



فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات
تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

د. بسمة بنت سلامة سالم الرحيلي
قسم الجغرافيا- كلية العلوم الاجتماعية
جامعة أم القرى





فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

د. بسمة بنت سلامة سالم الرحيلي

قسم الجغرافيا- كلية العلوم الاجتماعية
جامعة أم القرى

تاريخ تقديم البحث: ٢٥ / ٥ / ١٤٤٢ هـ تاريخ قبول البحث: ١٥ / ٨ / ١٤٤٢ هـ

ملخص الدراسة:

سعى البحث إلى الكشف عن فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة. ولأجل ذلك تم الحصول على مرئيتين فضائية للقمر الصناعي SPOT ٥/٧ لعامي ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠، وبيانات مكانية واحصائية لشبكات تصريف السيول. بعدها خضعت جميع بيانات الدراسة للتحليل باستخدام مؤشر OSAVI، وكذلك أسلوب التصنيف غير الموجه، والمطابقة، والانحدار. وقد خلص البحث إلى وجود خمسة أنفاق صندوقية (مخارج) رئيسة لصرف مياه السيول. كما وجد أن بناء شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة يتأثر بالظروف الطبيعية كالارتفاع والانحدار والادوية، والعوامل البشرية كالنمو العمراني في المدينة. كما اتضح أن تصريف مياه السيول عبر المخارج الخمس أدى إلى نمو غطاء نباتي كثيف حول هذه المخارج. تبين أيضاً أن أعلى نسبة تغطية نباتية كانت من المخرج الشرقي في عام ٢٠٠٥، ومن المخرج الجنوبي «ب» في عام ٢٠٢٠.

الكلمات المفتاحية: شبكات تصريف السيول، الغطاء النباتي، OSAVI، استشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية.

Effectiveness of remote sensing technique in monitoring the effect of flood drainage networks on vegetation cover in Makkah city

Dr. Basma Salama Salem Alrehili

Department of Geography - Faculty of Social Sciences

Umm Al Qura University

Abstract:

The research sought to reveal the effectiveness of the Remote sensing technique in monitoring the effect of flood drainage networks on Vegetation cover in Makkah city. For that, two images were obtained for the SPOT-6 /V satellite for 2010 and 2020, spatial and statistical data for the flood drainage networks. Then, all study data were analysed using OSAVI, unsupervised classification method, Overlay, and Slope. The research concluded that there are five box tunnels (exits); for the drainage of floodwater. It was also found that the construction of the flood drainage network in Makkah city is affected by natural conditions such as height, slope, valleys, and human factors such as urban growth in the city. As it turns out that the discharge of floodwater through the five exits led to the growth of dense vegetation around these exits. It was found that the highest percentage of vegetation coverage was from the eastern exit in 2010 and the southern exit (B) in 2020.

key words: Flood drainage networks, Vegetation, OSAVI, Remote sensing (RS), Geographic information system (GIS).

١- مقدمة:

يعد إنشاء شبكات التصريف جزءاً من البنية التحتية التي يحرص عند تخطيط المدن على وجودها، ونادراً ما تخلو مدينة منها، سواء ما أنشئ منها للصرف الصحي أو لتصريف مياه الأمطار (السيول). وقد يؤدي غالباً التوسع الحضري المستمر الذي تشهده كثير من المدن نتيجة ازدياد اعداد السكان، إلى الضغط على شبكات التصريف الحالية، إذا لم يأخذ المخططين في الحسبان حدوث تلك الزيادة، والتي سينجم عنها بالتأكيد معاناة سكان المدينة من عدم قدرة الشبكة الحالية على استيعاب جميع مياه الصرف الصحي أو مياه الامطار الهاطلة (Kleidorfer, et al., ٢٠٠٩). إضافة إلى ارتفاع احتمالية حدوث تسرب لمياه الصرف الصحي فيما بين الاحياء السكنية والشوارع، وزيادة مخاطر حدوث فيضانات لمياه الأمطار الهاطلة (Umbarkar, et al, ٢٠١٤).

تعاني حالياً أغلب المدن في مختلف أنحاء العالم من مخاطر الفيضانات المرتفعة نسبياً، نتيجة عدم توفر شبكة تصريف قادرة على استيعاب كمية الامطار الغزيرة الهاطلة في بعض تلك المدن خصوصاً في الدول الفقيرة، في ظل زيادة عدد السكان، والامتداد العمراني، وتغطية أغلب تربة المنطقة بشبكة طرق تمنع امتصاص المياه الهاطلة. أو نتيجة عدم قدرة شبكة التصريف الحالية على استيعاب جميع كمية الامطار الهاطلة كما يحدث في مدن دول العالم المتقدم والنامي على حد سواء ومنها المملكة العربية السعودية. مما قد يؤدي إلى حدوث كوارث سيلية وفيضانات تعاني منها مدن تلك الدول بصفة عامة، وتؤثر على البيئة الطبيعية والبشرية فيها (Ozcan and El-Magd, et al, ٢٠١٠).

Musaoglu, ٢٠١٠; Bariweni, et al. ٢٠١٢; Kleidorfer, et al , ٢٠١٤; Emmanuel., et al, ٢٠١٥; Kazakis, et al , ٢٠١٥; Zhang, et al, ٢٠١٥; Azmeri, et al, ٢٠١٦)

تعد النباتات من أكثر مكونات البيئة الطبيعية تأثراً بوجود شبكات تصريف السيول من عدمها. فمياه الأمطار الغزيرة إذا لم تجد شبكة تصريف سيول جيدة فإنها غالباً ما تؤدي إلى تدمير الغطاء النباتي الطبيعي والمستزرع على حد سواء، ومن ثم تدهوره والقضاء عليه. أو قد تعمل أحياناً إذا لم يتم تصريفها بشكل جيد على نمو غطاء نباتي عشوائي في المنطقة يشكل بيئة خصبة لتكاثر الحشرات وتجمع الحيوانات الضالة. كما يمكن أن تؤدي مياه الأمطار الغزيرة إلى انجراف التربة التي يمد النبات فيها جذوره، خصوصاً في المناطق شديدة التضرس، مما لا يساعد على نمو غطاء نباتي في المنطقة، في ظل أهمية وجود النباتات للتقليل أحياناً من حدة الفيضانات أو الجريان السيلي (Smith, ٢٠١٨; Kang, et al., ٢٠١٥; Džubáková, et al., ٢٠١٣).

تبرز أهمية إدارة جريان مياه الأمطار لحماية صحة الإنسان والمحافظة على جودة البيئية (Berland, et al, ٢٠١٧). وذلك من خلال انشاء أنظمة صرف مستدامة تعمل على تنظيم جريان المياه السطحية (Markovič, et al, ٢٠١٤)، والكشف عن تأثيرها على البيئة الطبيعية والبشرية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، والتي لا يخفى أهميتها في مراقبة ورصد التغيرات البيئية الناجمة عن جريان مياه الأمطار الغزيرة (Taudia and Goel, ٢٠١٣; Snel and Bot ٢٠٠٣; Haas, ٢٠١٦)، وما تحدثه من تأثيرات خصوصاً على الغطاء النباتي الطبيعي.

تعاين كثير من مدن المملكة العربية السعودية من مخاطر السيول، نتيجة وقوعها ضمن المنطقة الجافة وشبه الجافة، والتي تتميز بفجائية الامطار فيها، وتركزها في وقت قصير، في ظل عدم وجود أو عجز شبكة تصريف السيول الحالية عن استيعاب جميع كمية الامطار الهاطلة، مما يكون لها تأثيرها على البيئة الطبيعية والبشرية. وتعد مدينة مكة المكرمة أحد مدن المملكة التي تعاني من هذه المشكلة نتيجة وقوعها بين خطوط تقسيم المياه لحوضي وادي نعمان جنوباً ووادي فاطمة شمالاً؛ وضمها لعدد كبير من الأودية والشعاب داخل حدودها، مما ينتج عنها تراكم كمية كبيرة من السيول في وقت قصير على أرضها وفي بطون أديتها (مرزا والبارودي، ١٤٢٥هـ؛ الحارث، ١٤٢٠هـ).

وقد نفذت عدد من مشاريع شبكات تصريف مياه الأمطار في مدينة مكة المكرمة، لتغطي أكبر عدد من أحيائها السكنية وشوارعها، من أجل درء مخاطر السيول وتفادي وقوع أي كوارث سيلية عانت منها مدينة مكة المكرمة. وذلك من خلال مد شبكات التصريف تحت الأرض بحيث تسير باتجاه أطراف المدينة، ليتم بعدها إطلاق مياه السيول المتجمعة بجميع ما تحمله من شوائب وملوثات في منطقة نهاية الشبكة (المصب)، بدون أي إدارة لها أو مراعاة للتأثيرات البيئية التي ستنتج عنها. لذلك حرصت الدراسة على التعرف على شبكات التصريف الموجودة في مدينة مكة المكرمة، مع تحديد فاعلية شبكات تصريف السيول في تحقيق التصريف الأمثل للأمطار والاستدامة البيئية، والكشف عن فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة الاثار البيئية الناجمة عن شبكات التصريف خصوصاً على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.

٢- أهداف البحث:

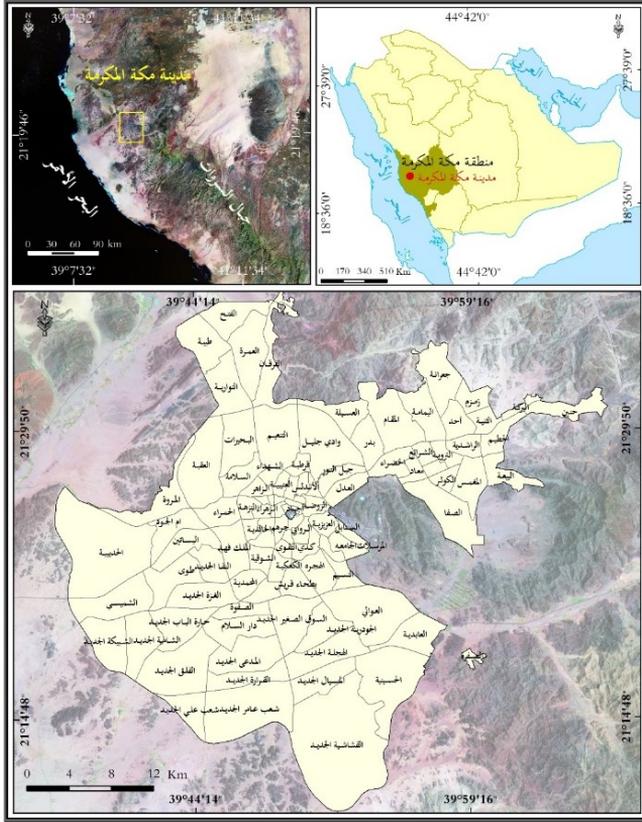
- التعرف على شبكات تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.
- تحديد العوامل المؤثرة على شبكات تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.
- الكشف عن فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.

