

מהי חישה מרחוק?

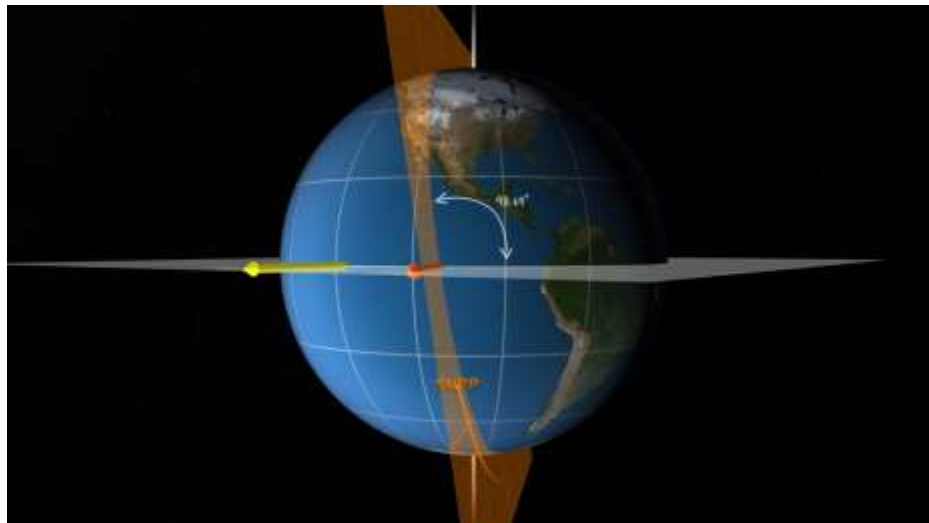
מעובדת ממאמר באתר נאס"א :

<https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensing#orbits>

חישה מרחוק היא איסוף מידע מרחוק. נאס"א צופה בכדור הארץ ובגופים פלנטריים אחרים באמצעות חיישנים מרוחקים על לוויינים ומקפות שמזהים ומתעדים אנרגיה מוחזרת או נפלטת. חיישנים מרוחקים, המספקים נקודת מבט גלובלית ושפע של נתונים על מערכות כדור הארץ, מאפשרים קבלת החלטות מושכלת על סמך המצב הנוכחי וכן, לחזות על פיו, את העתיד של כדור הארץ שלנו.

מסלולים

ישנם שלושה סוגים עיקריים של מסלולים בהם לוויינים שוהים: מסלול קוטבי; מסלול לא-קוטבי נמוך ומסלול גיאו-סטציונארי.

