

استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي MODIS لتقييم تدهور الغابات في  
منطقة الأمازون البرازيلية  
أ.م.د. علي فاضل حسن  
جامعة المثنى-كلية التربية للعلوم الإنسانية-قسم الجغرافية

Using MODIS satellite time series data to assess forest degradation in the  
Brazilian Amazonia

Ali Fadhil Hasan

College of Education for Humanity sciences, Al-Muthanna university,  
Iraq

E-Mail : alifadhil@mu.edu.iq

Abstract:

Several systems such as DETER and DEGRAD monitor deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. Still, they are not designed to determine the consequences of disturbances on forest degradation in the medium and long term but are more specific to events related to strong disturbances in annual photosynthetic activity. In this study, we review the methods widely used to estimate forest degradation over a large area of the Brazilian Amazon, which is the largest unadapted to forest disturbances such as selective cutting and cumulative damage assessment over time. We then apply the study approach based on the analysis and use of the vegetation index time series (MODIS) with the Bfast package, which has proven to be efficient in determining the time and intensity of disturbance, however, mapping this state is essential for the regulation of conservation and restoration policies and more generally for land management, especially in these areas of leading deforestation fronts. The method gave a high accuracy in determining the time and intensity of forest degradation at the pixel scale, the recovery time from damage and the total number of disturbances during the study period.

Keywords: MODIS. Bfast package. Forest degradation. Brazilian Amazon region

**المخلص:**

تستخدم عدة أنظمة مثل DETER و DEGRAD لرصد إزالة الغابات وتدهورها في منطقة الأمازون البرازيلية، ولكنها غير مصممة لتحديد عواقب الاضطرابات على تدهور الغابات على المدى المتوسط والطويل، بل هي أكثر تحديداً للأحداث ذات الصلة بالاضطرابات القوية في نشاط التمثيل الضوئي السنوي. في هذه الدراسة نستعرض الأساليب المستخدمة على نطاق واسع

في تقدير تدهور الغابات على مساحة كبيرة من منطقة الأمازون البرازيلية، التي لا تتكيف الى حد كبير مع اضطرابات الغابات مثل القطع الانتقائي وتقييم الأضرار التراكمية بمرور الوقت. ثم سنطبق نهج الدراسة القائم على تحليل واستخدام السلاسل الزمنية لمؤشر النبات (MODIS) مع حزمة (Bfast) الذي اثبت كفاءة في تحديد وقت وشدة الاضطراب، ومع ذلك فإن رسم خرائط هذه الولاية ضروري لتنظيم سياسات الحفظ والترميم وبشكل أعم لإدارة الأراضي، لا سيما في هذه المناطق من الجبهات الرائدة الازالة الغابات. أعطت الطريقة دقة عالية في تحديد وقت وشدة التدهور الذي لحق في الغابة بنطاق البكسل، وكذلك وقت التعافي من الضرر وعدد الاضطرابات الكلية خلال فترة الدراسة.

### الكلمات المفتاحية: MODIS. حزمة (Bfast). تدهور الغابات. منطقة الأمازون البرازيلية المقدمة

لا يزال تعريف تدهور الغابات موضع نقاش حيث من الصعب اختيار تعريف محدد لتدهور الغابات لأنه يعتمد على الاختلافات في وجهات النظر والأهداف الإدارية للجهات الفاعلة Morales–Barquero et al. 2014 وبالتالي فإن تطوير اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) في عام ٢٠٠٣ بشأن خفض الانبعاثات الناتجة عن إزالة الغابات وتدهورها، صاحبه جدل حول تعريف التدهور Penman et al. 2003 والمعايير نفسها هي موضوع مناقشات بين نوعية الغابات (حالة الغابة)، وكثافة الغطاء النباتي (الكتلة الحيوية)، وخدمات النظم الإيكولوجية، والتنوع البيولوجي، وتوفير السلع والخدمات السوقية. وقد حدد (Lund, Gyde. 2009) أكثر من ٥٠ تعريفاً لتدهور الغابات. ان تدهور الغابات هو عملية مؤقتة أو دائمة تؤدي إلى انخفاض الكثافة وتغيير في بنية الغطاء النباتي أو تكوين الأنواع. (Grainger 1993) إنه تغيير في سمات الغابات يؤدي إلى انخفاض القدرة على إنتاج الأخشاب ذات القيمة الاقتصادية على مدى عدة سنوات إلى بضعة عقود. (Lambin.1999) بالنسبة لمؤلفين آخرين، فإن تدهور الغابات هو بشكل عام انخفاض في قدرة الغابة على توفير السلع والخدمات. (Sasaki and Putz 2009) ومن جانبنا، نعرف تدهور الغابات على انه انخفاض في كثافة الغطاء الحرجي مما يؤدي إلى تغيير في هيكل الغابات، مع فقدان الوظائف والتنوع البيولوجي والكتلة الحيوية، التي ترتبط عادة بالغابات الأولية، دون وجود تغير استخدام الأراضي.

ينجم تدهور الغابات عن حدث اضطراب واحد أو أكثر خلال فترة معينة. يمكن أن تكون هذه الاضطرابات ذات طبيعة مختلفة: قطع الأشجار، وإزالة المنتجات الخشبية أو غير الخشبية من الغابة، والصيد، والحرائق، والتغيرات في الظروف البيئية (بعد تجزئة الغابات على سبيل المثال)، وما إلى ذلك. وتختلف هذه الاضطرابات في شدتها وتكرارها.

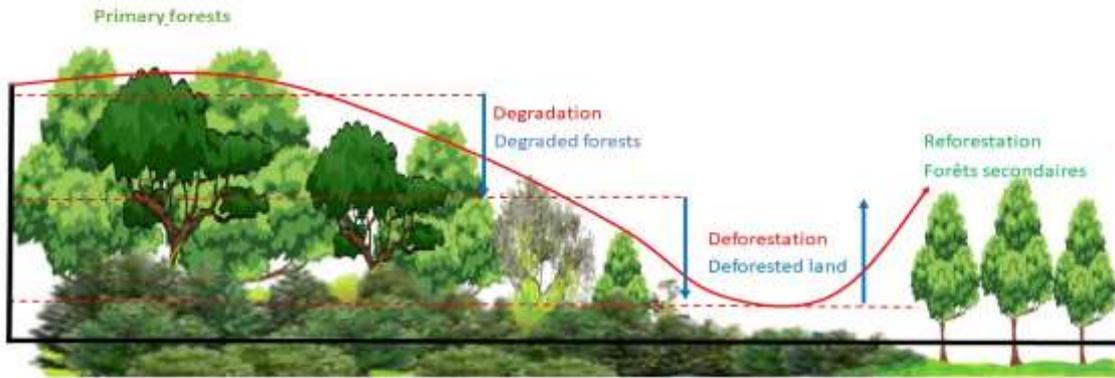
في منطقة الأمازون البرازيلية، تعد حرائق الغابات، والتجزئة الناجمة عن فتح الأراضي للزراعة، وقطع الأشجار الانتقائي للأخشاب، وجمع حطب الوقود لإنتاج الفحم النباتي، والرعي تحت الغطاء الحرجي، هي الاضطرابات الرئيسية المسؤولة عن تدهور، وتؤدي الحرائق، حتى ذات الشدة المنخفضة إلى تعديل تكوين الغابة وبنيتها. (Xaud, Martins, and Santos 2013) يؤدي قطع الأشجار الانتقائي أيضًا إلى تحولات في الغطاء الحرجي، فهو يخلق فجوات في قطع الأشجار بسبب إصابة الأشجار، مما يؤدي إلى زيادة وفيات الأفراد المتبقين ويساهم بشكل كبير في خسائر الكتلة الحيوي (Sist et al. 2014). إن خطط الإدارة المستدامة للغابات مطلوبة بموجب القانون في بعض البلدان مثل البرازيل، مما يحد من كثافة وتكرار قطع الأشجار للسماح بالتجديد، ولكن غالبية عمليات قطع الأشجار الانتقائية لا تتبع خطة إدارة ويتم إجراؤها بشكل غير قانوني.

