International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (1) January 2026 الإصدار (5)، العدد (1)

الكشفُ الآليُ المبكرُ عنْ مسبباتِ وبوادرِ التدافعِ البشريِ بالمشاعرِ المقدسةِ والحرمِ المكيِ

مصطفى محمد العمامي
أستاذ مشارك في هندسة المساحة والجيوديسيا الفضائية، قسم الهندسة المدنية، جامعة بنغازي، بنغازي، ليبيا
mustafa.amami@uob.edu.ly

ملخصُ البحثِ

في إطار البذل الحثيث والمتواصل الذي تتبعهُ المملكةُ العربيةُ السعوديةُ لتطوير بيتِ الله الحرام والمشاعر المقدسةِ، تأتي التوسعةُ العملاقةُ الأخيرةُ لتتويج هذه المساعي، والتي منْ شأنِهَا الارتقاء عمرانيًا بهذه البقاع المقدسةِ، سامحة بازدياد الطاقة الاستيعابية بشكل كبير. وتتطلبُ الزيادة المتوقعةُ في أعدادِ الحجيجِ، لا سيما في فتراتِ الذروةِ كشهر رمضانِ وموسم الحج، اهتماما بالغاً بأمورِ التنظيمِ، والتنسيقِ، والمراقبةِ، وإدارةِ وحركةِ الحشودِ، لاسيما بمشعر منىَ عند رمي الجمرات خصوصًا، وفي المطاف والمسعى بالبيت العتيق عامةً، حيث تبلغ معدلات التزاحم أقصاها، وتحدث أغلب حوادث التدافع. وقد تم خلالَ هذه الورقة طرحُ فكرةٍ تصميميةٍ مبتكرةٍ لمنظومة مراقبةٍ إلكترونيةٍ متكاملةٍ، تعمل على الكشف الآلي المبكر عنْ مسببات وبوادرِ التدافعِ في المناطق الحساسة من المشاعر المقدسةِ كجسر الجمرات، والطرق المؤدية إليه من مزدلفة، والمطاف والمسعى بالحرم المكي. وقد روعي عند وضع تصميم المنظومة أن تكون فعالة في تتبع حركة واتجاه وسرعة كافة المتواجدين في هذه المناطق دون استثناء، والكشف آليا عن إي مخالفة للتعليمات والإرشادات المنصوص عليها في خطط تنظيم حركة الحجيج والمعتمرين الموضوعة من الجهات المسؤولة، سواء أكانت مخالفات فردية أو جماعية. وتشمل المخالفات التي يمكن للمنظومة رصدها آليا مخالفة حدود سرعة الحركة المسموح به، كالإسراع في أمكان التريث، أو العكس، ومخالفة اتجاه الحركة، كالتحرك في اتجاهات معاكسة أو مُخَالِفَةٍ لاتجاه حركة الحجيج، أو اتخاذ مسارات متعرجة والحركة باتجاه عرضي، ورصد ازدياد معدلات الازدحام عن القيم المنصوص عليها، وعمليات الافتراش، والتكسب الثابت والمتحرك، واصطحاب الأمتعة، والتواجد في غير الأماكن المسموح بها، ورصد التصرفات الغير مسؤولة التي من شأنها إحداث فوضى وشغب بين جموع الحجيج. كما روعي أيضاً أن تكون التصاميم متكاملة لتغطية كافة نواحي المنظومة، شاملة تجهيز قاعدة البيانات الإلكترونية للمنظومة ومحتوياتها، وطريقة ضبط إعدادات كافة الأجهزة بها، وشرح طريقة عمل المستشعرات الضوئية، وعملية معالجة ومطابقة الصور آليا الصور لرصد المخالفات، وشرح مهام وحدات التحكم واتخاذ القرارات، والتدخل، ووحدة التنبيه والتحذير. وتشمل التصاميم المطروحة بيان قدرة المنظومة على رصد المخالفات المطلوبة آليا، وإحالتها إلى عملية التقييم النهائية لاتخاذ القرارات المناسبة لمعالجة الخلل، والقدرة عند الطوارئ على إيقاف أو إبطاء حركة الحجيج في كافة أرجاء المشاعر أو في جزء منها، والقدرة على توجيه عناصر التدخل إلى موقع الحالة، وإرشادهم إلى أقرب المخارج، وأسلك السبل لإسعاف وإجلاء المصابين وتدارك الأمور. كما بينت التصاميم

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (1) January 2026 الإصدار (5)، العدد (1)

قابلية المنظومة للتطوير بشكل دوري، وتم أيضا التطرق إلى طرق الاتصالات والربط بين الوحدات، والبرمجيات القادرة على تنفيذ الأعمال المطلوبة لتنفيذ مهام المنظومة، ونماذج من الأجهزة التي يمكن استخدامها في وحدات المنظومة المختلفة. كما تم التطرق إلى بعض التوصيات التي من شأنها المساعدة في عملية وضع الخطوات الأولية لتنفيذ الفكرة على أرض الواقع.

الكلمات المفتاحية: كشف مبكر، تدافع بشري، الحج، المشاعر المقدسة، مكة، جسر الجمرات، منظومة آلية.