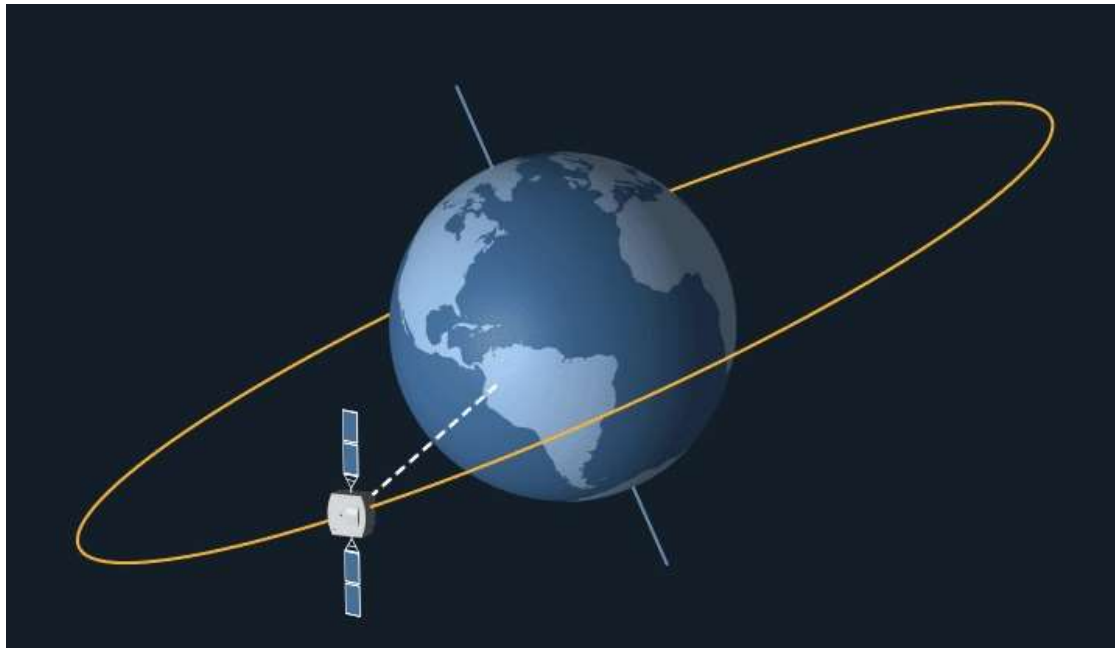


מישור ההקפה הקוטבי של NOAA / NASA Joint Polar Satellite System (JPSS) עם סימון המתאר את נטיית המסלול של 98.69 מעלות.

לוויינים במסלולים קוטביים נמצאים במישור מסלול המוטה כמעט 90 מעלות ביחס למישור קו המשווה. נטייה זו מאפשרת ללוויין לצלם את כל כדור הארץ, כולל אזורי הקוטב, ולספק תצפיות על מיקומים שקשה להגיע אליהם מפני הקרקע. לוויינים רבים המקיפים במסלול קוטבי הם סינכרוניים לשמש, כלומר שבכל מספר הקפות הלוויין חוזר ועובר שוב מעל אותם מקומות באותו זמן שמש (אותה שעה בערך) וכך כל מספר ימים מתחיל את

המחזור מחדש. הלוויין סומי המקיף את הקוטב - Soumi NPP (שותפות של NASA עם NOAA), הוא דוגמה ללוויין במסלול קוטבי המספק כיסוי יומימי על העולם.

מסלולים לא קוטביים במסלול כדור ארץ נמוך (Low Earth Orbit - LEO) נמצאים בדרך כלל בגובה של פחות מ- 2,000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. לשם דוגמה - תחנת החלל הבינלאומית מקיפה בגובה של כ- 400 ק"מ. מסלולים אלה אינם מספקים כיסוי גלובלי אלא מכסים אזורים בקווי רוחב מסוימים. משימת המשקעים הגלובלית ([GPM](#)) היא דוגמה ללוויין לא קוטבי, במסלול כדור ארץ נמוך, המכסה את האזור שבין 65 מעלות צפון ל 65 מעלות דרום.



לוויין במסלול גיאוסטציונרי

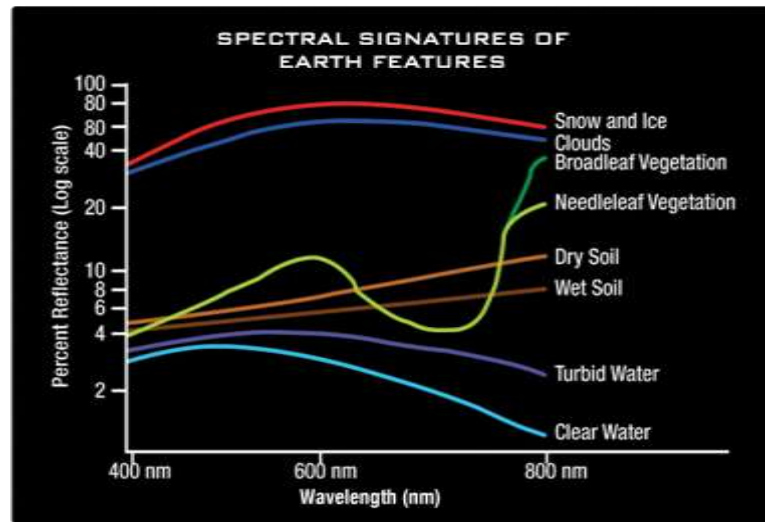
לוויינים גיאוסטציונריים מסונכרנים עם סיבוב כדור הארץ ומקיפים באותו קצב סיבוב: של 24 שעות להקפה. משום כך, לוויינים אלה נמצאים כל הזמן מעל אותה נקודה. לוויינים גיאוסטציונריים לוכדים את אותו שטח בכדור הארץ בכל תצפית ותצפית וכך מספקים כיסוי כמעט רציף של אזור אחד. לווייני מזג אוויר, כמו סדרת הלוויינים הסביבתיים התפעוליים הגיאוסטציונריים ([GOES](#)), הם דוגמה למשימה מסוג זה.