### عواقب ومستقبل الغابات المتدهورة

ويقلل التدهور من قدرة الغابة على توفير السلع والخدمات (FAO 2002)، بما في ذلك التخفيف من آثار تغير المناخ. وعلى العكس من ذلك، فإن إزالة مخزون الكربون من الغابات المصحوب باحتراق المواد العضوية وتمعدنها يؤدي إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وخلال الفترة من ٢٠٠١ إلى ٢٠١٠، مثلت الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات ربع الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات (Federici et al. 2015). لكن دراسة حديثة تشير إلى أن التدهور يساهم بقوة أكبر حيث يأتي أكثر من ثلثي إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة من الغابات الاستوائية. تقدر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن تدهور الغابات بما يعادل ١,١ جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا في الفترة ٢٠١١-٢٠١٥ (FAO ٢٠١٧).

إن التغيرات في بنية الغابات لها آثار ضارة على التنوع البيولوجي، أن المناطق التي يضطرب فيها النشاط البشري تُغلق بالنباتات الثانوية بعد قطع الأخشاب أو بعد الحرائق وهذا الغطاء النباتي لا يتمتع بنفس خصائص الغطاء النباتي الأصلي ويتطلب عقودًا أو حتى قرونًا حتى يقترب من الغطاء النباتي الأصلي. يؤدي تدهور الغابات إلى تأثيرات متتالية أبرزها زيادة القابلية

للاشتعال وبالتالي زيادة المساحة المحروقة وتغير في التوازن الإشعاعي وتوازن الماء مما يؤثر على المناخ وضعف الأشجار والأوبئة. غالبًا ما يكون تدهور الغابات بمثابة مقدمة لتحويل الغابات وذلك لأن التدهور يضعف الغابة في مواجهة الحرائق والجفاف ويقلل من فائدتها الاجتماعية والاقتصادية من خلال ندرة الأصول الخشبية وغير الخشبية التي تحتوي عليها (Mollicone et al 2007). لكن الغابة لديها القدرة على التجدد على المدى الطويل للعودة إلى حالة التوازن، حتى لو كان ذلك قد يستغرق قرونًا (Chazdon et al. 2016). تؤثر العوامل الخاصة بالموقع على قدرة الغابة على التجدد منها المناخ (هطول الأمطار وتوزيعه السنوي، والتبخير المحتمل، وأشعة الشمس)، وانحدار واتجاه المنحدرات، ونوع التربة وعمقها، وما إلى ذلك (Holl, Karen. 2002). وتختلف هذه العوامل مكانيا على مستويات مختلفة. ان التجديد في الغابة ليس مجرد عكس التدهور، لأنه يمكن أن يتبع مسارًا مختلفًا (Haapalehto et al. 2017). وبالتالي فإن الغابات المتدهورة تمثل حالة انتقالية إما أن تتجدد (لاستعادة خصائص الغابة الناضجة) أو تتدهور أكثر وربما تختفي (ثم يعقب التدهور إزالة الغابات). وفي الواقع تظل هذه المسارات غير مفهومة بشكل جيد كما في (الشكل رقم ١).



الشكل 1. يوضح مستويات ومراحل دورة التدهور والتجديد في غابات الأمازون منطقة الدراسة .

المؤشر المستخدمة لدراسة ظاهرة تدهور الغابات

حدد العالم (Thompson et al 2013) خمسة أهداف يجب أن تغطيها مؤشرات التدهور: الإنتاجية، والتنوع البيولوجي، والاضطرابات غير العادية، وتخزين الكربون، ووظائف الحماية. وقام بقياس المتغيرات التالية: كثافة الأشجار، ومتوسط ارتفاعها، ومتوسط قطرها، والمساحة القاعدية، وكثافة تجدد الأشجار. تم قياس متغيرات مثل كثافة الأشجار والمساحة القاعدية وحطام الخشب الخشن (CWD) وإجمالي مخزون الكربون السطحي (TAGC) في الغابات الأولية غير المضطربة ومقارنتها بتلك الموجودة في الغابات المتدهورة لدراسة آثار التدهور على التغيرات في بنية الغطاء النباتي ومخزونات الكربون (Berenguer et al. 2015).

وبشكل أكثر تحديداً، قام (Silva et al. 2018) بدراسة ديناميكيات الكتلة الحيوية للغابات في مرحلة ما بعد الحرائق وقاموا بتقييم الوقت اللازم لاستعادة الغابات المتضررة من الحرائق، ولكن هذه المؤشرات التي يتم تقييمها من خلال القياسات الميدانية لا يمكن رصدها إلا في مناطق صغيرة نسبياً ومن خلال تعبئة موارد فنية ومالية كبيرة.

يوفر النهج غير المباشرة لقياس التدهور في الغابات مؤشرات كمية للتدهور من خلال بيانات الغابات التجارية عند استثمارها (كميات قطع الأشجار) بالإضافة إلى بيانات غير مباشرة من الأسواق المحلية (كميات الفحم، ومساحات حرائق الغابات) أو الإنتاج التقديري للأخشاب من المعامل، وإحصاءات التصدير. لكن هذه الأساليب محدودة في المناطق التي لا يمكن الاعتماد على التعدادات فيها، وحيث لا يتم الإعلان عن كل الإنتاج ولا يدخل في دوائر التوزيع القانونية. ويستبعد هذه النهج أيضاً أي تقييم للعواقب على الكتلة الحيوية وديناميكيات الغابات وتقسيمها المكاني.

### هدف الدراسة

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو عرض مختلف الاساليب لتقدير تدهور الغابات و إيجاد طريقة حديثة قادرة على تحديد ورسم خرائط لأنواع ومستويات مختلفة من تدهور الغابات في للمساحات الكبيرة، حيث تبلغ مساحة الدراسة حوالي ٢٠٠٠٠٠ كيلومتر مربع. يعد هذا التحديد مهماً لتقدير الكتلة الحيوية والبصمة الكربونية والتنوع البيولوجي والدورات المناخية والمياه لإجراء مزيد من البحوث. ان التمييز ورسم خرائط لدرجات التدهور المختلفة ذات اهمية كبيرة فيما يتعلق ببنية الغابات. وكذلك تحديد الأنشطة البشرية الرئيسية المسؤولة عن التدهور: الحرق غير المنضبط للمراعي المجاورة، والفحم، وقطع الأشجار الانتقائي، وإزالة الغابات. من خلال تحليل

مسار البكسلات، مع تكرار واتساع الاضطرابات، يمكننا تحديد بعض الأنشطة البشرية في الغابة.

