ قرمز = غیر آب.  
الف- سد گلوارد. ب- شهر نکا

در ادامه جهت صحت سنجی نتایج خروجی و تعیین دقت طبقه‌بندی کننده‌ها در شناسایی آب از غیر-آب مجدداً تعداد ۷۶۱۳۶ پیکسل برای سد گلوارد و ۱۰۸۰۵۹ پیکسل برای نکا مطابق شکل ۴-۹ مشخص گردید.



(الف)

(ب)

شکل ۴-۹- پیکسل‌های صحت‌سنجی طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده. الف- سد گلوارد. ب- شهر نکا

#### ۴-۱-۴-۴ طبقه‌بندی و تلفیق نتایج

در ادامه برای استخراج آب توسط زبان ماشینی به مجموعه داده‌ای غنی از اطلاعات احتیاج است تا طبقه‌بندی کننده‌ها با دقت بیشتری به شناسایی بپردازند به همین منظور لایه‌ای متشکل از باندهای نوری ۱۰ متری سنجنده لندست-۸، شاخص‌های آب و باند قطبش VV سنجنده راداری سنتینل-۱، ایجاد گردید. مطابق روش پیشنهادی رویکرد اول، آب‌های سطحی با سرعت توسط سه طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده قدرتمند همچون ماشین بردار پشتیبان (SVM)<sup>۹۹</sup>، شبکه عصبی (NN)<sup>۱۰۰</sup> و جنگل تصادفی (RF)<sup>۱۰۱</sup> توسط نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳، طبقه‌بندی شده و آب از غیر-آب متمایز گردید. سپس در ادامه سه نتیجه خروجی بدست‌آمده با روش ادغام تصمیم‌گیری و با استفاده از الگوریتم رای‌گیری

<sup>۹۹</sup> Support Vector Machine (SVM)

<sup>۱۰۰</sup> Neural Network (NN)

<sup>۱۰۱</sup> Random Forest

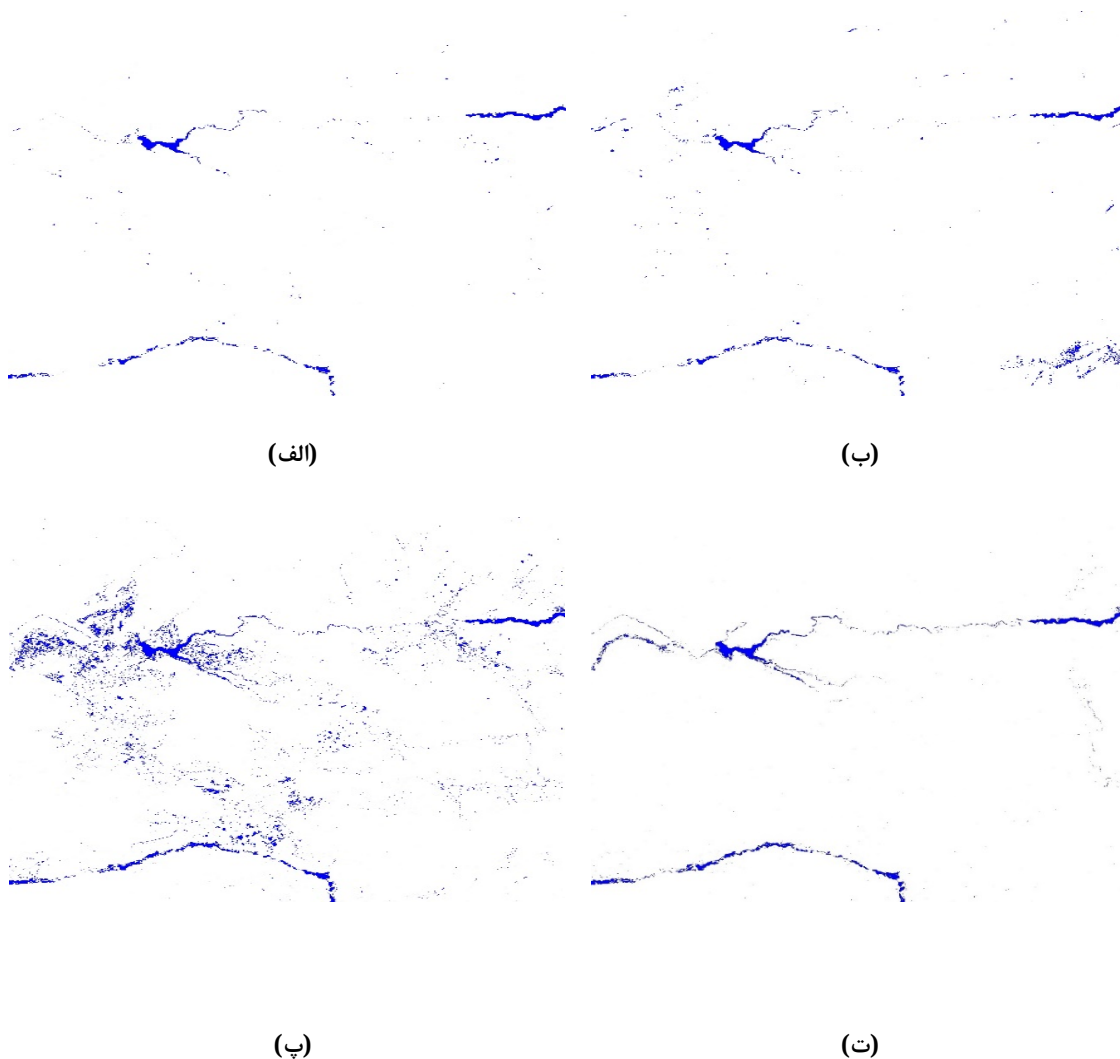
حداکثری<sup>۱۰۲</sup> و در محیط Matlab با یکدیگر تلفیق شدند و نتیجه حاصل تصویری با دقت بالاتر از نتایج بدست آمده توسط دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها می‌باشد.

استفاده از تنها سه طبقه‌بندی کننده با نتایج نزدیک به یکدیگر سبب شد تا جهت علمی بودن نتایج خروجی از نسخه وزن دار رای گیری استفاده نگردد زیرا نتایج بدلیل عدم اختلاف زیاد در نتایج مشابه با روش وزن دار آن می‌باشد.

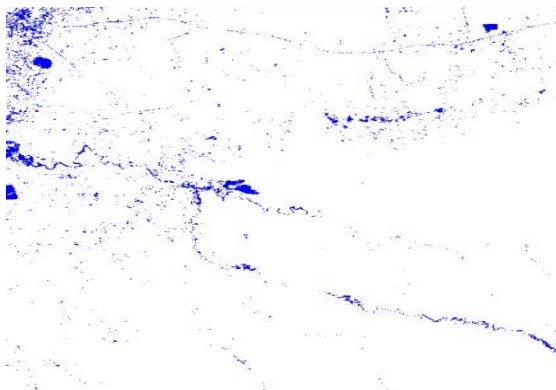
در شکل (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نتایج سه طبقه‌بندی کننده رویکرد اول به همراه ادغام آن‌ها توسط روش رای گیری حداکثری را برای منطقه مطالعاتی اول نشان می‌دهد.

---

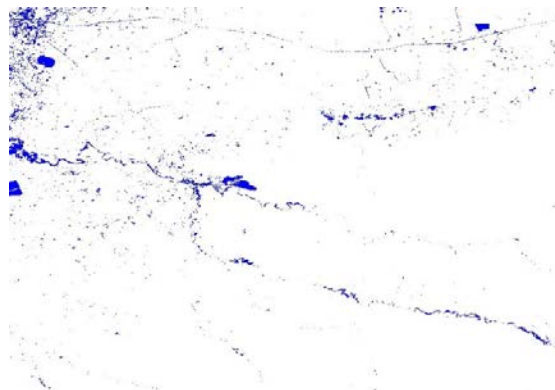
<sup>۱۰۲</sup> Majority Voting (MV)



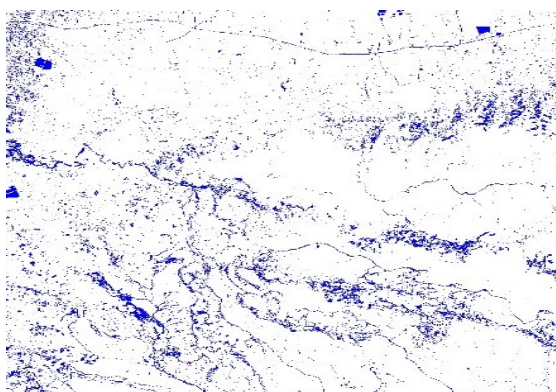
شکل ۴-۱۰- نتایج بدست آمده برای منطقه مطالعاتی اول (سد گلوارد). (الف) خروجی طبقه‌بندی کننده SVM، (ب) خروجی طبقه‌بندی کننده NN، (پ) خروجی طبقه‌بندی کننده RF، (ت) نتیجه ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها توسط رای‌گیری حداکثری



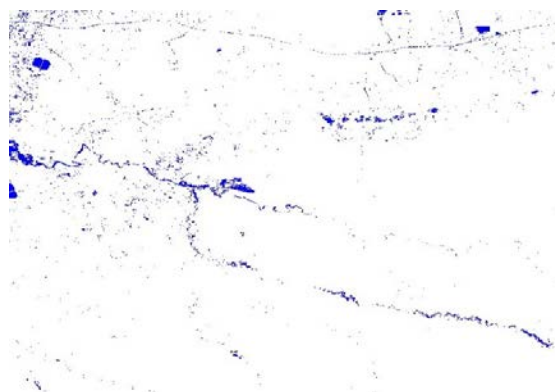
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۴-۱۱- نتایج بدست آمده برای منطقه مطالعاتی اول (نکارود). (الف) خروجی طبقه‌بندی کننده SVM، (ب) خروجی طبقه‌بندی کننده NN، (پ) خروجی طبقه‌بندی کننده RF، (ت) نتیجه ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها توسط رای‌گیری حداکثری

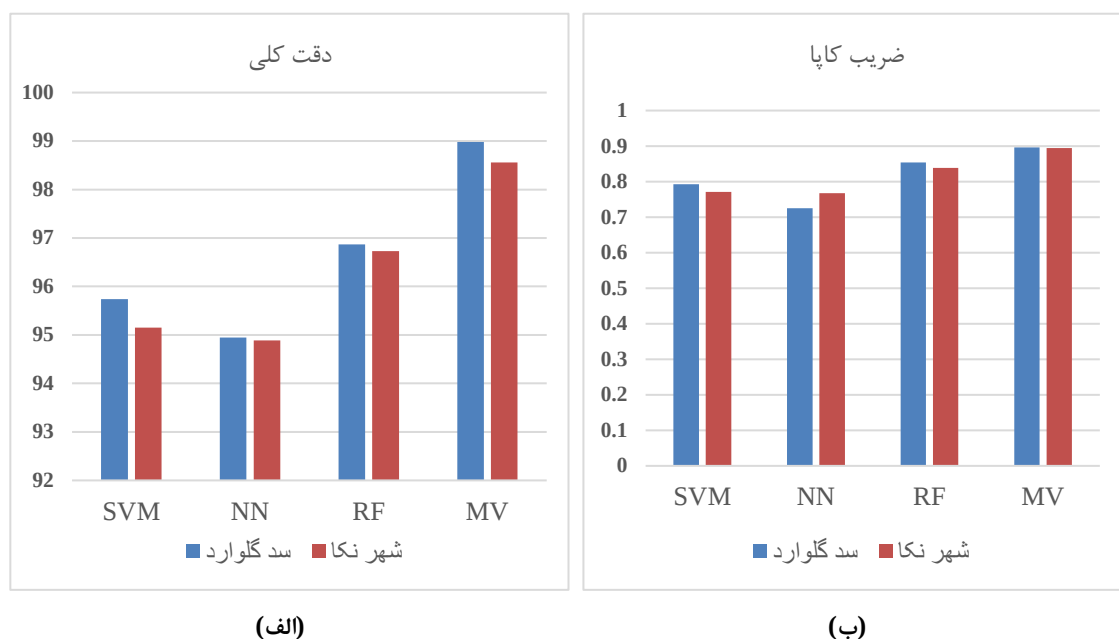
با استفاده از روش ادغام تصمیم‌گیری و با تلفیق نتیجه هر سه طبقه‌بندی کننده با استفاده از روش رای‌گیری حداکثری، تصویری منحصر بفرد با دقت بسیار بالا بدست آمد که حجم آب شناسایی شده با استفاده از این شیوه بسیار کارآمدتر بوده و همچنین از خطای کمتری نسبت به روش ادغام داده‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین دیده می‌شود که در بین تصاویر خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها، جنگل تصادفی توانسته است آب بیشتری را برای هر دو بخش مطالعاتی شناسایی کند. علت این امر توانایی جنگل تصادفی در رای‌گیری داخلی الگوریتم خود می‌باشد و سبب می‌شود تا رودخانه‌های کوچک و

کم‌عرض بهتر از دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها استخراج شده و طبقه‌بندی شوند. ردیابی رودخانه‌ها به‌طور دقیق در این طبقه‌بندی کننده سبب شد تا هنگامی که از الگوریتم رای‌گیری حداکثری استفاده می‌کنیم تصویری دقیق از رودخانه‌ها بدست آوریم، این در حالیست که تعدادی از این رودخانه‌ها در خروجی گیری حداکثری مشاهده نمی‌شوند اما هدف اصلی در این بخش ردیابی دقیق مسیر رودخانه‌ها و نمایش میزان حجم آب موجود در هر رودخانه می‌باشد، از همین‌رو الگوریتم رای‌گیری حداکثری حجم آب و دقیق‌تری را نسبت به سه روش دیگر بدست می‌آورد. به‌طور مثال در سد گلوارد و نکارود بدلیل وجود زمین‌های کشاورزی مستغرق طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی به وضوح حجم آب بیشتری را نسبت به ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی شناسایی کرده است و این نشان از قدرت بالای این طبقه‌بندی کننده در شناسایی آب می‌دهد.