חתימה ספקטראלית

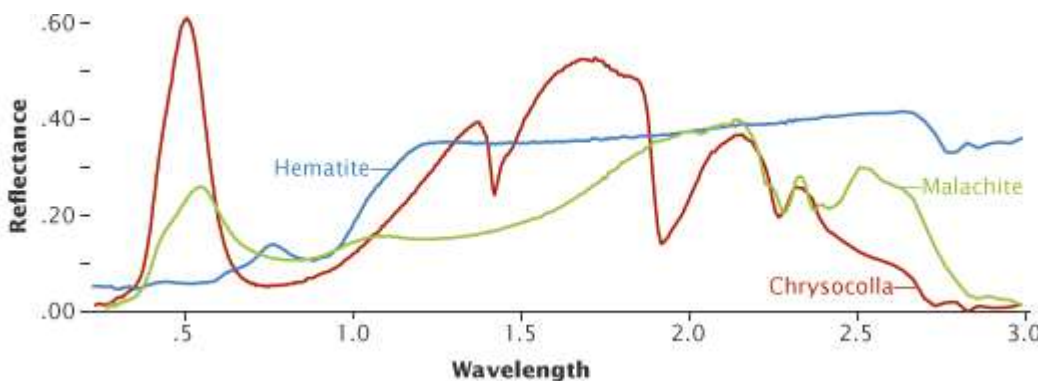
המקור העיקרי לקרינה שנמדדת על ידי לוויינים הוא השמש. כמות אנרגיית השמש המוחזרת תלויה בחספוס פני השטח ובאלבדו, עד כמה משטח מחזיר אור במקום לקלוט אותו. לשלג, למשל, יש אלבדו גבוה מאוד, מכיוון שהוא מחזיר עד 90% מהאנרגיה שפוגעת בו מהשמש, ואילו האוקיאנוס מחזיר רק כ- 6%, ובולע את השאר. לעיתים קרובות, כאשר

אנרגיה נבלעת, היא נפלטת מחדש - באורכי גל ארוכים יותר. לדוגמא, האנרגיה הנבלעת באוקיאנוס נפלטת מחדש כקרינת אינפרא אדום.

כל הדברים על פני כדור הארץ מחזירים, בולעים או מעבירים אנרגיה שכמותה משתנה לפי אורך הגל. לכל חומר יש "טביעת אצבע" ייחודית, (בדיוק כמו שטביעת האצבע שלך ייחודית לך). החוקרים יכולים להשתמש במידע זה כדי לזהות תכונות שונות של כדור הארץ למשל סוגי סלעים ומינרלים שונים. מספר התחומים הספקטראליים שמזוהים על ידי מכשיר נתון מעצים את יכולת ההבחנה בין חומרים שונים.



חתימות ספקטרליות של מאפייני כדור הארץ השונים בתוך ספקטרום האור הנראה. קרדיט: ג'ני אלן, למידע נוסף כולל סרטי וידאו בלוויים על הספקטרום האלקטרומגנטי, צפו [בסיוור](#) [בספקטרום האלקטרומגנטי](#) של נאס"א.

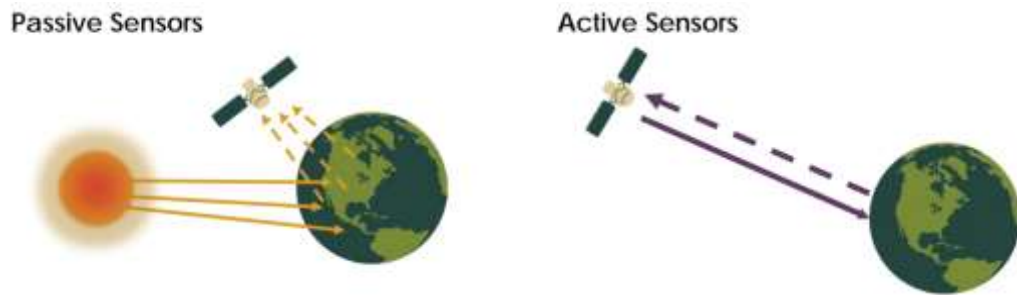


גרף זה משווה את ההחזר של המטיט (עפרת ברזל) להחזר של מלכיט וכריסוקולה (מינרלים עשירים בנחושת) בטווח אורכי הגל שבין 200 ל-3,000 ננומטר). תמונת NASA מאת רוברט סימון, תוך שימוש בנתונים ממעבדת הספקטרוסקופיה. USGS