Early Automated Detection of the Causes and Precursors of Human Stampedes in the Holy Sites and the Grand Mosque in Makkah

Mustafa M. Amami
Associated Professor of Engineering Surveying & Space Geodesy, Department of Civil Engineering, Benghazi University, Benghazi, Libya
mustafa.amami@uob.edu.ly

Abstract

Within the framework of the continuous and concerted efforts undertaken by the Kingdom of Saudi Arabia to develop the Grand Mosque and the Holy Sites, the recent mega-expansion project represents the culmination of these endeavors. This expansion has significantly enhanced the urban and architectural quality of these sacred sites while substantially increasing their accommodation capacity. With the anticipated rise in the number of pilgrims and worshippers, particularly during peak periods such as the month of Ramadan and the Hajj season, there is a critical need to strengthen organization, coordination, monitoring, and crowd management mechanisms. This need is especially pronounced in highly congested areas, notably Mina during the stoning of the Jamarat, as well as the Tawaf and Sa'i areas of the Grand Mosque, where crowd density reaches its maximum and most stampede incidents tend to occur. This paper proposes an innovative design concept for an integrated electronic monitoring system aimed at the early automatic detection of the causes and precursors of crowd congestion and stampedes in sensitive areas of the Holy Sites, including the Jamarat Bridge, the routes leading to it from Muzdalifah, and the Tawaf and Sa'i areas within the Grand Mosque. The system is designed to effectively track the movement, direction, and speed of all individuals present in these areas without exception, and to automatically detect any violations of the regulations and guidelines stipulated in the official crowd management plans issued by the responsible authorities, whether such violations are individual or collective. The violations that the

proposed system can automatically detect include exceeding permitted movement speed limits, such as rushing in designated waiting zones or slowing down in continuous-flow areas, violating prescribed movement directions by walking against the designated flow of pilgrims, adopting irregular or zigzag movement patterns, or moving laterally across crowd streams. The system is also capable of identifying crowd density levels that exceed predefined thresholds, instances of floor sitting or sleeping, fixed and mobile unauthorized vending, carrying luggage, presence in restricted areas, and irresponsible behaviors that could potentially lead to disorder or unrest among pilgrims. The proposed designs also ensure full integration of all system components, encompassing the preparation of the electronic database and its contents, configuration procedures for all system devices, detailed explanations of optical sensor operation, automated image processing and matching techniques for violation detection, and clarification of the roles of control, decision-making, intervention, alert, and warning units. The designs demonstrate the system's capability to automatically detect violations and forward them to a final evaluation stage for appropriate decision-making and corrective action. In emergency situations, the system can partially or fully halt or slow down crowd movement across the Holy Sites, direct intervention teams to incident locations, guide them to the nearest exits, and identify the safest routes for medical assistance, evacuation, and incident mitigation. Furthermore, the designs highlight the system's scalability and capacity for continuous development. The study also addresses communication methods and interconnections between system units, the software solutions required to perform the system's tasks, and presents examples of devices suitable for deployment across the various system components. Finally, the paper provides a set of recommendations intended to assist in establishing the initial steps necessary for implementing the proposed concept in practice.

Keywords: Early Detection, Human Stampede, Hajj, Holy Sites, Makkah, Jamarat Bridge. Automated System.

1. مقدمةٌ

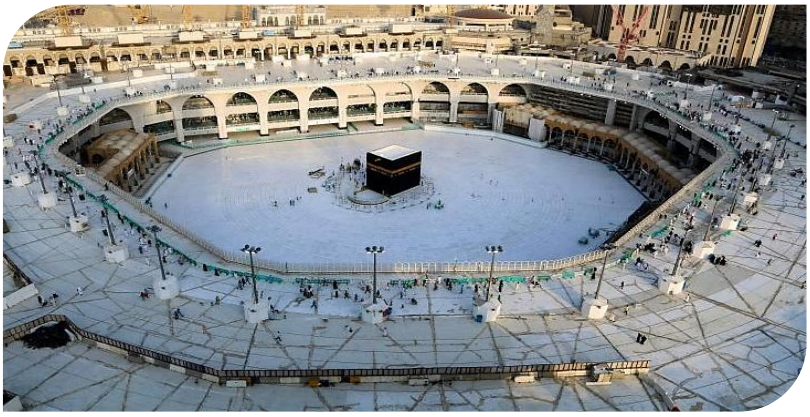
لا يخفىَ على أحدٍ اليومَ ما تقومُ بهِ المملكةُ العربيةُ السعوديةُ منْ توسعاتٍ ضخمةٍ لبيتِ اللهِ الحرامِ والمشاعرِ المقدسةِ، والمتوجةِ بالتوسعةِ العملاقةِ الأخيرةِ والغيرِ مسبوقةِ، والتي منْ شأنِهَا أن تغيرَ معالمَ هذهِ البقاعِ المقدسةِ بشكلٍ جذريٍ، وأنْ تلقيَ بظلالِهَا علىَ المناطقِ المتاخمةِ لهَا، فتتمازجُ جميعاً ضمنَ تخطيطٍ هندسيٍ مدروسٍ ومتكاملٍ، وهو ما سيسمحُ بازديادِ الطاقةِ الاستيعابيةِ لهذهِ البقاعِ الطاهرةِ بشكلٍ

ملحوظٍ، دونَمَا مساسٍ براحةِ زوارِهَا، أو تأثيرٍ علىَ حركَتِهِم ووقتِهِم. وتنفذُ هذهِ التوسعةُ التي تصلُ مساحتُهَا إلى 750 ألف مترٍ مربعٍ من خلالِ ثلاثةِ محاورَ رئيسةٍ تشملُ توسعةَ الحرمِ ذاتِهِ، لتتضاعفَ قدرتُه الاستيعابيةُ عدةَ مراتٍ وتصلَ إلى أكثرَ من مليوني حاجٍ، وتوسعةً ساحاتِه الخارجيةِ بما تحويهِ من مرافقَ مساندةٍ وأساسيةٍ، وثالثُ محاورِهُا يُعْنَىَ بمنطقةِ الخدماتِ الضروريةِ كمحطاتِ التكييفِ والكهرباءِ والمياهِ [1]. هذهِ الزيادةُ الكبيرةُ المتوقعةُ في أعدادِ الحجيجِ، لا سيما في فتراتِ الذروةِ كشهرِ رمضانَ وموسمِ الحجِ، تتطلبُ اهتمامًا بالغاً بأمورِ التنظيمِ، والمراقبةِ، وإدارةِ حركةِ الحشودِ، في كلِ مراحلِ ومناطقِ الازدحام بالبقاعِ الطاهرة، شاملاً المشاعرَ المقدسةَ بمنى ومزدلفةَ وجبلِ عرفة، والمطافَ والمسعىَ بالبيتِ العتيق. شكل (1) يبينُ جانبًا من أعمالِ التوسعةِ الأخيرةِ بالحرمِ المكي.