نتایج روش‌های پیشنهادی در جدول ۴-۳ نشان می‌دهد که هر سه طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM)، شبکه عصبی (NN)، و جنگل تصادفی (RF) از دقت مناسبی برخوردار هستند، همچنین در بین هر سه طبقه‌بندی کننده، طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی بدلیل بهرمندی از رای-گیری در تصمیم هنگام طبقه‌بندی از دقت بالاتری میان روش‌های دیگر برخوردار بوده است. در ادامه با استفاده از روش رای‌گیری حداکثری و ادغام نتایج، شاخص‌های صحت سنجی دقت کلی (OA) و همچنین ضریب کاپا (Kappa) به طور چشمگیری افزایش یافت.

جدول ۳-۴- صحت‌سنجی نتایج استفاده از دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری

| طبقه‌بندی کننده |    | SVM    | NN     | RF     | MV     |
|-----------------|----|--------|--------|--------|--------|
| Study Area 1    | OA | ٪۹۵/۷۴ | ٪۹۴/۹۵ | ٪۹۶/۸۷ | ٪۹۸/۸۶ |
| (سد گلوارد)     | K  | ۰/۷۹۲  | ۰/۷۲۵  | ۰/۸۵۴  | ۰/۸۹۶  |
| Study Area 1    | OA | ٪۹۵/۱۵ | ٪۹۴/۸۹ | ٪۹۶/۷۳ | ٪۹۸/۵۶ |
| (شهر نکا)       | K  | ۰/۷۷۱  | ۰/۷۶۷  | ۰/۸۳۸  | ۰/۸۹۴  |



شکل ۴-۱۲- نمودار ضریب کاپا و دقت کلی برای منطقه مطالعاتی اول. سد گلوارد و شهر نکا همانگونه که در جدول (۳-۴) و شکل (۴-۱۲) نشان داده است، روش ادغام تصمیم‌گیری با استفاده از الگوریتم رای‌گیری حداکثری نشان داد که این روش در مقابل روش مرسوم طبقه‌بندی ماشینی (SVM، NN، RF) قادر است تا نتایج خروجی را بهبود بخشد. نتایج بدست آمده در جدول (۳-۴) به درستی نشان می‌دهد که طبقه‌بندی کننده RF نسبت به دو طبقه‌بندی کننده دیگر از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد بطوریکه ضریب کاپا RF دقت بالاتری را نشان می‌دهد و این بدان معناست که در این طبقه‌بندی کننده هدف اصلی تحقیق یعنی شناسایی دقیق حجم آب‌های سطحی و ردیابی رودخانه‌ها با دقت بهتری

صورت پذیرفته است. در مقابل ادغام گر MV با افزایش دقت کلی به میزان ۲ درصد برای سد گلوارد و ۱/۸۳ درصد برای شهر نکا در مقابل طبقه‌بندی کننده RF، برتری در دقت را نسبت به شیوه‌های مرسوم طبقه‌بندی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴- بررسی خطای Omission و Commission برای روش ادغام داده‌ها

| طبقه‌بندی کننده    |            | SVM    |        | NN     |        | RF     |        |
|--------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| منطقه مطالعاتی اول |            | آب     | غیر آب | آب     | غیر آب | آب     | غیر آب |
| سد<br>گلوارد       | Commission | ۰/۰۰۳۱ | ۰/۳۲۵۸ | ۰/۰۰۴۱ | ۰/۳۳۰۳ | ۰/۰۰۲  | ۰/۲۰۴۳ |
|                    | Omission   | ۰/۰۴۷۲ | ۰/۰۳۷۱ | ۰/۰۴۹۰ | ۰/۰۳۸۶ | ۰/۰۲۸۹ | ۰/۰۳۵۰ |
| طبقه‌بندی کننده    |            | SVM    |        | NN     |        | RF     |        |
| منطقه مطالعاتی اول |            | آب     | غیر آب | آب     | غیر آب | آب     | غیر آب |
| شهر نکا            | Commission | ۰/۰۱۰۸ | ۰/۴۴۱۴ | ۰/۰۱۲۷ | ۰/۴۹۷۸ | ۰/۰۸۳  | ۰/۱۸۴۹ |
|                    | Omission   | ۰/۰۴۹۸ | ۰/۰۹۴۱ | ۰/۰۵۷۶ | ۰/۱۶۳۸ | ۰/۰۱۹۴ | ۰/۰۶۸۳ |

جدول ۴-۵- بررسی خطای Commission و Omission برای روش ادغام تصمیم‌گیری

| طبقه‌بندی کننده    |            | MV     |        |
|--------------------|------------|--------|--------|
| منطقه مطالعاتی اول |            | آب     | غیر-آب |
| سد گلوارد          | Commission | ۰/۱۷۶۸ | ۰/۰۰۱۱ |
|                    | Omission   | ۰/۰۲۰۳ | ۰/۰۱۷۶ |

| طبقه‌بندی کننده    |            | MV     |        |
|--------------------|------------|--------|--------|
| منطقه مطالعاتی اول |            | آب     | غیر-آب |
| شهر نکا            | Commission | ۰/۱۰۲۷ | ۰/۰۱۹۳ |
|                    | Omission   | ۰/۰۲۵۲ | ۰/۰۰۷۴ |

جدول ۴-۵ دو خطای Commission و Omission را برای دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری در منطقه مطالعاتی اول نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، استفاده از الگوریتم MV سبب شد تا خطای Commission (آن دسته از پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده) برای آب و غیر-آب به ترتیب ۰/۱۷۶۸ و ۰/۰۰۱۱ برای سد گلوارد و ۰/۱۰۲۷ و ۰/۰۱۹۳ برای شهر نکا بدست‌آید. این مقدار در بهترین حالت در مقایسه با طبقه‌بندی کننده RF حدود ۰/۰۲۷۵ خطای Commission کمتری در شناسایی آب برای سد گلوارد و حدود ۰/۰۸۲۲ خطای Commission کمتری در شناسایی آب برای شهر نکا را نشان می‌دهد. پایین بودن دو خطای Commission و Omission برای روش پیشنهادی در تفکیک پیکسل‌های آب از غیر-آب، به دقت روش ادغام تصمیم‌گیری اشاره دارد.

در روش اول (ادغام داده‌ها) با ترکیب همه پارامترهای موجود از قبیل شاخص‌ها، باندهای نوری، داده‌های راداری و قرار دادن آن‌ها در یک لایه، به طبقه‌بندی آن‌ها پرداخته شد که نتایج آن‌ها به تفکیک در جدول (۴-۶) و (۴-۷) نشان داده شد است. به‌منظور نشان دادن دقت روش پیشنهادی، با استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های پیشنهادی، دیگر ترکیب باندها و شاخص‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. این ترکیبات به شرح زیر می‌باشند:

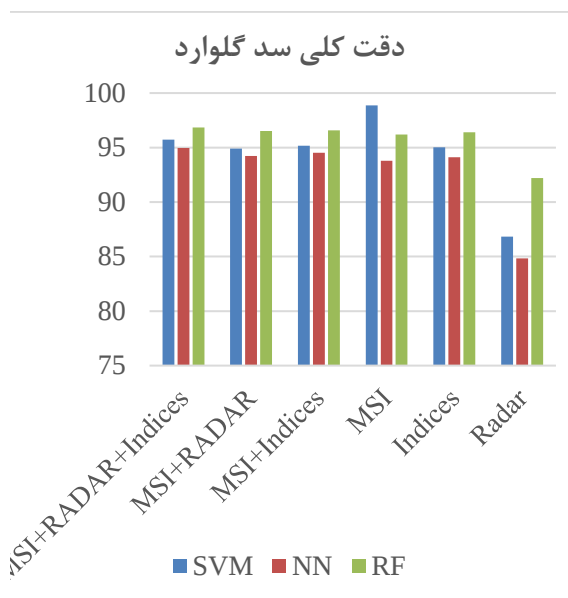
- ترکیب باندهای نوری ۱۰ متری با شاخص‌های آب و داده‌های راداری (روش پیشنهادی)
- باندهای نوری به‌همراه داده‌های راداری
- داده‌های نوری به‌همراه شاخص‌های آب
- باندهای نوری ۱۰ متری لندست-۸
- مجموعه داده‌های راداری قطبش VV

جدول ۴-۶- مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش‌های موجود برای شناسایی آب‌های سطحی در منطقه سد گلوارد

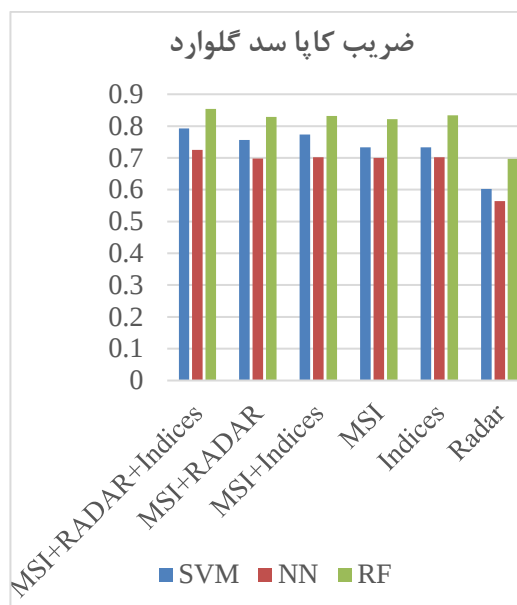
| راداری | شاخص | باند نوری | نوری +<br>شاخص | راداری +<br>نوری | روش پیشنهادی | سد گلوارد |
|--------|------|-----------|----------------|------------------|--------------|-----------|
|        |      |           |                |                  | OA           |           |
|        |      | %۹۴/۸۶    | %۹۵/۱۷         | %۹۴/۹۱           | %۹۵/۷۴       |           |
| SVM    | K    | ۰/۷۳۳۱    | ۰/۷۷۳۱         | ۰/۷۵۶۲           | ۰/۷۹۲۹       |           |
|        |      |           |                |                  | OA           |           |
|        |      | %۹۳/۷۹    | %۹۴/۵۲         | %۹۴/۲۳           | %۹۴/۹۵       |           |
| NN     | K    | ۰/۶۹۹۸    | ۰/۷۰۱۵         | ۰/۶۹۷۸           | ۰/۷۲۵۴       |           |
|        |      |           |                |                  | OA           |           |
|        |      | %۹۶/۱۹    | %۹۶/۵۹         | %۹۶/۵۳           | %۹۶/۸۷       |           |
| RF     | K    | ۰/۸۲۲۱    | ۰/۸۳۱۴         | ۰/۸۲۹۱           | ۰/۸۵۴۱       |           |

جدول ۴-۷- مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش‌های موجود برای شناسایی آب‌های سطحی در منطقه شهر نکا

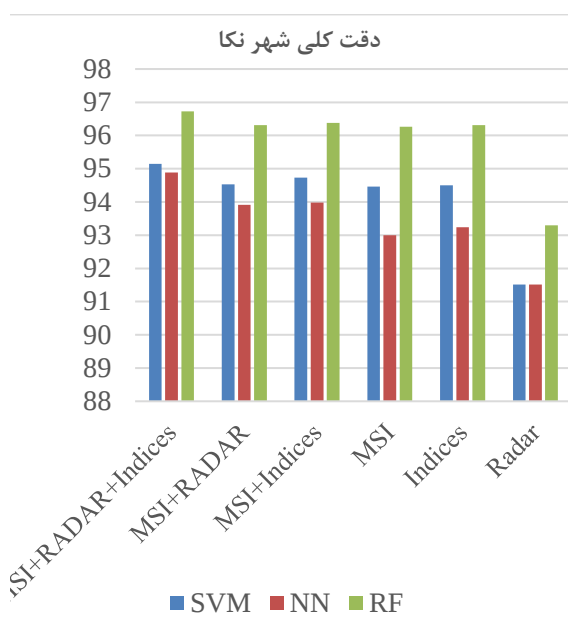
| شهر نکا | روش پیشنهادی | راداری + نوری | نوری + | باند نوری | شاخص   | راداری |
|---------|--------------|---------------|--------|-----------|--------|--------|
| شاخص    |              |               |        |           |        |        |
| SVM     | OA           | ٪۹۵/۱۵        | ٪۹۴/۵۳ | ٪۹۴/۷۳    | ٪۹۴/۴۶ | ٪۹۴/۵۰ |
|         | K            | ۰/۷۷۱۴        | ۰/۷۵۱  | ۰/۷۶۲۱    | ۰/۷۴۶۱ | ۰/۷۵۰۱ |
| NN      | OA           | ٪۹۴/۸۹        | ٪۹۳/۹۱ | ٪۹۳/۹۸    | ٪۹۳/۰۰ | ٪۹۳/۲۴ |
|         | K            | ۰/۷۶۷۲        | ۰/۷۴۱۶ | ۰/۷۴۲۹    | ۰/۷۳۷۱ | ۰/۷۳۹۷ |
| RF      | OA           | ٪۹۶/۷۳        | ٪۹۶/۳۱ | ٪۹۶/۳۸    | ٪۹۶/۲  | ٪۹۶/۳۱ |
|         | K            | ۰/۸۳۸۹        | ۰/۸۲۲  | ۰/۸۲۴۱    | ۰/۸۱۹۸ | ۰/۸۲۱۹ |



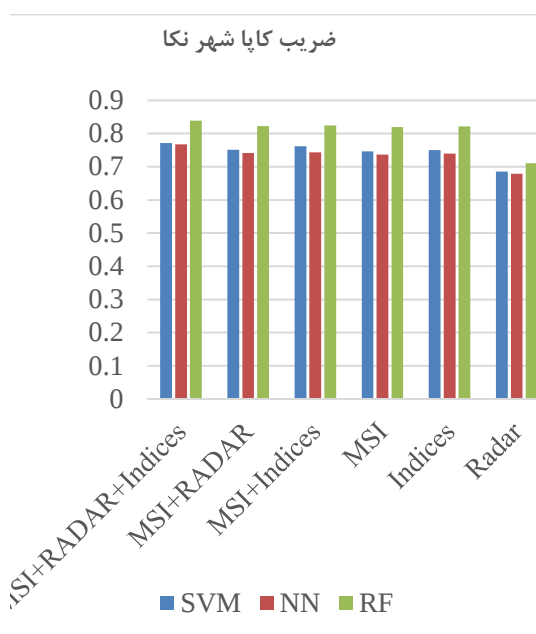
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۴-۱۳ دقت کلی و ضریب کاپا برای مقایسه دیگر روش‌های شناسایی آب‌های سطحی در مقابل روش پیشنهادی. (الف) دقت کلی برای منطقه سد گلوارد. (ب) ضریب کاپا برای منطقه سد گلوارد. (پ) دقت کلی برای منطقه شهر نکا. (ت) ضریب کاپا برای منطقه شهر نکا. همانگونه که در جدول (۴-۶) و (۴-۷) نشان داده شده است، روش پیشنهادی برای هر دو منطقه سد گلوارد و شهر نکا از دقت بالاتری نسبت به دیگر روش‌های مورد بررسی در شناسایی آب‌های سطحی

