تحليل التغير الزمني والمكاني للغطاء النباتي

تعد الغابات الرئة الحيوية لكوكب الأرض، حيث تغطي حوالي ٣١% من إجمالي مساحة اليابسة، وتلعب دوراً محورياً في الحفاظ على التوازن البيئي، وحماية التنوع البيولوجي، وتنظيم الدورة الهيدرولوجية. ومع ذلك، يواجه هذا النظام البيئي تراجعاً مثيراً للقلق فوفقاً لتقارير منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، فإن العالم قد فقد ما يقدر بنحو ٤٢٠ مليون هكتار من الغابات منذ عام ١٩٩٠ نتيجة إزالتها وتحويلها لاستخدامات أخرى.

إن هذا التراجع ليس مجرد انكماش في المساحة الخضراء، بل هو نتيجة لتداخل معقد بين عوامل طبيعية كالحرائق والجفاف، وعوامل بشرية هي الأكثر تأثيراً، وتتمثل في التوسع الزراعي الجائر، والزحف العمراني، والنشاطات الصناعية. إن فهم "ديناميكية الغابة" يتطلب من المهندس الزراعي الحديث امتلاك أدوات قادرة على رصد التغيرات بدقة فائقة عبر الزمن والمكان.

في هذه الجلسة، سنحاول الانتقال من التوصيف النظري إلى التحليل الرقمي والمكاني، مستخدمين تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing). سنقوم بتحليل حالات دراسية واقعية (مثل غابات الأمازون وإندونيسيا) لرصد "البصمة البشرية" على الغطاء النباتي، ومقارنة الحالة المرجعية للغابات قبل الاضطراب بحالتها الراهنة، مما يمكننا من تقدير حجم الفقد ووضع سيناريوهات لاستعادة النظم البيئية المتدهورة.

الأهداف التعليمية:

١- تمييز الأنماط البصرية المختلفة لتدهور الغابات (القطع الجائر، الحريق، الزحف العمراني، التحويل الزراعي) عبر الصور الفضائية.

٢- إتقان مهارة المقارنة الزمانية والمكانية (Temporal and Spatial Analysis) باستخدام ميزة "الصور التاريخية".

٣- تحليل العلاقة بين العوامل البشرية (كالطرق والمزارع) وسرعة تراجع الغطاء النباتي في مناطق الدراسة (الأمازون وإندونيسيا كأمثلة).

٤- إعداد تقرير فني يلخص التغيرات المرصودة ويقترح حلولاً هندسية لإعادة التأهيل أو الحماية بناءً على البيانات المستخرجة.

٥- محاولة استخدام المنصات الرقمية العالمية (مثل Global Forest Watch وSentinel Hub) لاستخراج بيانات قديمة وحالية لأي بقعة غابوية.

٦- تطبيق أدوات القياس الرقمية لحساب المساحات الغابوية المفقودة بالهكتار ha أو الكيلومتر المربع

٧- استنتاج التغيرات في الحالة الحيوية للأشجار من خلال مقارنة مؤشرات الفرق الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI).

أولاً- نماذج لصور فضائية توضح التغيرات الكبيرة التي طرأت على بعض الغابات حول العالم نتيجة التعديات البشرية، والحرائق، والتوسع العمراني:

١. إزالة الغابات في الأمازون (البرازيل)

تعتبر غابات الأمازون المثال الأبرز لظاهرة "نمط هيكل السمكة" (Fishbone pattern)، حيث تبدأ التعديات بفتح طرق قانونية أو غير قانونية، ثم تتفرع منها مساحات مقطوعة للزراعة وتربية الماشية.

إن هنالك أشكالاً مختلفة للتعدّي على الغابة، وكل واحد منها يكشف طريقة مختلفة في استخدام الأرض، وبالتالي نوعًا مختلفًا من الخطر البيئي:

الفرق بين الأنماط الأربعة في التعدّي على الغابة:

١) نمط هيكل السمكة Fishbone pattern

المظهر: طريق رئيسي مستقيم، تتفرع عنه طرق جانبية قصيرة مثل عظام السمكة.

المعنى البيئي: – يدل على إزالة غابات مخططة مرتبطة بطرق جديدة– يفتح مساحات واسعة للاستيطان والزراعة– يؤدي إلى تجزئة الغابة بشكل كبير.