شكل (1): جانبٌ من أعمالِ التوسعةِ الأخيرةِ بالحرمِ المكي [2]

ومن مناسكِ الحجِ "الحركيةِ" ذاتِ الطابعِ الازدحامي الطوافُ حولَ الكعبةِ المشرفةِ، وهو في العمرةِ ركنٌ، وفي الحجِ سنةٌ أو واجبٌ عند القدومِ باختلافِ الأقوالِ، وركنٌ عند الإفاضةِ، وواجبٌ عند الوداعِ [3]. وتزدادُ وتيرةُ التزاحمِ بالمطافِ خلالَ الأيامِ الأُولىَ من شهرِ ذي الحجةِ، وهي أيامُ الذروةِ لتوافدِ الحجيجِ على مكةَ. وتستمرُ أعدادُ الطائفينَ في التزايدِ لتبلغَ أقصاهَا يومَ السابعِ من ذي الحجةِ، وتبدأُ في التناقصِ بسرعةٍ كبيرةٍ حتى ليكادَ صحنُ المطافِ ومساراتِه تخلو صبيحةَ الثامنِ من ذي الحجةِ بسببِ خروجِ الحجيجِ إلى مشعرِ منى. وبعد مشروعِ التوسعةِ الأخيرة للحرم المكي باتَ المطافُ يتسعُ لأكثر من 105000 طائفٍ بالساعةِ، بمساحةٍ إجماليةٍ قدرها 9000 متر مربع بمستوى صحن الطواف حول الكعبة، مع مسارٍ للطواف بعرض 12 متراً في الدور الأرضي، وأخر بعرض 24 متراً في الدور الأول، وثالثٍ بعرض 48 متراً على سطح الحرم، بجانب مسارٍ مخصصٍ للعربات وذوي الاحتياجات الخاصة بعرض 12 مترا في الميزان [1]. ويشهد المطافُ فتراتٍ أشدَ ازدحامًا خلال العشر الأواخر من شهر رمضان، لاسيما ليلة السابع والعشرين، وكذا حالَ فراغِ الحجيج من رمي جمرة العقبة وتوجههم لأداء طواف الإفاضة يومَ النحرِ، حيث يبلغ التزاحم أقصى درجاته ليصلَ إلى معدلِ 8 أشخصٍ بالمتر المربع في صحن الطواف بالدوائر القريبة من

الكعبة المشرفة، ويقلُ المعدلُ تدريجيًا ليصلَ إلى شخصٍ واحدٍ بالمتر المربع في أبعد مسارٍ عن الكعبة على سطح الحرم. وتشكل مناطق معدلات التزاحم المرتفعة بيئة ملائمة لحوادث التدافع حيث لا يوجد مجالٌ أو متسعٌ أو قدرةٌ فرديةٌ للتعامل مع مسببات السقوط وسط قوة دفع بشرية خلفية كبيرة تجهلُ ما يحدث أمامها. شكل (2) يبين توسعة صحن الطواف ومسار الطواف بالطابق الثاني وعلى السطح، وشكل (3) يبين مدى اكتظاظ صحن الطواف بزوار البيت العتيق في موسمي الحج والعمرة.



شكل (2): توسعة صحن الطواف، ومساراته بالحرم المكي [2]

شكل (3): اكتظاظ صحن الطواف بزوار البيت العتيق في موسمي الحج والعمرة [2]

والسعيُ بين الصفا والمروة ركنٌ من أركان الحجِ والعمرةِ، سواءٌ في ذلك المتمتعُ، والقارنُ، والمُفْرِدُ، يؤدِهِ الأولُ مرتين، إحداهما مع العمرة عند قدومه، والأخرى للحج. ويمكن للحاج المفرد والقارن تقديمُ سعي الحج إلى ما بعد طواف القدوم أي قبل عرفه، أو تأخيره إلى ما بعد طواف الإفاضة. أما المتمتع، فسعي حجه يكون بعد طواف الإفاضة [3]. وتبلغ المسافةُ بين جبلي الصفا والمروة ما يقاربُ 400 مترٍ طولاً، و40 مترًا عرضًا بعد التوسعة الأخيرة، وعدد طوابقه 4: الأرضيُ، وطابقان علويان، وطابقٌ تحت الأرض مخصصٌ للعربات وذوي الاحتياجات الخاصة. وتبلغ المساحة الإجمالية للمسعى حوالي 87 ألف متر مربع [1]. وللمسعى ذروةُ ازدحامٍ مكانيةٌ وذروةٌ زمنيةٌ، فأما الأولى، فتكون في الطابق الأرضي بالمسعى القديم دون التوسعة، ومرجع ذلك إلى حرص كثيرٍ من الحجاج على أداء هذا الركن كما أداه الحبيب المصطفى

صلوات الله وسلامه عليه وتتبعِ أثره ومساره فيه، وكذا لوجود خلافٍ بين أهل العلم في جواز السعي في التوسعة الجديدة للمسعى. وأما ذروته الزمنية، فتماثل أوقات ذروة الطواف، فطواف القدوم يتبعه سعي المتمتعِ للعمرةِ، والمفردِ والقارنِ للحج، وطواف الإفاضة يتبعه سعيُ المتمتعِ للحجِ، وسعيُ مَنْ أخَّرَ ذلكم من المفردينَ والقارنينَ [3]. وباعتبار أن السعي يكون مرةً واحدةً للمعتمر ومرة أو مرتين للحاج باختلاف نيته، وباعتبار التوسعة الكبيرة للمسعى والمساحة الإجمالية له مقارنة بأعداد الحجيج، فإن معدلات الازدحام بالمسعى حسابيًا لا تتعدى شخصًا واحدًا للمتر المربع، وهو معدلٌ لا يستدعي قلقًا. إلا أن ما ذكرناه سابقًا في مسألةِ جواز السعي في مساحة التوسعة الجديدة من عدمه، والحرص الشديد على أدائه في الطابق الأرضي، يجعل معدلات الازدحام تزداد لتصلَ إلى عدة أشخاص بالمتر المربع في أوقات الذروة، مما تسترعي مراقبةً دقيقةً لتفادي حدوثِ أي تدافعاتٍ أو حوادثَ.