برخوردار می‌باشد. می‌توان مشاهده نمود که روش پیشنهادی شامل ترکیب باندها، شاخص‌ها و داده‌های راداری دقت مناسب‌تری در هر سه طبقه‌بندی کننده نسبت به روش‌های بیان شده را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج بدست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از ترکیب داده‌های راداری که قادرند آب را از غیر-آب به راحتی ردیابی کنند و شاخص‌های آب که با ایجاد تمایز بین آب و غیر-آب از یکدیگر به بهبود شناسایی آب‌های سطحی توسط طبقه‌بندی کننده‌ها کمک شایانی می‌کنند، دقت نتایج با رشد چشمگیری همراه می‌باشد. مطابق نتایج بدست آمده مجدداً طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی در شناسایی آب‌های سطحی بهتر و دقیق‌تر عمل کرده است و دقت کلی و ضریب کاپای بالاتری نسبت به دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها در روش‌های پیشنهاد شده را به خود اختصاص داده است. نتایج بدست‌آمده از روش‌های ترکیب باند نوری و شاخص‌ها نشان می‌دهد که با افزایش توان تفکیک مکانی از ۱۵ متر به ۱۰ و ترکیب آن با شاخص‌ها نسبت به حالت منفرد هریک از آن‌ها نتیجه بالاتری را نشان می‌دهد. این بدان معناست که طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده توسط این داده‌ها قادرند بهتر تعلیم ببینند و در نتیجه آن دقت آن افزایش می‌یابد.

جدول ۴-۸- بررسی روش‌های متفاوت در ادغام داده‌ها منطقه سد گلوارد و شهر نکا

| سد گلوارد                       |    | SVM    | NN     | RF     |
|---------------------------------|----|--------|--------|--------|
| Landsat-8                       | OA | ٪۷۹/۵۴ | ٪۷۶/۹۴ | ٪۸۵/۱۱ |
|                                 | K  | ۰/۶۱۱۱ | ۰/۵۸۲۳ | ۰/۶۴۸۷ |
| (توان تفکیک ۱۵ متر)             |    |        |        |        |
| Sentinel-2                      | OA | ٪۸۹/۲۱ | ٪۸۸/۱۷ | ٪۹۱/۳  |
|                                 | K  | ۰/۶۴۷۵ | ۰/۶۱۰۹ | ۰/۷۰۸۶ |
| (توان تفکیک ۱۰ متری)            |    |        |        |        |
| روش ادغام داده‌ها               | OA | ٪۹۵/۷۴ | ٪۹۴/۹۵ | ٪۹۶/۸۷ |
|                                 | K  | ۰/۷۹۲۹ | ۰/۷۲۵۴ | ۰/۸۵۴۱ |
| (تلفیق Landsat-8 با Sentinel-2) |    |        |        |        |

| شهر نکا                         |           | SVM    | NN     | RF     |
|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| <b>Landsat-8</b>                | <b>OA</b> | ٪۷۸/۵۲ | ٪۷۷/۰۲ | ٪۸۷/۹۳ |
| (توان تفکیک ۱۵ متر)             | <b>K</b>  | ۰/۶۰۹  | ۰/۵۷   | ۰/۶۶۲۹ |
| <b>Sentinel-2</b>               | <b>OA</b> | ٪۸۸/۶۷ | ٪۸۶/۸۱ | ٪۹۰/۱۴ |
| (توان تفکیک ۱۰ متری)            | <b>K</b>  | ۰/۶۱۵۹ | ۰/۶۰۱  | ۰/۶۸۹۲ |
| روش ادغام داده‌ها               | <b>OA</b> | ٪۹۵/۱۵ | ٪۹۴/۸۹ | ٪۹۶/۷۳ |
| (تلفیق Landsat-8 با Sentinel-2) | <b>K</b>  | ۰/۷۷۱۴ | ۰/۷۶۷۲ | ۰/۸۳۸۹ |

همانگونه که نیز ذکر شد، تلفیق داده‌های سنجنده‌های متفاوت به منظور افزایش توان تفکیک مکانی از سه مرحله شکل گرفته است. در مرحله اول توان تفکیک مکانی سنجنده لندست-۸ از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا داده شد، سپس با استفاده از باندهای ۱۰ متری سنتینل-۲ باند شبه پانکروماتیک ساخته شده و در آخر نیز ادغام دو سنجنده و دست یافتن به دقت ۱۰ متری هدف تحقیق می‌باشد. هر سه مرحله مورد مطالعه قرار گرفت تا اهمیت روش پیشنهادی را بیش از پیش نمایان سازد. در جدول (۴-۸) به روشنی نشان داده شده است که با استفاده از روش پن‌شارپ کردن تصاویر سنجنده لندست-۸، دقت شناسایی آب‌های سطحی افزایش می‌یابد. این بدان معناست که پیکسل‌های حاوی اطلاعات آب با این روش بهتر از دو روش قبل عمل می‌کند و در نتیجه دقت کلی و ضریب کاپا مقدار بالاتری را نشان می‌دهند.

## ۴-۴-۲ رویکرد پژوهشی دوم: ردیابی سیلاب با روش شناسایی آب‌های سطحی (منطقه مطالعاتی : اهواز)

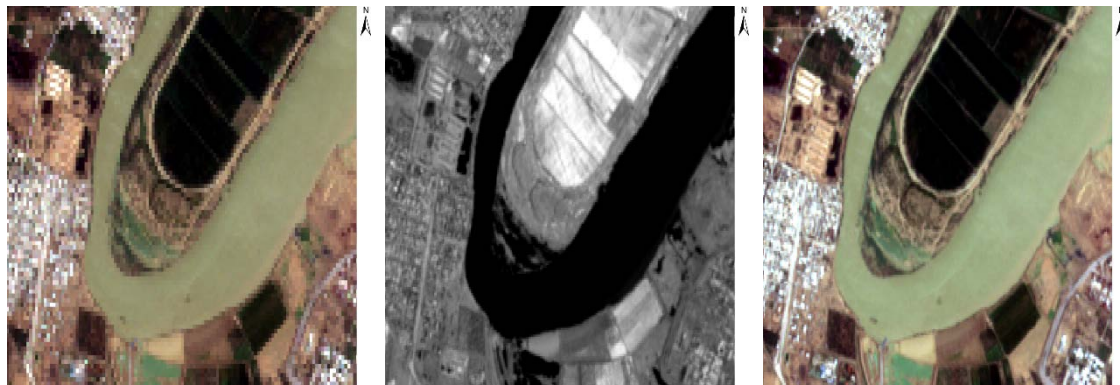
در این رویکرد هدف ردیابی و استخراج نقشه سیلاب مرتبط با سیل فروردین ۹۸ برای منطقه مطالعاتی اهواز می‌باشد که خسارات جانی و مالی فراوانی را به مردم استان خوزستان وارد کرد. در سیل رخ داده فروردین ۹۸ عوامل متعدد انسانی و طبیعی نقش جدی و تاثیرگذاری داشتند. تصمیم‌گیری دیر هنگام و گسترش شهر اهواز در حاشیه رودخانه سبب بروز سیل شدید در این شهر شد. در این رویکرد با استفاده از روش شناسایی آب‌های سطحی به روش شناسایی تغییرات و ادغام نتایج خروجی دو سنجنده سنتینل-۱ و سنتینل-۲ به ردیابی سیلاب توسط سیستم‌های سنجش از دوری برای منطقه اهواز می‌پردازیم.

### ۴-۴-۲-۱ پن‌شارپ LMVM

به‌منظور تهیه شاخص‌های آب با کیفیت مناسب و همچنین کمک به طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده به جهت شناسایی بهتر آب از غیر-آب فرایند پن‌شارپ تصاویر سنتینل-۲ از اهمیت بالایی برخوردار می‌گردد. این روش که مبتنی بر میانگین‌گیری و انطباق واریانس پیکسل‌ها می‌باشد، تصاویر در عینی که اطلاعات طیفی آن‌ها تنها ۵ درصد افت می‌کند که مقدار قابل قبولی به جهت حفظ اطلاعات طیفی نسبت به تصویر اصلی می‌باشد، توان کیفیت مکانی باندها نیز از ۲۰ متر به ۱۰ متر ارتقا می‌یابند. علت استفاده از این روش، نتیجه تحقیقات دیگر محققین بود که به حفظ توان طیفی در کنار ارتقا توان تفکیک مکانی تاکید داشتند، بود است [۹۳]، [۹۴].

در این روش مطابق شکل ۴-۱۴، ابتدا باندهای نوری آبی، سبز و قرمز با یکدیگر در یک لایه قرار می‌گیرند سپس با میانگین‌گیری از این سه باند، یک تصویر خاکستری با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر و طول موج  $0.571 \mu m$  بدست می‌آید و همانند رویکرد اول آنرا شبه پانکروماتیک می‌نامیم. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار متن باز Orfeo toolbox که بر پایه پایتون و C++ طراحی شده، از قسمت

classificationFusion الگوریتم پن‌شارپ LMVM را انتخاب می‌کنیم. لایه‌ای متشکل از باندهای ۲۰ متری را در کنار تک باند شبه پانکروماتیک به نرم‌افزار معرفی می‌کنیم و تصویر خروجی تصویری Tiff متشکل از باندهای ۱۰ متری سنتینل-۲ می‌باشد.



(الف)

(ب)

(پ)

شکل ۴-۱۴- استفاده از الگوریتم LMVM به منظور پن‌شارپ کردن تصاویر سنتینل-۲. (الف) تصویر با توان تفکیک مکانی ۲۰ متری، (ب) باند شبه پانکروماتیک، (پ) تصویر پن‌شارپ شده سنتینل-۲ با توان تفکیک مکانی ۱۰ متری.

#### ۴-۲-۲ شاخص‌های آب

بعد از ارتقا توان تفکیک مکانی نوبت به شاخص‌های آب می‌رسد که همانند رویکرد اول به افزایش دقت نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده کمک کنند. در این مرحله شاخص‌هایی از قبیل (NDWI)، (MNDWI)، (AWEI) و (WI)، بکار گرفته شدند تا بین آب و غیر آب تمایز ایجاد کنند. در شکل (۴-۱۵) شاخص‌های آب برای تصاویر قبل سیلاب و شکل (۴-۱۶) متعاقباً شاخص‌های آب را برای تصاویر بعد سیلاب نشان می‌دهد. بدلیل عدم وجود ناهمواری در شهر اهواز، از شاخص AWEI\_sh که توانایی حذف سایه‌ها را دارد صرف نظر شده است تا اطلاعات اضافی سبب کاهش دقت طبقه‌بندی کننده‌ها نشود.



(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۴-۱۵- شاخص‌های آب برای داده‌های قبل از سیلاب. (الف) شاخص NDWI. (ب) شاخص  
MNDWI. (پ) شاخص AWEI\_nsh. (ت) شاخص WI<sub>2015</sub>.



(الف)



(ب)



(پ)

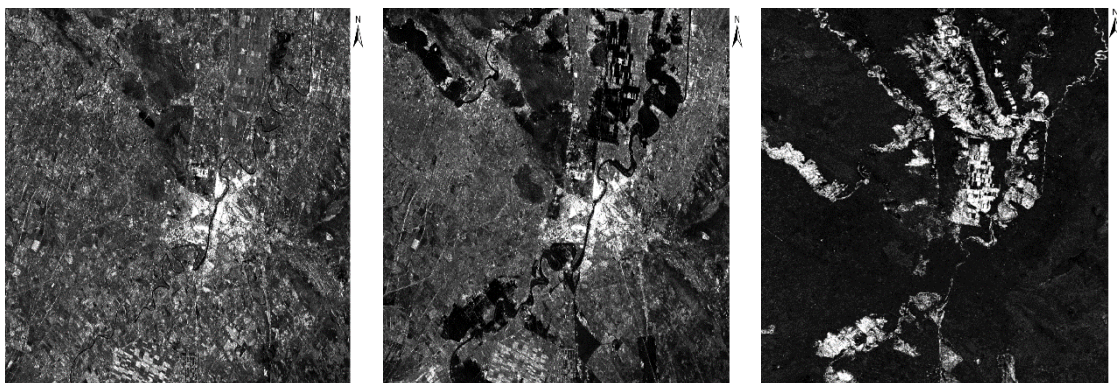


(ت)

شکل ۴-۱۶- شاخص‌های آب برای داده‌های بعد از سیلاب. (الف) شاخص NDWI. (ب) شاخص MNDWI. (پ) شاخص AWEI\_nsh. (ت) شاخص WI<sub>2015</sub>. می‌توان مشاهده نمود که شناسایی آب‌های سطحی با کمک روش پن‌شارپ LMVM توانسته است با حفظ اطلاعات طیفی آب را از غیر-آب به درستی و با دقتی مناسب شناسایی کند. حال، هم آب از غیر-آب به درستی تفکیک شده و هم اختلاط پیکسل‌ها به شدت کمتر از تصاویر ۲۰ متری می‌باشد. در انتها شاخص‌های آب قبل سیل به همراه باندهای ۱۰ متری سنتینل-۲ در یک لایه با یکدیگر ترکیب می‌شوند. همچنین مطابق با این روش، تصاویر بعد از سیل نیز در یک لایه با یکدیگر ترکیب می‌گردند تا هر دو لایه تهیه شده آماده طبقه بندی قرار گیرند.

