تقييم مؤشر المساحة المحترقة Burned Area Index (BAIS2) في إنتاج خرائط للمناطق المحترقة في محافظة اللاذقية

ربا محمد عيسى[1]* ومنى علي بركات[1] ومحمد منهل الزعبي[2] وعلا علي مرهج[3]

(1). قسم علوم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

(2). إدارة بحوث الموارد الطبيعية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية.

(3). الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، اللاذقية، سورية.

(*للمراسلة: م. ربا محمد عيسى: البريد الإلكتروني:rubaessa99@gmail.com)

تاريخ الاستلام: 2024/01/9 تاريخ القبول: 2024/04/21

الملخص

تقدم هذه الدراسة مؤشر المساحة المحترقةBurned Area Index (BAIS2)، استناداً إلى النطاقات الطيفية للقمر Sentinel-2، وذلك للكشف عن المناطق المحترقة بدقة مكانية 10 متر. تم اختبار المؤشر على(30 موقع) تعرض للحريق موزعة على المناطق الأربعة لمحافظة اللاذقية (منطقة اللاذقية، منطقة القرداحة، منطقة الحفة، منطقة جبلة) التي حصلت في 9-2020/10/10 م، من خلال تطبيق مؤشر الفصل وتمت مقارنة النتائج بمؤشر الحرق القياسي The Normalized Burn Ratio (NBR) والاختلاف في نسبة الحرق القياسي/dNBR/والتي تمت دراستها بشكل مفصل للمواقع المدروسة، واختبار دقة التصنيف وفقاً لقيم المؤشر المركب، أظهرت نتائج تقييم الحساسية الطيفية للمؤشرات المحسوبة للمنطقة المحروقة أداء جيد لمؤشر المساحة المحترقة، فقد أظهر مؤشر BAIS2 قدرة تمييز عالية للمناطق المحروقة على غرار مؤشر(NBR) المعتمد في أغلب الدراسات، حيث بينت الدراسة أن مؤشرات الفرق (dBAIS2 وdNBR) أعطت قيماً عالية لمؤشر الفصل في جميع المواقع بالمقارنة مع مؤشري المساحة المحترقة والحرق القياسي اللذين أظهرا قيماً متقاربة مع أفضلية لمؤشر المساحة المحترقة وفقاً للدقة الإجمالية التي بلغت(89.56)%بالنسبة لمؤشر المساحة المحترقة يقابلها(84.67)% بالنسبة لمؤشر الحرق القياسي، حيث يميز مؤشر المساحة المحترقة المناطق المحروقة التي تسود فيها إشارة الفحم، ولديه قدرة تمييز عالية للمناطق المحروقة في المجال الطيفي للنطاق الأحمر أكثر منNBR، وهذه الفروق ظهرت عند حساب مؤشرات الفرق (dBAIS2 وdNBR) كونها تعتمد على تقدير التغير في الغطاء النباتي، فقد تفوق مؤشر فرق المنطقة المحروقة (dBAIS2) بدرجة فصل عالية في جميع المواقع وكان أعلاها في منطقة القرداحة بمقدار(1.384)، وكذلك أظهر حساب معامل التباين(C.V%) للمؤشرات الطيفية أن مؤشر فرق المنطقة المحروقة(dBAIS2) أعطى أعلى قيم لمعامل التباين فقد تجاوزت 45% في جميع مواقع الدراسة وكان أعلاها في منطقة القرداحة بمقدار(51.2)%.

الكلمات المفتاحية: حرائق، محافظة اللاذقية، مؤشر الاختلاف في نسبة الحرق القياسي/dNBR/- مؤشر الفصل(SI)، مؤشر الحرق القياسي(NBR)، مؤشر المساحة المحترقة(BAIS2)، مؤشر فرق المنطقة المحروقة(dBAIS2).

المقدمة:

تعتبر حرائق الغابات عاملاً رئيسياً لحدوث الاضطرابات في النظم البيئية والتي تؤدي إلى تغيير معالم الغطاء الأرضي(Thonicke *et al.,* 2001)، كما أنها مصدر مهم للانبعاثات الغازية في جميع أنحاء العالم (French *et al*., 2003)، وفي ظل ظروف تغير المناخ، قد تؤدي شدة الجفاف إلى نشوب حرائق شديدة، من حيث عدد الحرائق ومساحتها وتكرارها. في حين أثبتت أدوات الاستشعار عن بعد (RS) فائدتها في تحديد المناطق المتضررة من الحرائق بدقة وكذلك شدة الحرائق، للمساعدة في الوقاية والحد من حرائق الغابات وتقييمها ومراقبتها على المستويات العالمية والإقليمية والمحلية، هذا وما يزال رسم الخرائط السريع بعد اندلاع الحرائق للمدى المكاني للمناطق المتضررة من الحرائق يمثل مطلباً لا غنى عنه لدعم إدارة الحرائق(Chuvieco, 2009).

من الصعب رسم الخرائط وتقييم مستويات الشدة في الحرائق الكبيرة باستخدام الطرق التقليدية، وبالأخص عندما تكون المنطقة المتضررة ذات تضاريس معقدة، وانحدارات شديدة، وغطاء نباتي غير متجانس، بالإضافة إلى اتساع المناطق التي يتعذر الوصول إليها، هذه الظروف مجتمعة هي السائدة في مناطق البحر الأبيض المتوسط. حيث تحدث سلسلة من التغييرات في المجال الطيفي بسبب الحريق الذي يلتهم الغطاء النباتي، ويدمر الكلوروفيل ، ويترك التربة عارية ، كما تتغير رطوبة التربة. ومن أجل رسم خرائط للمناطق المحترقة، وتقييم مستويات شدة الحريق تم تطبيق العديد من المؤشرات واختبار قدرتها، وبالأخص تلك التي تعتمد على المجال الطيفي الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة للتمييز بين المناطق المحروقة، حيث تم تنفيذ العديد منها في منطقة البحر الأبيض المتوسط، ومن أكثر هذه المؤشرات استخداماً سواء من وجهة نظر أحادية الزمن أو ثنائية الزمن هو مؤشر الاختلاف النباتي القياسي(NDVI) (Chuvieco *et al*., 2002). أيضاً تم استخدام مؤشر نسبة الحرق القياسي The Normalized burn Ratio (NBR) بغرض تمييز المناطق المحروقة في مناطق البحر الأبيض المتوسط باستخدام كل من صورة ما بعد الحريق، والفرق الزمني (قبل / بعد الحريق) (Heredia *et al*. 2003). فقد أظهرت الدراسات في السنوات الأخيرة العلاقة بين فرق NBR (قبل/بعد الحريق) أي مؤشر نسبة اختلاف الاحتراق القياسي(dNBR) وشدة الحريق (Cocke *et al*.,2005; Kokaly *et al*., 2006) ، حيث تعتمد العديد من الدراسات على مؤشر نسبة اختلاف الاحتراق القياسي dNBR لتقييم شدة الحريق، والذي يرتبط فيما بعد بالجوانب المختلفة لتطور الغطاء النباتي(Kotliar *et al*.,2003;Wimberly and Reilly,2005). أما المؤشرات الأخرى المستخدمة بدرجة أقل هي مؤشر المساحة المحترقة(Burned Area Index (BAI ، ومؤشر البيئة العالمية (GEMI) Global Environmental Monitoring Index، ومؤشر الغطاء النباتي المعدل حسب التربة (SAVI).

بشكل عام يمكن رسم خرائط ما بعد الحريق من أطياف الاستشعار عن بعد بواسطة الأقمار الصناعية بتطبيق طريقتين مختلفتين إما باستخدام صورة قمر صناعي أحادية أي لزمن واحد أو استخدام صور أقمار صناعية لأزمنة متعددة، وقد تم تطوير عدة طرق لهذا الغرض (Boschetti *et al*., 2010) وغالبا ما يتم تقييم شدة الحرائق و تقديرها في الموقع عن طريق الفحص البصري من خلال الملاحظات الميدانية للعديد من العوامل البيئية (Navarro *et al*., 2017). والنهج الأكثر استخداما لتقييم آثار ما بعد

الحريق في هذا المجال هو مؤشر الحريق المركب(CBI) Composite burn Index وإصداراته المعدلة (Key&Benson,2006; Soverel *et al.,* 2010).