٣- منطقة الدراسة:

تقع مدينة مكة المكرمة في غرب المملكة العربية السعودية بمنطقة مكة المكرمة بين دائرتي عرض ١٠° ٢١' إلى ٣٧° ٢١' شمالاً، وخطي طول ٣٦° ٣٩' إلى ٥٤° ٠٦' شرقاً، على بعد ٧٥ كم من ساحل البحر الأحمر (شكل ١). ويتميز سطح مكة بأنه عبارة عن هضبة شبه دائرية الشكل، تقطعت بواسطة الأودية والانكسارات، فتحولت إلى كتل جبلية تتخللها الأودية، وترتفع بنحو ٣٠٠ م فوق مستوى سطح البحر (نجيم، ١٤١٧هـ، ص ٥٢).

تعد الجبال والأودية أهم ظاهرة تضاريسية يتشكل منها سطح المدينة، حيث تكثر الأودية بها، وإن كانت تتنوع في أشكالها وأطوالها وأحجامها وتاريخ نشوئها، إذ منها ما هو رئيس تنحدر إليه العديد من الأودية الفرعية، ومنها ما هو ثانوي تشكل في مرحلة تالية. ومن هذه الأودية وادي سيدنا إبراهيم الخليل عليه السلام الذي يحتضنه وسط مكة، ووادي العشر، ووادي الرصيفة، ووادي الزاهر (فخ)، ووادي محسر، ووادي العزيزية، ووادي منى، ووادي التنعيم، ووادي

(شكل ١) موقع منطقة الدراسة.



المصدر: - هيئة المساحة الجيولوجية السُّعُودِيَّة، (١٤٣٠هـ)، خارطة المملكة العربية السُّعُودِيَّة

الإدارية، هيئة المساحة الجيولوجية السُّعُودِيَّة، جدة، المملكة العربية السُّعُودِيَّة.

- أمانة العاصمة المقدسة، (٢٠٢٠)، خارطة الاحياء الجديدة لمدينة مكة المكرمة،

مركز نظم المعلومات الجغرافية، مكة المكرمة.

جليل، ووادي ياج، ووادي سرف. وهي تعد من أهم الأودية التي ظهرت أغلب

الكتل العمرانية والأحياء السكنية فيها وعلى جوانبها، وفوق سفوح التلال

المحيطة بها (الحارث، ١٤٢٣هـ، ص ص ٧٥ - ٧٧).

يرتبط التوزيع الجغرافي للنباتات الطبيعية في مدينة مكة المكرمة بأماكن تواجد المياه الجوفية، والتي تتركز في مجاري الأودية الرئيسة في داخل المدينة وما حولها، مثل وادي فاطمة ووادي نعمان ووادي عرنة ووادي جليل ووادي الزاهر وغيرها. وتتميز هذه الأودية بوجود غطاء نباتي أغنى وأكثر تنوعاً من الغطاء النباتي الموجود في المنحدرات والسفوح الجبلية، والتي يتغير وضعها بعد هطول الامطار ونمو النباتات الحولية التي تغطي معظم جبال مكة في فترة الرطوبة. كما تكثر الاشجار الشوكية المعمرة في بطون الأودية، أما خارج نطاق تلك المجاري الرئيسة للأودية فيقتصر الغطاء النباتي على بعض الاشجار والجنبات والحشائش الحولية، والتي توجد بصورة متباعدة ومنعزلة في الأودية الجافة ومنحدرات الجبال (نجيم، ١٤١٧هـ، ص ٣٢٩-٣٣٥).

٤- منهج البحث:

يعد منهج البحث أو طريقتيه Methods هو الأساس الذي تقوم عليه الدراسة، وبدونه لا يمكن تحقيق أهداف البحث. ويمكن تلخيص منهج البحث على النحو الآتي:

أ- بيانات البحث:

تنوعت مصادر البيانات التي تم الاعتماد عليها في هذا البحث، ويمكن حصرها على النحو الآتي:

ب- بيانات الأقمار الصناعية:

اعتمدت الدراسة على بيانات القمر الصناعي SPOT-٥/٧ في النطاق المتعدد الأطياف (Multispectral (XS، وقد أخذت بيانات هذا اللاقط في

فصل الشتاء بتاريخ ٢٠٠٥/١٠، وبتاريخ ٢٠٢٠/١٠ (جدول ١). وقد تم الحصول على بيانات الأقمار الصناعية من معهد بحوث الفضاء التابع لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية في المملكة العربية السعودية. كما تم الاستعانة ببيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM البالغ دقته ٣٠ متراً، من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS, ٢٠٢٠).

جدول (١) مرئيات القمر الصناعي SPOT-٥/٧ المستخدمة في البحث.

المدينة	القمر واللاقط	المسار والصف	قدرة التميز (م)	تاريخ الالتقاط
مكة المكرمة	SPOT-٥/HRV	٣٠٧×١٣٤ ٣٠٧×١٣٣	١٠	٢٠٠٥/١٠
	SPOT-٧/ PSLV	× ٥٦٩٦٦ ٤٠٩٩٥	٦	٢٠٢٠/١٠

- بيانات شبكات تصريف السيول:

تم الحصول على جميع بيانات شبكات تصريف السيول (مسارات الشبكات السطحية وتحت السطحية- العبارات- المطابق- المخارج)، على هيئة Shapefile من قسم نظم المعلومات الجغرافية في أمانة العاصمة المقدسة.

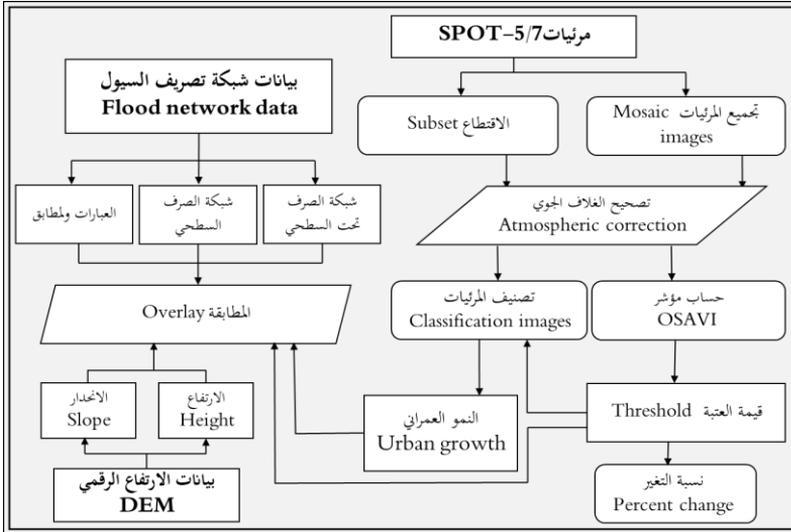
- العمل الحقلية Field work:

تم الخروج للحقل بتاريخ ١٠-١١/١١/٢٠٢٠، وهي أقرب فترة للمرئية الفضائية؛ وذلك من أجل التحقق من صحة تصنيف الغطاء النباتي والمناطق العمرانية، والتعرف على بعض الخلايا التي تمثل خليط Mixed من نبات وتربة، أو اراضي منكشفة ومباني سكنية، أو جبال ومباني سكنية قديمة. كذلك تم

معاينة الغطاء النباتي في مخارج تصريف السيول، وأخذ صور للغطاء النباتي المنتشر في تلك المخارج، والتعرف على تأثير المصارف على الغطاء النباتي.
ب- مراحل معالجة البيانات :

تم معالجة وتحليل بيانات البحث باستخدام برنامجي 2011 ERDAS & ArcGIS 10، وذلك وفق مجموعة من الخطوات (شكل 2) هي على النحو الآتي:
أولاً: تصحيح الغلاف الجوي Atmospheric correction:

تم تصحيح تأثير الغلاف الجوي المرئبي عامي 2005 و 2020 باستخدام الأ نموذج الرياضي، وتتلخص عملية التصحيح في الخطوات الآتية:
شكل (2) خطوات معالجة بيانات الدراسة.



- تحويل مرئيات SPOT-5/7 من أعداد رقمية Digital number إلى قيم انعكاسات طيفية's Reflectance، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

$$P = (D_{(c)} \cdot \pi) / (G \cdot \cos[\theta_s] \cdot E_s) \quad (1)$$

حيث P: هي انعكاس أعلى طبقة من الغلاف الجوي TOA reflectance، أما Dc فهي الأعداد الرقمية Digital count، G قيمة Gain المعايرة في اللاقط، θ_s زاوية ميل الشمس Solar zenith angle، ES الإشعاع الشمسي Solar radiation في الطول الموجي المناسب (Houlès, et al., ٢٠٠٦, p. ٣٢).

- تطبيق الأنموذج الرياضي 6S Model، ويتطلب هذا الأنموذج إدخال مجموعة من البيانات التي تتعلق بالحالة الهندسية، والنطاقات الطيفية لبيانات القمر الصناعي، والظروف الجوية كالرطوبة والعوالق الجوية وغيرها. وذلك من أجل الحصول على قيمة xc التي تدخل في معادلة تصحيح الغلاف الجوي، والتي هي كالآتي:

$$(٢) \quad A_{cr} = y \div (1 + xc \times y)$$

حيث y: قيمة الانعكاس الطيفي للنطاق (ن)، xc القيمة المستخرجة من تطبيق الأنموذج الرياضي 6S Model للنطاق (ن) (Vermote, et al., ١٩٩٧).

ثانياً: التصحيح الهندسي Geometric correction:

غالباً ما تأتي معظم مرئيات الأقمار الصناعية مصححة هندسياً، ولكن وجد أن مسقط مرئية SPOT-٧ هو المسقط الجغرافي، لذلك تم تعديل هذا المسقط إلى مسقط UTM، والذي يساعد على حساب المسافات والمساحات.

ثالثاً: الاقتطاع Subset:

تم اقتطاع منطقة الدراسة من المرئيتان الفضائية باستخدام وظيفة Subset حتى تكون نتائج التحليلات سليمة، ولا تدخل فيها مساحات إضافية تؤثر في صحة النتائج.