٢) النمط الشعاعي Radial

المظهر: نقطة مركزية (قرية، منجم، محطة) تخرج منها طرق في كل الاتجاهات مثل أشعة الشمس.

المعنى البيئي: – يشير إلى توسع بشري سريع حول نقطة استيطان– غالبًا يرتبط بالتعدين أو قطع الأخشاب أو مشاريع حكومية– يخلق ضغطًا دائريًا على الغابة من كل الجهات.

٣) النمط المتشعّب الطبيعي – Dendritic

المظهر: شبكة تشبه فروع الأشجار أو الأوعية الدموية.

المعنى البيئي: – هذا نمط طبيعي لنظام الأنهار والجداول– لا يدل على تعدّي بشري بحد ذاته– يُستخدم كمرجع لتمييز الأنماط الطبيعية عن أنماط إزالة الغابات.

٤) النمط المستطيلي Rectangular

المظهر: شبكة مربعات أو مستطيلات منتظمة، غالبًا زراعية.

المعنى البيئي: يدل على تحويل الغابة إلى أراضٍ زراعية– الحدود المستقيمة تشير إلى تخطيط بشري واضح– غالبًا يرتبط بزراعة المحاصيل التجارية (صويا، نخيل زيت).

٢. أثر الحرائق الغابوية (قبل وبعد)

تُظهر هذه الصور كيف يمكن لنيران الغابات أن تقضي على مساحات شاسعة في وقت قياسي، مما يغير من طبيعة النظام البيئي ويترك الأرض عرضة للانجراف.

٣. التوسع العمراني وتجزئة الغابات

هذا النوع من الصور يوضح كيف يؤدي بناء الطرق والمجمعات السكنية إلى تقسيم الغابة الكبيرة إلى قطع صغيرة معزولة، مما يؤثر على التنوع البيولوجي وحركة الكائنات الحية.

ثانياً- تحليل التعديات على الغابات باستخدام الخرائط الزمنية

تعتمد هذه الفكرة على مقارنة حالتين (قبل وبعد) لفهم ديناميكيات تدهور الغابات وأثره البيئي.

الأدوات المطلوبة

١. خرائط غابوية قديمة (ورقية أو رقمية) لنفس المنطقة (قبل ١٠ أو ٢٠ عاماً).

٢. صور فضائية حديثة (يمكن استخدام Google Earth Engine أو منصات Sentinel).

٣. أقلام تحديد وشفافات (في حال العمل الورقي) أو برامج GIS بسيطة.

خطوات التنفيذ المقترحة

١. المرحلة الأولى: التوصيف الأولي (ما قبل التعدي)

المطلوب: تحديد المعالم التالية في الخريطة القديمة:

١. كثافة الغطاء النباتي: تحديد المناطق ذات الكثافة العالية (الغابات المغلقة) والمناطق المفتوحة.

٢. التنوع التضاريسي: ربط وجود الغابة بالانحدارات ومجاري المياه.

٢. المرحلة الثانية: رصد التغيرات (ما بعد التعدي)

عند عرض الخرائط الحديثة، المطلوب: البحث عن:

١. تجزئة الغابة (Fragmentation): كيف تحولت الكتلة الواحدة إلى جزر معزولة.

٢. تغير خط الاتصال: ملاحظة زحف الطرق أو المباني داخل الحرم الغابوي.

٣. بؤر التدهور: تحديد المناطق التي تغير فيها لون الغطاء النباتي أو اختفى تماماً.

المرحلة الثالثة: التحليل والمناقشة

المطلوب من كل مجموعة الإجابة على التساؤلات التالية:

١. السبب والنتيجة: ما هو المحرك الرئيسي لهذا التعدي في هذه المنطقة تحديداً؟

٢. محاولة تقدير الفقد: محاولة حساب المساحة التقريبية المفقودة بالهكتار.

٣. التنبؤ المستقبلي: بناءً على سرعة التعدي الملاحظة، كيف سيكون حال هذه الغابة بعد ٥ سنوات؟

٤. المخرجات :

يُطلب من كل مجموعة تقديم تقرير تقني يتضمن:

١. جدول يوضح الفروقات بين الحالة القديمة والحديثة من حيث (المساحة، الكثافة، نوع الاستخدام الجديد للأرض).(ورقة عمل مرفقة)

٢. مقترح لإعادة التأهيل أو خطة لحماية ما تبقى من تلك الغابة.