نظرا لأن الغطاء الأرضي يتغير بعد اندلاع الحرائق، لذا يمكن استخدام العديد من المؤشرات لتحديد هذه التغييرات وتقييم المناطق المحترقة. وعلى الرغم من وجود طرق مختلفة للكشف عن المناطق المتضررة إلا أن الأساليب الناجعة والأكثر استخداماً تعتمد على الاختلافات الطيفية للغطاء النباتي قبل اندلاع الحرائق وبعدها (Alganci *et al*., 2010)، فعلى سبيل المثال تشير نسبة الاختلاف في نسبة الحريق القياسي القياسي /dNBR/ the difference Normalized burn Ratio index انخفاضاً في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وزيادة في الأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة (SWIR) ، وهي النطاقات الأكثر استخداماً(Masshadi&Alganci,2021). هذا وقد تحول التصنيف القائم على العتبة الحدية لهذا المؤشر إلى مرجع منهجي للحصول على خرائط لتصنيف شدة الحرائق(Soverel *et al.,* 2010)، ومع ذلك لا يوجد اتفاق على المؤشر الذي يحقق أفضل أداء في الكشف عن المناطق المتضررة من الحرائق وأيضا في تقدير شدة الحريق وبأي الظروف الواجب اعتماده وتفضيله. (Lasaponara,2006).

توفر الأقمار الصناعية Sentinel-2 نطاقات طيفية مختلفة، وقد تم استخدام صور Sentinel2 لمراقبة الموارد الطبيعية ورسم خرائط للمناطق المحترقة (Bar *et al*., 2020).

في السنوات الأخيرة توفر كم كبير من البيانات البصرية عالية الدقة المكانية للأقمار الصناعية مثل مستشعر MSI المحمول على متن الأقمار الصناعيةSentinel-2، المجهزة بنطاقات طيفية محددة لتسجيل البيانات في المجال الطيفي للنطاق الأحمر للنباتات، والذي يعد أحد أفضل المجالات الطيفية القائمة على الإشعاع لمحتوى الكلوروفيل، الأمر الذي ساهم في تطوير وتطبيق مؤشرات طيفية جديدة لتمييز شدة الحرائق، فقد نجحت الدراسات الحديثة في تقييم شدة الحرق باستخدام بيانات S2 من خلال مقارنة بيانات الأقمار الصناعية قبل الحريق وبعده (Huang *et al.,* 2016; Fernández *et al.,* 2016)، كما أظهرت مدى ملاءمة النطاقات الطيفية المختلفة للكشف عن المناطق المحروقة.

تقدم هذه الدراسة المؤشر الطيفي BAIS2 (Burned Area Index مؤشر المنطقة المحروقة ل Sentinel-2) لرسم خرائط المناطق المحروقة ، المصمم خصيصاً للاستفادة من الخصائص الطيفية S2MSI واعتماد مجموعة طيفية من النطاقات التي ثبت أنها مناسبة للكشف عن المنطقة المحترقة بعد الحريق. حيث يعتمد مؤشر dBAIS2 (مؤشر فرق المنطقة المحروقة ل Sentinel-2) على الفرق الحسابي بين قيم BAIS2 قبل الحريق وقيم BAIS2 بعد الحريق.

أهمية البحث وأهدافه:

الغابات ضرورية للتوازن الطبيعي من حيث استدامة النظام البيئي وبقاء الإنسان، إلا أن الحرائق التي تحدث نتيجة للعوامل الطبيعية او البشرية، تهدد مناطق الغابات وكذلك المناطق المجاورة، فقد تزايدت وتيرة حرائق الغابات في السنوات الأخيرة في جميع أنحاء العالم، وبغض النظر عن ذلك واجهت سورية عاماً حرجاً في 2020 م. فالحرائق التي اندلعت في 9-2020/10/10 كانت كبيرة جداً فقد حولت الغطاء الأخضر في الجبال الساحلية إلى رماد ولم تقتصر الأضرار على الثروة الحراجية فقد كان للترب الزراعية النصيب الكبير، في حين يعد الكشف الدقيق والسريع عن الأضرار التي خلفتها الحرائق ضرورة ملحة، حيث يعد رسم الخرائط الدقيقة والسريعة للمناطق المتضررة من الحرائق أمراً أساسياً لدعم إدارة الحرائق، وحساب الخسائر البيئية، وتحديد استراتيجيات التخطيط ناهيك عن مراقبة استعادة الغطاء النباتي، ومن هنا تكمن أهمية البحث وخصوصاً في ظل

التغيرات المناخية التي قد تؤدي شدة الجفاف إلى نشوب حرائق شديدة، من حيث عددها ومساحتها وتكرارها في حين تلعب صور الأقمار الصناعية دوراً حيوياً، حيث توفر الأقمار الصناعية Sentinel-2 نطاقات طيفية مختلفة، وقد تم استخدام صور Sentinel2 لمراقبة الموارد الطبيعية ورسم خرائط للمناطق المحترقة (Bar *et al*., 2020). ومن أجل تقديم معلومات سريعة حول المناطق التي تضررت من الحرائق، تقدم هذه الدراسة مؤشر المنطقة المحترقة(BAIS2)، استناداً إلى النطاقات الطيفية للقمر Sentinel-2، وذلك للكشف عن المناطق المحترقة بدقة مكانية 10 متر.

مواد البحث وطرائقه:

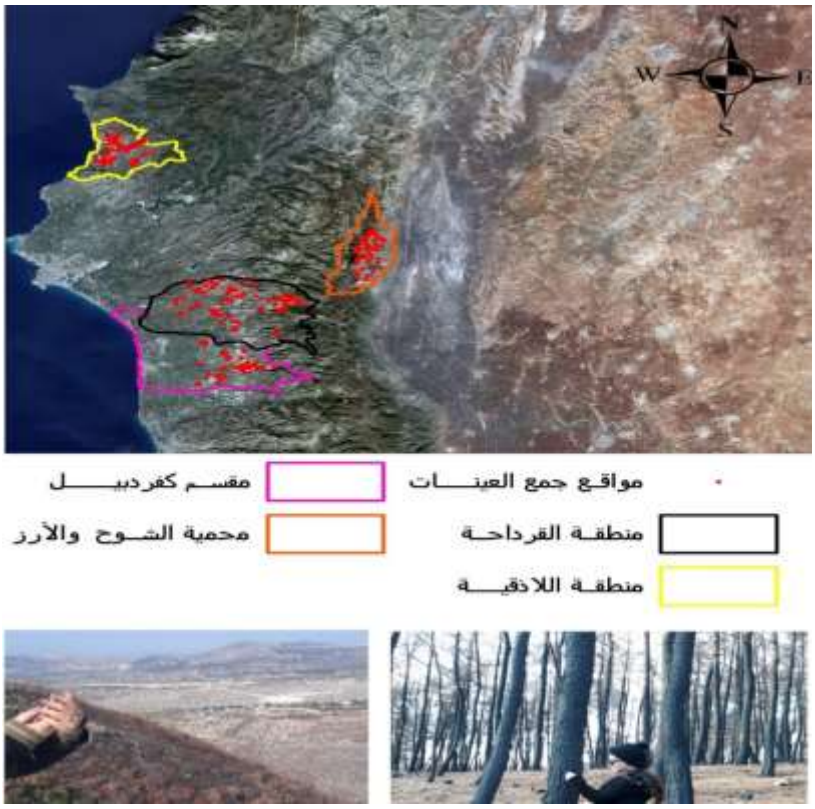
منطقة الدراسة:

أجريت الدراسة في محافظة اللاذقية التي تقع في شمال غرب الجمهورية العربية السورية ضمن الإحداثيات الجغرافية (″23 '31 °35 شمالاً و″28 '47 °35 شرقاً)، تبلغ مساحتها (229690هكتار) يحدها من الشمال لواء اسكندرون المحتل، من الشرق محافظتي حماه وإدلب، من الجنوب محافظة طرطوس ومن الغرب البحر الأبيض المتوسط، تخضع المنطقة للمناخ المتوسطي الذي يتميز بصيف جاف، ويبلغ معدل الهطول السنوي 765 مم/سنة لكنه غير منتظم ويتركز في فصل الشتاء ويقل في الخريف والربيع. (جلب،2001)

تقسم المحافظة إدارياً إلى أربع مناطق وهي(اللاذقية، القرداحة، الحفة، جبلة) حيث تتوزع مواقع الدراسة على المناطق الاربعة كالتالي : منطقة اللاذقية: وادي قنديل، زغرين، الحراجية، بللوران، أم الطيور.