כשם שלברזל ונחושת צבעים שונים באור הנראה, כך מינרלים עשירים בברזל ונחושת מחזירים או מפזרים מידה שונה של אור בתחומים שונים של ספקטרום האינפרא אדום.

סוגי חיישנים

חיישנים על לוויינים ומטוסים משתמשים בשמש כמקור אור. לחילופין, הם מסתייעים בקרינה שהם משדרים בעצמם. בשני המקרים הם מודדים את האנרגיה המוחזרת/מפוזרת לאחור אל הגלאי. חיישנים המשתמשים באנרגיה טבעית מהשמש נקראים חיישנים פסיביים; חיישנים המספקים מקור קרינה משלהם נקראים חיישנים אקטיביים.



תרשים של חיישן פסיבי לעומת חיישן אקטיבי

חיישנים פסיביים (סבילים) כוללים סוגי חיישנים שונים: רדיומטרים – חיישנים המודדים את עוצמת הקרינה האלקטרומגנטית בתחומים ספקטראליים נבחרים. ספקטרומטרים – מכשירים שנועדו לזהות, למדוד ולנתח את ההרכב הספקטראלי של הקרינה האלקטרומגנטית המשתקפת.

רוב המערכות הפסיביות המשמשות יישומי חישה מרחוק, פועלות בטווחי הספקטרום האלקטרומגנטי של האור הנראה, האינפרא אדום, האינפרא אדום התרמי והמיקרוגל. חיישנים אלה מודדים את טמפרטורת פני הקרקע והים, תכונות צמחייה, תכונות עננים, זיהומים חלקיקיים ותכונות פיזיקליות אחרות.

שימו לב, שרוב החיישנים הפסיביים אינם יכולים לחדור כיסוי ענן צפוף. משום כך, התצפית על אזורים טרופיים למשל, בהם כיסוי עננים צפוף הוא תכוף, הינה מוגבלת.

חיישנים אקטיביים (פעילים) שונים משדרים וקולטים את ההד החוזר ואת הזמן בין השידור והקליטה. באופן זה מתבצעת מדידת מרחק משכבות המחזירות קרינת רדיו (מכשיר זה נקרא רדאר). חיישנים אלו מודדים גם את גובה פני הקרקע ואת מידת הפיזור או ההחזרה משכבות שונות. מרבית החיישנים האקטיביים פועלים ברצועת המיקרוגל של הספקטרום האלקטרומגנטי, מה שמקנה להם את היכולת למדוד מבעד לאטמוספירה. סוגים אלה של חיישנים שימושיים בין היתר למדידת פרופילים אנכיים של אירוסולים (צפיפות חלקיקים המרחפים בגבהים שונים באטמוספירה), מבנה יער, משקעים ורוחות, אזורי גאות ושפל, ועובי שכבות קרח.