من أبرز الأمثلة العالمية لفهم ديناميكيات تدهور النظم البيئية:

الحالة الأولى: غابات الأمازون – جفاف وحرائق عام ٢٠١٠

كان عام ٢٠١٠ علامة فارقة في تاريخ الأمازون بسبب الجفاف الشديد الذي أدى إلى حرائق هائلة غير مسبوقة.

السياق البيئي: تعرضت المنطقة لجفاف شديد بسبب ارتفاع درجات حرارة المحيط الأطلسي المداري، مما جعل الغابة الرطبة "عرضة للاشتعال" بشكل غير طبيعي.

الأثر الرقمي والمكاني: أظهرت الخرائط الفضائية (مثل MODIS وLandsat) انخفاضاً حاداً في "اخضرار" الغابة على مساحة تقدر بـ ٢.٥ مليون كيلومتر مربع (أربعة أضعاف مساحة جفاف ٢٠٠٥).

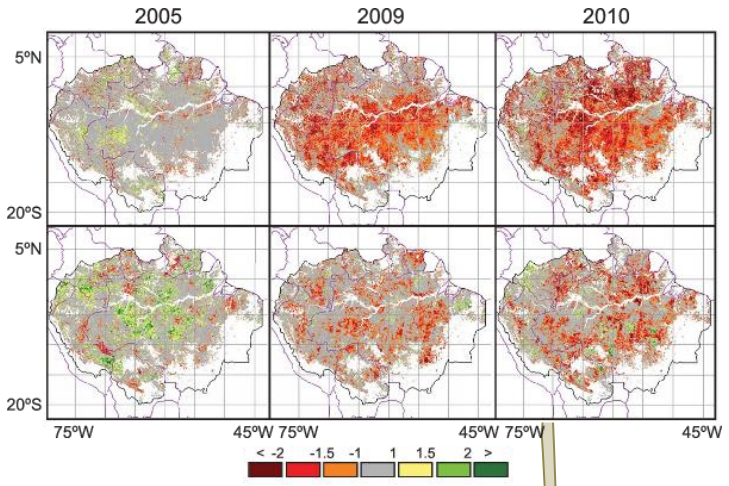
التحليل الفني:

قبل الحرائق: كانت الغابة تعمل ككخزان للكربون (Carbon Sink).

بعد الحرائق: تحولت مساحات واسعة إلى مصدر للكربون نتيجة احتراق الكتلة الحيوية وموت الأشجار الكبيرة التي لا تتحمل النيران.

التغير في حالة الأمازون عام ٢٠١٠ لم يكن مجرد إزالة للأشجار بل كان "تدهوراً فيزيولوجياً" واسع النطاق طال ملايين الكيلومترات المربعة.

تُظهر الخريطة التالية الفرق الجوهري بين جفاف عام ٢٠٠٥ وجفاف عام ٢٠١٠؛ حيث يشير اللون الأحمر والبني إلى انخفاض حاد في مؤشر الاخضرار (NDVI) نتيجة ذبول الأوراق وتوقف النمو، وهي المساحة التي بلغت ذروتها في ٢٠١٠ لتغطي مساحة تضاعف ما حدث في ٢٠٠٥:



تحليل الخريطة:

اللون الأحمر الداكن: يمثل المناطق التي عانت من انخفاض شديد في التمثيل الضوئي (أقل بكثير من المعدل الطبيعي).

المساحة الجغرافية: يمكن ملاحظة أن اللون الأحمر في عام ٢٠١٠ يغطي مساحة شاسعة ومستمرة، مما يوضح حجم الكارثة المناخية التي ضربت "قلب" الغابة الرطبة.

الفرق بين "الإزالة" و"التدهور": في الصور السابقة رأينا قطعاً للأشجار (إزالة)، أما هنا فنحن نرى "تدهوراً صحياً" للأشجار القائمة بسبب نقص المياه، وهو ما يجعل الغابة عرضة للحرائق لاحقاً.