منطقة القرداحة: بيت زنتوت، شديتي، جبل العذرة، الميسة، ديروتان، خريبات القلعة، البطيني، بكراما، بحورايا، كلماخو، دبيقة، بحمرا، مرج معيربان، بسطيرون، بصراما، المعلقة، الفاخورة، الخشخاشة، نقورو، القلمون، بقيلون، بيت سوهين.

منطقة الحفة: محمية الشوح والأرز، منطقة جبلة: كفردبيل. الشكل (1).



الشكل(1): مواقع الدراسة بالنسبة إلى سورية وإلى محافظة اللاذقية

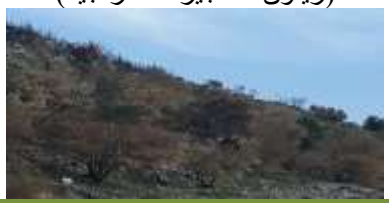
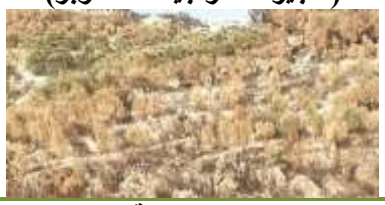
العمل الحقلي:

بعد أسبوعين من اندلاع الحرائق تم تحديد 30 موقع محروق موزعة على 450 قطعة بقطر 30م اعتماداً على مؤشر الحريق المركب(Key&Benson,2006)، مع أخذ إحداثيات كل موقع باستخدام جهاز نظام التموضع العالمي Global Position System (GPS). والجدول(1) يوضح المواقع وعدد القطع المأخوذة في كل موقع وقيمة المؤشر المركب الموافقة لكل موقع والتي هي عبارة عن المتوسط الحسابي لقيم المؤشر المركب في جميع قطع الموقع.

أجري تقييم أولي لشدة الحريق وفقاً للمؤشر المركب (حرائق عالية، حرائق متوسطة، حرائق منخفضة، أراضي غير محروقة متاخمة للمناطق المحترقة ذات غطاء نباتي مماثل لتلك التي تعرضت للحريق أي بمثابة شاهد) لكل قطعة بناء على مجموعة متغيرات (استهلاك الفرشة الغابية، عمق الفحم، لون الرماد، حرق التيجان، تغير لون الاوراق وغير ذلك..). والجدول(2) يبين تصنيف شدة الحريق في المواقع المدروسة.

الجدول(1):المواقع المدروسة وعدد القطع المأخوذة في كل موقع وقيمة المؤشر المركب الموافقة لكل موقع.

الموقع	عدد القطع المأخوذة	القيمة العددية للمؤشر المركب (CBI)	الموقع	عدد القطع المأخوذة	القيمة العددية للمؤشر المركب (CBI)
/1/بيت زنتوت (صنوبر بروتي) 	20	2.7	/2/شديتي(سرو، زيتون، صنوبر) 	10	2.2
/3/جبل العذرة (صنوبر بروتي، سنديان) 	15	2.5	/4/الميسة (شجيرات حراجية، صنوبر بروتي) 	10	0.8
/5/ديروتان (صنوبر بروتي) 	10	1.3	/6/خريبات القلعة (صنوبر، سنديان) 	10	1.7
/7/البطيني (صنوبر بروتي ، ماكي سنديان) 	20	2.6	/8/بكراما (صنوبر، شجيرات حراجية، زيتون) 	10	1.75
/9/بحورايا (شجيرات حراجية، صنوبر)	10	1.6	/10/كلماخو (صنوبر، سرو، زيتون)	15	2

					
/11/القرداحة (زيتون، سماق) 	10	0.5	/12/دبيقة (صنوبر، سرو، زيتون) 	10	2
/13/بحمرا (صنوبر، زيتون) 	10	1.2	/14/مرج معيربان (زيتون ، شجيرات حراجية) 	10	1.1
/15/بسطيرون (شجيرات حراجية، صنوبر) 	15	2.35	/16/بصراما (صنوبر، زيتون) 	10	1.8
/17/المعلقة (صنوبر، زيتون) 	10	1.3	/18/الفاخورة (صنوبر، زيتون، شجيرات حراجية) 	15	2.15
/19/الخشخاشة (صنوبر بروتي) 	15	2.3	/20/ نقورو (زيتون، شجيرات حراجية) 	10	2
/21/طريق القلمون (صنوبر، سرو) 	15	2.4	/22/بقيلون (شجيرات حراجية) 	10	1.85
/23/بيت سوهين (صنوبر، زيتون ، شجيرات حراجية)	10	1.9	/24/محمية الشوح والأرز	50	2.65

					
/25/وادي قنديل (صنوبر، شجيرات حراجية) 	25	2.55	/26/الحراجية (زيتون، شجيرات حراجية) 	10	1.4
/27/زغرين(صنوبر بروتي) 	15	2.1	/28/بللوران (صنوبر، سرو، حمضيات) 	25	2.45
/29/بداية طريق أم الطيور (صنوبر، شجيرات حراجية) 	15	2	/30/كفردبيل (صنوبر بروتي) 	30	1

الجدول(2): تصنيف شدة الحرائق في المواقع المدروسة وفقاً لقيم المؤشر المركب.

مقياس شدة الحرائق							
تصنيف شدة الحرائق وفقاً لقيم المؤشر المركب	غير محروقة	منخفضة		متوسطة		عالية	
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
رقم الموقع	القيمة العددية للمؤشر المركب(CBI)				تصنيف شدة الحريق		
1	2.7				(2.5-3)عالية جداً		
2	2.2				(2-2.5)عالية		
3	2.5				(2-2.5)عالية		
4	0.8				(0.5-1)منخفضة جداً		
5	1.3				(1-1.5)منخفضة		
6	1.7				(1.5-2)متوسطة		
7	2.6				(2.5-3)عالية جداً		
8	1.75				(1.5-2)متوسطة		
9	1.6				(1.5-2)متوسطة		
10	2				(1.5-2)متوسطة		
11	0.5				(0.5-1)منخفضة جداً		
12	2				(1.5-2)متوسطة		
13	1.2				(1-1.5)منخفضة		

14	1.1	(1-1.5)منخفضة
15	2.35	(2-2.5)عالية
16	1.8	(1.5-2)متوسطة
17	1.3	(1-1.5)منخفضة
18	2.15	(2-2.5)عالية
19	2.3	(2-2.5)عالية
20	2	(1.5-2)متوسطة
21	2.4	(2-2.5)عالية
22	1.85	(1.5-2)متوسطة
23	1.9	(1.5-2) متوسطة
24	2.65	(2.5-3)عالية جداً
25	2.55	(2.5-3)عالية جداً
26	1.4	(1-1.5)منخفضة
27	2.1	(2-2.5)عالية
28	2.45	(2-2.5)عالية
29	2	(1.5-2)متوسطة
30	1	(1-1.5)منخفضة

العمل المكتبي:

تشكل مهمة القمر الصناعي Sentinel-2 جزءا من البرنامج المشترك للمفوضية الأوروبية ووكالة الفضاء الأوروبية(ESA) وتغطي مساحة واسعة وعالية الدقة (10م،20م،60م) وأداة طيفية متعددة Multi Spectral Instrument (MSI)) مع 13 نطاق طيفي يبدأ من المرئي حتى تحت الأحمر القريب NIR وتحت الأحمر قصير الموجات SWIR ، حيث تعد بيانات Sentinel-2 أداة مفيدة لمجموعة كبيرة من التطبيقات وخاصة في مجال الغابات والزراعة. الجدول(3) يبين الخصائص الطيفية لصور Sentinel-2(MSI).