شكل (4): اكتظاظُ المسعى بزوار البيت العتيق في موسمي الحج والعمرة [2]

ويبعدُ مشعرُ منى عن مكةَ مسافةً تزيدُ عن 7 كم، حيث يتواجد جلُ الحجيج بهذا المشعر قبل زوال شمس يوم التروية استحبابًا، ويبيتون بها ليلة التاسع من ذي الحجة. ثم يخرج الحجيج من منى بعد شروق شمس اليوم التاسع من ذي الحجة -وهو يوم عرفة -متوجهين إلى صعيد عرفات ليصلوا إليه قبل الزوال، قاطعين مسافة تناهز 10 كم من مكان مبيتهم بمشعرِ منى. وبعد غروب شمس يوم عرفة، ينفر الحجيج إلى مزدلفةَ للمبيتِ فيها قاطعين مسافةً تقاربُ 6 كم رجوعًا باتجاه مكة. ويقطع الحجيج هذه المسافات رجالاً مستخدمين الممراتِ الأربعة المخصصةَ للمشاةِ بعرضٍ إجماليٍ قدره 100 متر، أو ركبانًا خلال طرقٍ ومواقفَ مخصصةٍ للحافلات. ويبلغ متوسط معدلات التزاحم في الطريق من مكة إلى منى ومنها إلى عرفات ثم مزدلفة شخصًا واحدًا للمتر المربع، وذلك على اعتبار أن عدد الحجيج بعد انتهاء التوسعات سيبلغ زهاء ثلاثة ونصف مليون، وأن ما نسبتهُ 30% من الحجيج عادةً يتخذون السير على الأقدام سبيلاً للوصول إلى مقاصدهم، حيث يستخدم البقية وسائل النقل الجماعي المتاحة، وأن متوسط سرعة المشي في درجات الحرارة والرطوبة العالية قدرها مترٌ واحدٌ بالثانية. وهذا المعدل يعد منخفضاً

نسبياً، ولا يشكل خطرًا أو بيئةً مناسبةً للتدافع، لذا لا يكاد يُسْمَعُ عن مثل هذه الحوادث في هذه المسارات جيئةً أو ذهابًا. شكل (5) يبين أمثلةً للطرق الواصلة بين المشاعر المقدسة حالَ ازدحامها بالحجيج.

شكل (5): أمثلة للطرق الواصلة بين المشاعر المقدسة حال ازدحامها بالحجيج [2]

وبعد صلاة فجر يوم النحر -وهو العاشر من ذي الحجة -وقبل شروق الشمس، يخرج الحجيج من مزدلفة إلى مشعر منى لرمي جمرة العقبة الكبرى، حيث يمتد وقت أداء هذه الشعيرة بشكلٍ عامٍ حتى فجر أول أيام التشريق -وهو الحادي عشر من ذي الحجة. إلا أن السُّنَةَ أن يكون الرمي بين طلوع الشمس إلى زوالها يوم النحر، ويجوز إلى غروب الشمس مطلقًا، وإجازته من بعد الغروب وحتى الفجر لذوي الأعذار. وبعد أداء شعائر التحلل الأول، يتوجه الحجيج إلى مكة لأداء طواف الإفاضة والسعي للمتمتعين ولمن لم يسعَ بعد طواف القدوم من المفردين والقارنين. ثم يعود الحجيج إلى مشعر منى للمبيت فيه وقضاء أيام التشريق، حيث يتم رمي الجمرات الثلاث: الصغرى ثم الوسطى ثم الكبرى بهذا الترتيب كل يوم من هذه الأيام من بعد الزوال وحتى غروب الشمس، بحيث يتريث الحجيج ويدعون عند الأُولَيَينِ، وينصرفون مباشرة بعد رمي جمرة العقبة. ويمكن الاكتفاء بالرمي ليومين فقط للمتعجلين شريطة خروجهم من مشعر منى قبل غروب شمس ثاني أيام التشريق وهو النفر الأول، وإلا توجب عليهم البقاء لليوم الثالث ورمي الجمرات تارةً أخرىَ ثم الخروج وهو النفر الثاني [3]. وتتم عملية الرمي عبر جسرٍ مكونٍ من خمسة طوابق مخصصٍ لرمي الجمرات يضم الجمرات الثلاث، بطولٍ يبلغُ 950 مترًا، وعرضٍ 80 مترًا، وعددِ 11 مدخلاً و12 مخرجًا في كافةِ الاتجاهاتِ، ومساحةٍ إجماليةٍ قدرهَا 200000 متر مربع، مع كافة الخدمات وسبل الأمن والسلامة لمستخدميه [1]. شكل (6) يبين جوانبًا من الطرق المؤدية إلى جسر الجمرات من مزدلفة ومدى اكتظاظه بمؤدي هذه المناسك.