#### ۳-۲-۴-۴ شناسایی تغییرات

پس از انجام مرحله پیش پردازش توسط نرم افزار SNAP برای داده های راداری، محدوده منطقه مطالعاتی دوم از تصویر جدا شده و مطابق شکل ۴-۱۷ با استفاده از دستور تفریق تصاویر  $\log(after / before)$ ، آب های ساکن از سیل حذف می شوند. این مرحله کمک می کند تا مساحت آب سیلابی به درستی در منطقه مشخص شود. در روش تفریق تصاویر باند VV به منظور شناسایی تغییرات، تصاویر بعد سیلاب از تصاویر قبل سیلاب از یکدیگر کم شده و آب باقی مانده با رنگ روشن نشان داده می شود.



(الف)

(ب)

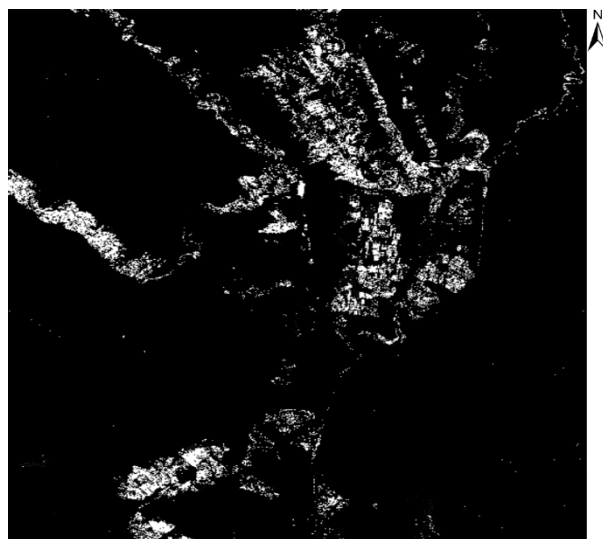
(پ)

شکل ۴-۱۷- تصاویر قبل و بعد سیلاب به همراه تصویر شناسایی تغییرات که در آب های سیلابی به رنگ سفید مشخص شده است. (الف) تصویر قبل سیلاب و در تاریخ ۰۳/۱۵ ثبت شده است که آب های ساکن را نشان می دهد. (ب) تصویر بعد سیلاب که در تاریخ ۰۴/۱۴ ثبت گشته است و آب های ساکن و سیلابی را نشان می دهد. (پ) تصویر شناسایی تغییرات که در آن آب های ساکن از آب سیلابی حذف شده است. همانطور که قبلا نیز ذکر شده بود، تصویر سیل مربوط به تاریخ فروردین ۹۸ و سیل معروف اهواز می باشد که به وضوح در تصویر (ب) اثرات سیل و حجم آن نشان داده شده است که با روش شناسایی تغییرات و حذف آب های ساکن، اثرات سیل بر منطقه در تصویر (پ) مشاهده می شود.

#### ۴-۲-۴-۴ آستانه گذاری سراسری

بعد از استخراج تصویر شناسایی تغییرات با استفاده از روش آستانه گذاری سراسری بر روی شکل ۴-۱۷ (پ)، سیلاب از محیط پیرامونی خود تفکیک گشته و به رنگ سفید در می آید. برای آستانه گذاری سراسری، با استفاده از ویژگی نرم افزار SNAP، شدت نور برگشتی پیکسل هایی که در آن نقاط سیل

رخ داده، مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس مقدار بهینه مرزی توسط کاربر با سعی و خطا زیاد انتخاب می‌شود. تصویر خروجی از نوع باینری سیاه و سفید (صفر و یک) بوده که در آن سیلاب به رنگ سفید و بقیه نقاط به رنگ سیاه نشان داده می‌شوند (شکل ۴-۱۸). مقدار آستانه بر روی تصویر Sigma0 برابر با ۷ تعیین گردید و مقادیر زیر ۷، غیر-آب (سیاه) و بالای این عدد آب در نظر گرفته شد.

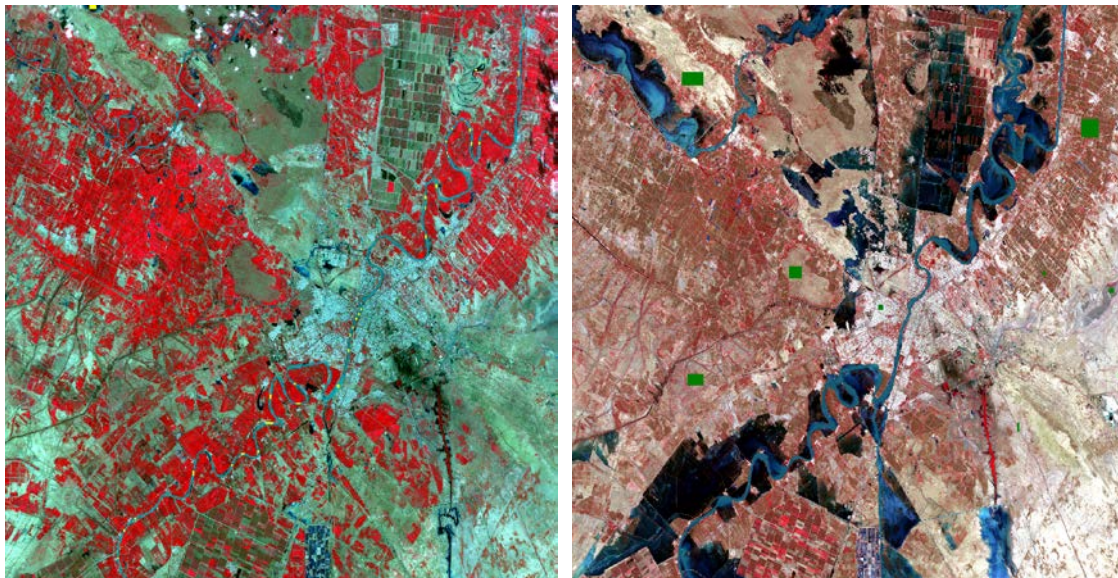


شکل ۴-۱۸- تصویر آستانه‌گذاری شده سراسری.  
(If Sigma0 > 7 then 1 else 0)

این نکته حائز اهمیت می‌باشد که هدف از استخراج تصویر آستانه‌گذاری شده صرفاً کمک مضاعف به شناسایی آب‌های سطحی توسط طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده می‌باشد. همانگونه که در رویکرد اول مشاهده شد جداول (۴-۶ و ۴-۷) شاخص‌های آب باعث بهبود نتایج بدست آمده توسط طبقه‌بندی کننده‌ها شدند به همین منظور در این رویکرد نیز این روش از نوع آستانه‌گذاری به کمک خواهد آمد. در انتها داده‌های شناسایی تغییرات در مرحله قبل به همراه تصویر آستانه‌گذاری شده در یک لایه قرار می‌گیرند تا علاوه بر شناسایی سریع‌تر، از دقت بالاتری نیز برخوردار باشند.

#### ۴-۲-۵ داده‌های آموزش و صحت سنجی

جهت انتخاب داده‌های آموزش به منظور شناسایی آب‌های سطحی و تفکیک سیل از آب ساکن، از دو تصویر قبل و بعد سیل استفاده گردید. در این روش نمونه‌گیری از آب‌های سطحی در تصویر قبل سیل انجام گرفت و سپس نمونه‌گیری از داده‌های غیر-آب از داده‌های بعد سیل صورت پذیرفت. همانطور که در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است استفاده از این رویکرد باعث می‌شود تا علاوه بر برخورداری از مجموعه داده‌هایی ثابت، شناسایی آب و غیر-آب با اختلاط در شناسایی مواجه نشوند و اطلاعات طیفی و نوری پیکسل آب، آب واضح باشد و بطور مشابه پیکسل غیر-آب، غیر-آب واضح باشد.



(الف)

(ب)

شکل ۴-۱۹- پیکسل‌های آموزش طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده رنگ زرد= آب، رنگ سبز= غیر آب.  
الف- مجموعه داده آموزش آب. ب- مجموعه داده آموزش غیر-آب

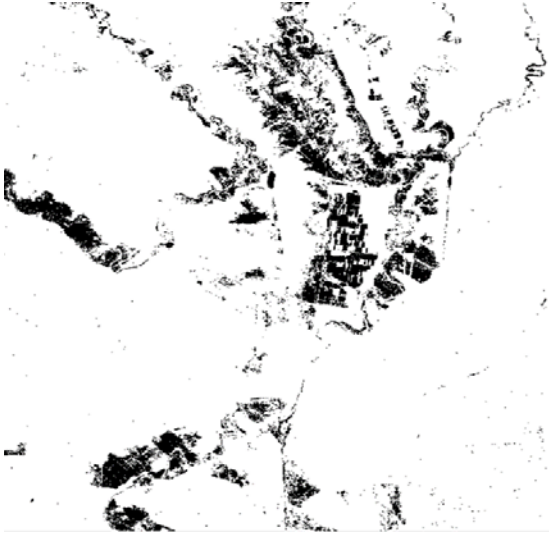
تعداد کل پیکسل‌های نمونه‌گیری شده در منطقه مطالعاتی اهواز برای آب تعداد ۲۱۰۵۶ پیکسل و برای غیر-آب تعداد ۱۳۵۸۶۵ پیکسل انتخاب گردید. از این مقدار حدود ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش و ۳۰ درصد باقی مانده به عنوان داده‌های صحت سنجی انتخاب شده است.

#### ۴-۲-۶ طبقه‌بندی و ادغام نتایج

طبقه‌بندی لایه‌های موجود به منظور استخراج آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب توسط چهار طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده قدرتمند SVM، NN، RF و KNN صورت می‌پذیرد. در این مرحله تعداد سه لایه که به ترتیب دو لایه آن مربوط به سنتینل-۲ (لایه قبل و لایه بعد سیل) و یک لایه سنتینل-۱، مورد طبقه‌بندی قرار می‌گیرد. خروجی لایه سنتینل-۱ دارای چهار تصویر می‌باشد که سیل در آن‌ها استخراج شده است اما این مسئله برای سنتینل-۲ اندکی متفاوت می‌باشد. در سنتینل-۲ خروجی‌های طبقه‌بندی شده لایه قبل از سیل از خروجی‌های طبقه‌بندی شده لایه بعد از سیل تفریق می‌گردند تا همانند سنتینل-۱ تنها تصویر اثر سیل بدون آب‌های ساکن استخراج گردد.

در پایان مطابق شکل ۴-۲۱، تصاویر خروجی سنتینل-۱ و سنتینل-۲ با یکدیگر ادغام شده و تصویر خروجی حاصل از این روش از دقت بالاتری در ردیابی سیلاب برخوردار می‌باشد. ادغام تصاویر توسط دو ادغام‌گر معتبر رای‌گیری حداکثری MV و دمپسترشافر DS صورت می‌پذیرد و مطابق انتظار نتیجه خروجی این دو روش، برتری کاربرد ادغام تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

Sentinel-1

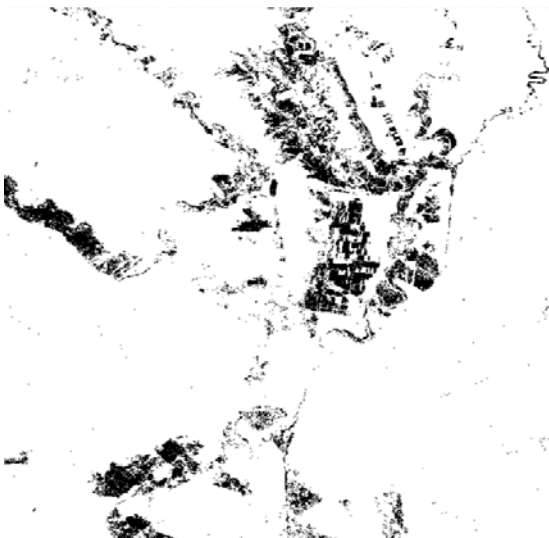


(الف)

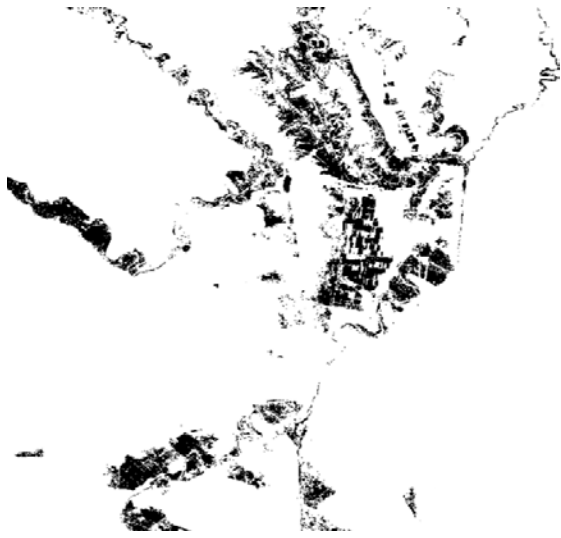
Sentinel-2



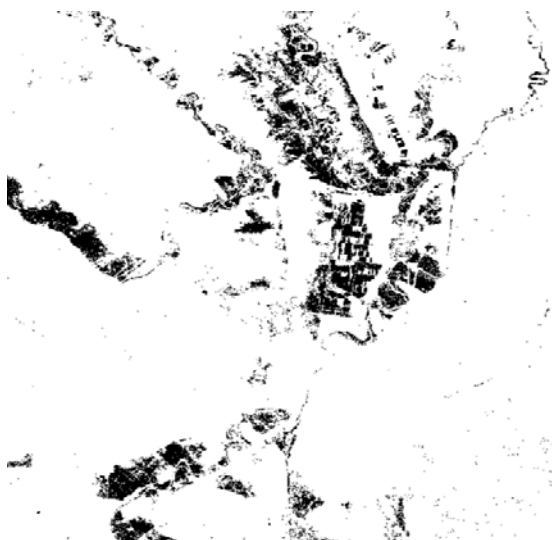
(ب)