الجدول(3): الخصائص الطيفية لصور Sentinel-2(MSI)

Spectral Band	Band name	S2A Central Wavelength ((nm)	S2B Central Wavelength(nm)	Resolution(m)
B1	Coastal aerosol	442.7	442.3	**60**
B2	Blue	492.4	492.1	**10**
B3	Green	559.8	559.0	**10**
B4	Red	664.6	665.0	**10**
B5	Vegetation red edge	704.1	703.8	**20**
B6	Vegetation red edge	740.5	739.1	**20**
B7	Vegetation red edge	782.8	779.7	**20**
B8	Near infrared (NIR)	832.8	833.0	**10**
BA8	Narrow Near infrared	864.7	864.0	**20**
B9	Water vapour	945.1	943.2	**60**
B10	SWIR-Cirrus	1373.5	1376.9	**60**
B11	SWIR	1613.7	1610.4	**20**
B12	SWIR	2202.4	2185.7	**20**

أولاً: تم الحصول على صور Sentinel-2A من موقع (https://scihub.copernicus.eu) واضحة قبل وبعد الحريق للتعامل بدقة مع التغييرات الناجمة فقط عن اندلاع الحرائق بمعزل عن أي ظروف أخرى كالتغطية السحابية

وغيرها، نتيجة لذلك تم اختيار صورتين Sentinel قبل وبعد الحريق بتاريخ 2020/8/23م و2020/10/22م، تتألف كل منهما من 13 قناة طيفية، تتراوح دقتها المكانية بين 10 إلى60م.

ثانياً: تمت مطابقة الدقة المكانية للقناة الطيفية (B12) إلى (10م) حيث لا تتمتع جميع القنوات الطيفية الـ 13 في منتجات Sentinel-2 بنفس الدقة وبالتالي لابد من توحيد الدقة المكانية والذي تم باستخدام برنامج (SNAP)الخاص بالتعامل مع صور Sentinel، إذ تتمتع القناة 8 بدقة مكانية تبلغ 10 أمتار، والقناة 12 بدقة 20 م.

ثالثاً: تم اقتطاع مناطق الدراسة من كل صورة وحساب المؤشرات حسب الجدول(4)

الجدول(4): المؤشرات الطيفية المستخدمة ومعادلاتها

Spectral indices	Sentinel-2 Used formula	Reference
Normalized Burn Ratio (NBR)	$\frac{B8 - B12}{B8 + B12}$	**(Key&Benson,2006)**
Difference Normalized Burn Ratio(dNBR)	NBR Prefire – NBR Postfire	**(Parks *et al.*, 2014)**
Burned area index for Sentinel-2 (BAIS2)	$\left(1 - \sqrt{\frac{B6 \times B7 \times B8A}{B4}}\right) \times \left(\frac{B12 - B8A}{\sqrt{\sqrt{B12 + B8A}}} + 1\right)$	**(Filipponi,2018)**
Difference Burned area index for Sentinel-2 (BAIS2)	BAIS2 pre fire- BAIS2 post fire	**(Filipponi,2018)**

رابعاً: ومن أجل تقييم أداء المؤشرات الطيفية من حيث قدرتها على التمييز بين المناطق المحروقة وغير المحروقة تم استخدام مؤشر قابلية الفصل (SI) (Lasaponara,2006)..... $SI=\frac{|\mu b-\mu u|}{(\sigma b+\sigma u)}$

μb: القيم المتوسطة للنطاق الطيفي المحروق، μu: القيم المتوسطة للنطاق الطيفي الغير المحروق،

σb: الانحرافات المعيارية للقيم الطيفية للمنطقة المحروقة، σu : الانحرافات المعيارية للقيم الطيفية للمنطقة غير المحروقة.

خامساً: وعلى اعتبار أن التصنيف المعتمد على قيم مؤشر الاختلاف في نسبة الحرق القياسي/dNBR/ (Key&Benson,2006) الجدول(5) تحول إلى مرجع منهجي للحصول على خرائط لتصنيف شدة الحريق كان لابد من تقييم دقة المؤشر في مواقع الدراسة ومقارنته مع مؤشر المساحة المحترقة(BAIS2) ومؤشر فرق المنطقة المحروقة (dBAIS2)، وذلك عن طريق حساب الدقة الإجمالية (Accuracy Overall) والتي هي إحدى الطرق الإحصائية الوصفية المستخدمة لتقييم الدقة، وهي عبارة عن نسبة عدد العينات المصنفة بشكل صحيح إلى عدد العينات الإجمالي، اعتماداً على نقاط التدقيق الحقلية، حيث استخدمت نقاط المؤشر المركب كنقاط تدقيق حقلية، وتحسب من المعادلة:

$$\text{Accuracy Overall}=\frac{\text{No.of pixels correctly classified}}{\text{Total number of pixels}} * 100$$

في حين تم تقييم دقة مؤشر المساحة المحترقة(BAIS2) أيضاً عن طريق حساب الدقة الإجمالية ولكن بالاعتماد على القيمة الحدية التي تميز بين المناطق المحروقة وغير المحروقة والتي تم تحديدها في منطقة الدراسة.

الجدول(5): تصنيف شدة الحريق استناداً إلى قيم dNBR (Key&Benson,2006)

شدة الحريق(severity fire)	قيم/مجال dNBR
غير محترق(Unburned)	**أقل من 0.1**
منخفض(Low)	**0.1 إلى 0.269**

منخفض إلى متوسط (Moderate-low)	0.27 إلى 0.439
متوسط إلى مرتفع (Moderate-High)	0.44 إلى 0.659
مرتفع (High)	أكبر من 0.66

وأخيرا تم حساب معامل التباين أو الاختلاف (C.V)% لتقييم قدرة المؤشرات المدروسة على فصل العينات المحترقة وغير المحترقة والذي يحسب من العلاقة: $(C.V\%) = \mu/\sigma*100$

حيث (σ :الانحراف المعياري، μ : المتوسط الحسابي) للمؤشرات الطيفية المدروسة والمحسوبة للعينات من المناطق المحروقة وغير المحروقة.

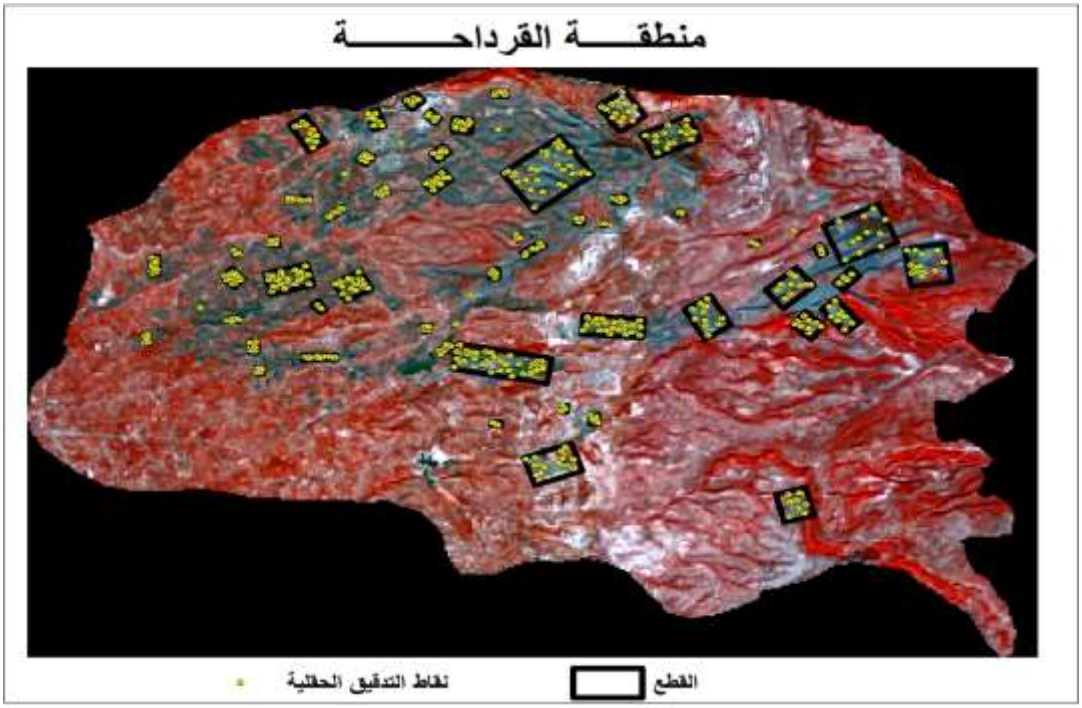
4- النتائج والمناقشة:

مؤشر المساحة المحترقة Burned Area Index (BAIS2):

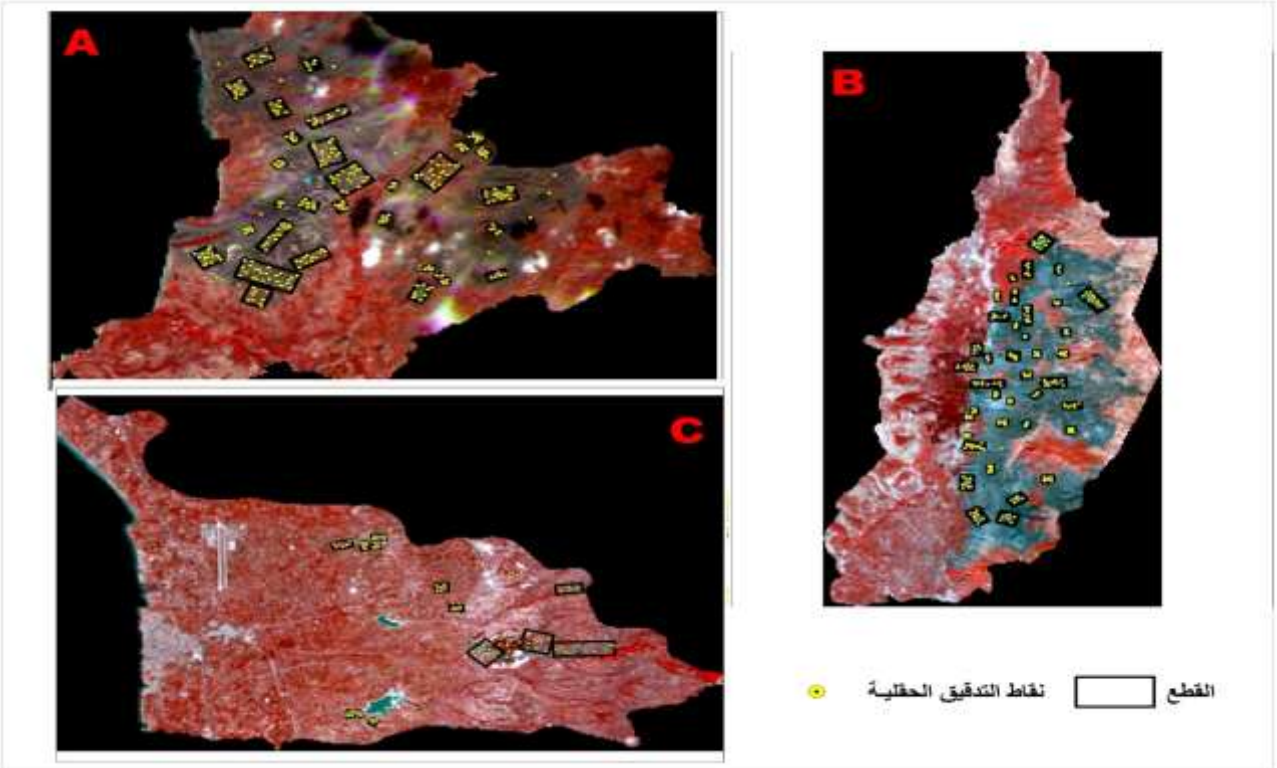
تم تطوير عدة طرق لرسم خرائط للمناطق المتضررة من الحرائق من صور الأقمار الصناعية إما ثنائية الزمن أو أحادية الزمن بعد اندلاع الحرائق. حيث أن التصنيف المعتمد على العتبة لمؤشر الاختلاف في نسبة الحرق القياسي/dNBR/ تحول إلى مرجع منهجي للحصول على خرائط لتصنيف شدة الحريق. ومع ذلك لا يوجد اتفاق بشأن المؤشر الذي يحقق أفضل أداء في اكتشاف المناطق المتأثرة بالحرائق وفي تقدير شدة الحريق وفي أي ظروف يجب تفضيله، ومنه تم استخدام مؤشر المساحة المحترقة BAIS2 ومؤشر فرق المساحة (المنطقة)المحترقة dBAIS2 لرسم خرائط حرائق الغابات التي حدثت في محافظة اللاذقية في تشرين الأول 2020، وتمت مقارنة النتائج مع مؤشرات NBR وdNBR، باعتبار قد تمت دراستها مسبقاً وبشكل مفصل للمواقع المدروسة، واختبار دقة تصنيف /dNBR/ من خلال حساب الدقة الإجمالية والتي بلغت(84.67)% اعتماداً على قيم المؤشر المركب، والذي يعتبر النهج الأكثر استخداما لتقييم أثر الحرائق بطريقة ميدانية، حيث غالباً ما يتم تقدير شدة الحريق عن طريق الفحص البصري أو تقديرها في الموقع عن طريق الملاحظات الميدانية للعديد من المتغييرات البيئية (بركات وآخرون،2023؛ بركات وآخرون،2024).

في حين تم تحديد مجال قيم مؤشر المساحة المحترقة BAIS2 من خلال تحديد(450) عينة موزعة على كامل منطقة الحريق. الشكل(2و3) توزع العينات على امتداد مساحة المناطق المحترقة.

وعند أخذ قيم المؤشر لهذه العينات تراوحت قيم مؤشر المساحة المحترقة BAIS2 بين(0.682) إلى(1.349)، أما القيم الأقل من 0.682 دلت على الغطاء النباتي غير المحروق، ومنه القيمة الحدية التي تميز الموقع المحروق عن غير المحروق كانت(0.682)، وبناء على هذه القيمة الحدية تم تقييم دقة المؤشر الإجمالية أيضاً بالاعتماد على قيم المؤشر المركب وفق صفين (محروق، غير محروق)، والتي بلغت(89.56)%.