شكل (6): جوانب من الطرق المؤدية إلى جسر الجمرات من مزدلفة ومدى اكتظاظها بمؤدي هذه النسك [2]

وبالنظر إلى طبيعة شعيرة رمي الجمرات، تجدُ أنها تختلفُ عن باقي الشعائر من ناحية تكرارها لثلاثة أيام متتالية للمتعجلين، وهي يوم النحر ويومي التشريق الأولين، ولأربعة أيام لغير المتعجلين وهي يوم النحر وأيام التشريق الثلاثة. كما أنها تختلف أيضاً من جهة ضرورة تأديتها في أماكن ضيقةٍ ومحصورةٍ -وهي أحواض الجمرات، وبزاويةِ رميٍ مستحبةٍ تجعل مكة عن اليسار ومنى عن اليمين، وحرصِ كثيرٍ من الحجيجِ على تأديتها بالطابق الأرضي، وبزمنِ الأفضلية الممتدِ من بعد الزول وحتى الغروب اتباعًا للسُّنَةِ المطهرةِ، وهو ما يشكل تحديًا صعبًا مقارنةً بأعداد الحجيج المتوافدين على هذه المشاعر المقدسة. ولعلَ أكثر الأمورِ التي تَؤرِّقُ مضاجعَ مسؤولي ومنظمي حركاتِ الحجيجِ بالمشاعرِ المقدسةِ هو موضوعُ التدافعِ بجسر الجمرات والطرق المؤدية إليه من مشعر مزدلفة، حيث يبلغ متوسط معدل التزاحم عند أحواض الرمي وبعض مداخل ومخارج وأطراف الجسر وبعض تقاطعات الشوارع ما يزيد عن 4 أشخاصٍ للمتر المربع الوحد، وقد يصل في بعض الأوقات إلى 6 أشخاصٍ للمتر المربع، ويبلغ ذروته المكانية عند رمي جمرة العقبة يوم النحر، ورمي الجمرات الثلاث خلال اليومين الأولين من أيام التشريق، وتخف وتيرته ثالثَ أيام التشريق بسبب خروج المتعجلين. وأما ذروته الزمنية، فتبدأ من بعد الزوال لتصل أقصاها عند اصفرار الشمس، حيث تبدأ حركة الحجيج في التسارع لرغبتهم في إتمام الأمر قبل الغروب اقتداء بالسُّنَة المطهرة. لذا تولي إدارةُ الحجِ عنايةً خاصةً بهذا المشعر، وتسخرُ إمكاناتٍ هائلةً لتجنبِ وقوعِ أي تدافع، والتقليلِ منْ عواقبِهِ إذا ما قدرَ اللهُ حدوثَهُ، والتعاملِ المسبق مع مسبباته كعمليات الافتراش، والتكسب، والتحرك في عكس اتجاه الحركة المسموح بها، ومحاولة إيجاد طرقٍ مختصرةٍ وفارغةٍ للحركة، والتباطؤِ حيث يجب الإسراعُ، أو التعجلِ في أماكن التريثِ. شكل (7) يبين مدى الازدحام على جسر الجمرات وقت الذروة. شكل

(8) يبين مدى الازدحام عند أحواض رمي الجمرات وقت الذروة. شكل (9) يبين بعضًا من المسببات الشائعة لعملية التدافع.

شكل (7): مدى الازدحام على جسر الجمرات وقت الذروة [2]

شكل (8): مدى الازدحام عند أحواض رمي الجمرات وقت الذروة [2]

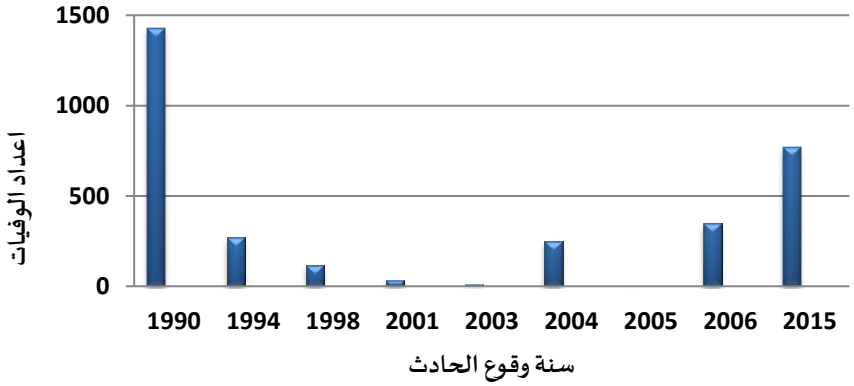
شكل (9): بعض المسببات الشائعة لعملية التدافع كالافتراش واصطحاب الأمتعة [2]

وتشملُ الإمكاناتُ المسخرةُ استخدامَ أحدثِ الطرقِ في عملياتِ التنظيمِ، والترتيبِ، وإدارةِ الجموعِ، والمراقبةِ الأمنيةِ، ويتم ذلكَ عبرَ منظومةٍ تحوي أكثر من 5000 من آلات التصوير الحديثة، الموزعة علىَ امتداد الجسر وطوابقه ومداخله ومخارجه، منها ما يستخدمُ للتوثيقِ والتسجيلِ للرجوعِ إليهِ حالَ الحاجةِ، ومنهَا ما يتمُ التناوبُ عليهِ بجيش من الموظفين للمراقبةِ المباشرةِ وضبط المخالفات والتصرفات الغير مسؤولة. كما تضمُ المنظومةُ أيضا نُظُمَ اتصالات متطورةٍ، وطواقمَ طبيةٍ وأمنيةٍ متكاملةٍ ومجهزةٍ بأحدثِ التقنياتِ، وفرقَ دفاعٍ مدنيٍ وتدخلٍ سريعٍ مدربةٍ على أعلىَ المستوياتِ، وخططاً تنظيميةً دقيقةً ومحكمةً، موضوعةً بأيادي خبراتٍ وطنيةٍ وإقليمية متخصصةٍ [1]. شكل (10) يبين جانبًا من عمليات المراقبة بالحرم المكي والمشاعر المقدسة.