### الفرضية الدراسة

يمكن ملاحظة الاضطرابات البشرية (السعة، التردد) باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي وعن طريق الاستشعار عن بعد، هذا ويعتبر النهج المكاني والزمني المناسب لتحديد مستويات التدهور: يعد مسار البكسل مفيداً للكشف عن الاضطرابات واتجاهات الاضطراب واستعادة نمو الغابات.

كذلك يمكن أن يؤدي الاستخدام المشترك لأجهزة الاستشعار المختلفة مع البيانات الميدانية الجغرافية إلى إنتاج معرفة مكانية وزمانية عن تدهور الغابات. وبما أن نماذج السلاسل الزمنية للمرتبات الفضائية تستخدم مؤشر الغطاء النباتي للإشارة إلى الاضطرابات التي يمكن أن تحدث فئات وأشكال التدهور، فمن الضروري تحليل المرتبات الفضائية بطرق تكميلية مختلفة للحصول على النتائج ذات الصلة.

### منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة ضمن بلدية باراجوميناس هي تقع في شرق الأمازون في ولاية بارا، على بعد ٣٠٠ كيلومتر جنوب مدينة بيليم، على طول الطريق السريع الفيدرالي BR-010 الذي يربط مدينة بيليم ببرازيليا العاصمة (الشكل ١). تقع المدينة الرئيسية، باراجوميناس، عند ٢,٩٩٥ درجة جنوباً و ٤٧,٣٥٣ درجة غرباً (بالدرجات العشرية) على ارتفاع ٩٠ متراً. تبلغ مساحة البلدية ١٩,٣٩٥ كيلومتر مربع، أي ١,٥% من مساحة ولاية بارا. بلغ عدد سكان باراجوميناس حوالي ١١٠,٠٢٦ نسمة في عام ٢٠١٧ وتبلغ الكثافة السكانية ٥,٠٦ نسمة/كم<sup>2</sup> (IBGE 2018). تحد البلدية خمس بلديات أخرى في بارا: إبيكسونا دو بارا ونوفا إسبيرانكا دو بيريا من الشمال، أوليانوبوليس، جويانيسيا دو بارا ودوم إيسيو من الجنوب. يحدها من الشرق ولاية مارانهاو. في الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠٠٧، بلغ متوسط معدل النمو السكاني ٢,٥% سنوياً، بانخفاض مقارنة بال عقود السابقة: ٤,٢% سنوياً في التسعينيات، و ٤,٠% سنوياً في الثمانينيات و ١٢,٦% سنوياً النسبة المئوية سنوياً في السبعينيات (Pinto et. El. 2009).

يتمحور النشاط الاقتصادي لباراجوميناس حول الخدمات والقطاع الأساسي مع الزراعة الأسرية والزراعة التجارية ( بشكل رئيسي تربية الماشية ومحاصيل الحبوب: فول الصويا والذرة والذرة الرفيعة)، وقطع الأشجار، والمشاجر الصناعية، وتعددين البوكسيت (يقع أحد أكبر مناجم

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي  
الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

البوكسيت في البرازيل في الشمال الغربي من البلدية). تعد باراجوميناس إحدى بلديات بارا التي تتمتع بأعلى إنتاج نباتي وحيواني (Alves, Carvalho, and Silva 2014). المناخ حار ورطب، ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية ٢٦ درجة مئوية، ومتوسط الرطوبة النسبية ٨١%. ويبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي ١٨٠٠ ملم، ويمتد موسم الأمطار من ديسمبر إلى مايو. ٩٠% من الأمطار السنوية تسقط خلال موسم الأمطار (Pinto et al 2009). من يونيو إلى نوفمبر، يبلغ متوسط هطول الأمطار الشهري أقل من ١٠٠ ملم. شهر. تقع باراجوميناس في "قوس إزالة الغابات"، الذي يضم الحافة الشرقية والجنوبية للغابات عبر ولايات مارانهاو وبارا وتوكانتينز وماتو غروسو وروندونيا. شهدت المنطقة عمليات إزالة الغابات بشكل كبير منذ وصول المهاجرين الى المنطقة في ستينيات القرن الماضي، وحدثت تحولات كبيرة في الغابات بعد استبدالها لأراضي سكنية وزراعية ومراعي، وازدادت معدلات ازالة الغابات في التسعينات حتى وضعت البلدية ضمن القوائم السوداء، اتبعت البلدية نظام التنمية المستدامة لكي تخرج من قائمة البلديات الأكثر إزالة للغابات في البرازيل وحصلت على امتيازات اقتصادية في المقابل.



الشكل رقم ١. يوضح منطقة الدراسة ضمن قارة أمريكا الجنوبية وضمن دولة البرازيل.

### استخدام الاستشعار عن بعد في دراسة وتقييم تدهور الغابات

يستخدم الاستشعار عن بعد لتقييم تدهور الغابات وتحديد أسباب التدهور في مناطق واسعة من أجل تحسين إدارة الغابات وتحديد الأولويات وتنفيذ الإجراءات لوقف وعكس اتجاه عملية التدهور

لأنه يقوم على الكشف عن السمات الفيزيائية الحيوية وتطورها الزمني. ومع ذلك، فإن تحديد وتوصيف تدهور الغابات أمر صعب لأنه أقل وضوحاً من إزالة الغابات ولأن البصمة الطيفية لقطع الأشجار وحرائق الغابات تتغير بسرعة مع سد الفجوات. وتتنوع الاضطرابات أيضاً بمرور الوقت في نفس المنطقة فعلى سبيل المثال، القطع الانتقائي للأخشاب يليه استخراج الفحم أو حرائق الغابات، مما يشكل عائقاً أمام تطوير طرق لتقييم الحالة العامة للتدهور الناتج. تعتبر الغابة أيضاً حساسة للتقلبات المناخية حيث يمكن أن تؤدي سنوات الجفاف إلى انخفاض في نشاط التمثيل الضوئي الذي يمكن الخلط بينه وبين تأثير النشاط البشري. ولذلك فإن رصد تدهور الغابات باستخدام الاستشعار عن بعد هو عمل معقد. ويتطلب بناء مؤشرات طيفية وتحليلها زمانياً ومكانياً مع مراعاة الظروف الخاصة بالموقع وتنوع العوامل الطبيعية (Lambin Eric F. 1999). إن تدهور الغابات هو عملية متوسطة أو طويلة الأجل تتطلب بالتالي أساليب مناسبة للكشف عن الاضطرابات في خطوة زمنية دقيقة بما فيه الكفاية ورصد الاثار مع مرور الوقت. وتنقسم طرق القياس بشكل عام الى طريقتين يتفرع منها عدة طرق وهي:

#### ١. النهج غير المباشرة

يتركز النهج غير المباشرة على التوزيع المكاني للبنى التحتية البشرية مثل شبكات الطرق وساحات الأخشاب والمناطق الحضرية كدليل واضح على نشاط قطع الأشجار. تكون الأساليب غير المباشرة مفيدة عندما تكون شدة التدهور منخفضة (ضرر منخفض لمظلة الغابة) (Herold et al. 2011)، وتكون المنطقة المعنية كبيرة حيث يقل توفر الصور لها أو عندما لا يمكن تطبيق النهج المباشر لأي سبب من الأسباب (FAO ٢٠١١). ومثال عليها ما يلي:

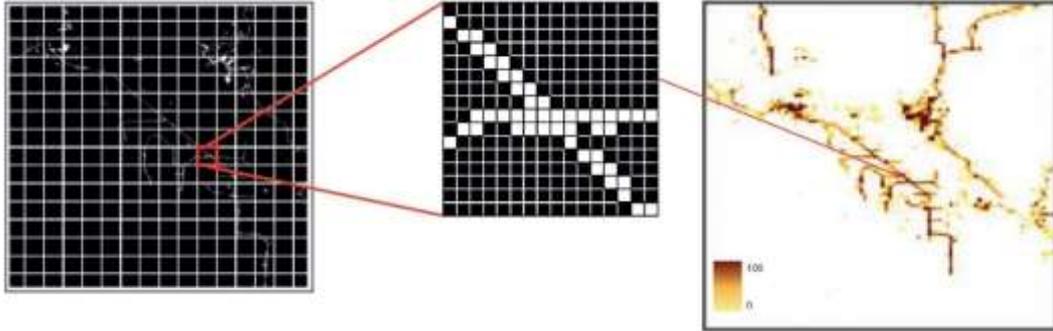
#### ١.١. طريقة انفتاح الغطاء الحرجي (مظلة الغابة)

تم تطوير هذه الأداة كجزء من مشروع CoForChange الذي تتمثل أهدافه في التنبؤ بآثار التغيرات العالمية على البنية والتكوين الزهري لمجموعات الغابات في حوض الكونغو (CoForChange 2009). تعتمد الأداة على نهج غير مباشر وهي تنفذ سلسلة معالجة شبه آلية تتكيف مع صور Landsat. في مرحلة ما بعد المعالجة، يتم استخراج المعلومات المتعلقة بفتح المظلة باستخدام خوارزميات محددة (الشكل ٢). يشير المؤشر المكاني الذي تمت معايرته باستخدام بيانات قياس إشعاعي منخفضة الدقة، إلى معدلات الافتتاح السابقة والحالية. ويتم بعد ذلك مقارنة هذه التقديرات مع خرائط الغطاء الأرضي من أجل التمييز بين فئات الغابات الحالية (Burbier et al. 2013).

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية

مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل



الشكل ٢. مؤشر انفتاح المظلة باستخدام تحديد الأرض العارية باستخدام مرئيات القمر LANDSAT توفر هذه المنهجية تقديرات لانفتاح المظلة مع نسبة تربة عارية تتراوح من ٠ إلى ١٠٠% (Burbier et al. 2013).

## 2. النهج المباشر

يركز النهج المباشر للكشف عن عمليات الاضطراب التي تؤدي إلى التدهور على تحليل حالة الغطاء الحرجي من خلال الكشف عن التغيرات في ديناميكيات الظلة (الفجوات، ومسار قطع الأشجار، ومنطقة تخزين الاخشاب داخل الغابة) المستخرجة بواسطة صور الأقمار الصناعية (Mikwa, Gossens, and Defourny 2016) ومثال عليها ما يلي:

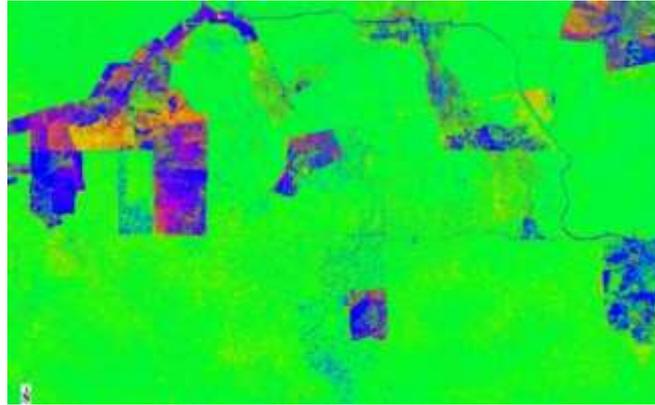
### ١,٢. نهج المرة واحدة

تعتمد الأساليب لمرة واحدة على تحليل الصورة في تاريخ معين. يتضمن ذلك اكتشاف الاضطرابات في غطاء الغابة بكسلاً تلو الآخر باستخدام التوقعات الطيفية المقاسة، حيث تختلف خصائص الانعكاس الطيفي للغابات بسبب الاختلافات البيولوجية والهياكل المرتبطة بتكوين الأنواع.

### ١,٢,١. برنامج كلاسلت (CLASlite)

يعد نظام تحليل كارنيجي لاندسات (CLASlite) أداة تعتمد على نموذج الفصل الطيفي وتصنيف شجرة القرار. تم تطوير الأداة من قبل معهد كارنيجي. وقد تم تصميمه لتقييم اضطرابات الغابات في مناطق واسعة من منطقة الأمازون البرازيلية (Gregory P. Asner et al. 2005a). إنه نظام معالجة تلقائي يقوم بتحويل صور الأقمار الصناعية من تنسيقها الخام الأصلي إلى نطاقات مختلفة من خلال المعايرة والمعالجة المسبقة وتصحيح الغلاف الجوي وإخفاء السحابة وإلغاء خلط الإشارة الطيفية باستخدام خوارزمية مونت كارلو (AutoMCU). يتيح CLASlite التمييز بين أجزاء النباتات التي تقوم بالتمثيل الضوئي (PV)، والنباتات غير التي تقوم بالتمثيل الضوئي (NPV) (المواد الكربونية الجافة مثل النباتات الميتة، والنباتات

الهرمة، والخشب) والتربة العارية (S) (التربة المزروعة، والصخور، والمباني، الطرق والمسارات وما إلى ذلك). وبالتالي فإن CLASlite قادر على اكتشاف أنشطة إزالة الغابات وتدهورها، وتحويل صور الأقمار الصناعية الأولية إلى خرائط تفصيلية تمثل إزالة الغابات وتدهورها، إما من خلال قطع الأشجار أو الحرائق. وفي (الشكل ٣) نرى باللون الأزرق المناطق التي تكون الأرض فيها مغطاة بنباتات الأعشاب، كما هو الحال في المروج والمسارات في موسم الجفاف، وباللون الأحمر المناطق التي تكون الأرض فيها جرداء، وهي الأراضي المزروعة سنويا، يمثل اللون الأخضر نباتات التمثيل الضوئي الغابات. يظهر المسار الرئيسي بوضوح باللون الأزرق الخطي، كما تكون مسارات سحب الجذوع مرئية أيضًا ولكنها أكثر إضعافًا عن طريق الاختلاط باللون الأخضر. تظهر فجوات القطع الانتقائية كنقاط زرقاء متباعدة عن بعضها البعض.