رابعاً: حساب المؤشر النباتي Vegetation index:

استخدم مؤشر Optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI) الذي اقترحه روندوس وزملاؤه والذي تتراوح قيمة بين ١+ للنباتات الكثيفة - ١ للتربة المنكشفة (الخالية من النباتات) (Rondeaux, et al. ١٩٩٦) بإضافة عامل تصحيح مثالي للتربة أطلق عليه معامل "x" تبلغ قيمته (٠,١٦) بدلاً من "L" الذي اقترحه هيوت (Huete, ١٩٨٨). ومعادلته كالآتي:

$$OSAVI = \{(NIR - Red) / (NIR + Red + 0,16)\} \times 1,16 \quad (3)$$

ويتطلب استخدام المؤشرات النباتية عموماً تحديد قيمة العتبة Threshold وهي القيمة الفاصلة بين الخلايا النباتية عن خلايا التربة، خصوصاً في ظل وجود خلايا نباتية تبلغ قيمها أقل من صفر، القيمة المتعارف عليها بكونها خلايا تربة. وقد تم تحديد قيمة العتبة بعد تطبيق مؤشر OSAVI على جميع المرئيات والتي بلغت ٠,٠٤ في عام ٢٠٠٥ ونحو ٠,١٤ في عام ٢٠٢٠.

خامساً: حساب مقدار التغير:

لحساب مقدار التغير في الغطاء النباتي تم استخدام المعادلة الآتية:

$$\text{Percent change} = (RD - ED / ED) \times 100 \quad (4)$$

حيث: RD قيمة التغير في التاريخ الحالي، ED قيمة التغير في التاريخ السابق

(Haupt and Kane, ٢٠٠٠, P. ٤٤).

سادساً: تصنيف المرئيات Classification images:

تم استخدام أسلوب التصنيف غير الموجه Unsupervised classification لمؤشر OSAVI، من أجل حساب مساحة التغطية النباتية في منطقة الدراسة.

كذلك تم استخدام أسلوب التصنيف غير الموجه لمريتي عام ٢٠٠٥ وعام ٢٠٢٠، للتعرف على النمو العمراني في المنطقة، وتأثيره على شبكة تصريف السيول في المنطقة. كما تم حساب نسبة دقة التصنيف Overall Classification Accuracy والتي بلغت نحو ٩٥٪، وهي نسبة جيدة في ظل صعوبة فصل المباني السكنية القديمة عن الجبال، في حين بلغ معامل كابتا ٠,٦٧.

سابعاً: المطابقة Overlay:

تم عمل مطابقة بين العوامل المؤثرة في شبكة تصريف السيول وشبكة تصريف السيول في منطقة الدراسة، للخروج بخرائط توضح مدى تأثير هذه العوامل على شبكة تصريف السيول وتأثيرها على الغطاء النباتي.

ثامناً: حساب التضاريس:

تم حساب مناسيب الارتفاع Height والانحدار Slope، من أجل معرفة تأثيرهما على شبكة تصريف السيول في منطقة الدراسة، وقد تم تصنيف درجات الانحدار اعتماداً على تصنيف أنطوني يونغ (Young, ١٩٧٨).

٥- النتائج والمناقشة:

أولاً: شبكات تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة:

تتميز مدينة مكة المكرمة بوجود نظامان من أنظمة شبكات تصريف مياه الأمطار والسيول هما:

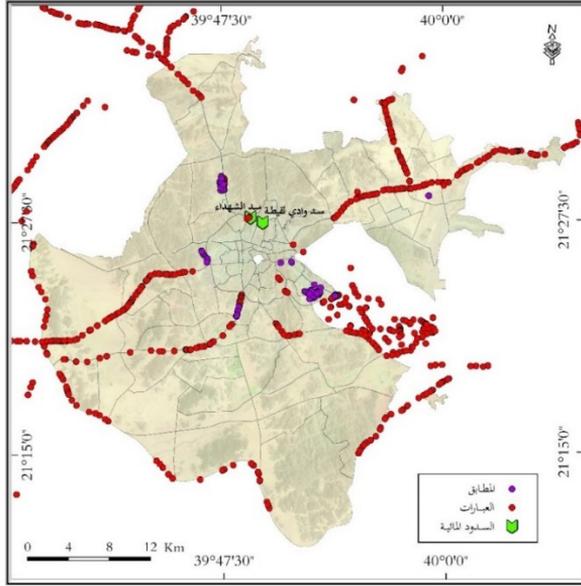
١- نظام الصرف تحت السطحي:

تتمثل شبكة الصرف تحت السطحي في مدينة مكة المكرمة تتمثل في الطرق والساحات المرصوفة، والقنوات المفتوحة، وعبارات الطرق، والكباري، والسدود. حيث تغطي مدينة مكة المكرمة شبكة من الطرق السريعة والرئيسية والثانوية، والتي يبلغ مجموع أطوالها ٥٤١٧ كم. وتنتشر على طول هذه الطرق عند نقطة التقائها مع مسارات السيول الفرعية عدد كبير من العبارات البالغ عددها ٦٦٠ عبارة، منها ٣٤٠ عبارة داخل حدود مدينة مكة المكرمة، ونحو ٣٢٠ عبارة تقع خارج حدود المدينة، وذلك من أجل صرف مياه الامطار الهاطلة على مدينة مكة المكرمة (جدول ٢ وشكل ٣ وشكل ٤).

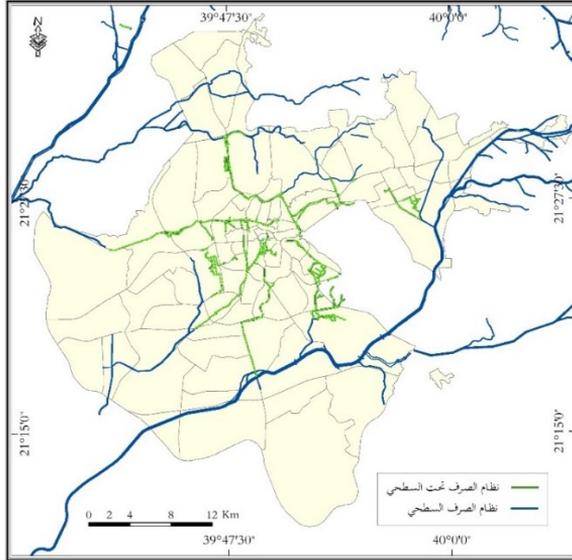
كذلك أنشئ في مدينة مكة المكرمة كجزء من شبكة الصرف تحت السطحي عدد كبير من الكباري في أماكن التقاء مسارات السيول الرئيسية مع جدول (٢) نظام الصرف السطحي في مدينة مكة المكرمة.

الوصف	العبارات	المطابق	السدود المائية
داخل حدود مكة	٣٤٠	١٦٤	٢
خارج حدود مكة	٣٢٠	٠	١
الإجمالي	٦٦٠	١٦٤	٥

شكل (٣) نظام الصرف السطحي في مدينة مكة المكرمة.



شكل (٤) نظام شبكة صرف السيول في مدينة مكة المكرمة.



الطرق؛ وذلك من أجل استيعاب جميع كمية مياه الامطار الهاطلة، في ظل عدم قدرة العبارات محدودة القطاع على ذلك. كما وجد أن هنالك نحو ١٦٤ مطبقة موزعة داخل أحياء المدينة، منها ١٣ مطبقة على طول الطريق لدائري الثالث بمحاذاة مخطط الحمراء، وهو أقل عدد مطابق في المدينة. في حين نجد أن نحو ١٩ مطبقة على طول طريق إبراهيم الخليل، ونحو ٤٢ مطبقة عند تقاطع طريق المسجد الحرام مع طريق مزدلفة، أما أكبر عدد مطابق في مدينة مكة المكرمة فقد بلغ نحو ٩٠ مطبقة على طريق المدينة المنورة (شكل ٣).

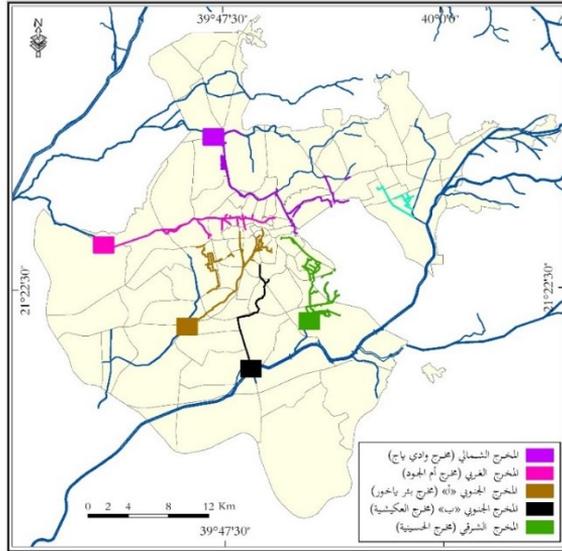
وقد تم بناء السدود في مدينة مكة المكرمة، وذلك كجزء من نظام الصرف تحت السطحي بها، حيث يوجد داخل حدودها سدي وادي لقيطة والشهداء وكلاهما يقعان على مسار مخرج طريق المدينة المنورة. كما كان يوجد سد تراقي على وادي عرنة استبدل مؤخراً بعبارة لصرف مياه الوادي بعيداً عن الأحياء السكنية (حي العوالي) والمدينة الجامعية بالعابدية (جدول ٢ وشكل ٣).

كما يوجد أكبر سد خارج حدود مدينة مكة المكرمة، سد وادي فاطمة (أبو حصانة) الذي تصل سعته التخزينية ٣٢٠,٠٠٠,٠٠٠ م^٣، وهي سعة تخزينه عالية تعمل على حماية المنطقة من مخاطر الجريان السيلي (وزارة البيئة والمياه والزراعة، ٢٠١٩). ورغم وجود شبكة الصرف تحت السطحي هذه إلا أنه من الملاحظ أن معظم مشاكل السيول في مدينة مكة المكرمة، ناتجة عن وجود مناطق منخفضة ومنخفضة جداً لم يتم اتخاذ الاحتياطات اللازمة في تصميم الشبكات الداخلية لها.