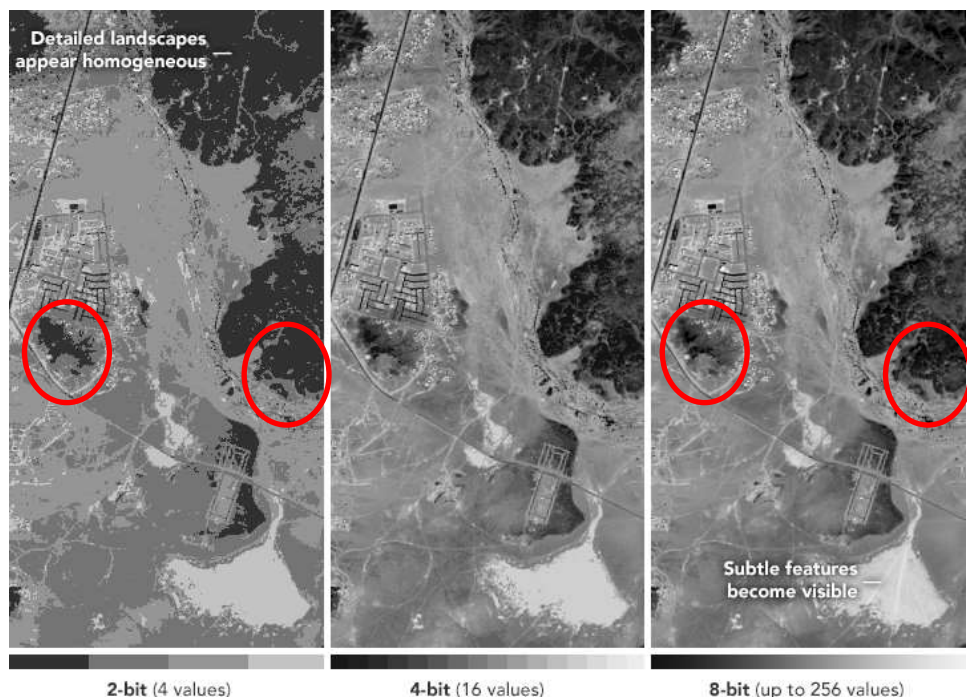
הקישור [חיישני מרחוק של Earthdata](#) מספק רשימה של כל החיישנים הפסיביים והאקטיביים המשמשים בחקר מדעי כדור הארץ של נאס"א.

פרמטרים חשובים

רזולוציה היא כושר הפרדה בין פרטים. רזולוציה ממלאת תפקיד בקביעת האופן בו ניתן להשתמש בנתונים מחיישן. היא תלויה במסלול הלוויין ובתכנון החיישן. ישנם ארבעה סוגים של רזולוציה שיש לקחת בחשבון בתכנון של משימת חישה מרחוק:

- א. רזולוציה רדיומטרית - יכולת הבחנה בין ההחזרים של עוצמות קרינה קרובות.
- ב. רזולוציה מרחבית - יכולת הבחנה בין פרטים סמוכים גיאוגרפית.
- ג. רזולוציה ספקטרלית - יכולת הבחנה בין החזר באורכי גל קרובים.
- ד. רזולוציה טמפורלית (זמנית) - הפרדה בין אירועים סמוכים זה לזה בזמן.

רזולוציה רדיומטרית - ככל שהרזולוציה הרדיומטרית גבוהה יותר, כך ניתן להבחין בהבדלים קטנים יותר בכמות הקרינה המוחזרת. לדוגמא, כאשר מעריכים את איכות המים, יש צורך ברזולוציה רדיומטרית גבוהה כדי להבחין בהבדלים עדינים באוקיאנוס, שיכולים להיות מושפעים למשל מנוכחותן של אצות באזורים מסוימים. שימו לב להבדלים בין התמונות הבאות. רזולוציה רדיומטרית נמדדת במספר הביטים לכל פיקסל וניתן להיווכח בהשפעתה בצילומים הבאים:

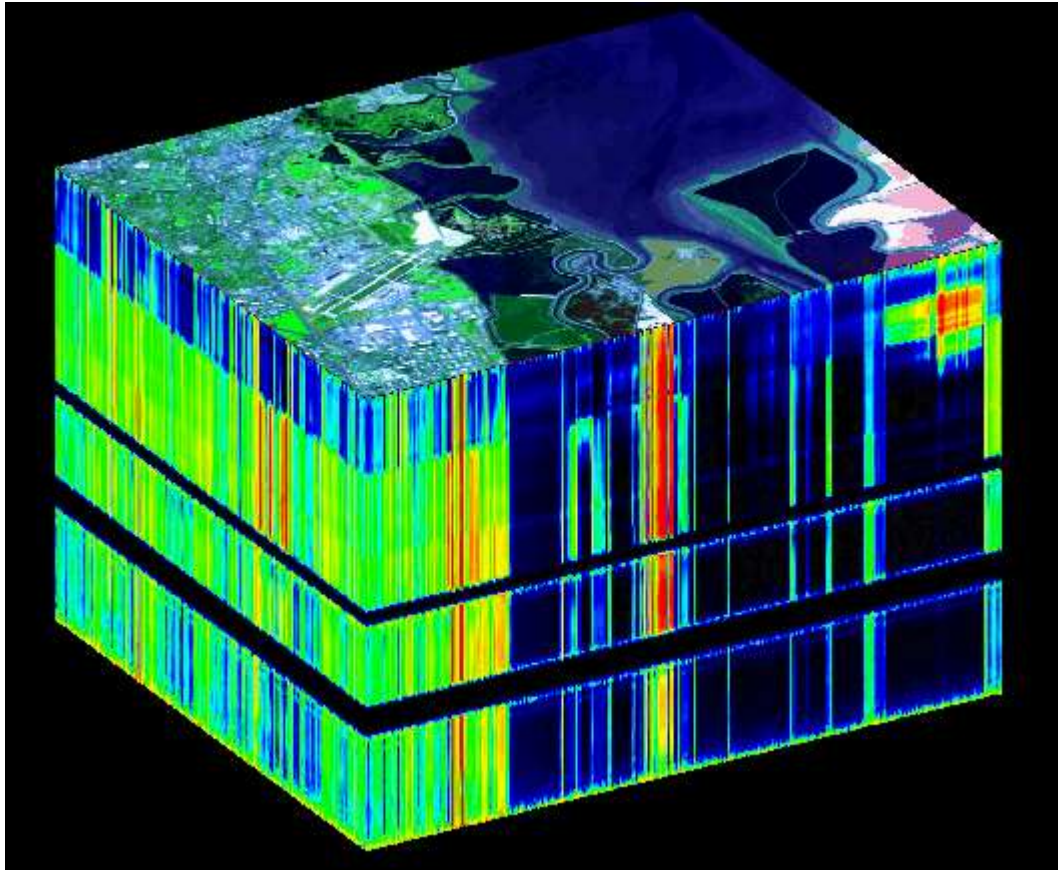


רזולוציה מרחבית מוגדרת על ידי גודל השטח המיוצג ע"י כל פיקסל בתוך תמונה דיגיטלית. לדוגמא, לרוב התחומים הנצפים על ידי המכשיר **MODIS** יש רזולוציה מרחבית של 1 ק"מ; כל פיקסל מייצג שטח של 1 קמ"ר על הקרקע. ככל שהרזולוציה גבוהה יותר (הפיקסל מכסה שטח קטן יותר), כך תוכלו להבחין בפרטים קטנים יותר. בתמונה למטה ניתן לראות את ההבדל בין תמונות ברזולוציה של 30 מ' / פיקסל, 100 מ' / פיקסל ו- 300 מ' / פיקסל.



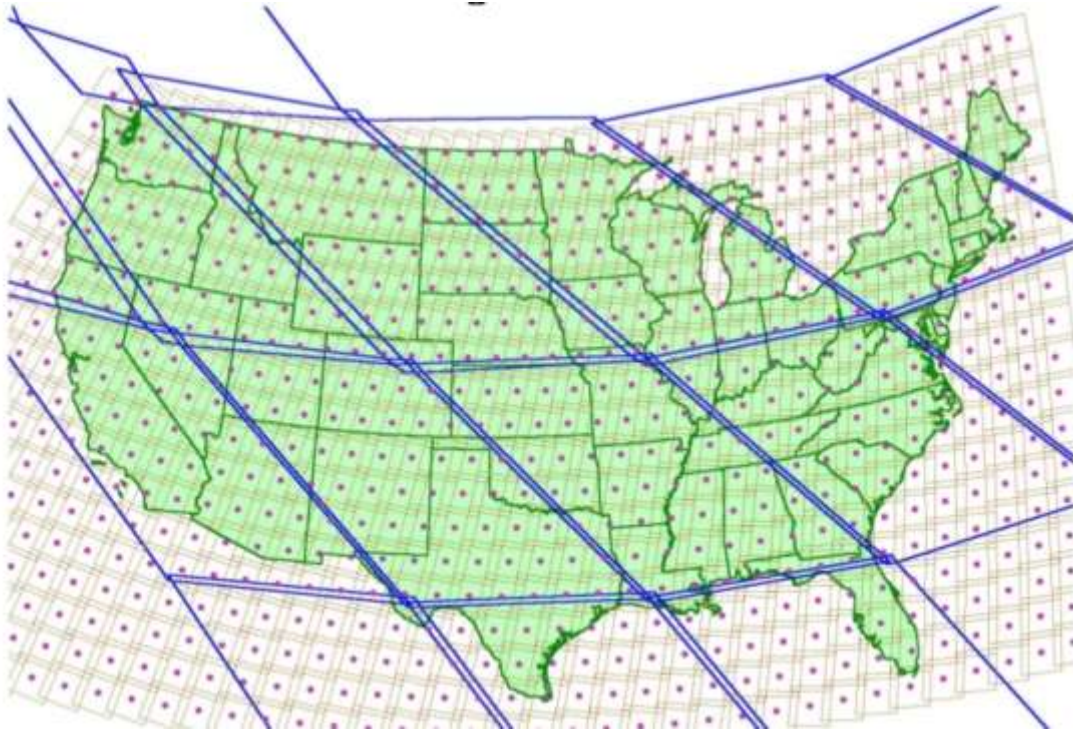
נתוני Landsat 8 מ- 7 ביולי 2019 מעל רייקיאויק, איסלנד. באדיבות מצפה הכדור הארץ של נאס"א.