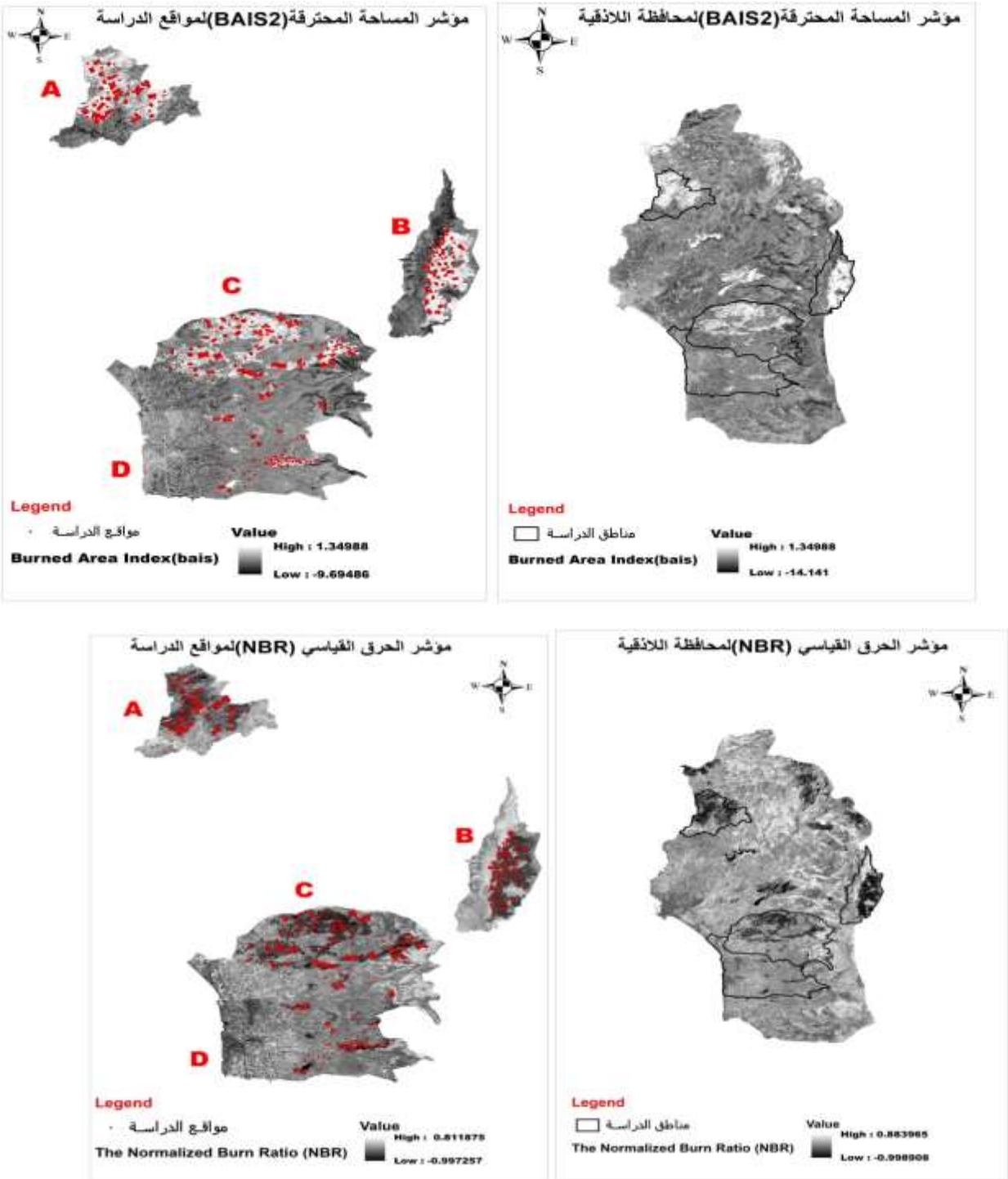


الشكل(2): توزع العينات على امتداد مساحة المنطقة المحترقة.

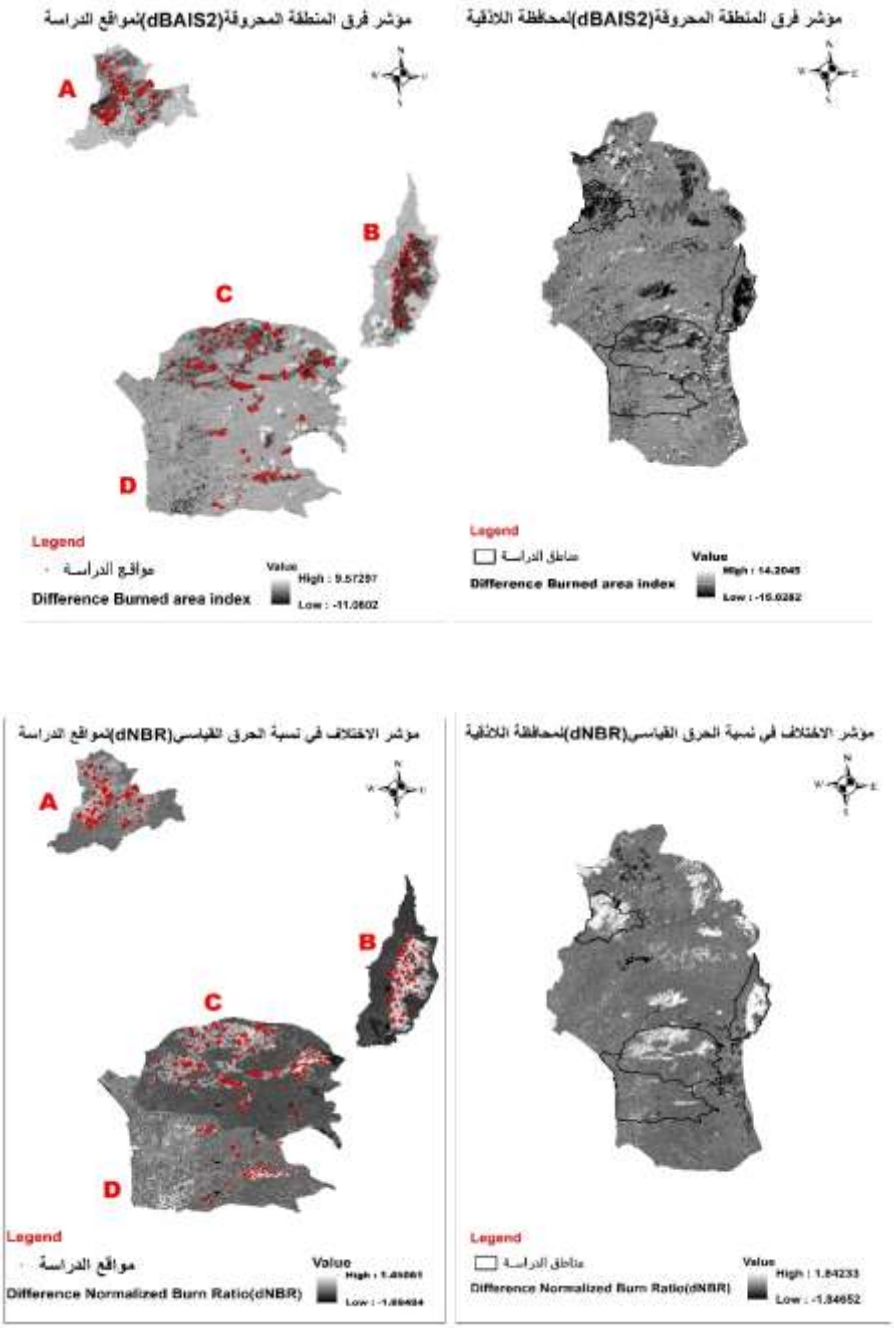


الشكل(3): توزع العينات على امتداد مساحة المنطقة المحترقة حيث(A) منطقة اللاذقية،(B) محمية الشوح والأرز، (C) مقسم كفردبيل.

يبين الشكل(4) مؤشر المساحة المحترقة (BAIS2)، يقابله مؤشر الحرق القياسي (NBR) للمواقع المدروسة والمحسوبة من صور Sentinel-2A المأخوذة بتاريخ 2020/10/22م، حيث نلاحظ تشابه في الأنماط المكانية وتوزع المناطق المحروقة في المواقع المدروسة. وعلى الرغم من هذا التشابه إلا أن التباين بين المناطق المحروقة وغير المحروقة كان أوضح في مؤشرات الفرق المحسوبة من الفرق بين صورة مأخوذة بعد الحريق وأخرى قبل الحريق الشكل (5).



الشكل(4): مؤشر المساحة المحترقة(BAIS2) ومؤشر الحرق القياسي (NBR)، حيث (A) الجزء المدروس من منطقة اللاذقية، و(B) محمية الشوح والأرز، و(C) الجزء المدروس من منطقة القرداحة، و(D) مقسم كفردبيل.