٢- نظام الصرف السطحي:

تتمثل أنظمة الصرف السطحي (شكل ٤ وشكل ٥)، في الشبكات الفرعية ومداخلها، والخطوط الرئيسة المؤدية إلى الأنفاق الصندوقية التي تصرف إلى الأودية المحيطة بمدينة مكة المكرمة، والبالغ عددها خمسة أنفاق صندوقية، تتجسد في المخارج الخمس الرئيسة لشبكة التصريف وهي: المخرج الشرقي (مخرج الحسينية) الذي يقع في حي العوالي شرق مدينة مكة المكرمة، وهو يصرف مياه السيول القادمة من منى وأحياء العزيزية والمرسلات والجامعة والسنابل والنسيم والعوالي ويصبها في وادي عرنة (شكل ٦).

شكل (٥) مخارج تصريف السيول السطحية في مدينة مكة المكرمة.



شكل (٦) المخرج الشرقي (مخرج الحسينية) في حي العوالي.



المخرج الغربي (مخرج أم الجود) ويقع في حي أم الجود غرب مدينة مكة المكرمة، وهو يصرف مياه السيول القادمة من أحياء السليمانية والاندلس وجرول والضيافة والزاهر والنزهة والسلامة والحمراء والعقبة والمروة وام الجود ويصبها في وادي الزاهر. المخرج الشمالي (مخرج وادي ياج) ويقع في حي البحيرات شمال مدينة مكة المكرمة، ويصرف هذا المخرج مياه السيول القادمة من أحياء العدل وجبل النور والروضة والمعابدة والخنساء وريع ذاخر ووادي جليل وقرطبة والعتيبية والتنعيم والشهداء والسلامة والبحيرات والفرقان والنوارية والعمرة ويصبها في وادي فاطمة (شكل ٧).

شكل (٧) المخرج الشمالي (مخرج وادي ياج) في حي البحيرات.



فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

د. بسمة بنت سلامة سالم الرحيلي

وينقسم المخرج الجنوبي إلى قسمين هما: المخرج الجنوبي «أ» (مخرج بئر ياخور)، ويقع هذا المخرج في حي حارة الباب الجديد، وهو يصرف مياه السيول القادمة من أحياء اجياد والروابي والمسفله وجرهم والهنداوية والخالدية والرصيفة والملك فهد والشوقية والكعكية والمحمدية، ومن ثم يصبها في وادي إبراهيم. أما المخرج الجنوبي «ب» (مخرج العكيشية)، فهو يقع في حي المدعى الجديد، وهو يصرف مياه السيول القادمة من أحياء كدي والتقوى والمهجرة وبطحاء قريش والسوق الصغير الجديد والصفوة ودار السلام والمدعى الجديد، ليصبها في وادي عرنة، وبذلك نلاحظ استقبال وادي عرنة لمياه السيول القادمة من المخرج الشرقي والمخرج الجنوبي «ب»، مما يدل على عظم كمية مياه السيول التي يتلقها هذا الوادي مقارنة ببقية الأودية الأخرى.

وبشكل عام، فإن القدرة الاستيعابية لشبكات التصريف تحت السطحي الرئيسة الموجودة كافية لتصريف أقصى كمية من مياه السيول، غير أن مشاكل التصريف الحالية قد تكمن في ضعف الشبكات الفرعية ومدخلها على خطوط التصريف، فالمدخل إما غير قادرة على استيعاب التصريفات أو موجودة في الموقع الخطأ تصميمياً وكذلك الحال بالنسبة لبعض العبارات القائمة (وزارة الشؤون البلدية والقروية لتخطيط المدن، ٢٠٠٠، ص ٢٩٨).

ثانياً: العوامل المؤثرة على شبكات تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة:
تتأثر شبكات أنظمة التصريف في مدينة مكة المكرمة بعدة ظروف طبيعية
وعوامل بشرية تؤثر في كمية مياه السيول المنصرفة منها، هي على النحو الآتي:
أ: التضاريس:

تعد الجبال والأودية أهم المظاهر التضاريسية التي تؤثر على شبكة تصريف
السيول في مدينة مكة المكرمة، والتي يمكن استعراضها على النحو الآتي:
- تأثير الارتفاع على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة:

يتميز سطح مدينة مكة المكرمة بتفاوت ارتفاعه من جهة إلى أخرى. فمن
خلال جدول (٣) وشكل (٨) نلاحظ أن سطح مدينة مكة المكرمة بصفة
عامة يأخذ في الارتفاع كلما اتجهنا نحو الشمال الشرقي، حيث يتراوح ارتفاعه
ما بين ٤٠٠ - ٥٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، في حين يأخذ في الانخفاض
التدريجي كلما اتجهنا نحو الجنوبي الغربي، ليصل ارتفاع السطح إلى أقل من
٢١٥ م فوق مستوى سطح البحر. كما يوجد بها عدد من أهم السلاسل الجبلية
التي يزيد ارتفاع بعضها عن ٨٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، كجبل الاحدب
وجبل ثور وجبل خندمة وجبل النور وجبل الحجلا وجبل اياج وغيرها.

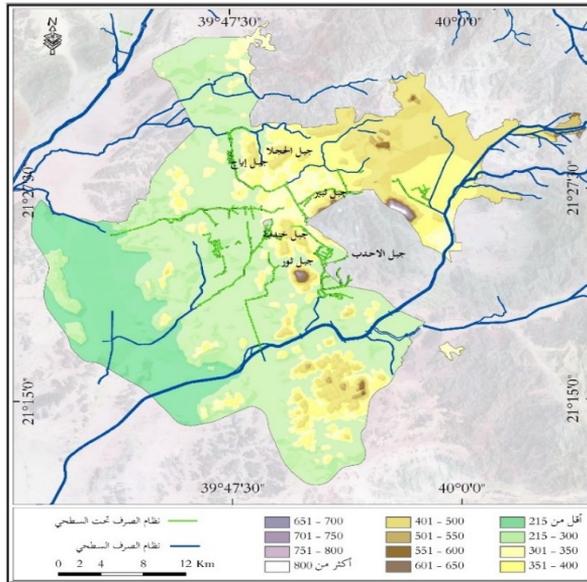
وتشكل المناطق التي تتراوح نسبة ارتفاعها من ٢٥٠ - ٣٠٠ م فوق مستوى
سطح البحر، النسبة الأكبر من إجمالي مساحة المدينة، إذ تغطي نحو
٢٧,١٤%. في حين تشكل المناطق التي يتراوح ارتفاعها ما بين ٧٥٠ - ٨٠٠ م
فوق مستوى سطح البحر أقل المناطق تغطية، إذ تغطي فقط ٠,٣%. وبذلك
نجد أن ٩٦,٨٣% من إجمالي مساحة المدينة يقل ارتفاع سطحها عن ٥٠٠ م

فوق مستوى سطح البحر، في حين أن النسبة المتبقية (٣,١٧٪) يزيد ارتفاع سطحها عن ٥٠٠ م فوق مستوى سطح البحر.

جدول (٣) مناسيب الارتفاع في مدينة مكة المكرمة.

النسبة (%)	المساحة (كم ^٢)	فئات الارتفاع	النسبة (%)	المساحة (كم ^٢)	فئات الارتفاع
٠,٦٤	٧,٠٢	٥٥٠-٦٠٠	١٦,٤١	١٧٨,٦٢	أقل من ٢١٥
٠,١٨	١,٩٥	٦٠٠-٦٥٠	٢٧,١٤	٢٩٥,٤	٢١٥-٣٠٠
٠,٠٨	٠,٩٢	٦٥٠-٧٠٠	٢٥,١١	٢٧٣,٣٢	٣٠٠-٣٥٠
٠,٠٥	٠,٥٧	٧٠٠-٧٥٠	١١,٨٨	١٢٩,٣٥	٣٥٠-٤٠٠
٠,٠٣	٠,٣٨	٧٥٠-٨٠٠	٩,٦٩	١٠٥,٤٦	٤٠٠-٤٥٠
٠,٠٥	٠,٥٥	أكثر من ٨٠٠	٦,٥٩	٧١,٧٧	٤٥٠-٥٠٠
١٠٠	١٠٨٨,٤	المجموع	٢,١٢	٢٣,٠٩	٥٠٠-٥٥٠

شكل (٨) تأثير الارتفاع على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.



وقد أثر وجود هذه السلاسل الجبلية على شبكة تصريف مياه السيول في المدينة، إذ لا يمكن مد شبكات التصريف على قمم هذه الجبال العالية، مما ساهم في ضيق مساحة شبكات تصريف السيول، واتخاذها من المناطق المنبسطة أماكن صالحة لمد شبكات التصريف السطحية وتحت السطحية. كذلك ساهم انخفاض سطح المدينة كلما اتجهنا نحو الجنوب الغربي، إلى اتجاه تصريف معظم مخارج تصريف مياه السيول إلى الجهة الغربية والجنوبية الغربية، متبعة اتجاه الميل الطبيعي للتضاريس، وهو نفس اتجاه التصدعات الرئيسية بالمنطقة.

– تأثير الانحدار على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة:

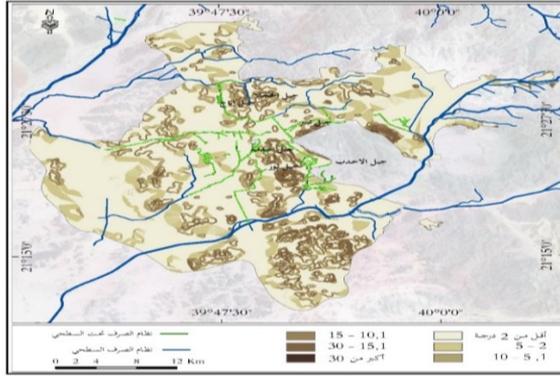
يعد الانحدار من الظروف الطبيعية التي تؤثر على شبكات تصريف السيول بشكل مباشر وغير مباشر، وهو نتيجة ارتفاع تضاريس سطح مدينة مكة المكرمة. إذ نلاحظ من خلال جدول (٤) وشكل (٩) اختلاف درجة انحدار سطح المدينة من مكان إلى آخر بها، حيث تحتفي الأراضي المنبسطة وشبه المنبسطة والتي تشكل أكثر الأماكن المعرضة لتجمع مياه السيول إذا ما هطلت أمطار غزيرة على المدينة، مما يتطلب إنشاء شبكة تصريف سيول تتلاءم مع طبيعة هذه الأراضي المنبسطة، إذ يؤدي تجمع المياه على السطح غالباً إلى حدوث مستنقعات مائية تكثر فيها الحشرات. في حين تغطي الأراضي ذات الانحدار الخفيف والخفيف جداً نحو ٧٨,٨٩٪ من إجمالي مساحة المدينة. أي أن أكثر من ثلاثة أرباع مساحة المدينة تصرف مياه السيول بها نتيجة انحدار السطح بها خصوصاً كلما اتجهنا نحو الغرب والجنوب الغربي. وتشكل الانحدارات المتوسطة والمتوسطة إلى شديدة نحو ١٥,١٣٪ من إجمالي مساحة

المدينة، وغالباً ما يؤدي هذا النوع من الانحدارات إلى سرعة الجريان السيلبي، وبالتالي سرعة امتلاء شبكات تصريف مياه الامطار بكمية كبيرة من السيول في وقت قصير، مما يؤثر على كفاءة شبكة تصريف السيول في المدينة. وتعد الانحدارات الشديدة والشديدة جداً من أكثر درجات الانحدار خطورة، إلا أنها لا تشكل نسبة كبيرة من سطح مدينة مكة المكرمة (٥,٩٨٪)، حيث يقتصر وجودها في مناطق الجبال العالية (جبل الاحدب - جبل خندمة - جبل ثبير - جبل ثور - جبل النور وغيرها)، مما يتطلب وجود شبكة تصريف في هذه المناطق تتلاءم مع كمية الجريان السيلبي في هذه المناطق، وتتفادى ما تحمله المياه من صخور وترب ومخلفات منجرفة عبر هذه الانحدارات الشديدة.