רזולוציה ספקטראלית היא היכולת של חיישן להבחין בין אורכי גל או צבעים קרובים זה לזה. העין האנושית מבחינה בין שלושה צבעים שונים (אדום כחול ירוק) אך ישנם חיישנים מולטי-ספקטראליים שיכולים להבחין בעשרות צבעים שונים. קיימים חיישנים היפר-ספקטראליים שיש להם מאות עד אלפי ערוצים ספקטראליים שונים. ככל שטווח אורכי הגל בכל ערוץ הוא מצומצם יותר והחפיפה ביניהם קטנה יותר, כך הרזולוציה הספקטראלית (יכולת הפרדה בין צבעים) טובה יותר. לכן הבחנה על ידי חיישנים עם רזולוציה ספקטראלית גבוהה יכולה לספק יותר מידע.



צילום בחיישן היפר ספקטראלי הוא למעשה אוסף של תמונות שכל תמונה מייצגת צילום בצבע אחר. התמונה העליונה מייצגת את סכום כל התמונות בקוביה. הפרוסות העליונות בקוביה צולמו בחלק הנראה של הספקטרום (החל מאורך גל של 400 ננומטר), והתחתית צולמה באינפרא אדום (עד אורך גל של 2,500 ננומטר).

רזולוציה זמנית מוגדרת על ידי הזמן שלוקח ללוויין להשלים מספר הקפות עד שהוא חוזר לרחף מעל אותה נקודה ובאותו זמן של היום. זהו זמן המחזור של הצילום. רזולוציה זו תלויה במסלול, ברוחב שדה הראיה של החיישן. ככל שה"אריח" אותו מכסה הלוויין קטן יותר, עליו לעשות יותר הקפות עד שיחזור לצלם את אותו השטח באותה שעה של היום. מכיוון שתנועתם של לוויינים גיאוסטציונריים תואמת את קצב סיבוב כדור הארץ, הרזולוציה הזמנית שלהם היא גבוהה ויכולת הצילום של אזור מסוים כמעט רציפה. לוויינים במסלולי קוטביים (ראה תמונה ראשונה במאמר, המסלול בכתום) הם בעלי רזולוציה זמנית נמוכה, שיכולה לנוע בין יום אחד ל - 16 יום. לדוגמה, ל MODIS - יש רזולוציה זמנית של בין יום ליומיים, המאפשרת לנו להציג מפה המציגה תכונות של כדור הארץ שמשתנות מיום ליום. לעומת זאת, ל- Landsat רוחב שדה צר יותר ורזולוציה זמנית של 16 יום ולכן לא מראה שינויים יומיים אלא שינויים דו-שבועיים.



שני הלוויינים מצלמים את כל כדור הארץ. כל צילום מיוצג ע"י אריח בתמונה. בכחול מוצגים אריחי MODIS לעומת אריחי Landsat המיוצגים ע"י מלבנים צהובים עם נקודה סגולה במרכזם. ל MODIS - שטח דגימה גדול בהרבה משל לנדסאט ; מה שמאפשר רזולוציה זמנית של 1-2 ימים לעומת 16 ימים של לנדסאט המתמקד בשטחים קטנים יותר. נשאלת השאלה, מדוע לא לבנות חיישן ברזולוציה רדיומטרית, מרחבית, ספקטרלית וזמנית גבוהה?