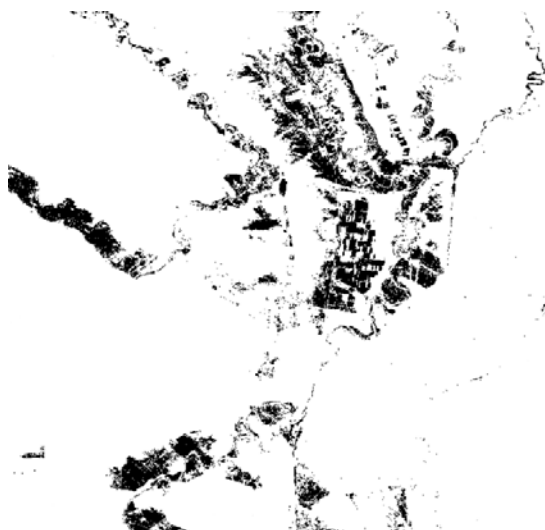
(پ)



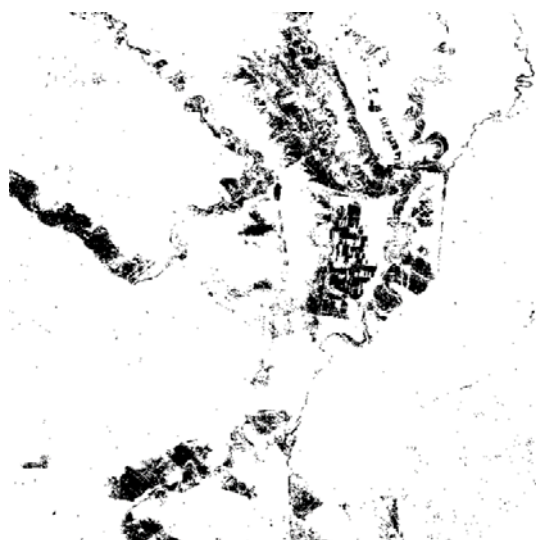
(ت)



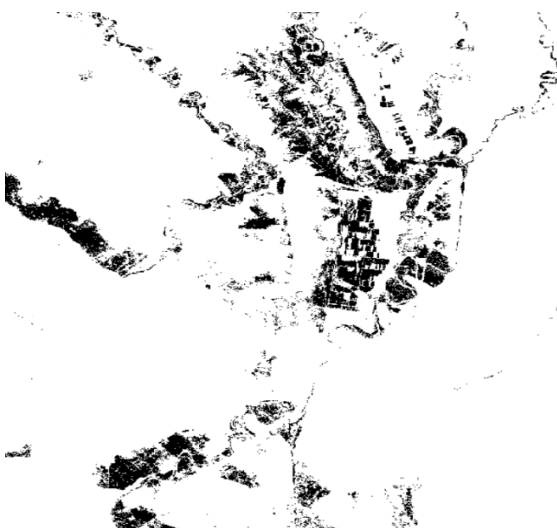
(ث)



(ج)



(د)



(ی)

شکل ۴-۲۰ نتایج طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده SVM، NN، RF، KNN برای هر دو سنجنده سنتینل-۲ و سنتینل-۱ بطوریکه تصاویر سمت چپ خروجی تصاویر سنتینل-۱ و سمت راست خروجی تصاویر سنتینل-۲. (الف) طبقه‌بندی کننده SVM برای سنجنده سنتینل-۱. (ب) طبقه‌بندی کننده SVM برای سنجنده سنتینل-۲. (پ) طبقه‌بندی کننده NN برای سنجنده سنتینل-۱. (ت) طبقه‌بندی کننده NN برای سنجنده سنتینل-۲. (ث) طبقه‌بندی کننده RF برای سنجنده سنتینل-۱. (ج) طبقه‌بندی کننده RF برای سنجنده سنتینل-۲. (د) طبقه‌بندی کننده KNN برای سنجنده سنتینل-۱. (ی) طبقه‌بندی کننده KNN برای سنجنده سنتینل-۲.

شکل (۴-۲۰) نتایج خروجی طبقه‌بندی کننده‌های استفاده شده در این روش را نشان می‌دهد. تصاویر خروجی بدست آمده به وضوح نشان می‌دهند که با فرایند حذف آب ساکن (قبل سیل) از آب سیلابی (بعد سیل) حجم آب سیلابی و نقاطی که در اثر آن متحمل آسیب شده‌اند را می‌توان پایش و ردیابی کرد.

همانگونه که در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده، می‌توان اثر عدم لایروبی رودخانه کارون و آزاد بودن خروجی سدها از ۹ فروردین و اثر آن بر تشدید سیلاب را مشاهده نمود. در هر هشت خروجی بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌ها میتوان مشاهده نمود که حجم بالای بارندگی و لایروبی نکردن رودخانه کارون تقریباً هیچ رد رودخانه‌ای را بجا نگذاشته است. این بدان معناست که در هنگام آنالیز تصاویر اثر آب‌های ساکن بر تصویر سیلابی بسیار کمتر از انتظار بوده است و آب توانسته است تمام شهر و زمین‌های کشاورزی را به زیر آب ببرد.

می‌توان مشاهده نمود که تصاویر سیلابی سنتینل-۲ از نویز کمتری نسبت به نتایج سنتینل-۱ برخوردار می‌باشند در مقابل این نکته را باید مورد توجه قرار داد که برای همه شرایط سیلابی تصاویر سنتینل-۲ ممکن است در دسترس نباشد و در نتیجه امکان ردیابی سیلاب با استفاده از این سنجنده غیر ممکن خواهد بود. از همین رو با استفاده از داده‌های سیلابی سنتینل-۱ می‌توان به نتایج قابل قبولی دست پیدا کرد. دقت سنتینل-۱ در مقابل سنتینل-۲ همانگونه که در جدول (۴-۹) نیز به آن اشاره شده است، از دقت کافی برای ردیابی و شناسایی بهره می‌برد. نتایج جدول ۴-۹ به وضوح نشان می‌دهد در تصاویر خروجی سیل با دقت بسیار بالایی شناسایی شده است و اهمیت این مسئله به اثرات سوء تصمیم‌گیری در آزاد سازی آب پشت سدها اشاره دارد و گواه این امر نیز در تصاویر شاخص‌های آب قبل از سیل می‌باشد که به وضوح نشان می‌داد اکثر رودهای منطقه مملو از آب می‌باشد و عدم لایروبی سبب تشدید هرچه بیشتر اوضاع می‌گردید. با توجه به دقت‌های بدست آمده از شکل ۴-۲۰، می‌توان نتیجه گرفت که بستر نامناسب و ضعیف در جهت انتقال آب و کنترل سیلاب باعث بروز مشکل غرق

شدگی زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی شده است.

جدول ۴-۹- نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنتینل-۲ و سنتینل-۱ برای سیلاب اهواز

| طبقه‌بندی کننده |    | SVM    | NN     | RF     | KNN    |
|-----------------|----|--------|--------|--------|--------|
| Sentinel-1      | OA | ٪۹۰/۲۷ | ٪۸۹/۱۶ | ٪۹۱/۵۱ | ٪۸۸/۷۱ |
|                 | K  | ۰/۷۰۵۱ | ۰/۷۰۹۸ | ۰/۷۵۹۴ | ۰/۶۹۲۰ |
| Sentinel-2      | OA | ٪۹۳/۴۳ | ٪۹۳/۱۱ | ٪۹۴/۶۱ | ٪۹۱/۴۷ |
|                 | K  | ۰/۷۷۱۴ | ۰/۷۶۷۲ | ۰/۷۸۸۳ | ۰/۷۳۱۱ |

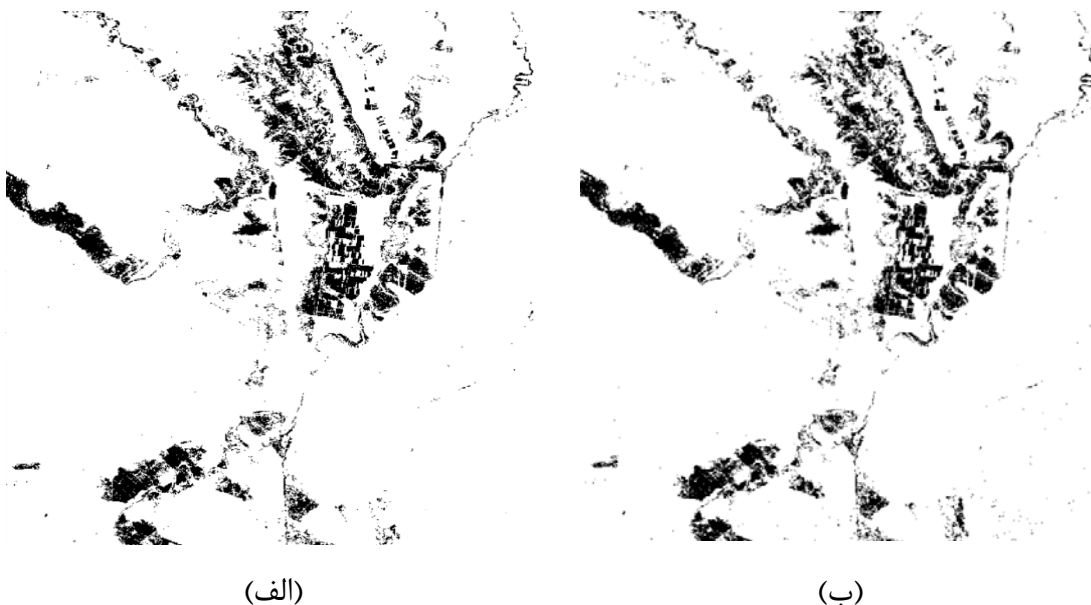
جدول ۴-۱۰- مقایسه دو پارامتر Commission و Omission به منظور صحت‌سنجی طبقه‌بندی کننده‌ها

برای داده‌های سنجنده سنتینل-۱ و سنتینل-۲

| طبقه‌بندی کننده    | SVM   |        | NN    |        | RF    |        | KNN   |        |
|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| منطقه مطالعاتی دوم | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب |
| Sentinel-1         |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Commission         | ۰/۰۲۱ | ۰/۳۲۰  | ۰/۰۲۶ | ۰/۴۰۲  | ۰/۰۱۷ | ۰/۳۰۹  | ۰/۲۹۴ | ۰/۴۵۷  |
| Omission           | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۵۸  | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۶۵  | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۶۳  |
| منطقه مطالعاتی دوم | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب | آب    | غیر آب |
| Sentinel-2         |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Commission         | ۰/۰۱۱ | ۰/۳۰   | ۰/۰۱۹ | ۰/۳۶۸  | ۰/۰۱۰ | ۰/۴۱۶  | ۰/۰۱۹ | ۰/۱۰۲  |
| Omission           | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۳۸  | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۵۱  | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۳۰  | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۶۰  |

همانگونه که انتظار میرفت مطابق جدول (۴-۹) و (۴-۱۰)، سنجنده سنتینل-۲ بدلیل برخورداری از باندهای نوری، توانست دقت بالاتری نسبت به سنجنده راداری سنتینل-۱ از خود نشان دهد. اما نکته حائز اهمیت که ارزش نتایج بدست آمده از سنتینل-۱ را دوچندان می کند، خطا قابل قبول و اندک این سنجنده می باشد. باید در نظر گرفت که شرایط بحرانی سیلاب احتیاج به داده هایی در شرایط نامساعد جوی دارد، به همین منظور با روش پیشنهادی برای سنتینل-۱ توانستیم دقت مناسبی در مقایسه با سنتینل-۲ با تعداد باندهای بیشتر، بدست بیاوریم. در فاز اول یعنی نتایج طبقه بندی کننده های نظارت شده نشان داد که طبقه بندی کننده RF مطابق با آنچه در رویکرد اول مشاهده شد بالاترین دقت را در بین دیگر طبقه بندی کننده ها را دارا می باشد و همچنین خطای کمتری در تفسیر داده های آموزش برای طبقه بندی کردن داشته باشد.

حال نوبت به روش ادغام تصمیم گیری برای تلفیق داده های دو سنجنده سنتینل-۱ و سنتینل-۲ می رسد. هدف از ادغام این داده ها، بدست آوردن نقشه ای واحد با دقت بالاتری نسبت به روش مرسوم طبقه بندی کننده های نظارت شده می باشد. در شکل (۴-۲۱) داده های تمامی طبقه بندی کننده ها برای هر دو سنجنده با یکدیگر توسط دو روش رای گیری حداکثری و دمپسترشافر تلفیق شده اند. در مجموع هشت تصویر که سیلاب را در منطقه مطالعاتی اهواز ردیابی می کردند به دو تصویر با دقت بسیار بالا تبدیل می شود تا ردیابی سیلاب را با دقت بیشتری انجام دهند.



شکل ۴-۲۱- روش ادغام تصمیم‌گیری بوسیله دو ادغام‌گر رای‌گیری حداکثری و دمپسترشافر. (الف) رای-گیری حداکثری. (ب) دمپسترشافر

در این شکل می‌توان مشاهده کرد که ادغام‌گر DS در شناسایی آب‌های سیلابی توانسته تا سرشاخه رودخانه‌ها که توسط سنتینل-۲ شناسایی شده بودند نیز در نتیجه خروجی به وضوح نمایش دهد. می‌توان گفت که ادغام‌گرهای پیشنهادی در این روش باعث بهبود نتیجه خروجی شده‌اند. در جدول (۴-۱۱) دقت کلی و ضریب کاپا برای صحت سنجی نتایج بدست آمده نشان داده شده‌اند. همچنین در جدول (۴-۱۲) میزان خطای Commission و Omission هر ادغام‌گر محاسبه شده است.