جدول (٤) الانحدارات في مدينة مكة المكرمة.

النسبة (%)	المساحة (كم ^٢)	درجة الانحدار (°)	نوع الانحدار
٦٧,٨٤	٧٣٨,١٦	أقل من درجتين	انحدار خفيف جداً
١١,٠٥	١٢٠,٢٥	٢ - ٥	انحدار خفيف
٨,٥٩	٩٣,٤٩	٥,١ - ١٠	انحدار متوسط
٦,٥٤	٧١,١٦	١٠,١ - ١٥	انحدار متوسط - شديد
٥,٧٩	٦٣,١٥	١٥,١ - ٣٠	انحدار شديد
٠,١٩	٢,١٩	أكبر من ٣٠	انحدار شديد جداً
١٠٠	١٠٨٨,٤		المجموع

شكل (٩) تأثير الانحدار على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.

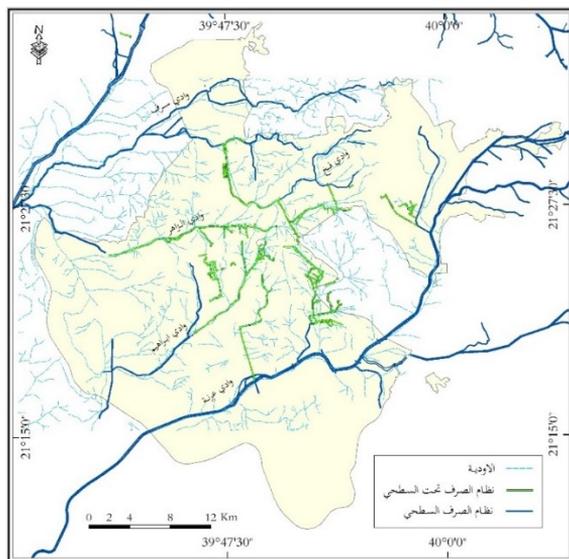


- تأثير الاودية على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة:

يغطي سطح مدينة مكة المكرمة عدد من أهم احواض التصريف الطبيعية، حيث يحيط بكل حوض عدد من الجبال التي تقوم بتوجيه مياه الأمطار المنحدرة من القمم إلى السفوح باتجاه بطون الاودية. وقد عانت مدينة مكة المكرمة منذ القدم من صعوبة تصريف سيول الاودية بها، كسيول وادي عرنة ووادي محسر ووادي إبراهيم ووادي فح ووادي الزاهر ووادي سرف وغيرها من الاودية والشعاب التي تغطي كامل سطح المدينة، مما يتطلب انشاء شبكة تصريف للسيول تتوافق مع كمية السيول الجارية في هذه الاودية. ومن خلال شكل (١٠) نلاحظ أن تأثير الاودية على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة، يظهر في تماشي مسارات شبكة تصريف السيول مع مسارات الاودية والشعاب بها، وهي المجرى الطبيعي الذي شكلته الظروف الطبيعية لتصريف مياه الامطار القادمة من المناطق الأكثر ارتفاعاً في المدينة. لتشهد مجاري الاودية مع نمو المدينة وانشاء شبكة طرق معبدة بها، اختفاء تلك المجاري الطبيعية

لتصريف السيول، مما يتطلب إنشاء شبكة تصريف تحت سطحي وسطحي كالمطابق، والقنوات المفتوحة، وعبارات الطرق، والكباري، والسدود، من أجل صرف مياه السيول عن المدينة. وبذلك تعد الأودية والشعاب هي الأكثر تأثيراً في تصميم شبكة تصريف السيول بمدينة مكة المكرمة، حيث صممت أيضاً مخارج تصريف السيول لتصب في الأودية الرئيسة كوداي عرنة ووادي إبراهيم ووادي الزاهر ووادي سرف الذي يلتقي بوادي فاطمة، والمتجهة جميعها نحو الغرب والجنوب الغربي.

شكل (١٠) تأثير الأودية على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.



ب- النمو العمراني:

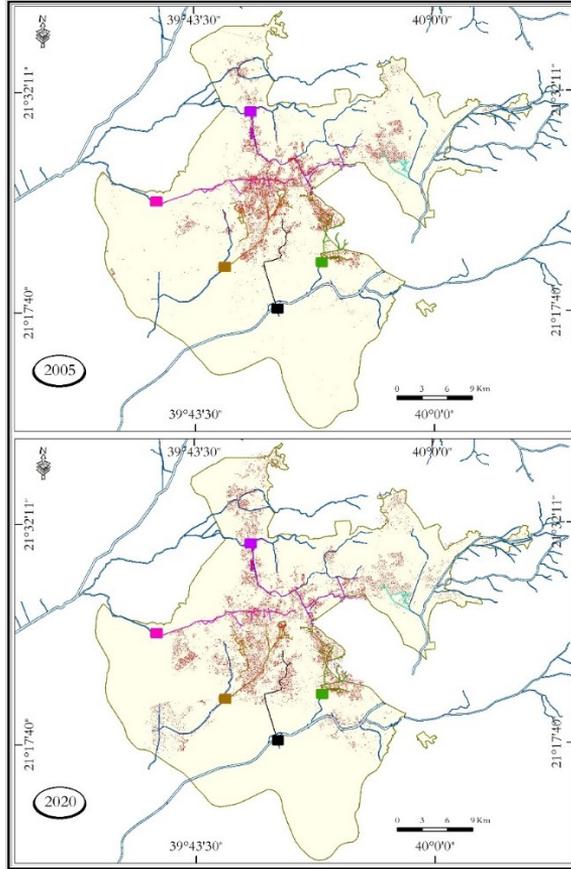
شهدت مدينة مكة المكرمة نمواً عمرانياً كبيراً من مدن المملكة العربية السعودية، حيث لم تعد يقتصر وجود العمران حول منطقة الحرم المكي الشريف

كما كان في السابق. إذ أخذ العمران في المدينة بالامتداد الأفقي والراسي وحيثما كان انشاء المباني السكنية ممكناً، حيث تعرضت كثير من جبال مكة لعملية هدم وتسوية، ليتم انشاء مخططات سكنية عليها، كذلك غطيت كثير من بطون أودية مدينة مكة المكرمة بمباني سكنية وتجارية وصناعية وفنادق وغيرها، بحيث تغيرت نسبة مساحة العمران بالمدينة من ٤,٢١٪ عام ٢٠٠٥، لتصل إلى نحو ٩,٣٥٪ من اجمالي نسب مساحة استخدامات الأرض في المدينة عام ٢٠٢٠. في حين النسبة الأكبر من مساحة المدينة هي للاستخدامات الأخرى والتي تشكل المناطق الجبلية جزء كبير منها. مما يدل على ضيق مساحة المناطق المستوية أو الصالحة للبناء في مدينة مكة المكرمة، رغم كبر مساحتها (جدول ٥ وشكل ١١).

جدول (٥) النمو العمراني في مدينة مكة المكرمة.

٢٠٢٠		٢٠٠٥		استخدام الأرض
النسبة (%)	المساحة (كم٢)	النسبة (%)	المساحة (كم٢)	
٩,٣٥	١٠١,٧٢	٤,٢١	٤٥,٦٧	العمران
٩٠,٦٥	٩٨٦,٦٨	٩٥,٧٩	١٠٤٢,٧٣	استخدامات أخرى
١٠٠	١٠٨٨,٤	١٠٠	١٠٨٨,٤	الإجمالي

شكل (١١) النمو العمراني في مدينة مكة المكرمة.



وبذلك نجد أن الأودية التي كانت تشكل مجاري طبيعية لتصريف مياه السيول قد غطت بالمباني بمختلف أنواعها السكنية والتجارية والصناعية والطرق المعبدة، وشكلت حاجز يمنع تصريف السيول إذا ما هطلت أمطار غزيرة على المدينة، مما تطلب تصميم شبكة لتصريف السيول، داخل الأحياء السكنية التي بنيت في بطون الأودية، وبمحاذاة الطرق الرئيسية والفرعية للتخلص من مياه الأمطار، ومنع تجمعها وتشكيلها سيول جارفة أو مكور مياه في الطرق أو داخل الأحياء السكنية.

أيضاً ساهم النمو العمراني للمدينة خصوصاً في الجهتين الجنوبية الغربية والغربية لاستحداث شبكات تصريف سيول، تتوافق مع النمو العمراني للمدينة، وكذلك التخطيط لمد شبكات تصريف مستقبلية في مناطق شهدت نمو عمراني، في حين كانت تعد سابقاً مكان لتصريف السيول، كالمخططات الجديدة في أحياء الصفوة ودار السلام والمدعى الجديد والفلق الجديد وحارة الباب الجديد والشامية الجديد، التي شهدت نمواً عمرانياً كبيراً رغم كونها في السابق مكان صرف مياه الامطار القادمة من مخرج العكيشية (شكل ١٢).

شكل (١٢) النمو العمراني في الاحياء المحيطة بمخرج العكيشية.