الشكل ٣. مثال على مخرجات معالجة CLASlite التي تحدد التغطية الكسرية، نرى باللون الأزرق مناطق النباتات الميتة، واللون الأخضر النباتات الحية، اللون الأحمر التربة العارية.

١،٢،٢. طريقة NDFI (مؤشر كسر الاختلاف الطبيعي). يُستخدم مؤشر NDFI لكشف ورسم خريطة لتدهور الغابات بسبب قطع الأشجار الانتقائي وحرائق الغابات. تُستخدم بيانات التغطية الكسرية لتقدير مؤشر كسر الاختلاف المعياري NDFI (Darmawan and Sofan 2012).

يتم تحديده باستخدام الصيغة التالية، بناءً على نتائج CLASlite:

$$NDFI = \text{ظل القيمة الحالية} - (\text{صافي القيمة الحالية} + \text{التربة}) / \text{ظل القيمة الحالية} + \text{صافي القيمة الحالية} + \text{التربة}$$

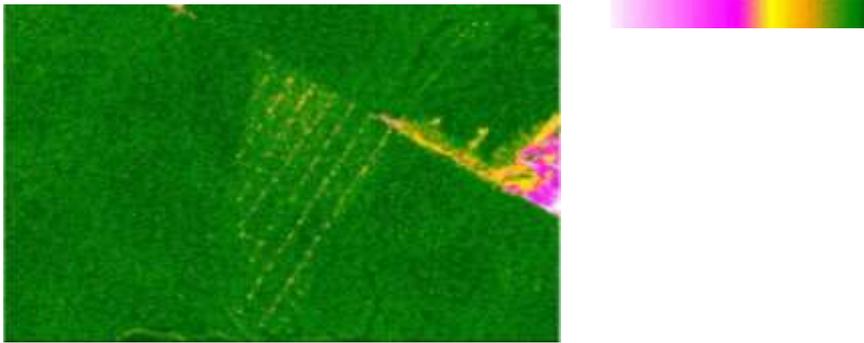
حيث GVshade هو جزء GV المقاس من الظل، ويُعطى بواسطة:  $GVshade = GV/100$

– الظل

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي  
الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

من الناحية النظرية، تكون قيمة NDFI في الغابة السليمة مرتفعة (قريبة من ١) بسبب الجمع بين القيم العالية لـ GVshade والقيم المنخفضة لـ NPV وجزء التربة العارية. مع تدهور الغابة، ستزداد أجزاء صافي القيمة الحالية والتربة العارية، مما يؤدي إلى انخفاض قيم NDFI



الشكل ٤. مثال على قياس تدهور الغابات باستخدام مؤشر NDFI

### ١,٢,٣. طريقة التصنيف

تجمع هذه الطرق بين مزايا التحليل السياقي للتفسير البصري والمعلومات الطيفية الكمية، وبالتالي فهي تمثل رصيذاً مهماً عند تصنيف الخليط المعقد من الأغذية النباتية المختلفة في المناطق المتدهورة (Rahm et al 2013). يمكن استخلاص خرائط تدهور الغابات من خلال إجراءات آلية تعتمد على البكسل أو الكائنات. يقتصر تصنيف البيانات الرقمية على البكسلات، وهي عينة عشوائية تمثل متوسط الاستجابة الطيفية لجميع الكائنات الموجودة في البكسل (Mikwa, 2016). (Gossens, and Defourny 2016).

تستخدم أجهزة استشعار متوسطة الدقة مثل Landsat و SPOT بالإضافة إلى صور عالية الدقة، مثل RapidEye أو QuickBird أو WorldView، لرسم خريطة مباشرة لأضرار الغطاء الحرجي من خلال التصنيف (Desclée, Bogaert, and Defourny 2010).

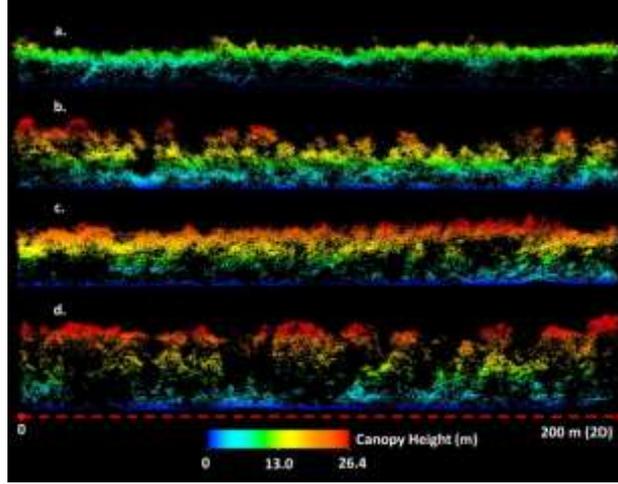
### ١,٢,٤. إنشاء هيكل ثلاثي الأبعاد باستخدام الليدار

الاستشعار عن بعد بتقنية Lidar هو تقنية جديدة لتطبيقات الغابات. يتم حساب ارتفاع المظلة عن طريق طرح ارتفاعات المراجعات الأولى والأخيرة لإشارة الليدار (طاقة الليزر). جهاز Lidar قادر على توفير بيانات مثل هياكل الغابات ثلاثية الأبعاد التي تميز ارتفاعات الغطاء النباتي (الشكل ٥)، والتوزيع الرأسي لمواد المظلة، وحجم التاج، والتضاريس تحت المظلة، والكتلة الحيوية، وتنوع أوراق الشجر، وارتفاع التاج، وكثافة الأشجار الكبيرة، ومساحة الأوراق مؤشر التنوع

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

الفيزيوجرافي (World 2009). تم استخدام مقاييس الليدار لتقدير ارتفاع المظلة بدقة ( Drakea et al. 2001). كما تم استخدام LIDAR أيضًا لتقدير الكتلة الحيوية.



الشكل ٥. قياس بنية الغابة بشكل ثلاثي الأبعاد، والارتفاع بالمتر باستخدام تقنية Lidar، صورة من عمل الباحث.

### ١,٣.. النهج الزمنية

يعد تحليل السلاسل الزمنية أمرًا مهمًا لتحديد وقياس الاضطراب في غطاء الغابات الاستوائية، خاصة عندما يتم تنفيذه بخطوات زمنية منتظمة ومتكررة. يعد اضطراب الغطاء الحرجي ظاهرة عابرة يصعب اكتشافها باستخدام صورة واحدة عبر الأقمار الصناعية لأن الغطاء النباتي الثانوي يخفي الضرر بسرعة أكبر أو أقل. بالإضافة إلى ذلك، من المهم مراقبة إعادة تكوين الغطاء النباتي مع مرور الوقت. وتتيح السلاسل الزمنية للبارامترات المستمدة من الاستشعار عن بعد (مؤشرات الغطاء النباتي، والمتغيرات الفيزيائية الحيوية، وما إلى ذلك) توصيف أنواع مسارات تدهور الغابات. الأدوات مخصصة خصيصًا لتحليل السلاسل الزمنية لتحديد الأحداث التي تؤثر على الغطاء النباتي واتجاهات استعادة النشاط النباتي أو تقليله.