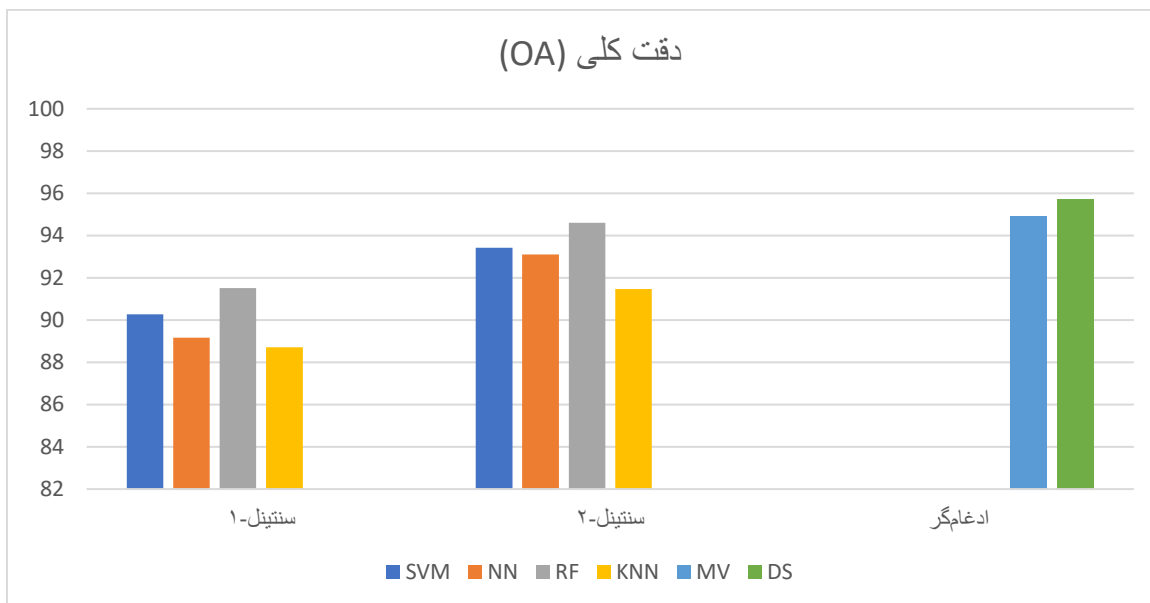
جدول ۴-۱۱- دقت کلی و ضریب کاپا برای نتایج بدست آمده از روش ادغام تصمیم‌گیری

| ادغام‌گر | MV     | DS     |
|----------|--------|--------|
| OA       | ٪۹۴/۸۹ | ٪۹۵/۷۱ |
| K        | ۰/۷۹۷۳ | ۰/۸۴۹۷ |

جدول ۴-۱۲- خطای Commission و Omission برای دو ادغام گر پیشنهادی

| ادغام گر   | MV     |        | DS     |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
|            | غیر آب | آب     | غیر آب | آب     |
| Commission | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۳۹۱۲ | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۳۷۶۹ |
| Omission   | ۰/۰۴۲۳ | ۰/۰۳۱۷ | ۰/۰۳۵۸ | ۰/۰۲۸۱ |

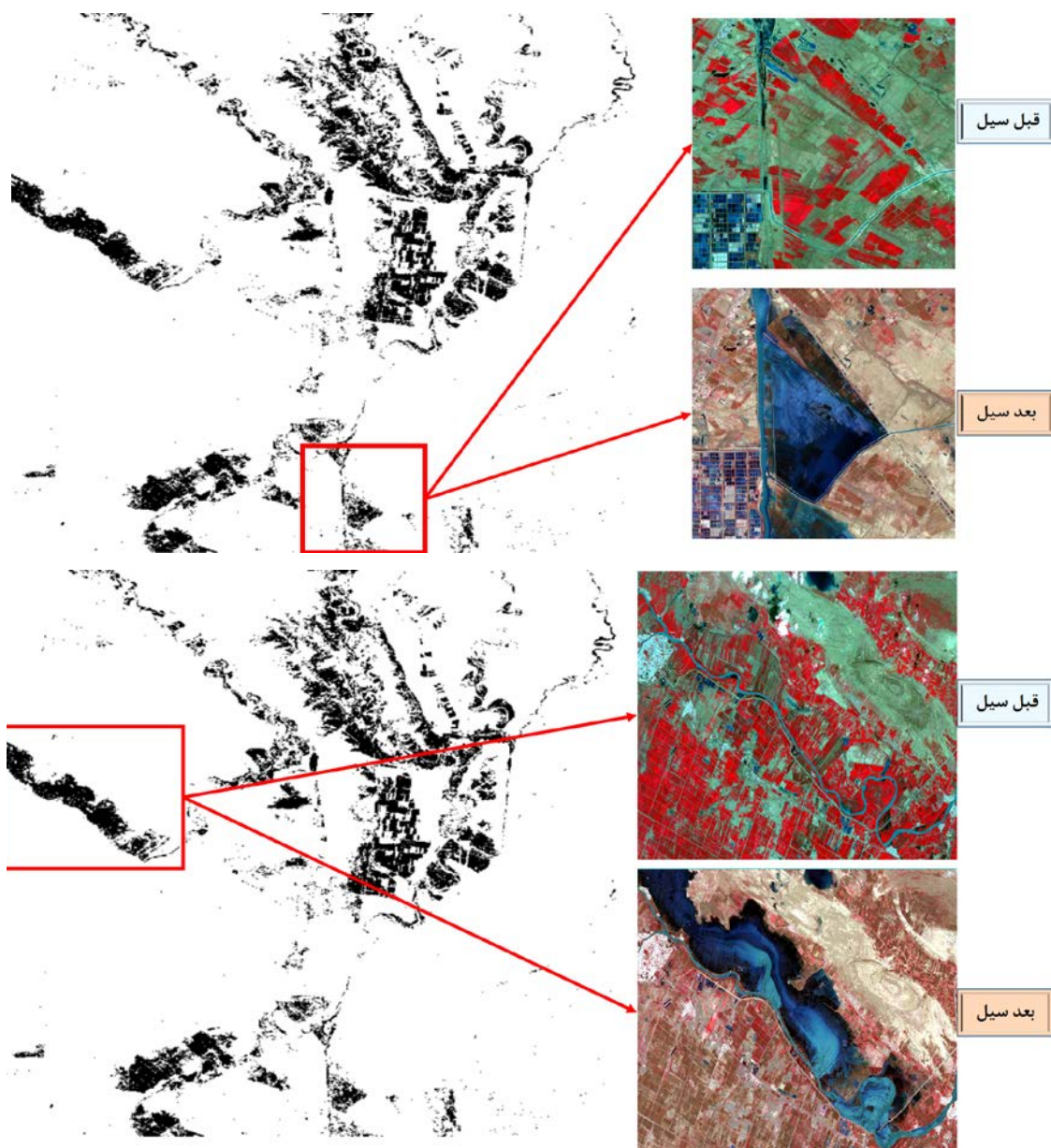
با مقایسه نتایج بدست آمده در جداول (۴-۱۱) و (۴-۱۲)، برتری ادغام گرهای پیشنهادی به وضوح روشن است. با مقایسه تنها طبقه بندی کننده RF که از دقت بالاتری در بین طبقه بندی کننده ها برخوردار بود با نتایج ادغام گرهای DS و MV، در کمترین حالت می توان ملاحظه نمود که دقت کلی (OA) ادغام گر MV نسبت به RF حدود ۰/۲۸ درصد و نسبت دقت کلی ادغام گر DS به RF حدود ۱/۱ درصد بالاتر بود. همانطور که انتظار می رفت ادغام گر DS بدلیل وزن دهی به خروجی طبقه بندی کننده ها با استفاده از نتایج دقت کلی (OA) دقت بهتری را از خود نشان داد.



شکل ۴-۲۲- مقایسه دقت کلی روش‌های ادغام تصمیم‌گیری با داده‌های بدست آمده از طبقه‌بندی کننده-های نظارت شده

در شکل ۴-۲۲ دقت کلی روش پیشنهادی در ادغام نتایج بوسیله ادغام‌گرها با نتایج طبقه‌بندی کننده-های بکار رفته در روش پیشنهادی با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا تفسیرپذیری بهتری پیدا کنند. مسئله‌ای که بسیار واضح می‌باشد، افزایش دقت نهایی با استفاده از ادغام‌گرها می‌باشد هرچند مقدار افزایش آن‌ها از بسیار چشمگیر نمی‌باشد اما باید در نظر گرفت که سرعت اجرا و عدم نیاز به داده‌های آموزشی و بهینه کردن آن‌ها از مزایای مهم این روش می‌باشد. اینکه بدون هیچ اقدام خاصی و تنها با تلفیق تصاویر بروی یکدیگر دقت شناسایی و ردیابی سیل افزایش می‌یابد کاربردپذیری روش ادغام تصمیم‌گیری را به وضوح روشن می‌سازد.

در انتها با مقایسه تصاویر قبل و بعد سیلاب سنجنده سنیتیل-۲ با نقاطی در نتایج خروجی، می‌توان صحت و دقت اطلاعات استخراجی توسط طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین همانگونه که در شکل (۴-۲۳) به وضوح نشان داده شده است، دو نقطه در تصویر خروجی دمپسترشافر انتخاب و با تصویر رنگ کاذب (به جهت نمایش بهتر زمین‌های کشاورزی و پوشش‌های گیاهی) سنیتیل-۲ مقایسه گردید و مشاهده شد که با چه دقتی آب زمین‌های کشاورزی کم‌اثر جلوه کرده است و بیرون زدگی آب چگونه سبب بروز خسارت به کشاورزان شده است.



شکل ۴-۲۳- مقایسه دو نقطه در تصویر خروجی به جهت مقایسه دقت در شناسایی آب‌های سطحی و استخراج سیل.

## ۵-۴ نتیجه‌گیری

هدف از شناسایی آب‌های سطحی با دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری، استخراج نقاط پرخطر و مناطق تحت تاثیر می‌باشد که توسط دو رویکرد به تفصیل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

روش ادغام داده‌ها به طبقه‌بندی کننده‌های نظارت شده کمک کرد تا دقت شناسایی و استخراج به میزان قابل توجهی بهبود یابد و در ادامه با پیاده سازی روش ادغام تصمیم‌گیری، نتایج خروجی ادغام داده‌ها توسط ادغام‌گرها با یکدیگر تلفیق شده و نقشه‌ای با دقت بالا را ایجاد کردند. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت روش پیشنهادی در هر دو رویکرد در شناسایی آب‌های سطحی از دقت بالایی برخوردار می‌باشند.

## فصل ۵ : نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ مقدمه

با شناسایی آب‌های سطحی با استفاده از روش سنجش از دور علاوه بر رفع نیاز جوامع بشری به آب، می‌توان خطراتی همچون سیلاب و خشکسالی را شناسایی کرده و در لحظه، اطلاعات ارزشمندی را برای حفظ جان انسان‌ها بدست آورد. در شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب داشتن اطلاعات ورودی لازم برای منطقه مطالعاتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که در دو منطقه مطالعاتی انتخاب شده وجود رودخانه‌های کم‌عرض، گل‌آلودگی آب رودخانه‌ها و همچنین پوشش‌های ابری به‌هنگام ردیابی سیل، شناسایی آب‌های سطحی و سیلاب را با دشواری مواجه کرده بودند. به همین منظور با روش ادغام داده‌های سنجنده نوری و راداری و ادغام نتایج آن‌ها توانستیم بر معایب روش تک سنجنده‌ای فائق آییم.

در مجموع دو رویکرد بکار رفته در این پایان‌نامه، می‌توان دریافت که برای افزایش دقت نتایج طبقه‌بندی کننده‌های نظارت‌شده، استفاده از شاخص‌های آب و ویژگی‌های سنجنده راداری کمک شایانی به افزایش دقت نتایج بدست آمده می‌کند. بخصوص در رویکرد دوم به کاربرد و دقت بالا سنجنده راداری در شناسایی سیلاب اشاره شد تا در شرایطی که دسترسی به داده‌های نوری به هر دلیلی اعم از شرایط آب و هوایی، پوشش ابر مهیا نبود، بتوان به نتایج داده‌های سنجنده راداری سنتینل-۱ نیز اتکا کرد و از آن برای شناسایی سیلاب و آب‌های سطحی نیز استفاده بعمل آورد.

## ۵-۲ بررسی فرضیات مسئله

- با استفاده از شاخص‌های آب و به کمک زبان یادگیری ماشینی آب‌های سطحی از آب‌های زمین‌های کشاورزی متمایز گشت همچنین با محاسبه اختلاف بین دو تصویر قبل و بعد از سیل با فاصله زمانی اندک زمین‌های آبیاری شده به وضوح از تصویر نهایی سیل حذف گردیدند.

- سنجنده سنتینل-۱ توانست با دقت بسیار بالایی همچون سنجنده سنتینل-۲ آب را از غیر-آب متمایز کرده و نقشه سیل منطقه را به درستی استخراج کند.
- تاثیر روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری در افزایش دقت نتایج خروجی در هر دو رویکرد به وضوح نشان داد که دقت نتایج به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است و نقشه قابل اطمینان‌تری را استخراج کرده است.

### ۳-۵ نتیجه‌گیری

در مسئله شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیلاب روش‌های متنوعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است اما در دهه‌های اخیر و با پیشرفت تکنولوژی و صنعت تصویربرداری، شناسایی عوارض زمین از جمله آب بسیار مورد توجه قرار گرفت. با بررسی نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران در این صنعت تصمیم گرفته شد تا روش نوین و بهبود یافته ادغام چند سنجنده سنجش از دور را جهت ردیابی سیل بکار گیریم. تلفیق و ترکیب داده‌های سنجنده چندطیفی و راداری باعث شد تا ورودی اطلاعات جهت شناسایی و تجزیه و تحلیل به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد و در اثر این تصمیم دقت طبقه‌بندی کنده‌های نظارت شده نیز دستخوش تغییر گردد. شناسایی و استخراج آب‌های سطحی و سیلاب در نتیجه روش ادغام داده‌ها، از دقت بالایی نسبت به روش تک سنجنده‌ای و یا دیگر روش‌های مورد مطالعه در فصل ۴ برخوردار بوده است. حال با توجه به شناسایی و ردگیری دقیق‌تر مسیر رودخانه‌ها و بدست آوردن حجم آب در اثر سیل، با اتخاذ روش ادغام تصمیم‌گیری نتایج بدست آمده را به راحتی و با استفاده از دو ادغام‌گر معتبر و دقیق بهبود بخشیدیم.

از اهم نتایج بدست آمده از روش تحقیق بکار گرفته شده در این پایان‌نامه به موارد زیر می‌توان اشاره

نمود:

- پن‌شارپ کردن تصاویر به کمک الگوریتم‌های Gram-Schmidt و LMVM نقش بسزایی

در افزایش دقت تفکیک مکانی ایفا کردند. با استفاده از این روش مشاهده شد که شاخص-

های آب استفاده شده قادرند تا دقت بیشتری در تفکیک آب از خود نشان دهند.