شكل (10): غرفة عمليات المراقبة بالحرم المكي والمشاعر المقدسة [2]

إلا أن طبيعةَ حوادثِ التدافعِ بشكل عام هي طبيعة معقدة تتداخل فيها المقوماتُ النفسيةُ والعقليةُ، وتلعبُ فيها العواملُ الاجتماعيةُ والتربويةُ والتوعويةُ دورًا رئيسًا، فتجد من بين الجموع نفسًا لا يضيرها أن يهلك الحجيج جميعًا وهي معهم -جهلاً لا شراً -مقابلَ الإتيان بمستحبٍ أو مندوبٍ من أمور الحج، وتجد على النقيض أخرىَ مستعدةً للتضحية بركن الحج -وقد بات قاب قوسين أو أدنى -في مقابل ألا يُشَاكَ ضيفٌ من ضيوف الرحمن بشوكةٍ، وبين هذا وذاك تتنوع المشاربُ والعقولُ، وتختلطُ العواطفُ والأهواء. وفي ظلِ مثلِ هذا يصعبُ التنبؤ بمسبباتِ حوادث التدافع وضبطِها والتحكمِ بها، والتي دائماً ما تكون بسبب مخالفةٍ صريحةٍ للتعليمات والإرشادات والخطط المبينة، فيبدأُ الأمرُ عادة بخطأٍ بسيطٍ، غيرِ مقصودٍ علىَ الأغلبِ، أو تصرفٍ غير مسؤولٍ، يَشُقُّ رصدُه بالمراقبةِ البشريةِ المباشرةِ أو الآليةِ البسيطةِ، ثم يتتابعُ الأمرُ، ويزدادُ خطورةً، في متواليةٍ تسابقُ الزمنَ، فتكونُ العواقبُ في العادةِ وخيمةً. ففي العامِ 1990 قضىَ 1426 حاجًا اختناقًا خلال تدافعٍ في نفقِ منى، وفي العام 1994 وقعَ تدافعٌ آخرٌ خلالَ رميِ الجمراتِ قضىَ خلالَهُ 270 حاجًا، وفي نفس المكانِ بعد أربعةِ أعوامٍ قضىَ 118حاجاً وأصيبَ أكثرُ من 180 بتدافعٍ

آخرٍ، وحدثت تدافعاتٌ أخرىَ خلال الأعوامِ 2001، 2003، 2004 ، 2005 بمنطقةِ الجمراتِ قضى خلالها جميعاً حوالي 320 حاجا، وفي العامِ 2006 قضىَ اكثرُ منْ 350 حاجًا في تدافعٍ رمي الجمراتِ، وكان آخرُ هذه التدافعاتِ ما حدثَ في مشعرِ منى في حجِ عامِ 2015، والذي قضىَ خلالهُ أكثرُ منْ 750 حاجًا وأصيبَ عددٌ مقاربُ لذلكَ [4]. شكل (11) يوضح رسمًا بيانيًا لأعداد الوفيات جراءَ حوادثِ التدافعِ بالمشاعر المقدسة لثلاثة عقودٍ خلت.



شكل (11): أعداد الوفيات جراء حوادث التزاحم والتدافع بالمشاعر المقدسة لثلاثة عقود خلت

ويعتبر تطبيق نظام المواقع العالمي (GPS) المثبتُ في الهواتف الذكية أو أجهزة التوجيه (Navigator) من التقنيات المستخدمة بكثرة في عمليات تنظيم حركات السير والمرور في الازدحامات والتجمعات بشكل عام، لاسيما في الدول المتقدمة والمكتظة بالسكان، حيث يمكن لمستخدمي هذا النظام معرفة أماكنهم على الخارطة الرقمية والطرق التي يجب أن يسلكوها للوصل إلى وجهاتهم بشكلٍ أسرعٍ وأيسرٍ، سواء أكانوا

شكل (12): نوع من أجهزة التوجيه الشائعة، وجانب من عملية المراقبة والتوجيه باستخدام الطائرات العمودية [10]

رجالاً أو ركبانًا. [5] كما يوجد حالياً عدد كبير من الخدمات الفورية التي ترسل تصحيحات لنظم المواقع العالمية لتصل بدقتها إلى عدة سنتيمترات بعضها مدفوعة الأجر وبعضها مجانية. لمزيد استفادةٍ يمكن لقارئ مطالعة. [6-9] ويمكن لإدارة هذه الازدحامات التحكم في توزيع الحركة وإيقافها وقت الحاجة عبر رسائل وتنبيهات يتم إرسالها للمستخدمين المشتركين بالخدمة بشكل فوري عبر هواتفهم المحمولة المتصلة بالشبكة، أو عبر بعض قنوات الإذاعة المسموعة، والتي تخصص برامج لبث هذه الإرشادات وقت الذروة. وتتم عملية مراقبة هذه الازدحامات عادةً باستخدام الطائرات العمودية التقليدية أو الطائرات العمودية بدون طيار، والمزودة بكاميرات وأجهزة نقل مباشر إلى مصدر اتخاذ القرار. شكل (12) يبين نوعًا من أجهزة التوجيه الشائعة، وجانبًا من عملية المراقبة والتوجيه باستخدام الطائرات العمودية.

إلا أن لهذا النظام عيوبه والتي تجعله غير مناسب للاستخدام في بعض مناطق الازدحام كالمشاعر المقدسة وصحن الطواف والمسعى والساحات الخاصة بالحرمين الشريفين. وتتمثل عيوب هذا النظام بشكل رئيسي في عدم إمكانية استخدام (GPS) في الأماكن المغلقة أو المناطق التي لا تصلها موجاته بشكل كامل أو جزئي كالشوارع والأزقة الضيقة، أو المحاطة بالأبنية العالية، وتحت الأشجار الكثيفة والجسور، وفي الأنفاق [11,12] مما يسترعي عملية دمجه مع أنظمة توجيه وتموضع أخرى. [13-15] كما يعيب هذا النظام أيضاً الاعتماد على عملية المراقبة الجوية بالطائرات، والتي تعتبر مؤقتة ولا يمكن استخدامها بشكل دائم على مدار اليوم وطول موسم الاكتظاظ. هذا بالإضافة إلى عدم إمكانية استخدام الطائرات داخل المباني والأنفاق ونحو ذلكم بسبب اعتمادها هي ذاتها على نظام (GPS) لتحديد موقعها ومن ثم موقع الازدحام من الصور الملتقطة. كما يعتبر استخدام الطائرات مكلفًا وغير اقتصاديٍ إذ لابد من استخدام عددٍ كبير من الطائرات لتغطية رقعة الازدحام في المناطق المفتوحة بالكامل. ولعل من أبرز المشاكل الخاصة بهذا النظام هو اعتماده على المعالجة البشرية المباشرة للصور الملتقطة لاتخاذ القرار بتحريك الجموع في الاتجاهات المناسبة.