هذه الخريطة (بمؤشراتها اللونية) هي الأداة الأدق لفهم كيف يمكن للاستشعار عن بعد رصد "صحة الغابة" حتى لو كانت الأشجار لا تزال واقفة ولم تُقطع بعد

مفتاح قراءة خريطة الشذوذ النباتي (NDVI Anomaly):

لتحليل هذه الخرائط، يجب ربط الألوان بالقيم الرقمية والحالة الفيزيولوجية للأشجار:

- اللون البني والداكن (قيم سالبة قوية):

التفسير التقني: انخفاض حاد في مؤشر NDVI مقارنة بالمتوسط التاريخي (١٩٨٢–٢٠٠٩).

الحالة الحيوية: تعني أن الأشجار تعاني من "إجهاد مائي" شديد، مما أدى إلى تساقط الأوراق أو توقف عملية التمثيل الضوئي. هذه هي المناطق التي غطت ٢.٥ مليون كيلومتر مربع في عام ٢٠١٠.

- اللون الأصفر إلى البرتقالي (قيم سالبة متوسطة):

التفسير التقني: تراجع ملحوظ في النشاط الحيوي.

الحالة الحيوية: اضطراب في نمو الغابة، وهي مرحلة تسبق الموت التراجعي للأشجار إذا استمر الجفاف.

- اللون الأخضر (قيم موجبة):

التفسير التقني: نمو أعلى من المعدل الطبيعي.

الحالة الحيوية: غابات صحية ومستقرة (وهي مساحات تقلصت بشكل كبير في خريطة ٢٠١٠ مقارنة بـ ٢٠٠٥).

<u>الحالة الثانية: غابات إندونيسيا – التحويل لزراعات زيت النخيل</u>

تعد إندونيسيا نموذجاً كلاسيكياً لدراسة "تغيير استخدام الأراضي" (Land Use Change) لأغراض اقتصادية.

العملية المنهجية: يبدأ التدهور عادة بقطع الأشجار الخشبية ذات القيمة العالية، ثم استخدام النار لتطهير الأرض، وأخيراً غرس شتلات زيت النخيل في صفوف هندسية منظمة.

التحليل عبر الخرائط:

توسع مساحات مزارع النخيل على حساب مساحة الغابات

عام ٢٠٠٠: خرائط القمر الصناعي تظهر غطاءً غابوياً مستمراً وعميقاً (Primary Forest).

عام ٢٠٢٠: الخرائط تظهر "تجزؤاً" (Fragmentation) واضحاً، حيث حلت المزارع الصناعية محل الغابة البكر، مع اختفاء تام للمستنقعات الخثية (Peatlands) التي جُففت للزراعة.

الأثر البيئي: فقدان التنوع البيولوجي (مثل موائل الأورانغوتان "إنسان الغاب") وزيادة انبعاثات الغازات الدفيئة نتيجة احتراق التربة الخثية.

نقاط للمناقشة :

في حالة إندونيسيا: ملاحظة الفرق البصري بين "الغابة العشوائية الطبيعية" و"المزارع المنتظمة". هذا التباين الهندسي في الخرائط هو أوضح دليل على التحويل الزراعي الصناعي.

الاستشعار عن بعد: ملاحظة كيف ساعدت صور الأقمار الصناعية في كشف التعديات التي تحدث في أعماق الغابات بعيداً عن الرقابة الأرضية

للحصول على صور الأقمار الصناعية والخرائط:

تعد الأدوات الرقمية اليوم وسيلة قوية جداً لتمكين الطلاب والباحثين من استكشاف الغابات وتوثيق التعديات بدقة علمية. أبرز المنصات المجانية، مرتبة من الأسهل استخداماً إلى الأكثر تقدماً:

١. Global Forest Watch (GFW) – "الأسهل والأكثر تخصصاً"

هذه المنصة هي الأنسب للمبتدئين وللدروس السريعة، حيث توفر بيانات جاهزة ومحللة.

توفر خرائط تفاعلية توضح "فقدان الغطاء الشجري" (Tree Cover Loss) سنوياً، وتنبيهات فورية بالحرائق والتعديات.