- رویکرد اول که در منطقه‌ای با پوشش‌های متنوع گیاهی، جنگلی و مسکونی انجام گرفت، نشان داد که با ادغام داده‌های دو سنجنده سنتینل-۲ و لندست-۸ به منظور افزایش توان تفکیک مکانی به ۱۰ متر، طبقه‌بندی کننده RF به میزان ۱۱/۷۶ درصد دقت بیشتری در شناسایی آب‌های سطحی نسبت به استفاده از لندست-۸ با دقت تفکیک مکانی ۱۵ متر در منطقه سد گلوارد از خود نشان داد، و بطور مشابه برای شهر نکا این افزایش چیزی حدود ۸/۸ درصد بوده است.

- همچنین با ایجاد لایه‌ای متشکل از داده‌های سنتینل-۱، شاخص‌های آب و باند طیفی ۱۰ متری، طبقه‌بندی کننده‌های SVM، NN، RF در رویکرد اول توانستند با افزایش دقت قابل توجهی همراه شوند به نحوی که دیگر روش‌های مطالعاتی بررسی شده مطابق جدول ۴-۶ و ۴-۷ اختلاف زیادی از خود نشان می‌دهند.

- مهم‌ترین روش استفاده شده در این پژوهش ادغام تصمیم‌گیری با استفاده از ادغام‌گرهای رای‌گیری حداکثری و دمپسترشافر می‌باشد. در رویکرد اول شاهد آن هستیم که الگوریتم رای‌گیری حداکثری توانست دقت نتیجه بدست آمده را نسبت به طبقه‌بندی کننده مرسوم RF به میزان ۲ درصد برای سد گلوارد و ۱/۸۳ درصد برای شهر نکا، افزایش دهد.

- رویکرد دوم بر اساس اطلاعات بدست آمده از رویکرد اول و روش‌های استفاده شده، نشان داد دو ادغام‌گر دمپسترشافر و رای‌گیری حداکثری باعث بهبود نتایج خروجی بدست آمده از طبقه‌بندی کننده‌های مورد استفاده شده‌اند و همانند رویکرد قبلی دقت کلی (OA) ادغام‌گر MV نسبت به RF حدود ۰/۲۸ درصد و نسبت ادغام‌گر DS به RF حدود ۱/۱ درصد بهبود پیدا کرده است.

- در بین طبقه‌بندی کننده‌های رویکرد اول، طبقه‌بندی کننده RF نسبت SVM و NN دقت کلی و ضریب کاپای بالاتری را نشان می‌دهد و علت این امر الگوریتم رای‌گیری در آخر فرایند طبقه‌بندی می‌باشد که باعث افزایش دقت آن می‌شود. گواه این دقت و قدرت، خطای Commision و Ommission می‌باشد که با ثبت کمترین میزان در مقایسه با طبقه‌بندی کننده‌های مرسوم به عملکرد بهتر RF اشاره دارد.
  - در رویکرد دوم طبقه‌بندی کننده RF توانست همانند رویکرد اول عملکرد بهتری را در بین طبقه‌بندی کننده‌های SVM، NN و KNN از خود نشان دهد. آنطور که انتظار میرفت KNN پایین‌ترین دقت را در بین آن‌ها داشت.
  - استفاده از آستانه‌گذاری سراسری بر روی تصاویر سنتینل-۱ مانند استفاده از شاخص‌های آب برای سنجنده سنتینل-۲ نقش بسزایی در افزایش دقت شناسایی آب‌های سطحی از خود نشان داد و به سبب آن ردیابی سیل در تحلیل سری زمانی بدلیل سهولت در استفاده، دقیق‌تر صورت می‌گیرد.
  - روش نوینی که در رویکرد دوم و در رابطه با ردیابی سیلاب با استفاده از شناسایی تغییرات برای سنتینل-۲ صورت گرفت باعث افزایش دامنه کاربرد این سنجنده در شناسایی سیلاب برای شرایط مساعد جوی شد.
  - همچنین نشان داده شد که داده‌های سنتینل-۱ در شناسایی سیلاب دقتی معادل شناسایی آب‌های سطحی در سنتینل-۲ را دارا می‌باشند و برای بررسی در شرایط آب و هوایی نامساعد اطمینان‌پذیری در استفاده از این دسته از سنجنده‌ها به عنوان روشی کاربردی و دقیق، قابل اجرا می‌باشد.
- در این تحقیق تلاش شد تا استفاده از دو روش ادغام داده‌ها و ادغام تصمیم‌گیری و بر اساس دو رویکرد مرتبط به هم به شناسایی آب‌های سطحی و ردیابی سیل پردازیم. نتایج بدست آمده در هر دو

منطقه مطالعاتی بیان گر وجود منابع سرشار آبی می باشد که اهتمام جدی را به منظور شناسایی مسیرهای آبی برای تامین نیاز مردم و حفظ جان و مال آن ها از خطرات احتمالی را می طلبد.

## ۴-۵ پیشنهادات

در انتها به بیان پیشنهاداتی به منظور گسترش روش های شناسایی آب های سطحی و ردیابی سیلاب در مطالعات آتی می پردازیم:

- استفاده از دیگر روش های پن شارپ کردن تصاویر به منظور حفظ هرچه بهتر کیفیت داده های

طیفی

- استفاده از استخراج بافت ها GLCM بر روی تصاویر راداری بمنظور افزایش داده های ورودی

جهت طبقه بندی و افزایش دقت خروجی نهایی

- گسترش طبقه بندی کننده های نظارت شده و همچنین استفاده از یادگیری عمیق و هوش

مصنوعی به منظور پیش بینی رفتار سیل بر اساس تحلیل زمانی

- معرفی ادغام گرهای بیشتر و دقیق تر به منظور دستیابی به دقت های بهتر و دقیق تر

پوست

## مراجع

- [۱] K. Alderman, L. R. Turner, and S. Tong, "Floods and human health: A systematic review," *Environment International*, vol. 47. Elsevier Ltd, pp. 37–47, Oct. 15, 2012, doi: 10.1016/j.envint.2012.06.003.
- [۲] N. R. Bond, P. S. Lake, and A. H. Arthington, "The impacts of drought on freshwater ecosystems: An Australian perspective," *Hydrobiologia*. 2008, doi: 10.1007/s10750-008-9326-z.
- [۳] Z. Wang, J. Liu, J. Li, and D. D. Zhang, "Multi-SpectralWater Index (MuWI): A Native 10-m Multi-SpectralWater Index for accuratewater mapping on sentinel-2," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 10, pp. 1–21, 2018, doi: 10.3390/rs10101643.
- [۴] F. Sun, W. Sun, J. Chen, and P. Gong, "Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery," *International Journal of Remote Sensing*, 2012.  
[https://www.researchgate.net/publication/254314334\\_Comparison\\_and\\_improvement\\_of\\_methods\\_for\\_identifying\\_waterbodies\\_in\\_remotely\\_sensed\\_imagery](https://www.researchgate.net/publication/254314334_Comparison_and_improvement_of_methods_for_identifying_waterbodies_in_remotely_sensed_imagery) (accessed Dec. 18, 2019).
- [۵] C. Huang, Y. Chen, S. Zhang, and J. Wu, "Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space Using Optical Sensors: A Review," *Rev. Geophys.*, vol. 56, no. 2, pp. 333–360, 2018, doi: 10.1029/2018RG000598.
- [۶] K. K. Hirschboeck, "Flood hydroclimatology," *Flood Geomorphol.*, vol. 27, pp. 27–49, 1988.
- [۷] ع. پنجی، "بررسی پدیده ی زیست محیطی سیل، مدیریت و کاهش خسارات ناشی از آن (بررسی موردی شهر راز)،" [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/830023/>. ۱۳۹۷.
- [۸] G. Berz *et al.*, "World map of natural hazards—a global view of the distribution and intensity of significant exposures," *Nat. hazards*, vol. 23, no. 2, pp. 443–465,

- 2001.
- [<sup>۹</sup>] G. J. P. Schumann, "Preface: Remote sensing in flood monitoring and management." Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2015.
- [<sup>۱۰</sup>] CRED and UNISDR, "An overview of the last 20 years," pp. 1–28, 2020, [Online]. Available: [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Human Cost of Disasters 2000-2019 Report - UN Office for Disaster Risk Reduction.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Human%20Cost%20of%20Disasters%202000-2019%20Report%20-%20UN%20Office%20for%20Disaster%20Risk%20Reduction.pdf).
- [<sup>۱۱</sup>] Gwinnettcounty, "Types of floods," 2011. [https://www.gwinnettcounty.com/static/departments/Home/pdf/Types\\_Safety 411.pdf](https://www.gwinnettcounty.com/static/departments/Home/pdf/Types_Safety411.pdf).
- [<sup>۱۲</sup>] J. M. Wright, "Chapter 2, Types of Floods and Floodplains," *Floodplain Manag. Princ. Curr. Pract.*, pp. 1–18, 2007.
- [<sup>۱۳</sup>] National Severe Storms Laboratory (NSSL), "Severe weather 101: Flood types," 2014. <http://www.nssl.noaa.gov/>.
- [<sup>۱۴</sup>] "Flood in Iran." <http://www.ensafnews.com/197403/>-متن-گزارش-ملی-سیل-اسفند۹۷-و- /فروردی.
- [<sup>۱۵</sup>] T. D. Acharya, A. Subedi, H. Huang, and D. H. Lee, "Classification of Surface Water Using Machine Learning Methods from Landsat Data in Nepal," *Proceedings*, vol. 4, no. 1, p. 43, 2018, doi: 10.3390/ecsa-5-05833.
- [<sup>۱۶</sup>] B. C. Naik and B. Anuradha, "Extraction of Water-body Area from High-resolution Landsat Imagery," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 8, no. 6, p. 4111, 2018, doi: 10.11591/ijece.v8i6.pp4111-4119.
- [<sup>۱۷</sup>] N. E. W. Mandatory and I. Following, "Active and Passive Sensors New Mandatory." .
- [<sup>۱۸</sup>] C. Verpoorter, T. Kutser, and L. Tranvik, "Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data," *Limnol. Oceanogr. Methods*, vol. 10, no. 12, pp. 1037–1050, 2012.
- [<sup>۱۹</sup>] V. Klemas, "Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview," *J. Coast. Res.*, vol. 31, no. 4, pp. 1005–1013, 2015.

- [٢٠] I.-A. (2003), “IEEE Standard for Letter Designations for Radar-Frequency Bands.” <http://ieeexplore.ieee.org/document/1160089/>.
- [٢١] T. De Groeve, “Flood monitoring and mapping using passive microwave remote sensing in Namibia,” *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, vol. 1, no. 1, pp. 19–35, 2010.
- [٢٢] C. Cazals, “Apport des données Sentinel-1 pour la cartographie des milieux humides.” Paris Est, 2017.
- [٢٣] G. J.-P. Schumann, “Remote Sensing of Floods,” in *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, 2017.
- [٢٤] “Sentinel-1 Satellite.” <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
- [٢٥] B. Bigdeli and P. Pahlavani, “A Dempster Shafer-based fuzzy multisensor fusion system using airborne lidar and hyperspectral imagery,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 39, no. 21, pp. 7718–7737, 2018, doi: 10.1080/01431161.2018.1479785.
- [٢٦] G. Simone, A. Farina, F. C. Morabito, S. B. Serpico, and L. Bruzzone, “Image fusion techniques for remote sensing applications,” *Inf. Fusion*, vol. 3, no. 1, pp. 3–15, 2002, doi: 10.1016/S1566-2535(01)00056-2.
- [٢٧] B. Bigdeli, H. Amini Amirkolaei, and P. Pahlavani, “Deep feature learning versus shallow feature learning systems for joint use of airborne thermal hyperspectral and visible remote sensing data,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 40, no. 18, pp. 7048–7070, 2019, doi: 10.1080/01431161.2019.1597310.
- [٢٨] G. Kaplan and U. Avdan, “SENTINEL-1 AND SENTINEL-2 DATA FUSION FOR WETLANDS MAPPING: BALIKDAMI, TURKEY.,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, no. 3, 2018.
- [٢٩] Q. Wang *et al.*, “Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI Data,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 55, no. 7, pp. 3885–3899, 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2683444.
- [٣٠] N. Clerici, C. A. Valbuena Calderón, and J. M. Posada, “Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia,” *J. Maps*, vol. 13, no. 2, pp. 718–726, 2017.