ويستخدم نظام المراقبة بآلات التصوير الثابتة في معظم دول العالم، حيث يتم تثبيت متحسسات ذات مجال تصوير يصل إلى 360 درجة، بحيث تغطي كافة الجوانب بدقة عالية. وتستخدم هذه المتحسسات لأغراض أمنية كضبط المخالفات المرورية، ومراقبة السرعة، وتتبع المركبات المشبوهة، ومراقبة حظر التجوال، ونحو ذلك. كما تستخدم لأغراض تنظيمية كالتوزيع الآلي لتوقيت الإشارات المرورية وفق كمية تدفق المركبات، وتتبع سيارات الإسعاف والدفاع المدني والأمن، وفتح المجال لها وتسهيل حركتها في المفترقات وأماكن الازدحامات. وتتم العمليات المناطة بهذا النوع من المراقبة بشكل آلي في أغلب الأحيان، كما يتم معالجة الصور الملتقطة بشكل آني أو غير آني اعتمادًا على طبيعة وأهمية التطبيق المستخدم. وتتم عملية معالجة الصور الرقمية الملتقطة باستخدام حواسيبَ ذاتِ مواصفاتٍ عاليةٍ ومعالجاتٍ سريعةٍ، تستخدمُ برمجياتٍ متخصصةٍ لإيجاد العناصر المطلوبة على الصورة الملتقطة بشكل

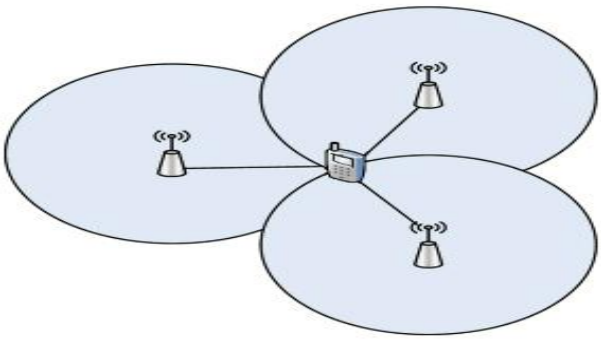
آلي، وتتبعها بشكل دقيق على الصور الأخرى. لمزيد استفادةٍ، يمكن للقارئ أن يراجع. [16-21] وتستخدم الصور شديدة الميل أو الأفقية في نظام المراقبة هذا، حيث تثبت الأجهزة على ارتفاعات منخفضة تتوافق مع ارتفاعات أعمدة الإنارة عادة، ولا يمكن استخدم هذا النظام بصورته الحالية إلا في أعمال المراقبة الأمنية في بعض المواقع الحساسة بالمشاعر المقدسة والحرمين، ولا يمكن استغلاله في مراقبة حركة الحجيج وإدارة الجموع البشرية بسبب صغر منطقة تغطيته، والحاجة إلى عدد كبير من الأجهزة لتغطية مناطق التجمعات مما يجعل الأمر عاليَ التكلفةِ قليلَ الجدوى. شكل (13) يوضح بعض أنواع آلات التصوير المستخدمة في عمليات المراقبة.

شكل (13): بعض أنواع آلات التصوير المستخدمة في عمليات المراقبة [10]

ويمكن أيضاً استخدام صور الأقمار الاصطناعية عالية الدقة والثابتة في مدارها في عمليات المراقبة الآنية، حيث تتميز هذه التقنية بقدرتها على تغطية مساحات كبيرة، كما يمكن توفيرها بدقة تصل إلى عدة ديسيمترات. إلا أن هذه العملية لا يمكن استخدامها في عمليات مراقبة وإدارة الحشود بشكل عام بسبب كلفتها المرتفعة جدًا، وعدم توفرها إلا في بعض الدول، ولحاجتها التامة إلى خلو السماء من السحب، ولعدم قدرتها على تغطية المناطق المغلقة والأنفاق، وقلة جودتها مقارنة بالصور الجوية، مما قد يؤثر على عملية التقاط وتعقب العناصر المتحركة في الصور. كما أن كبر حجم الصورة يعد عيباً في حد ذاته، حيث يبطئ ذلك من عملية المعالجة، وهو ما لا يُرغَبُ فيه في التطبيقات التي تحتاج إلى نتائجَ آنيةٍ وسريعةٍ [13]. شكل (14) يوضح جانبًا من تأثير السحب على صور "قوقل" الفضائية.

شكل (14): تأثير السحب وظلالها على صور الأقمار الاصطناعية [10]

استخدام شبكات الهواتف المحمولة في عمليات المراقبة الفردية يُعَدُّ خيارًا مقبولاً، حيث يمكنُ تتبعُ حركةِ الهاتفِ النقالِ مادامت الخدمةُ والتغطيةُ متاحةً، وذلك بتحديد مسافة الهاتف من أقرب ثلاثة أبراجِ اتصالٍ، والتي تكون بدورهَا معلومة الإحداثيات، فيتم تحديد موقع المُتَلقِّي. إلا أن هذا النظام لا يصلح إلا في الأعمال الفردية، وقد لا يؤتي ثُمُرَهُ فيها أصلاً، فهناك عواملُ كثيرةٌ تتداخلُ لإتمام هذه العملية، وأخرى تؤثرُ بشدةٍ في تحديد دقة موقع المستخدم، والذي يعدُ أساسًا لمراقبةِ حركته واتجاهه وسرعته. كما يعد الأمر مكلفًا جدًا، وغيرَ مجدٍ في مراقبةِ من لا يستخدمون الهواتفَ النقالةَ أو يعتمدونَ على شبكاتِ "الإنترنت" الغيرِ متصلةِ بشبكاتِ الهواتفِ المحمولةِ. شكل (15) يبين الطريقة الرياضية لتحديد موقع الهاتف المحمول من خلال شبكة الاتصالات [10].