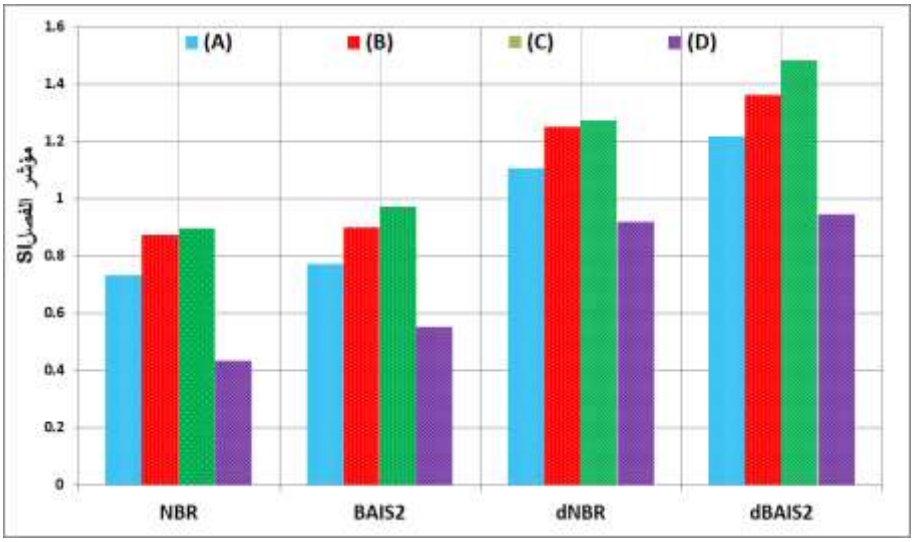


الشكل(5): مؤشر فرق المنطقة المحروقة(dBAIS2) ومؤشر الاختلاف في نسبة الحرق القياسي (dNBR)، حيث (A) الجزء المدروس من منطقة اللاذقية، و(B) محمية الشوح والأرز، و(C) الجزء المدروس من منطقة القرداحة، و(D) مقسم كفردبيل

أظهرت نتائج تقييم الحساسية الطيفية للمؤشرات المحسوبة للمنطقة المحروقة باستخدام مؤشر الفصل (SI) المعتمد في دراسات مماثلة(Mallinis *et al*.,2018) أن كل من مؤشر (BAIS2)و(NBR) حصلا على قيم متقاربة لمؤشر الفصل بقيم قريبة من الواحد، بينما أعطت مؤشرات الفرق (dBAIS2 وdNBR) قيماً أعلى من الواحد في جميع مواقع الدراسة باستثناء مقسم كفردبيل الشكل(6)، حيث تشير قيم مؤشر قابلية الفصل الأعلى من (1) إلى أن المؤشر الطيفي له خاصية فصل قوية، بينما تعكس القيم المنخفضة أن التمييز بين وحدات البكسل المحترقة وغير المحترقة ليست جيدة بشكل عام أي قدرة تمييزية ضعيفة، وعلى الرغم من ذلك هذا لا يعني بالضرورة أن هذه المؤشرات لا يمكنها التمييز بين المناطق المحترقة نظرًا لأن الفصل بين المناطق المحترقة وغير المحترقة يعتمد بشكل كبير على المكان والزمان والظروف مثل نوع الغطاء النباتي المحروق والفروق الزمنية بين تواريخ الحصول على الصور وغير ذلك هذا من جهة، ومن جهة أخرى إن مثل هذه الدرجات تعتمد على مجموعة

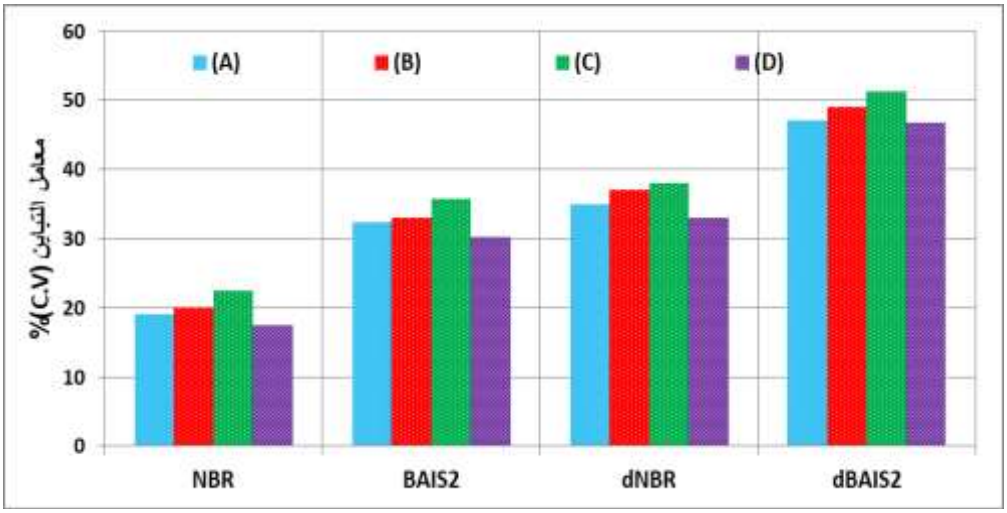
البيانات المدروسة، حيث تعزى الاخطاء في التصنيف للحرائق منخفضة الشدة(Quintano et al., 2018) وهذا مايتوافق مع دراستنا حيث تم تصنيف حرائق مقسم كفردبيل (حرائق منخفضة جداً) وفقاً لقيم المؤشر المركب.

وعلى الرغم من تقارب قيم مؤشر الفصل في المؤشرين (BAIS2وNBR)، إلا أن مؤشر فرق المنطقة المحروقة (dBAIS2) تفوق بدرجة فصل عالية وفي جميع المواقع حيث كانت أعلى درجة فصل في منطقة القرداحة بمقدار(1.384)، حيث يميز مؤشر BAIS2 المناطق المحروقة التي تسود فيها إشارة الفحم، ويُظهر قدرة تمييز عالية للمناطق المحروقة في المجال الطيفي للنطاق الأحمر، كونه أكثر حساسية للمناطق المحترقة منNBR، وهذه الفروق ظهرت عند حساب مؤشرات الفرق (dBAIS2 وdNBR) كونها تعتمد على تقدير التغير في الغطاء النباتي.



الشكل(6): قيم مؤشر الفصل المحسوبة للمؤشرات الطيفية المطبقة في المواقع المدروسة، حيث (A) الجزء المدروس من منطقة اللاذقية،(B) محمية الشوح والأرز،(C) الجزء المدروس من منطقة القرداحة،(D) مقسم كفردبيل.

وهذا مانلاحظه عند حساب معامل التباين(%C.V) للمؤشرات الطيفية الشكل(7)، حيث يظهر مؤشر فرق المنطقة المحروقة(dBAIS2) قيماً عالية لمعامل التباين فقد تجاوزت 45% في جميع مواقع الدراسة وكان أعلاها في منطقة القرداحة بمقدار(51.2)%، في حين تشير القيم العالية لمعامل التباين في المؤشرات المحسوبة من الصور المأخوذة بعد الحريق وكذلك صور الفرق إلى الاختلافات المكانية وامكانية التمييز بين المناطق المحترقة وغير المحترقة.



الشكل(7): معامل التباين للمؤشرات الطيفية المطبقة في المواقع المدروسة، حيث (A) الجزء المدروس من منطقة اللاذقية،(B) محمية الشوح والأرز،(C) الجزء المدروس من منطقة القرداحة،(D) مقسم كفردبيل.

الاستنتاجات:

مؤشر BAIS2 والذي يتضمن العديد من القنوات الطيفية لتسجيل البيانات في المجال الطيفي " Vegetation RED EDGE"، وهو أحد أفضل المجالات الطيفية التي تصف محتوى الكلوروفيل. بينت نتائج الدراسة أداء جيد لمؤشر BAIS2، للكشف عن المناطق المحترقة، فقد ساهمت المعلومات الطيفية الخاصة ب S2 في رسم خرائط للمناطق المحروقة بدقة 10 متر من خلال توحيد الدقة المكانية، فعند تقييم المؤشر الطيفي BAIS2 لرسم خرائط المناطق المحروقة المصممة خصيصاً للاستفادة من الخصائص الطيفية MSI S2، أظهر مؤشر BAIS2 قدرة تمييز عالية للمناطق المحروقة على غرار مؤشر (NBR) المعتمد في أغلب الدراسات، هذا وعلى الرغم من تقارب قيم مؤشر الفصل في المؤشرين (BAIS2وNBR)، إلا أن مؤشر فرق المنطقة المحروقة (dBAIS2) تفوق بدرجة فصل عالية وفي جميع المواقع، فقد أعطت مؤشرات الفرق بين الصور قبل الحرائق وبعدها نتائج أفضل عند مقارنتها بالمؤشرات المشتقة من صورة ما بعد الحريق فقط.

ووفقاً للدراسة يمكن القول أن أنسب المؤشرات الطيفية الخاصة بالمستشعر MSI S2 لتمييز شدة الحرق هي المؤشرات القائمة على B6، B7، أي المجال الطيفي الأحمر القريب من الأطوال الموجية الحمراء المرتبطة بشكل أساسي بالتغيرات في محتوى الكلوروفيل.