ثالثاً: تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة:

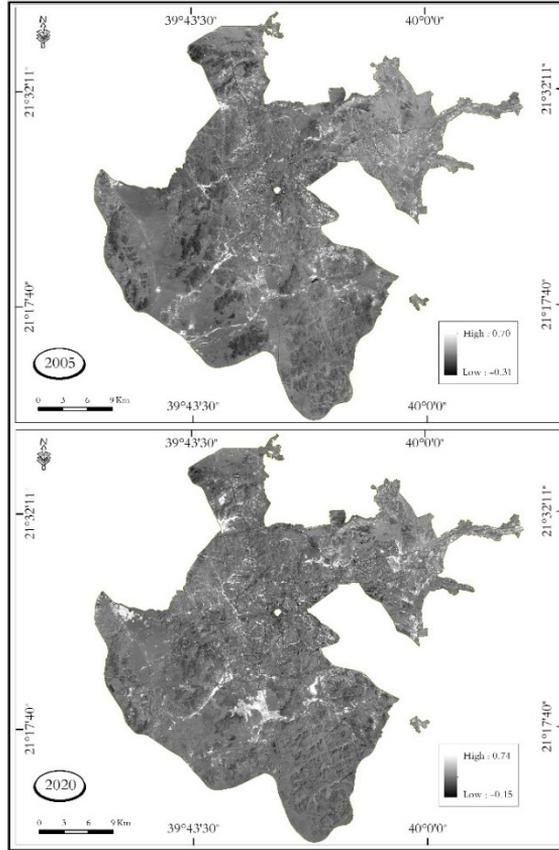
تتميز مدينة مكة المكرمة بوقوعها ضمن الاراضي الجافة في المملكة العربية السعودية، مما لم يساعد على قيام غطاء نباتي كثيف بها. فمن خلال جدول (٦) وشكل (١٣) نلاحظ أن معدل مؤشر OSAVI بها لم يتجاوز -٠,٠٣ في عام ٢٠٠٥، مما يدل على أن مدينة مكة المكرمة فقيرة جداً في غطائها النباتي. في حين ظهر تحسن طفيف في الغطاء النباتي بالمدينة في عام ٢٠٢٠، حيث بلغ مؤشر OSAVI نحو ٠,٠٨، ورغم ذلك التحسن إلا أن المدينة لا تزال فقيرة جداً في غطائها النباتي. كما يلاحظ أن نسبة التربة الجرداء في عام ٢٠٠٥ أعلى منها في عام ٢٠٢٠، حيث بلغ أقل معدل لمؤشر OSAVI نحو -٠,٣١ في عام ٢٠٠٥ من عام ٢٠٢٠، حيث بلغ أعلى معدل لمؤشر OSAVI في عام ٢٠٢٠ نحو ٠,٧٤، بنسبة تغير بلغت ٠,٥٧ بين العامين.

ويظهر مقدار الفقر الشديد في الغطاء النباتي بمدينة مكة المكرمة الشديد، عند ملاحظة نسبة الغطاء النباتي بالنسبة لاستخدامات الأرض في المدينة، فقد وجد من خلال جدول (٧) وشكل (١٤)، أن نسبة مساحة الغطاء النباتي لم تتجاوز في عام ٢٠٠٥ نحو ١,٩٦٪، وهي نسبة تدل على اختفاء الغطاء النباتي في المدينة، بعدما كان ينتشر في بطون الاودية التي غطيت بالطرق والمباني السكنية. في حين أن نسبة الغطاء تحسنت قليلاً في عام ٢٠٢٠، حيث بلغت ٤,٥٨٪ من اجمالي نسبة استخدامات الأرض في المدينة؛ نتيجة حملات التشجير التي قامت بها أمانة العاصمة المقدسة مؤخراً، لكثير من الطرق والميادين والحدائق، وكذلك نتيجة تصريف السيول داخل المدينة.

جدول (٦) قيم مؤشر OSAVI في مدينة مكة المكرمة.

التاريخ	معدل القيم	أقل قيمة	أعلى قيمة	نسبة التغير
٢٠٠٥	-٠,٠٣	-٠,٣١	٠,٧٠	٠
٢٠٢٠	٠,٠٨٦	-٠,١٥	٠,٧٤	٠,٠٥٧

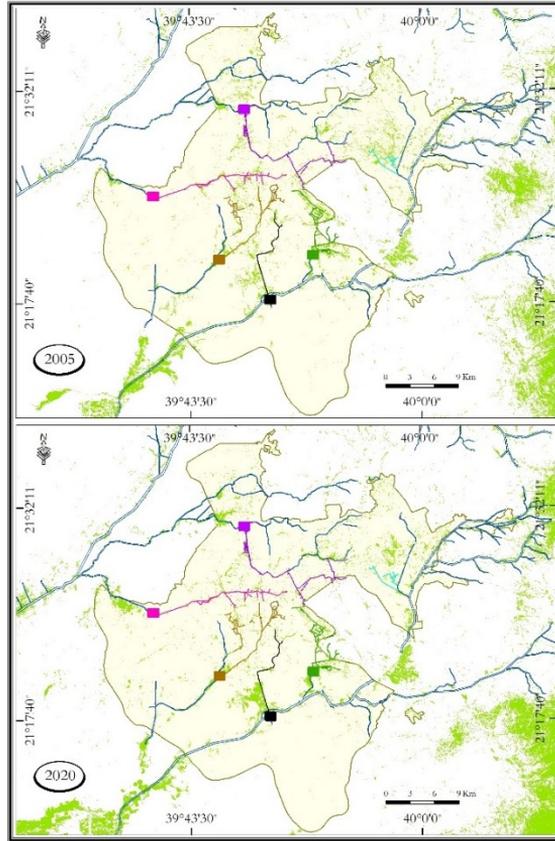
شكل (١٣) قيم مؤشر OSAVI في مدينة مكة المكرمة.



جدول (٧) الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.

٢٠٢٠		٢٠٠٥		الوصف
النسبة (%)	المساحة (كم ^٢)	النسبة (%)	المساحة (كم ^٢)	
٤,٥٨	٤٩,٨١	١,٩٦	٢١,٣١	الغطاء النباتي
٩٥,٤٢	١٠٣٨,٥٩	٩٨,٠٤	١٠٦٧,٠٩	مناطق خالية من النبات
١٠٠	١٠٨٨,٤	١٠٠	١٠٨٨,٤	المجموع

شكل (١٤) الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.



ويتضح تأثير شبكة تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة من خلال ملاحظة جدول (٨) شكل (١٥). حيث أدى تصريف السيول عبر المخارج الخمس (مخرج الحسينية، مخرج أم الجود، مخرج وادي ياج، مخرج بئر ياخور، مخرج العكيشية)، إلى نمو غطاء نباتي كثيف حول هذه المخارج في المدينة، وإن كانت كميته تختلف من مخرج إلى آخر، بحسب كمية السيول التي يصرفها المخرج. حيث وجد أن أعلى نسبة تغطية للنباتات داخل حدود المدينة في عام ٢٠٠٥، كانت من المخرج الشرقي (مخرج الحسينية)، إذ بلغت ١٢,٢٣٪ من إجمالي نسبة المخارج في المدينة، وذلك كونه يصرف مياه الامطار القادمة من الاحياء التي يقطعها وادي محسر ووادي عرنة، ليشهد هذا المخرج تراجع في كمية التغطية النباتية في عام ٢٠٢٠، بنسبة بلغت ٨,٧٦٪ من إجمالي نسبة المخارج في هذا العام، وبنسبة تغير إيجابي بين العامين لم تتجاوز نحو ٣١,٦٣٪، كأقل نسبة تغير.

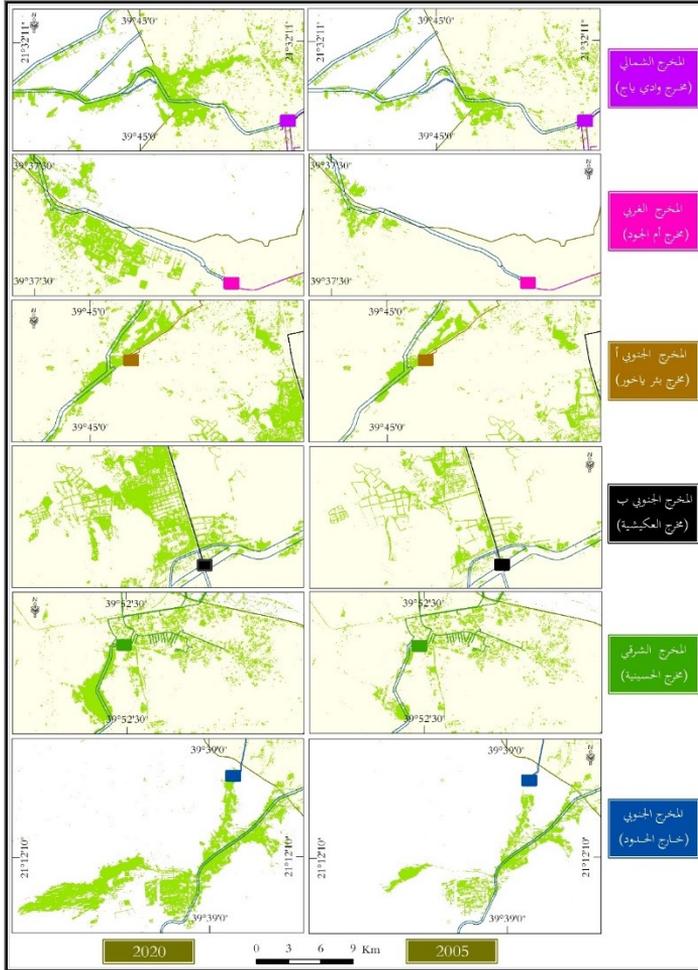
أما المخرج الغربي (مخرج أم الجود) فقد أتى في المرتبة الثانية من حيث نسبة التغطية النباتية في العامين، حيث سجل نسبة بلغت ٨,٦٥٪ في عام ٢٠٠٥، وبارتفاع طفيف في عام ٢٠٢٠، حيث بلغت نحو ٩,٦٩٪ من إجمالي نسبة التغطية النباتية في هذا العام، ورغم ذلك إلا أن نسبة التغير كانت كبيرة جداً بين العامين إذ بلغت ١٠٥,٧٦٪، مما يدل على زيادة كمية مياه السيول المنصرفة من الاحياء التي يمر عليها وادي الزاهر (فخ) في السنوات الأخيرة. في حين سجل المخرج الشمالي (مخرج وادي ياج)، أقل نسبة في حجم التغطية النباتية، مقارنة ببقية المخارج الأخرى، حيث لم تتجاوز في عام ٢٠٠٥

أكثر من ٥,٤٨٪ من إجمالي نسبة التغطية النباتية في هذا العام، ونسبة تغطية أقل من ذلك في عام ٢٠٢٠ إذ بلغت ٤,٠٢٪؛ وذلك نتيجة ضالة كمية السيول القادمة من الاحياء التي يمر بها وادي ياج ووادي سرف، مما انعكس على نسبة التغير بين العامين حيث لم تتجاوز ٣٤,٤٧٪.