الميزة التعليمية: يمكن للطلاب اختيار منطقة معينة، ورسم حدودها، وسيقوم الموقع تلقائياً بإصدار رسم بياني يوضح كم هكتاراً فُقد من الغابة في آخر ٢٠ عاماً.

الرابط: obalforestwatch.orggl

٢. Sentinel Hub (EO Browser) – "صور حديثة ومجانية"

تسمح هذه المنصة بالوصول إلى صور الأقمار الصناعية (Sentinel-٢) التي يتم تحديثها كل ٥ أيام تقريباً.

توفر إمكانية عرض الغابة بـ "الألوان الحقيقية" أو باستخدام "الأدلة النباتية" مثل NDVI (مؤشر الفرق الطبيعي للغطاء النباتي).

*ملاحظة: NDVI (مؤشر الفرق الطبيعي للغطاء النباتي) هو مؤشر يستخدم صور الأقمار الصناعية وصور الدرونز لتقدير كمية وكثافة وصحة الغطاء النباتي فهو يقيس كمية الضوء الأحمر المرئي الذي تمتصه النباتات للقيام بالتمثيل الضوئي وكمية الأشعة تحت الحمراء التي تعكسها النباتات وبناءً على ذلك يمكننا تقدير صحة النباتات.

الميزة التعليمية: أداة "Compare" التي تسمح بوضع صورتين لنفس المكان من تاريخين مختلفين وتحريك "منزلق" (Slider) بينهما لملاحظة الفرق بوضوح تام.

الرابط: browser-ohub.com/e-apps.sentinel

٣. Google Earth Pro (نسخة سطح المكتب) – "آلة الزمن"

رغم قدمها، إلا أنها لا تزال الأداة الأكثر فعالية لاستعراض التاريخ.

توفر ميزة "Historical Imagery" (أيقونة الساعة).

الميزة التعليمية: تتيح للطلاب العودة بالزمن إلى الثمانينات في بعض المناطق. يمكنهم حرفياً مشاهدة كيف زحف العمران على حساب الغابة عاماً بعد عام من خلال تحريك شريط الزمن.

دليل القياس السريع:

لحساب مساحة الغابة المفقودة باستخدام أدوات القياس البسيطة في صور الأقمار الصناعية الذي يمكن اتباعه باستخدام أدوات مجانية وبسيطة، للتمكن من تحويل الملاحظة البصرية إلى أرقام ومساحات دقيقة:

الخطوة ١: تحديد النطاق الجغرافي

يجب على الطالب أولاً تحديد "منطقة الاهتمام" باستخدام أداة المضلع (Polygon) في Google Earth أو Global Forest Watch:

يتم رسم حدود حول المنطقة التي كانت مغطاة بالأشجار في الصورة القديمة.وذلك التأكد من شمول المناطق المتأثرة بالتعديات فقط لتركيز الدراسة.

الخطوة ٢: استخدام أداة القياس (Ruler Tool)

في معظم برامج الخرائط، توجد أيقونة "المسطرة":

- لقياس التراجع: يتم قياس المسافة (بالمتر أو الكيلومترات) من أبعد نقطة كانت تصل إليها الغابة سابقاً إلى حدودها الحالية.
- لحساب المساحة: يتم اختيار وحدة (الهكتار) أو (الكيلومتر المربع). يقوم البرنامج تلقائياً بحساب المساحة المحصورة داخل المضلع الذي قمنا برسمه.

الخطوة ٣: معادلة حساب نسبة الفقد (Deforestation Rate)

نسبة الفقد المئوية =(المساحة الكلية في الخريطة القديمة – المساحة المتبقية حالياً)/الكلية القديمة}×100

الخطوة ٤: تحليل النتائج (تفسير الأرقام)

بعد الحساب، تكتب الملاحظة التقنية بناءً على الرقم الناتج:

- أقل من ٥%: اضطراب طفيف (قد يكون قطعاً انتقائياً).
- ٥% – ٢٠%: تدهور متوسط (توسع زراعي متدرج).

- أكثر من ٢٠%: تدهور حاد (تغير جذري في استخدام الأراضي أو حرائق واسعة).

تمرين تطبيقي (٣ حالات: نيجيريا، أثيوبيا، البرازيل) + ورقة عمل لجدول الفروقات بين الحالة الحالية والحالة القديمة لكل غابة مع الأسئلة.