- [٣١] T. D. Acharya, A. Subedi, I. T. Yang, and D. H. Lee, "Combining Water Indices for Water and Background Threshold in Landsat Image," *Proceedings*, vol. 2, no. 3, p. 143, 2017, doi: 10.3390/ecsa-4-04902.
- [٣٢] T. D. Acharya, A. Subedi, and D. H. Lee, "Evaluation of water indices for surface water extraction in a landsat 8 scene of Nepal," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8, pp. 1–15, 2018, doi: 10.3390/s18082580.
- [٣٣] W. Jiang *et al.*, "a New Index for Identifying Water Body from SENTINEL-2 Satellite Remote Sensing Imagery," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 3, pp. 33–38, 2020.
- [٣٤] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.
- [٣٥] M. Wieland and S. Martinis, "Large-scale surface water change observed by Sentinel-2 during the 2018 drought in Germany," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 41, no. 12, 2020, doi: 10.1080/01431161.2020.1723817.
- [٣٦] J. Pena-Regueiro, M. T. Sebastiá-Frasquet, J. Estornell, and J. A. Aguilar-Maldonado, "Sentinel-2 application to the surface characterization of small water bodies in Wetlands," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, 2020, doi: 10.3390/w12051487.
- [٣٧] M. I. Ali, G. D. Dirawan, A. H. Hasim, and M. R. Abidin, "Detection of changes in surface water bodies urban area with NDWI and MNDWI methods," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 946–951, 2019, doi: 10.18517/ijaseit.9.3.8692.
- [٣٨] L. Xiong *et al.*, "Subpixel surface water extraction (SSWE) using Landsat 8 OLI data," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 5, pp. 1–15, 2018, doi: 10.3390/w10050653.
- [٣٩] G. Ovakoglou *et al.*, "Automatic detection of surface-water bodies from Sentinel-1 images for effective mosquito larvae control," *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 15, no. 1, p. 14507, 2021.
- [٤٠] H.-F. Ng, "Automatic thresholding for defect detection," *Pattern Recognit. Lett.*,

- vol. 27, no. 14, pp. 1644–1649, 2006.
- [٤١] H. Wakabayashi *et al.*, “FLOODED AREA EXTRACTION OF RICE PADDY FIELD IN INDONESIA USING SENTINEL-1 SAR DATA,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 2019.
- [٤٢] J. Liang and D. Liu, “A local thresholding approach to flood water delineation using Sentinel-1 SAR imagery,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 159, no. October 2019, pp. 53–62, 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.10.017.
- [٤٣] C. Bayik *et al.*, “EXPLOITING MULTI-TEMPORAL SENTINEL-1 SAR DATA FOR FLOOD EXTEND MAPPING,” vol. XLII, no. March, pp. 18–21, 2018.
- [٤٤] D. Amitrano *et al.*, “Unsupervised Rapid Flood Mapping Using,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 56, no. 6, pp. 3290–3299, 2018, doi: 10.1109/TGRS.2018.2797536.
- [٤٥] T. Perrou, A. Garioljd, and I. Parcharidis, “Use of Sentinel-1 imagery for flood management in a reservoir-regulated river basin,” pp. 1–15, 2018.
- [٤٦] R. Hostache *et al.*, “Near-Real-Time Assimilation of SAR-Derived Flood Maps for Improving Flood Forecasts,” 2018, doi: 10.1029/2017WR022205.
- [٤٧] M. A. Clement, “Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection,” 2017, doi: 10.1111/jfr3.12303.
- [٤٨] D. Seaton, T. Dube, and D. Mazvimavi, “Use of multi-temporal satellite data for monitoring pool surface areas occurring in non-perennial rivers in semi-arid environments of the Western Cape, South Africa,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 167, pp. 375–384, 2020.
- [٤٩] B.-C. Gao, “NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 58, no. 3, pp. 257–266, 1996.
- [٥٠] V. Gond, E. Bartholomé, F. Ouattara, A. Nonguierma, and L. Bado, “Surveillance et cartographie des plans d’eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l’instrument VEGETATION embarqué sur SPOT-4,” *Int.*

- J. Remote Sens.*, vol. 25, no. 5, pp. 987–1004, 2004.
- [۵۱] M. Zoka, E. Psomiadis, and N. Dercas, “The Complementary Use of Optical and SAR Data in Monitoring Flood Events and Their Effects †,” vol. 2, pp. 1–8, 2018, doi: 10.3390/proceedings2110644.
- [۵۲] ک. گنجی, “پهنه‌بندی و کنترل سیلاب رودخانه شهری با استفاده از GIS,” دانشگاه صنعتی شاهرود, دانشکده مهندسی عمران, ۱۳۹۸.
- [۵۳] Y. Bai *et al.*, “Enhancement of detecting permanent water and temporary water in flood disasters by fusing sentinel-1 and sentinel-2 imagery using deep learning algorithms: Demonstration of sen1floods11 benchmark datasets,” *Remote Sens.*, vol. 13, no. 11, p. NA, 2021, doi: 10.3390/rs13112220.
- [۵۴] M. Gašparovič and D. Klobučar, “Mapping floods in lowland forest using sentinel-1 and sentinel-2 data and an object-based approach,” *Forests*, vol. 12, no. 5, 2021, doi: 10.3390/f12050553.
- [۵۵] F. Bioresita, A. Puissant, A. Stumpf, and J.-P. Malet, “Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 image time series for permanent and temporary surface water mapping,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 40, no. 23, pp. 9026–9049, 2019.
- [۵۶] B. Tavus, S. Kocaman, H. A. Nefeslioglu, and C. Gokceoglu, “A fusion approach for flood mapping using sentinel-1 and sentinel-2 datasets,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 43, no. B3, pp. 641–648, 2020, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-641-2020.
- [۵۷] B. Rosich, “Absolute calibration of ASAR level 1 products generated with PF-ASAR,” *ftp://ftp.esrin.esa.it/pub/ESA-DOC/ENVISAT/ASAR/ASAR-products-absolute-calibration-v1.4.pdf*, 2004.
- [۵۸] S. K. McFeeters, “The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 17, no. 7, pp. 1425–1432, 1996.
- [۵۹] X. U. Han-Qiu, “A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI),” *J. Remote Sens.*, vol. 5, pp. 589–595, 2005.

- [٦٠] G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, and S. R. Proud, “Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 140, pp. 23–35, 2014, doi: 10.1016/j.rse.2013.08.029.
- [٦١] T. Danaher and L. Collett, “Development, optimisation and multi-temporal application of a simple Landsat based water index,” in *Proceedings of the 13th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Canberra, Australia*, 2006, vol. 29.
- [٦٢] A. Fisher, N. Flood, and T. Danaher, “Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 175, pp. 167–182, 2016.
- [٦٣] Q. Wang, W. Shi, Z. Li, and P. M. Atkinson, “Remote Sensing of Environment Fusion of Sentinel-2 images,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 187, pp. 241–252, 2016, doi: 10.1016/j.rse.2016.10.030.
- [٦٤] Cheney, *Linear Algebra: Theory and Applications, 2nd Edition*. Jones & Bartlett Learning.
- [٦٥] L. N. Trefethen and D. Bau III, *Numerical linear algebra*, vol. 50. Siam, 1997.
- [٦٦] G. H. Golub, “CF vanLoan, Matrix Computations,” *The Johns Hopkins*, 1996.
- [٦٧] C. E. Soliverrez and E. R. Gagliano, “Orthonormalization on the plane: a geometric approach,” *Rev. Mex. Física*, vol. 31, no. 4, pp. 743–758, 1984.
- [٦٨] L. Pursell and S. Y. Trimble, “Gram-Schmidt orthogonalization by Gauss elimination,” *Am. Math. Mon.*, vol. 98, no. 6, pp. 544–549, 1991.
- [٦٩] C. Yves, D. B. Stanislas, B. Marc, M. Fabrice, and L. Gauthier, “RS Data Fusion by Local Mean and Variance Matching Algorithms : their Respective Efficiency in a Complex Urban Context,” no. V, pp. 105–109, 2001.
- [٧٠] P. Mhangara, W. Mapurisa, and N. Mudau, “Comparison of Image Fusion Techniques Using Satellite Pour l’Observation de la Terre (SPOT) 6 Satellite Imagery,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 5, p. 1881, 2020.
- [٧١] L. Gagnon and A. Jouan, “Speckle filtering of SAR images: a comparative study

- between complex-wavelet-based and standard filters,” in *Wavelet Applications in Signal and Image Processing V*, 1997, vol. 3169, pp. 80–91.
- [۷۲] C. Huang, L. S. Davis, and J. R. G. Townshend, “An assessment of support vector machines for land cover classification,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 23, no. 4, pp. 725–749, 2002, doi: 10.1080/01431160110040323.
- [۷۳] ز. زرین, “طبقه‌بندی تصاویر ابرطیفی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان,” وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده نقشه برداری, ۱۳۹۰.
- [۷۴] R. O. Strobl and F. Forte, “Artificial neural network exploration of the influential factors in drainage network derivation,” *Hydrol. Process.*, vol. 21, no. 22, pp. 2965–2978, 2007, doi: 10.1002/hyp.6506.
- [۷۵] ف. جعفری, “استخراج اتوماتیک راه از تصاویر با قدرت تفکیک بالا با استفاده از مدل منحنی پویا و سیستم استنتاج فازی,” وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده عمران, ۱۳۹۲.
- [76] V. Vapnik, “Statistical learning theory. New York: John Wiley and Sons Inc,” *New York*, 1998.
- [۷۷] م. ز. چاهوکی و س. محمدی, “بهینه سازی هسته های چندگانه در ماشین بردار پشتیبان جفتی برای کاهش شکاف معنایی تشخیص صفحات فریب آمیز,” *مهندسی برق*, شماره. سال چهل, صفحه. ۱۳۵–۱۴۵.
- [۷۸] M. A. Nielsen, *Neural networks and deep learning*, vol. 2018. Determination press San Francisco, CA, 2015.
- [۷۹] G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu, and C.-K. Siew, “Extreme learning machine: theory and applications,” *Neurocomputing*, vol. 70, no. 1–3, pp. 489–501, 2006.
- [۸۰] A. Wijaya, “Application of multi-stage classification to detect illegal logging with the use multi-source data: a case study in Labanan forest management unit, East Kalimantan, Indonesia,” *Unpubl. thesis (MSc). ITC, Enschede*, vol. 64, 2005.
- [۸۱] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, “Learning representations by back-propagating errors,” *Nature*, vol. 323, no. 6088, pp. 533–536, 1986, doi:

10.1038/323533a0.

- [<sup>۸۲</sup>] S. Haykin and N. Network, “A comprehensive foundation,” *Neural Networks*, vol. 2, no. 2004, p. 41, 2004.
- [<sup>۸۳</sup>] T. Shi and S. Horvath, “Unsupervised learning with random forest predictors,” *J. Comput. Graph. Stat.*, vol. 15, no. 1, pp. 118–138, 2006.
- [<sup>۸۴</sup>] C. Aldrich and L. Auret, “Tree-Based Methods,” in *Unsupervised Process Monitoring and Fault Diagnosis with Machine Learning Methods*, Springer, 2013, pp. 183–220.
- [<sup>۸۵</sup>] J. M. Keller and M. R. Gray, “A Fuzzy K-Nearest Neighbor Algorithm,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-15, no. 4, pp. 580–585, 1985, doi: 10.1109/TSMC.1985.6313426.
- [<sup>۸۶</sup>] L. I. Kuncheva, C. J. Whitaker, C. A. Shipp, and R. P. W. Duin, “Limits on the majority vote accuracy in classifier fusion,” *Pattern Anal. Appl.*, vol. 6, no. 1, pp. 22–31, 2003.
- [<sup>۸۷</sup>] D. Ruta and B. Gabrys, “An overview of classifier fusion methods,” *Comput. Inf. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2000.
- [<sup>۸۸</sup>] D. Vidal-Madjar, “Application of dempster-shafer evidence theory to unsupervised classification in multisource remote sensing,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 35, no. 4, pp. 1018–1031, 1997, doi: 10.1109/36.602544.
- [<sup>۸۹</sup>] M. Pal and P. M. Mather, “Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 20, no. 7, pp. 1215–1225, 2004.

[۹۰] مهدی زارع, “سیل های فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ و تغییرات اقلیمی در ایران, نگاه ویژه به سیلاب در استان خوزستان,” *فرهنگستان علوم*. -<http://www.ias.ac.ir/index.php/2015-09-21-08-02-04/1431-mehdi-zare-flood> (accessed Aug. 26, 2021)

[<sup>۹۱</sup>] Reliefweb, “Iran: Floods - Mar 2019 | ReliefWeb,” 2019.  
<https://reliefweb.int/disaster/fl-2019-000022-irn> (accessed Aug. 26, 2021).

[<sup>۹۲</sup>] L. Imager, O. L. I. Pansharpening, H. K. Zhang, and D. P. Roy,

“Computationally Inexpensive Landsat 8 Operational,” no. February, 2016, doi: 10.3390/rs8030180.

- [<sup>۹۳</sup>] C. Witharana, D. L. Civco, and T. H. Meyer, “Evaluation of pansharpening algorithms in support of earth observation based rapid-mapping workflows,” *Appl. Geogr.*, vol. 37, no. 1, pp. 63–87, 2013, doi: 10.1016/j.apgeog.2012.10.008.
- [<sup>۹۴</sup>] V. Karathanassi, P. Kolokousis, and S. Ioannidou, “A comparison study on fusion methods using evaluation indicators,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 28, no. 10, pp. 2309–2341, 2007, doi: 10.1080/01431160600606890.

# Abstract

Surface water identification and monitoring and flood tracking using remote sensing science have taken much attention in recent decades due to their importance in satisfying human needs and political decisions. Therefore, surface water and flood tracking have been done in this study using remote sensing systems and Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat-8 satellites. In this thesis, two scenarios were used to identify surface waters and then flood with high accuracy. Both scenarios consist of two approaches of data fusion and decision fusion to increase the accuracy of surface water identification using the fusion of results. Therefore, after increasing the spatial resolution of Landsat-8 images from 30 meters to 10 meters in the first scenario, water indices such as NDWI, MNDWI, AWEI, and WI2015 were extracted. Then by combining the information obtained from the sensors, the multispectral bands with Sentinel-1 data are stacked in one layer. The output results of classifiers such as SVM, NN, and RF, representing the data fusion approach, are fused by the decision fusion approach and the maximum voting algorithm. In the second scenario, using the approach of the first scenario, surface water is identified by subtracting the results from before and after the flooded data, the stagnant water is removed, and the floodwater is accurately identified. Finally, the results achieved from the SVM, NN, RF, and KNN classifiers are combined using the Maximum Voting Algorithm and the Dempster-Shafer algorithm.

The accuracy of the output results is considerably improved. The accuracy obtained from both scenarios shows that the decision fusion approach has increased the accuracy of the final results. In the first scenario, we see that the decision fusion approach has increased the overall accuracy by 2% compared to the RF classifier, which had better accuracy than the other classifiers, from 96.87 to 98.86% for the Gelvard Dam and from 96.73% to 98.56% for the city of Neka to identify surface water. Also, in the second scenario, the decision fusion approach showed an accuracy of about 1.5% higher than the data fusion approach. This approach increased the overall accuracy of the RF classifier for the Sentinel-1 and Sentinel-2 flood images from 91.51 and 94.61% to 94.89% for Majority Voting and 95.71% for the Dempster-Shafer, respectively. The two proposed scenarios clearly show that the decision fusion approach for both study areas has increased the accuracy of surface water identification and flood track.

**Keywords:** Surface Water, Flood, Remote Sensing, Data Fusion, Decision Fusion



Shahrood University of  
Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water and hydraulic structures

# **Surface Water Body Detection and Flood Monitoring Using Fusion of Multiple Remote Sensing Data**

By: Mostafa Saghafi

Supervisor:

Dr. Ahmad Ahmadi

Dr. Behnaz Bigdeli

September, 2021