جدول (٨) تأثير شبكة تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.

نسبة التغير (%)	٢٠٢٠		٢٠٠٥		مخارج تصريف السيول
	النسبة %	المساحة (٢كم)	النسبة %	المساحة (٢كم)	
٣١,٦٣	٨,٧٦	٧,٧٤	١٢,٢٣	٥,٨٨	المخرج الشرقي (مخرج الحسينية)
١٠٥,٧٧	٩,٦٩	٨,٥٦	٨,٦٥	٤,١٦	المخرج الغربي (مخرج أم الجود)
٣٤,٤٧	٤,٠٢	٣,٥٥	٥,٤٨	٢,٦٤	المخرج الشمالي (مخرج وادي ياج)
٣٤,١٩	٤,١٣	٣,٦٥	٥,٦٥	٢,٧٢	المخرج الجنوبي «أ» (مخرج بئر ياخور)
١٧٣,٣٥	١٠,٣٣	٩,١٣	٦,٩٤	٣,٣٤	المخرج الجنوبي «ب» (مخرج العكيشية) داخل حدود المدينة.
٩٠,١١	٦٣,٠٧	٥٥,٧٤	٦١,٠٥	٢٩,٣٢	المخرج الجنوبي (مخرج العكيشية) «ب» خارج حدود المدينة.
	١٠٠	٨٨,٣٧	١٠٠	٤٨,٠٦	الإجمالي
	٦٥,٥١	٣٢,٦٣	٨٧,٩٤	١٨,٧٤	الغطاء النباتي الناتج عن تصريف السيول داخل حدود المدينة.
	٣٤,٤٩	١٧,١٨	١٢,٠٦	٢,٥٧	الغطاء النباتي الناتج عن عوامل أخرى داخل حدود المدينة.
	١٠٠	٤٩,٨١	١٠٠	٢١,٣١	إجمالي الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

شكل (١٥) تأثير مخارج شبكة تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة.



وقد ضمت الجهة الجنوبية من مدينة مكة المكرمة مخرجين، بعكس الجهات الأخرى في المدينة؛ نتيجة كثافة كمية المياه المنصرفة من هذه الجهة. فالمخرج الجنوبي «أ» (مخرج بئر ياخور)، بلغت نسبة التغطية النباتية فيه ٥,٦٥٪ في عام ٢٠٠٥، في حين بلغت ٤,١٣٪ في عام ٢٠٢٠، بنسبة تغير بين العامين

فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

د. بسمة بنت سلامة سالم الرحيلي

بلغت نحو ٣٤,١٩٪، وهي نسب منخفضة مقارنة لنسب التغطية النباتية للمخرج الشمالي. غير أن أكبر نسبة تغطية نباتية كانت من المخرج الجنوبي «ب» (مخرج العكيشية)، حيث بلغت في عام ٢٠٠٥ نحو ٦٧,٩٩٪، أي أكثر من نصف كمية النباتات توجد في هذا المخرج مقارنة ببقية المخارج الأخرى، منها ٦,٩٤٪ تقع داخل الحدود الإدارية لمدينة مكة المكرمة، ونحو ٦١,٠٥٪ خارج حدود المدينة، وعلى مقربة من حي شعب علي الجديد. لتأخذ كمية التغطية النباتية في الزيادة، حيث سجلت نسبة التغطية النباتية نحو ٧٣,٤٪ في عام ٢٠٢٠، وهي نسبة كبيرة جداً تدل على عظم كمية مياه السيول المهذرة من هذا المخرج، والتي ساهمت في نحو ١٠,٣٣٪ من التغطية النباتية داخل حدود مدينة مكة المكرمة، ونحو ٦٣,٠٧٪ خارج حدود المدينة. وقد شهدت نسبة التغير بين العامين داخل الحدود زيادة كبيرة حيث بلغت ١٧٣,٣٥٪، أما نسبة التغير بين العامين خارج الحدود فقد بلغت ٩٠,١١٪. وقد أدت مخارج تصريف السيول إلى تشكيل غطاء نباتي، يحتوي على أنواع مختلفة من النباتات التي تلائم المياه العذبة في بيئة مكة المكرمة ولكن بشكل عشوائي (شكل ١٦). كما ساهمت هذه المخارج في تجمع أنواع مختلفة من الطيور والزواحف والثدييات، واتخذت منها مأوى لها (شكل ١٧). إلا أن هذه المناطق تشكل خطورة على الأحياء السكنية المجاورة لها؛ نتيجة التلوث البيئي الناتج عنها، حيث تعد مكاناً خصباً لتكاثر البعوض وغيره من الحشرات الناقلة للأمراض، كما لوحظ تتجمع النفايات الصلبة بها (شكل ١٨)، وما ينتج عنها من تلوث هوائي في المنطقة. كذلك لوحظ استغلال البعض لمخارج شبكة تصريف السيول في انشاء مزارع، تقوم بزراعة أنواع من الأشجار الخضروات، بطريقة عشوائية ومخالفة لأنظمة إقامة المزارع في المدينة.

شكل (١٦) بعض الأنواع النباتية عند مخارج شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.



شكل (١٧) تجمع بعض الطيور والكلاب عند مخارج شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.



شكل (١٨) التلوث البيئي عند مخارج شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة.



فاعلية تقنية الاستشعار عن بعد في مراقبة تأثير شبكات تصريف السيول على الغطاء النباتي في مدينة مكة المكرمة

د. بسمة بنت سلامة سالم الرحيلي

الخاتمة:

تتلخص خاتمة البحث في النتائج والتوصيات الآتية:

- النتائج:

- وجد أن هنالك شبكتين لتصريف السيول في مدينة مكة المكرمة، هما شبكة الصرف تحت السطحي وشبكة الصرف السطحي.
- تبين أن شبكة الصرف تحت السطحي تتمثل في الطرق والمساحات المرصوفة، والقنوات المفتوحة، وعبارات الطرق، والكباري، والسدود.
- اتضح وجود نحو ٦٦٠ عبارة ونحو ١٦٤ مطبقة لصرف مياه السيول في مدينة مكة المكرمة.
- وجد البحث أن داخل حدود المدينة سدين هما: سد وادي لقيطة وسد الشهداء، وهما جزء من نظام الصرف في المدينة.
- تبين أن أنظمة الصرف السطحي تتمثل في الشبكات الفرعية ومداخلها، والخطوط الرئيسة المؤدية إلى الأنفاق الصندوقية التي تصرف إلى الأودية المحيطة بمدينة مكة المكرمة، والبالغ عددها خمسة أنفاق صندوقية (مخارج).
- وجد أن بناء شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة يتأثر بالظروف الطبيعية والعوامل البشرية في المنطقة.
- اتضح من البحث أن ارتفاع نحو ٩٦,٨٣٪ من إجمالي مساحة المدينة ما بين ٣٠٠-٥٠٠م فوق مستوى سطح البحر، ساهم في قلة أو انعدام الأماكن المناسبة لبناء شبكة تصريف سيول ملائمة لكمية الجريان السيلبي في المنطقة.

- تبين أن انحدار نحو ٧٨,٨٩٪ من سطح المدينة بدرجة خفيفة إلى خفيفة جداً نحو الغرب والجنوب الغربي، أدى إلى اتجاه تصريف معظم مخارج تصريف السيول إلى الجهة الغربية والجنوبية الغربية، متبعة اتجاه الميل الطبيعي لتضاريس المنطقة وهو نفس اتجاه التصدعات الرئيسية بالمنطقة.
- وجد أن للأدوية تأثيراً كبيراً على شبكة تصريف السيول في مدينة مكة المكرمة، حيث صممت مسارات شبكة تصريف السيول تحت السطحية والسطحية لتتماشى مع مسارات الاودية والشعاب بها.
- تبين أن النمو العمراني للمدينة من نحو ٤,٢١٪ عام ٢٠٠٥، إلى نحو ٩,٣٥٪ في المدينة عام ٢٠٢٠، خصوصاً في الجهتين الجنوبية الغربية والغربية، ساهم في وقوع أحياء هذه الجهات في مجرى شبكة تصريف السيول السطحية (مخرج العكيشية).
- تبين من البحث أيضاً أن مدينة مكة المكرمة فقيرة جداً في غطائها النباتي، حيث لم يتجاوز معدل مؤشر OSVI - ٠,٠٣ في عام ٢٠٠٥، ونحو ٠,٠٨ في عام ٢٠٢٠.
- وجد أن نسبة مساحة الغطاء النباتي منخفضة جداً إذ بلغت في عام ٢٠٠٥ نحو ١,٩٦٪، وفي عام ٢٠٢٠ نحو ٤,٥٨٪.
- اتضح أن تصريف مياه السيول عبر المخارج الخمس، أدى إلى نمو غطاء نباتي كثيف حول هذه المخارج، وإن كانت كميته تختلف من مخرج إلى آخر، بحسب كمية السيول التي يصرفها المخرج.

- تبين أن أعلى نسبة تغطية نباتية كانت من المخرج الشرقي (مخرج الحسينية) في عام ٢٠٠٥، ومن المخرج الجنوبي «ب» (مخرج العكيشية) في عام ٢٠٢٠. في حين اتضح أن أقل تغطية نباتية كانت من المخرج الشمالي (مخرج وادي ياج) في العامين.
- وجد أن مخرج العكيشية وحده أدى إلى نمو غطاء نباتي خارج حدود المدينة، بلغت تغطيته نحو ٦١,٠٥٪ في عام ٢٠٠٥م، ونحو ٦٣,٠٧٪ في عام ٢٠٢٠.
- خرج البحث بخطورة تجمع مياه تصريف السيول حول المخارج الخمس المشار إليها، لما ينتج عنها من تلوث ونمو غطاء نباتي عشوائي، وظهور مزارع غير مرخصة بالقرب منها.