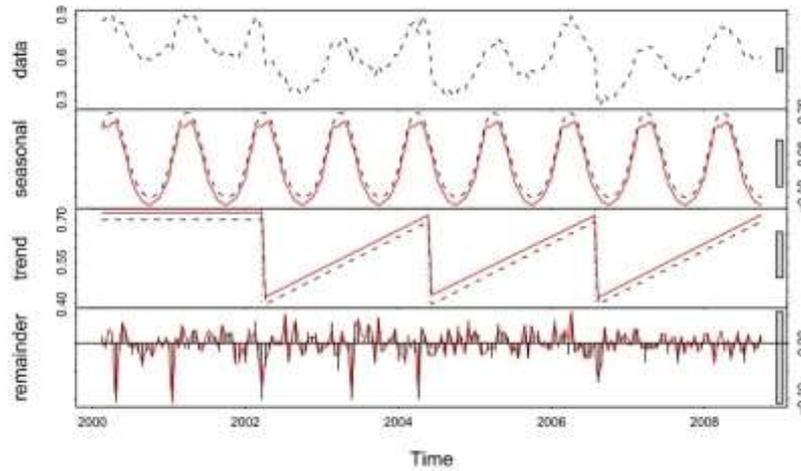
### ١,٣,١ BFAST (فترات الاستراحة للإضافات الموسمية والاتجاهات)

توفر حزمة برامج BFAST (Verbesselt, Jan, Achim Zeileis, et Rob Hyndman. ) وظائف عامة لرصد التغيير المستمر، من أجل اكتشاف وتوصيف التغييرات المفاجئة في المكونات الموسمية (الفواصل) واتجاهات التغيير. ويصف BFAST التغيير من خلال حجمه واتجاهه. ويمكن تعيين النتائج (الشكل ٦). لقد أصبحت أداة قيمة لفحص فترات الراحة في سلسلة زمنية. يمكن تطبيقه على أي سلسلة من صور الأقمار الصناعية، على سبيل المثال MODIS

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

أو Landsat أو Rapid Eye أو RADAR. وبالتالي يتم استخدام BFAST لاكتشاف وتوصيف التغيرات المكانية والزمانية في المناظر الطبيعية للغابات باستخدام صور الأقمار الصناعية (MODIS) المنخفضة الدقة. Verbesselt et. al. 2010، في مناطق مختلفة من العالم، كما هو الحال على سبيل المثال بالنسبة لديناميكيات الغطاء النباتي في كيبك (Fang et al. 2018) أو لدراسة الاستجابة الفينولوجية السنوية لأنواع الغطاء النباتي السائد في جنوب لاوس (Phompila et al. 2014). ومع ذلك، فإن BFAST مقيد بتوفر البيانات لتشكل سلسلة زمنية خالية من السحابة وبالحاجة إلى سعة تخزين وذاكرة كبيرة لمعالجة البيانات. في المثال الموضح في الشكل ١٢، تم الكشف عن ثلاث نقاط انقطاع في مكون الاتجاه المقدر (في بداية عام ٢٠٠٢ و٢٠٠٤ و٢٠٠٦) بعد أن استنتج من الاستجابة الطيفية مكوناً موسمياً وضوضاء عشوائية.



الشكل ٦. التحليل باستخدام BFAST لسلسلة زمنية NDVI إلى ثلاثة مكونات: موسمية، واتجاهية، وعشوائية. تأتي البيانات من صور MODIS (MOD13Q1) بدقة مكانية ٢٥٠ مترًا على فترات زمنية مدتها ١٦ يومًا.

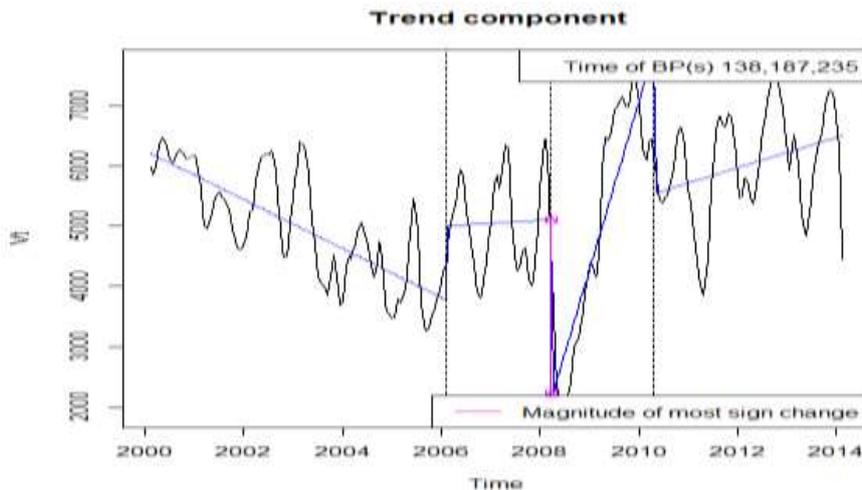
### البيانات وطريقة العمل

تتمتع MODIS-EVI بدقة تبلغ ٢٥٠ مترًا ويتم جمع بيانات MODIS-EVI في خطوة زمنية شهرية ويتم حساب متوسط مؤشر الضعف الاقتصادي خلال هذه الخطوة الزمنية نفسها نستخدم BFAST مع سلسلة زمنية MODIS 2000-2014 (دقة ٢٥٠ مترًا). تتحكم معلمة BFAST الحساسة، المسماة  $h$ ، في العدد المحتمل للانقطاعات التي تم اكتشافها أثناء السلسلة الزمنية. وهي تساوي الحد الأدنى لطول كل جزء مقسومًا على الطول الإجمالي للسلسلة الزمنية، وتؤثر

على تاريخ واحد من الانقطاعات كحد أقصى. نحن نختبر حساسية h. تم تطبيق BFAST في مناطق مختلفة حول العالم (سيبيريا وألاسكا...) لتحديد الاضطرابات في الغابات ولكن فقط على عدد قليل من وحدات البكسل، وليس على مناطق كبيرة - وهو أمر ضروري للبرمجة باستخدام برنامج R.