التوصيات:

نوصي باعتماد مؤشر المساحة المحترقة (BAIS2) في مثل هذه الدراسات من أجل رسم خرائط للمناطق المتضررة من الحرائق مع ضرورة حساب مؤشر فرق المنطقة المحروقة(dBAIS2) على اعتبار أن مؤشرات الفرق تعطي نتائج أفضل عند مقارنتها بالمؤشرات المشتقة من صور مابعد الحريق فقط.

المراجع:

بركات، منى؛ الزعبي، منهل؛ مرهج، علا؛ عيسى، ربا. (2023). دراسة فعالية استخدام مؤشر الحريق المركب في تقييم شدة حرائق ترب الغابات (في محافظة اللاذقية). مجلة العلم والابتكار السورية، المجلد(1) العدد(2).

بركات، منى؛ الزعبي، منهل؛ مرهج، علا؛ عيسى، ربا. (2024). تقييم شدة الحريق باستخدام مؤشر نسبة الحريق القياسي والاختلاف في نسبة الحريق القياسي (في محافظة اللاذقية). المجلة السورية للبحوث الزراعية المجلد(11) العدد(5) قيد النشر.

جلب، أدهم. (2001). دراسة تحليلية للأمطار في مناطق مختلفة مناخياً من سوريا. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث، سلسلة العلوم الزراعية.

Alganci, U.; E. Sertel and C. Ormeci (2010). Forest fire damage estimation using remote sensing and GIS. In Proceedings of EARSeL Symposium pp. 423-430.

Bar S.; B. R. Parida and A. C. Pandey (2020). Landsat-8 and Sentinel-2 based Forest fire burn area mapping using machine learning algorithms on GEE cloud platform over Uttarakhand, Western Himalaya, Remote Sensing Application: Society and Environment, 18, https://doi.org/10.1016/j.rsase. 100324.

Boschetti, M.; D. Stroppiana and P. A. Brivio (2010). Mapping burned areas in a Mediterranean environment using soft integration of Spectral Indices from high-resolution satellite images. Earth Int. 14: 1–20.

Chuvieco, E. (2009). Global impacts of fire. In Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems; Chuvieco, E., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. pp. 1–11.

Chuvieco, E.; M. P. Marti´n and A. Palacios (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. International Journal of Remote Sensing. 23: 5103–5110.

Cocke, A.E.; P. Z. Fule´ and J. E. Crouse (2005). Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. International Journal of Wildland Fire. 14: 189–198.

Fernández-Manso, A.; O. Fernández-Manso and C. Quintano (2016). SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 50: 170–175.

Filipponi, F. (2018). BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2. Proceedings. 2, 364, doi:10.3390/ecrs-2-05177.

French, N. H. F.; E. S. Kasischke and D. G. Williams (2003). Variability in the emissions of carbon-based trace gases from wildfire in the Alaskan boreal forest. J. Geophys. Res. 107, 8151, doi:10.1029/2001JD000480.

Heredia, A.; S. Marti´nez; E. Quintero, W. Pin˜ Eros and E. Chuvieco (2003). Comparacio´n de distintas te´cnicas de ana´lisis digital para la cartografi´a de a´reas quemadas con ima´genes Landsat TM. Geofocus. 3: 216–234.

Huang, H.; D. P. Roy; L. Boschetti; H. K.Zhang; L. Yan,; S. S. Kumar; J. Gomez-Dans and J. Li (2016). Separability analysis of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) data for burned area discrimination. Remote Sens. 8, 873, doi:10.3390/rs8100873.

Key, C. H. and N. C. Benson (2006). Landscape Assessment: Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index; and Remote Sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio. In FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System; Fort Collins, CO, USA. pp. 219–279.

Kokaly, R. F.; B. W. Rockwell; S. L. Haire and T. V. V. King (2006). Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing. Remote Sensing of Environment. 106: 305–32.

Kotliar, N. B.; S. L. Haire and C. H. Key (2003). Lessons from fires of 2000. Post-fire heterogeneity in ponderosa pine forests. USDA Forest Service Proceedings RMRSP29.

Lasaponara, R. (2006). Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data. Ecol. Modell. 196: 265–270.

Mallinis, G.; I. Mitsopoulos, I. and Chrysafi (2018). Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. GISci Remote Sens. 55: 1-18.

Masshadi, N. and U. Alganci (2021). Determination of forest burn scar and burn severity from free satellite images: a comparative evaluation of spectral indices and machine learning classifiers, International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO). 8(4): 488-497. https://doi.org/10.30897/ijegeo.87966.

Navarro, G.; I. Caballero; G. Silva; P. C. Parra; A. Vázquez and R. Caldeira (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 58: 97–106.

Parks, S.; G. Dillon and C. Miller (2014). A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. Remote Sensing. 6(3): 1827-1844. doi:10.3390/rs6031827.

Quintano, C.; A. Fernández-Manso and O. Fernández-Manso (2018). Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 64: 221–225.

Soverel, N.; D. Perrakis and N. Coops (2010). Estimating Burn Severity from Landsat dNBR and RdNBR Indices across Western Canada. Remote Sens. Environ. 114: 1896–1909.

Thonicke, K.; S. Venevsky; S. Sitch and W. Cramer (2001). The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: Coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. Glob. Ecol. Biogeogr. 10: 661–677.

Wimberly, M. C. and M. J. Reilly (2005). Using satellite imagery to map fire severity and forest community change in the southern Appalachians. EastFIRE Session, Available online at: http://www.comet.ucar.edu/outreach/EastFIREConfProc/Abstracts/Session%201C%20PDF/1C_Wimberly.pdf (accessed 10/2005).

Evaluation of the Burned Area Index (BAIS2) in the production of maps of the burned areas in lattakia Governorate

Ruba Issa[(1)*], Mona Ali Barakat[(1)] , Mohammad Manhal Alzoubi[(2)] and Ola Ali Merhej[(3)]

(1). Department of Soil and Water Science, Faculty of Agriculture, Tishreen, University, Latakia, Syria.

(2). Agriculture Scientific Research Center, Latakia, Syria.

(3). General Organization of Remote Sensing, Latakia, Syria.

(*Corresponding author: Ruba Issa: E-Mail: rubaessa99@gmail.com).

Received: 9/1/2024 Accepted: 3/4/2024

Abstract

This study provides the Burnt Area Index (BAIS2), based on the spectral bands of Sentinel-2, to detect burned areas with a spatial accuracy of 10 meters. The index was tested on (30 sites exposed to fire) distributed over the four regions of Latakia Governorate (Latakia region, Qardaha area, Haffa area, Jableh region) that occurred on 9-10/10/2020, Through the application of the Separability index and the results were compared with the Normalized Burn Ratio (NBR) and the difference in the standard burn ratio (dNBR), which was studied in detail for the studied sites, and tested its accuracy according to the values of the composite index, The results of the spectral sensitivity assessment of the calculated indicators of the burned area showed a good performance of the burned area index, as the BAIS2 index showed a high discrimination ability for burned areas similar to the (NBR) index adopted in most studies. The study showed that the difference indicators (dBAIS2 and dNBR) gave high values to the separation index at all sites compared to the burnt area and standard burning indices which showed close values with a preference for the burned area index. According to the total accuracy of (89.56)% for the burned area index and (84.67)% for the standard burning index, Where the burnt area index distinguishes the

burned areas in which the coal signal prevails, and has a high recognition ability for burned areas in the spectral range of the red range more than NBR, and these differences appeared when calculating the difference indicators (dBAIS2 and dNBR) as they depend on estimating the change in vegetation cover. The burnt zone difference index (dBAIS2) was higher in all locations and was the highest in Qardaha by (1.384). as well as the calculation of the coefficient of variation (C.V) for spectral indicators showed that the index of difference of the burned area (dBAIS2) gave the highest values of the coefficient of variance, as it exceeded 45% in all study sites and was the highest in the Qardaha area by (51.2)%.

Key words: Fire -Latakia governorate -Separability index (SI) -The Burned Area Index (BAIS2) -The Difference Burned area index (BAIS2) -The difference Normalized burn Ratio index (dNBR) -The Normalized burn Ratio index (NBR).