- التوصيات:

- ضرورة استحداث شبكات تصريف سيول، تتوافق مع النمو العمراني للمدينة، مع التخطيط لاستحداث شبكات تصريف مستقبلية جديدة تحقق معايير الاستدامة في شبكات تصريف السيول.
- الاستفادة من مياه السيول المهذرة، في انشاء منتزهات داخل المدينة، أو خارجها، وزيادة نسبة التشجير في المدينة.
- انشاء عبارات ومسارات جديدة لتصريف مياه السيول في الاحياء الجديدة التي شهدت مؤخراً نمو عمرانياً.
- منع تصاريح انشاء مخططات سكنية في مجاري الأودية الكبيرة التي يصعب التحكم في كمية الجريان السيلبي بها.
- الاستفادة من تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في مراقبة الاثار الناجمة عن تصريف السيول، والاستفادة منها ايضاً في التخطيط لإنشاء شبكات جديدة تحقق التصريف الأمثل للأمطار والاستدامة البيئية (SUDS) في مدينة مكة المكرمة.

هذا وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

المراجع:

- المراجع العربية:

أمانة العاصمة المقدسة، (٢٠٢٠)، خارطة الاحياء الجديدة لمدينة مكة المكرمة، مركز نظم المعلومات الجغرافية، مكة المكرمة.

الحارث، عواطف شجاع، (١٤٢٧هـ)، البيئة الحيوية لمنطقة الحرام المكي دراسة في الجغرافيا الحيوية، جامعة الامام محمد بن سعود الإسلامية، الرياض.
مرزا، معراج؛ البارودي، محمد (١٤٢٥هـ)، الأسس الجيولوجية ودورها في نشأة مظاهر السطح لمنطقة الحرم المكي، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

مركز الاستشعار عن بعد، (١٤٤١هـ)، بيانات Spot-٥/٧ مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض، المملكة العربية السُّعُودِيَّة.

نجيم، رقية حسين، (١٤١٧هـ)، البيئة الطبيعية لمكة المكرمة: دراسة في الجغرافيا الطبيعية لمنطقة الحرم المكي الشريف، مؤسسة الفرقان للتراث الإسلامي، الرياض.
هيئة المساحة الجيولوجية السُّعُودِيَّة، (١٤٣٠هـ)، خارطة المملكة العربية السُّعُودِيَّة الإدارية، هيئة المساحة الجيولوجية السُّعُودِيَّة، جدة، المملكة العربية السُّعُودِيَّة.

وزارة البيئة والمياه والزراعة، (٢٠١٩)، نشرة السدود اليومية ٢٠/٥/٢٠١٩، وكالة الوزارة للمياه، الإدارة العامة لموارد المياه، الرياض، المملكة العربية السُّعُودِيَّة.
وزارة الشؤون البلدية والقروية لتخطيط المدن، (٢٠٠٠)، المخطط الهيكلي لمكة المكرمة - التقرير الفني، وكالة الوزارة لتخطيط المدن، مكة المكرمة.

- المراجع الأجنبية:

- Azmeri, A.; Hadihardaja, I. and Vadiya, R. (٢٠١٦), Identification of flash flood hazard zones in mountainous small watershed of Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, ١٩, pp. ١٤٣-١٦٠.
- Bariweni, P.A.; Tawari, C.C. and Abowei, J.F.N. (٢٠١٢), Some Environmental Effects of Flooding in the Niger Delta Region of Nigeria, International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, ١, ١, pp. ٣٥-٤٦.
- Berland, A.; Shiflett, S. a.; Shuster, W.D.; Garmestani, A. S.; Goddard, H. C.; Herrmann, D. L.; Matthew E. and Hopton, M. E. (٢٠١٧), The role of trees in urban stormwater management, Landsc Urban Plan, ١٦٢, pp. ١٦٧-١٧٧.
- Džubáková, K.; Molnar, P.; Schindler, K. and Trizna, M. (٢٠١٥), Monitoring of riparian vegetation response to flood disturbances using terrestrial photography, Hydrol. Earth Syst. Sci., ١٩, pp. ١٩٥-٢٠٨.
- El-Magd, I.; Hermas, E. and El Bastawesy, M. (٢٠١٠), GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, ١٣, pp. ٨١-٨٨.
- Emmanuel, A.; Ojinnaka, O. C.; Baywood, C. N. and Gift, U. A. (٢٠١٥), Flood Hazard Analysis and Damage Assessment of ٢٠١٢ Flood in Anambra State Using GIS and Remote Sensing Approach, American Journal of Geographic Information System, ٤, ١, pp. ٣٨-٥١.
- Haas, J. (٢٠١٦), Remote Sensing of Urbanization and Environmental Impacts, Doctoral Thesis in Geoinformatics, Department of Urban Planning and Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Haupt, A. and Kane, T. T., (٢٠٠٠), The Population Handbook, Eighth printing Washington, D.C: Population Reference Bureau, USA.
- Houlès. V. ; El Hajj M. and Bégué A., (٢٠٠٦), Radiometric normalization of a spot ٤ and spot ٥ time series of images

- (islereunion) for agriculture applications, ISPRS Commission Technique I. Symposium, Marne-la-Vallée, FRANCE (٠٣/٠٧/٢٠٠٦), n° ١٨١ (٥٧ p.), pp. ٣١-٣٧.
- Huete, A. R., (١٩٨٨), A soil adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sensing of Environment, ٢٥, pp.٢٩٥-٣٠٩.
- Kang, T.; Kimura, I. and Shimizu, Y. (٢٠١٨), Responses of Bed Morphology to Vegetation Growth and Flood Discharge at a Sharp River Bend, Water, MDPI, ١٠, ٢, ٢٢٣ pp.١-٢٥.
- Kazakis, N.; Kougiyas, I. and Laboratory, T. (٢٠١٥), Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece, Science of the Total Environment, ٥٣٨, pp.٥٥٥-٥٦٣.
- Kleidorfera, M.; Mikovitsa, C.; Jasper-Tönniesb, A.; Huttenlauc, M.; Einfaltb, T. and Raucha, W. (٢٠١٤), Impact of a changing environment on drainage system performance, Science Direct, Procedia Engineering, ٧٠, pp.٩٤٣ - ٩٥٠.
- Markovič, G.; Zelenáková, M.; Káposztásová, D. and Hudáková, G. (٢٠١٤), Rainwater infiltration in the urban areas, WIT Transactions on Ecology and the Environment, ١٨١, WIT Press.
- Ozcana, O. and Musaoglu, N., (٢٠١٠), Vulnerability Analysis of Floods in Urban Areas Using Remote Sensing and GIS, Remote Sensing for Science, Education, Rainer Reuter (Editor) and Natural and Cultural Heritage, Heritage EARSeL, pp. ٣٧٩-٣٨٥.
- Rondeaux, G.; Steven, M. and Baret, F., (١٩٩٦), Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices, Remote Sensing of Environment, ٥٥, pp.٩٥-١٠٧.
- Smith, B. (٢٠١٣), The role of vegetation in catastrophic floods: A spatial analysis, School of Earth & Environmental Science, University of Wollongong. <http://ro.uow.edu.au/thsci/>٦٥.
- Snel, M. and Bot, A. (٢٠٠٣), Some suggested indicators for land degradation assessment of drylands (draft paper). FAO, Rome.
- Taudia, D. and Goel, S. (٢٠١٣), Rapid environmental impact assessment using remote sensing and geographic information systems: A case study of river Ib Barrage, Odisha, Journal of Geomatics, ٧, ١, pp.٤٧-٥٢.

- Umbarkar, S. S.; Manjare, B.S. and Daberao, I.M., (٢٠١٤), Comprehensive Wastewater Analysis and its Management in Some Part of Nagpur City, Maharashtra, India using SRTM DEM, GIS and Remote Sensing Approach, International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, ٣, ١, pp. ٧٣٩-٧٤٧.
- USGS, (٢٠٢٠), DEM, <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vermote, E.; Tanre, D.; Deuze, J.; Herman, M. and Morcrette, J., (١٩٧٧), Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, ٦s: An Overview, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, ٣٥, ٣, pp. ٦٧٥-٦٨٦.
- Young, A., (١٩٧٨), **Slopes**, Longman Inc. New York, USA.
- Zhang, D.; Quan, J.; Zhang, H.; Wang, F.; Wang, H. and He, X. (٢٠١٥), Flash flood hazard mapping: A pilot case study in Xiapu River Basin, China, Water Science and Engineering, ٨, ٣, pp. ١٩٥-٢٠٤.

- hyŷh AlmsAHh Aljywlwjyh Alsŷwdyh (1430h-) xArTh Almmlkħ Alqrbyh
Alsŷwdyh AlĀdAryh hyŷh AlmsAHh Aljywlwjyh Alsŷwdyh jdh Almmlkħ
Alqrbyh Alsŷwdyh.
- wzArh Albyŷh wAlmyAh wAlzrAŷh (2019) nŷrħ Alsdwd Alywmyh 20/05/
2019 wkAlh AlwzArh lmyAh AlĀdArh AlŷAmh lmwArd AlmyAh
AlryAD Almmlkħ Alqrbyh Alsŷwdyh.
- wzArh Alŷwwn Albldyh wAlqrwyh ltxTyT Almdn (2000) AlmxTT Alhykly
lmkħ Almkrmħ – Altqyr Alfny wkAlh AlwzArh ltxTyT Almdn mkħ
Almkrmħ.

AlmrAjç:

AlmrAjç Alçrbyh:

- ÂmAnh AlçASmñ Almqdsh '(2020) 'xArTñ AlAHyA' Aljdydh lmdynh mkh

Almkrmh 'mrkz nðm AlmqçlwmAt AljyrAfyh 'mkh Almkrmh.

- AlHArθ 'çwATf šjAç '(1427h-) 'Albyÿh AlHywyh lmnTqñ AlHrAm Almky

drAsh fy AljyrAfyA AlHywyh 'jAmçh AlAmAm mHmd bn sçwd

AlĀslAmyh 'AlryAD.

- mrzA 'mçrAjç' AlbArwdy 'mHmd (1425h) 'AlĀss Aljywlwyjh wdwrhA fy nšĀh

mĀAhr AlsTH lmnTqñ AlHrm Almky 'slsñ bHwθ Alçlwm AlAjtmAçyh 'jAmçh

Ām Alqrÿ 'mkh Almkrmh.

- mrkz AlAstšçAr çn bçd '(1441h-) 'byAnAt Spot-5/7 mdynh Almlk çbd Alçyz

llçlwm wAltqnyh 'AlryAD 'Almmlkñ Alçrbyh Alsçúwdyh.

- njym 'rqyh Hsyn '(1417h-) 'Albyÿh AlTbyçyh lmkñ Almkrmh: drAsh fy

AljyrAfyA AlTbyçyh lmnTqñ AlHrm Almky Alšryf 'mŵssh AlfrqAn lltrĀθ

AlĀslAmy 'AlryAD.