לא ניתן לשלב את כל התכונות הרצויות ללוויין אחד. לדוגמא: כדי לקבל תצפיות ברזולוציה מרחבית גבוהה (כמו לנדסאט) נדרש שטח צילום צר יותר. אולם, שטח צילום צר גורם לכך שעובר זמן רב יותר בין תצפיות באזור נתון וכתוצאה מכך הרזולוציה הזמנית נמוכה יותר. החוקרים, אם כן, נדרשים לפשרות. חשוב מאוד להבין איזה סוג נתונים נחוץ לכל מחקר. למשל, כאשר אנו חוקרים מזג אוויר, שהוא מאוד דינמי לאורך זמן, רזולוציה זמנית גבוהה היא קריטית. כאשר חוקרים שינויים בצמחייה עונתית, ניתן להקריב רזולוציה זמנית גבוהה לטובת רזולוציה ספקטרלית ו / או מרחבית גבוהה יותר.

פרשנות תמונה

לאחר איסוף הנתונים, הם מעובדים לתמונות עם שילובים שונים של תחומים ספקטראליים המדגישים תופעות שונות. יש לנתח ולפרש את הצילומים. כדי להסתייע בהם בעת קבלת החלטות שונות החשובות לניהול משאבים חקלאיים למשל או לשם הערכת היקפם של אסונות. ישנם מספר דגשים לניתוח ופירוש הצילומים:



1. **דע את הסקלה של התמונה** - (הגדרת גודל שדה הראייה) - בגישה זו ישנם שיקולים שונים המבוססים על הרזולוציה המרחבית של התמונה. כל שדה ראייה מספק תכונות שונות בעלות חשיבות. לדוגמא, בעת מעקב אחר שיטפון, תצוגה מפורטת ברזולוציה גבוהה תראה אילו בתים ועסקים מוקפים במים. שדה ראייה רחב יותר יראה אילו חלקים של מחוז או מטרופולין מוצפים ואולי יראה גם מהיכן מגיעים המים. מבט רחב עוד יותר יראה את האזור כולו - מערכת הנהרות המוצפת או רכסי ההרים והעמקים המשפיעים על הזרימה. מבט על מחצית כדור הארץ יציג את תנועת מערכות מזג האוויר הקשורות לשיטפונות.
2. **השוואת דפוסים, צורות ומרקמים** - תכונות רבות קלות לזיהוי על סמך התבנית או הצורה שלהן לדוגמא, שטחים חקלאיים הם בעלי צורה גיאומטרית - עיגולים או מלבנים וקווים ישרים הם לרוב מעשה ידי אדם, כמו מבנים, כבישים או תעלות.
3. **הגדרת הצבעים** - כשמשתמשים בצבע כדי להבדיל בין תכונות, חשוב להכיר את שילוב הערוצים הספקטראליים המשמש ליצירת התמונה. תמונות צבע אמיתיות או טבעיות בשלושה ערוצים של אדום, ירוק, כחול, הן בעצם מה שהיינו רואים במו עינינו אילו היבטנו מהחלל. צבע היערות הנשירים משתנה בהתאם לעונה ובהתאם לכך משתנה הצבע בתמונה: באביב ובקיץ - ירוק עז; בסתיו - כתום, צהוב; ובחורף - חום. דוגמה נוספת: קרקע חשופה היא בדרך כלל בגוון חום כלשהו; עם זאת, צבעה תלוי בהרכב המינרלים שלה. לפעמים למשטחים שונים אותו צבע למשל: קרח ושלג הם לבנים, אבל גם עננים הם לבנים. בחירת צבעים נכונה תקל על ההפרדה ביניהם בשיטות ניתוח ספקטרליות. חשוב לאתר את ערוצי הצבע הנכונים שיאפשרו להבדיל בין פרטים שונים.
4. **שימוש בידע קיים** - היכרות עם האזור שאתה צופה בו מסייעת בזיהוי תכונותיו. לדוגמא, הידיעה שהאזור נשרף לאחרונה יכולה לעזור לקבוע מדוע הצמחייה בו נראית קצת אחרת.