### النتائج والمناقشة

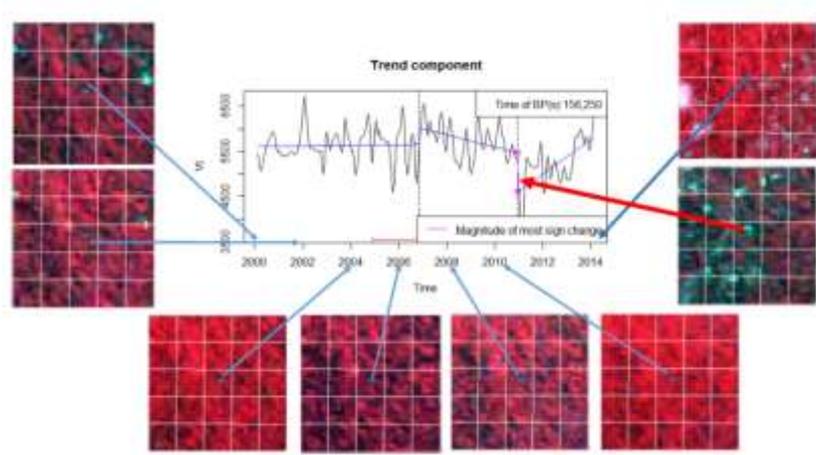
نحن نستخدم حزمة BFAST مع السلسلة الزمنية لصور MODIS (EVI) 2000-2016 لاكتشاف وتوصيف التغييرات المفاجئة (الفواصل) في المكونات الموسمية والاتجاهية (Verbesselt, J., et al., 2010). ويميز BFAST التغير بمقداره واتجاهه، ويستطيع تقدير الحد الأقصى للفواصل وتاريخ انقطاعها. نعمل حالياً على كشف حجم وتاريخ وعدد الفواصل وكذلك المنحدرات بين الفواصل. في الشكل ٧، نعرض النتيجة على بكسل واحد من العملية الحسابية التي أجريناها باستخدام BFAST في Paragominas. تم اكتشاف فجوة واضحة في بداية عام ٢٠٠٨، مما كشف عن اضطراب مفاجئ في نشاط التمثيل الضوئي، أعقبه انتعاش سريع إلى حد ما. ويمكن عرض النتيجة مكانياً، كما في (الشكل ٨)، حيث يتم تسليط الضوء على سعة التغير الأقصى (أقوى كسر) خلال فترة الدراسة من عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠١٥. تتوافق القيم الإيجابية مع انتعاش أكبر لنشاط التمثيل الضوئي من الحد الأقصى للانخفاض. تمثل القيم السالبة المساحات الأكثر تأثراً بقسوة بانخفاض نشاط التمثيل الضوئي (عندما لا يكون مقنعاً بالانتعاش القوي).



الشكل ٧. رسم بياني BFAST يحلل سلسلة زمنية NDVI على بكسل في Paragominas. تقوم الأداة بتقدير اتجاهات النمو والانخفاض في نشاط النبات والفواصل (يتم الإشارة إلى الحد الأقصى للفواصل باللون الأرجواني)

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي  
الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل



الشكل ١٤. الكشف عن سعة التغيير الأقصى بواسطة BFAST على سلسلة زمنية من صور (Landsat) (٢٠١٥-٢٠٠٠) في باراجوميناس. المناطق الحمراء هي المناطق المتأثرة بتمزق قوي يمكن استيعابه في ممارسة التدهور السريع، أما المناطق الخضراء فهي المساحات التي تشهد نمواً قوياً للنباتات.

إن تحليل سلسلة زمنية MODIS لتقدير حجم واتجاه نقطة التوقف القصوى أمر مهم للكشف عن التغيرات المفاجئة داخل الاتجاه ووصفها. تكشف القيم الإيجابية عن نمو الغابات، وتكشف القيم السلبية عن إزالة الغابات أو تدهورها. الصعوبة الرئيسية هي الوقت الذي يستغرقه الكمبيوتر لحساب الخريطة. نحن نعمل الآن على تثبيت حزمة لزيادة سعة الكمبيوتر. أظهرت مقارنة النتائج الأولى على منطقة صغيرة من نقاط حقل GPS وصفا دقيقة نسبياً وتفسيراً بصرياً لنقاط Google Earth. أعمل أيضاً على بناء خرائط لعدد فترات التوقف وتواريخ فترات التوقف لإكمال التحليل.

#### الاستنتاجات

إن تدهور الغابات مفهوم له أبعاد عديدة ويخضع لتعريفات مختلفة لتوضيح الظاهرة التي ركز عليها التحليل. وقد أوضح البحث أيضاً أن التقييمات تختلف كثيراً باختلاف المؤلفين والأساليب التي يستخدمونها. وذكرت مفصلاً بعد ذلك الأساليب التي تم تطويرها في الأدبيات العلمية لقياس تدهور الغابات الاستوائية، والمؤشرات التي تهدف إلى الحصول عليها. وقمت بالأخير باستخدام النهج الزمني المتضمن استخدام السلاسل الزمنية من البيانات لوصف اضطراب الغابات مع حزمة BFAST مع السلسلة الزمنية لصور 2000-2016 (EVI) MODIS لاكتشاف وتوصيف التغييرات المفاجئة (الفواصل) في المكونات الموسمية والاتجاهية، وقد اثبتت كفاءة عالية ودقة في وصف التدهور زمانياً ومكانياً وكيمياً.

المصادر:

- 1) Alves, L. W. R., E. J. M. Carvalho, et L. G. T. Silva. 2014. « Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA. », juin. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/988380>.
- 2) Asner, Gregory P., Michael Keller, Marco Lentini, Frank Merry, and Souza Jr Carlos. 2009. “Selective Logging and Its Relation to Deforestation.” *Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series. Vol. 186. Washington, DC: American Geophysical Union. p. 25-42., 25–42.*
- 3) Berenguer, Erika, Toby A. Gardner, Joice Ferreira, Luiz E. O. C. Aragão, Plínio B. Camargo, Carlos E. Cerri, Mariana Durigan, Raimundo C. Oliveira Junior, Ima C. G. Vieira, and Jos Barlow. 2015. “Developing Cost-Effective Field Assessments of Carbon Stocks in Human-Modified Tropical Forests.” *PLOS ONE* 10 (8): e0133139. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133139>.
- 4) Bourbier, Lucas, Guillaume Cornu, Alexandre Pennec, Christine Brognoli, and Valéry Gond. 2013. “Large-Scale Estimation of Forest Canopy Opening Using Remote Sensing in Central Africa.” *Bois et Forêts Des Tropiques*, no. 3015, 3–9.
- 5) Chazdon, Robin L., Pedro H. S. Brancalion, Lars Laestadius, Aoife Bennett-Curry, Kathleen Buckingham, Chetan Kumar, Julian Moll-Rocek, Ima Célia Guimarães Vieira, et Sarah Jane Wilson. 2016. « When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration ». *Ambio* 45 (5): 538-50. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>.
- 6) Darmawan, Yahya, and Parwati Sofan. 2012. “Comparison of The Vegetation Indices to Detect The Tropical Rain Forest Changes Using Breaks for Additive Seasonal and Trend (BFAST) Model.” *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)* 9 (1). <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2012.v9.a1823>.
- 7) Desclée, Baudouin, Patrick Bogaert, and Pierre Defourny. 2010. “Forest Change Detection by Statistical Object-Based Method.” 2010. /paper/Forest-change-detection-by-statistical-object-based-Descl%C3%A9e-Bogaert/879d770013f68a58ce4805c35317b0c986f1e407.
- 8) Drakea, Jason B., Ralph O. Dubayaha, David B. Clarkb, Robert G. Knox, J. Bryan Blair, Michelle A. Hoftona, Robin L. Chazdone, John F. Weishampelf, and Stephen D. Princea. 2001. “Estimation of Tropical Forest Structural Characteristics Using Large-Footprint Lidar.” 2001. /paper/Estimation-of-tropical-forest-structural-using-Drakea-Dubayaha/1316dc9f62a189c5d7f5d000c1ec446100cc6020.
- 9) Fang, Xiuqin, Qiuhan Zhu, Liliang Ren, Huai Chen, Kai Wang, and Changhui Peng. 2018. “Large-Scale Detection of Vegetation Dynamics and Their Potential Drivers Using MODIS Images and BFAST: A Case Study in Quebec, Canada.” *Remote Sensing of Environment* 206 (March):391–402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.017>.

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي  
الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

- 10) FAO. 2011b. “Mesurer La Degradation Des Forets.” Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture, Revue internationale des forêts et des industries forestières, Vol. 62 2011/2.
- 11)———. 2017. “Monitoring Deforestation and Forest Degradation.” *FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean*. <http://www.fao.org/3/a-bt193e.pdf>.
- 12) Federici, Sandro, Francesco N. Tubiello, Mirella Salvatore, Heather Jacobs, et Josef Schmidhuber. 2015. « New estimates of CO2 forest emissions and removals: 1990–2015 ». *Forest Ecology and Management*, Changes in Global Forest Resources from 1990 to 2015, 352 (septembre): 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.022>.
- 13) Grainger, A. 1993. “Controlling Tropical Deforestation.” p.310. Earthscan Publications Ltd, London.
- 14) Haapalehto, Tuomas, Riikka Juutinen, Santtu Kareksela, Markku Kuitunen, Teemu Tahvanainen, Hilja Vuori, et Janne S. Kotiaho. 2017. « Recovery of plant communities after ecological restoration of forestry-drained peatlands ». *Ecology and Evolution* 7 (19): 7848-58. <https://doi.org/10.1002/ece3.3243>.
- 15) Herold, Martin, Rosa María Román-Cuesta, Danilo Mollicone, Yasumasa Hirata, Patrick Van Laake, Gregory P. Asner, Carlos Souza, Margaret Skutsch, Valerio Avitabile, and Ken Macdicken. 2011. “Options for Monitoring and Estimating Historical Carbon Emissions from Forest Degradation in the Context of REDD+.” *Carbon Balance and Management* 6 (1): 13. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-6-13>.
- 16) Holl, Karen. 2002. « Tropical moist forest ». In , 2:539-58. Published in Handbook of Restoration. Vol II. 2002. Cambridge University Press. M. Perrow and A. Davy (eds.). Pages 539-558.
- 17) IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. « População no último censo, Paragominas ». 2018. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/paragominas/panorama>.
- 18) Lambin, Eric F. 1999. “Monitoring Forest Degradation in Tropical Regions by Remote Sensing: Some Methodological Issues.” *Global Ecology and Biogeography* 8 (3–4): 191–98. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00123.x>.
- 19) Lund, Gyde. 2009. “What Is a Degraded Forest?” ResearchGate. 2009. [https://www.researchgate.net/publication/280921178\\_What\\_is\\_a\\_degraded\\_forest](https://www.researchgate.net/publication/280921178_What_is_a_degraded_forest).

- 20) Mikwa, J. F., R. Gossens, and P. Defourny. 2016. "Forest Degradation, a Methodological Approach Using remote Sensing Techniques: Literature Review." *International Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 24 No. 1 Jun. 2016, pp. 161-178. Memoire Online. 2016. [https://www.researchgate.net/publication/304299267\\_Forest\\_degradation\\_a\\_methodological\\_approach\\_using\\_remote\\_sensing\\_techniques\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/304299267_Forest_degradation_a_methodological_approach_using_remote_sensing_techniques_A_review).
- 21) Mollicone, Danilo, Frédéric Achard, Sandro Federici, Hugh D. Eva, Giacomo Grassi, Alan Belward, Frank Raes, et al. 2007. « An Incentive Mechanism for Reducing Emissions from Conversion of Intact and Non-Intact Forests ». *Climatic Change* 83 (4): 477-93. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9231-2>.
- 22) Morales-Barquero, Lucia, Margaret Skutsch, Enrique J. Jardel-Peláez, Adrian Ghilardi, Christoph Kleinn, and John R. Healey. 2014. "Operationalizing the Definition of Forest Degradation for REDD+, with Application to Mexico." *Forests* 5 (7): 1653–81. <https://doi.org/10.3390/f5071653>.
- 23) Pinto, A., P. Amaral, C Souza, A. Verissimo, R. Salomão, G. Gomes, et C. Balieir. 2009. « Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório Técnico. » Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 65 p.,. 2009. <http://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/iagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>.
- 24) Phompila, Chittana, Megan Lewis, Kenneth Clarke, and Bertram Ostendorf. 2014. "Monitoring Temporal Vegetation Changes in Lao Tropical Forests." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 20 (1): 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/20/1/012054>.
- 25) Rahm, Mathieu, Joeri Van Wolvelaer, Anton Vrieling, and Benoit Mertens. 2013. "Detecting Forest Degradation In The Congo Basin By Optical Remote Sensing." In , 722:19. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ESASP.722E..19R>.
- 26) Sasaki, Nophea, and Francis E. Putz. 2009. "Critical Need for New Definitions of 'Forest' and 'Forest Degradation' in Global Climate Change Agreements." *Conservation Letters* 2 (5): 226–32. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00067.x>.
- 27) Silva, Camila V. J., Luiz E. O. C. Aragão, Jos Barlow, Fernando Espirito-Santo, Paul J. Young, Liana O. Anderson, Erika Berenguer, et al. 2018. "Drought-Induced Amazonian Wildfires Instigate a Decadal-Scale Disruption of Forest Carbon Dynamics." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 373 (1760). <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0043>.
- 28) Sist, Plinio, Lucas Mazzei, Lilian Blanc, et Ervan Rutishauser. 2014. « Large trees as key elements of carbon storage and dynamics after selective logging in the Eastern Amazon ». *Forest Ecology and Management* 318 (avril): 103-9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.005>.

لتقييم تدهور MODIS استخدام بيانات السلاسل الزمنية للقمر الاصطناعي  
الغابات في منطقة الأمازون البرازيلية

مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية  
مجلة علمية محكمة تصدر عن كلية التربية الأساسية – جامعة بابل

- 29) Thompson, Ian D., Manuel R. Guariguata, Kimiko Okabe, Carlos Bahamondez, Robert Nasi, Victoria Heymell, and Cesar Sabogal. 2013. "An Operational Framework for Defining and Monitoring Forest Degradation." *Ecology and Society* 18 (2). <https://doi.org/10.5751/ES-05443-180220>.
- 30) Verbesselt, Jan, Rob Hyndman, Glenn Newnham, and Darius Culvenor. 2010. "Detecting Trend and Seasonal Changes in Satellite Image Time Series." *Remote Sensing of Environment* 114 (1): 106–15. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>.
- 31) Verbesselt, Jan, Achim Zeileis, et Rob Hyndman. 2015. « Breaks For Additive Season and Trend (BFAST) ». <https://cran.r-project.org/web/packages/bfast/bfast.pdf>.
- 32) World, Geospatial. 2009. "Lidar Remote Sensing for Forest Ecosystem Studies in India." *Geospatial World* (blog). September 1, 2009. <https://www.geospatialworld.net/article/lidar-remote-sensing-for-forest-ecosystem-studies-in-india/>.
- 33) Xaud, Haron Abraham Magalhães, Flora da Silva Ramos Vieira Martins, et João Roberto dos Santos. 2013. « Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon ». *Forest Ecology and Management*, The Mega-fire reality, 294 (avril): 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.036>.