شكل (15): الطريقة الرياضية لتحديد موقع الهاتف المحمول من خلال شبكة الاتصالات [10]

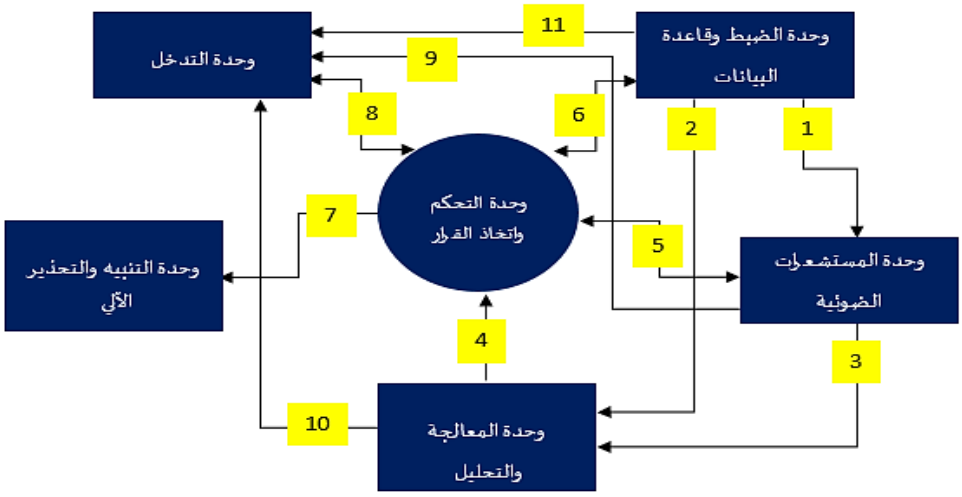
2. الهدفُ منْ هذهِ الورقة

من خلال ما تقدم، تظهرُ الحاجةُ جليةً إلى تطوير منظومةِ مراقبةٍ إلكترونيةٍ متكاملةٍ، هدفُها الرئيسي هو الكشفُ الآليُ المبكرُ عنْ مسبباتِ وبوادرِ التدافعِ في المناطق الحساسةِ من المشاعر المقدسةِ، كمشعر

منى والطرق المؤدية إليه من مزدلفة، والمطاف والمسعى بالحرم المكي، سواءً في المساحاتِ المفتوحةِ منها أو المغطاةِ. ولا بد لهذه المنظومة أن تكون عالية الدقة في الكشف الآلي عن أي مخالفة للتعليمات والإرشادات المنصوص عليها في خطط تنظيم حركة الحجيج والمعتمرين، والموضوعة من الجهات المسؤولة، شاملاً المخالفات الفردية والجماعية. وتشمل أعمال المراقبة الرصدَ الآلي لمخالفة حدود سرعة حركة الحجيج المسموح به، كالتباطؤ في أمكان الإسراع، أو العكس، ومخالفةِ اتجاه الحركة، كالتحركِ في اتجاهاتٍ معاكسةٍ لاتجاهِ حركة الحجيج، أو اتجاهاتٍ ومساراتٍ متعرجةٍ تشكل خطرًا، ورصدِ ازدياد معدلات الازدحام عن الحدود المسموح بها، وضبط عمليات الافتراش، والتكسب الثابت والمتحرك، واصطحاب الأمتعة، والتواجد في الأماكن غير المسموح بها، والتصرفات الغير مسؤولة التي من شأنها إحداثُ فوضىَ وشغبٍ بين جموع الحجيج. ولابد أن تكون المنظومة المطلوبة متكاملةً بداية من وضعِ القواعد الأساسية لعمل المنظومة، مرورًا برصدِ المخالفات آليا بجودة عالية ودقة كبيرة، فتقييمِها نهائيًا من قبل العناصر البشرية ذات الكفاءة، واتخاذِ القراراتِ المناسبة لمعالجتها، والقدرةِ على التدخل لمعالجة الخلل، والحيلولةِ دون حدوث مسببات التدافع، أو التقليلِ من آثارها حال حدوثها، والقدرةِ عند الطوارئ على إيقافِ أو إبطاءِ حركة الحجيج في كافةِ أرجاء المشاعر أو في جزءٍ منها، وتوجيهِ عناصر التدخل إلى موقع الحالة سواءً أكانت داخل المباني أو خارجها، وتحديدِ إحداثياتهم بدقةٍ، وإرشادهم إلى أقربِ المخارجِ، وأسْلَكِ الطرق لإسعاف المصابين وتداركِ الأمور. ولابد لهذه المنظومة من أن تكون قابلة للتطوير بشكل دوري، حيث أن عملها يعتمد على تراكم الخبرات عبر الزمن.

3. الفكرةُ التصميميةُ وطريقةُ العملِ

تتكون المنظومة المقترحة من خمس وحدات رئيسية هي: وحدة الضبط وقاعدة البيانات، ووحدة المستشعرات الضوئية، ووحدة المعالجة والتحليل، ووحدة التحكم واتخاذ القرارات، ووحدة التنبيه والتحذير الآلي، ووحدة التدخل. ولكل وحدة دورها المناط بها، بحيث تتكامل جميعًا للوصل إلى الهدف المنشود لهذا المشروع. شكل (16) يبين وحدات المنظومة والربط فيما بينها (الأرقام تمثل خطوات عمل المنظومة)



شكل (16): وحدات المنظومة والفكرة التصميمية

ويمكن تلخيص الفكرة التصميمية وطريقة العمل العامة للمنظومة في النقاط التالية:

1. تقوم وحدة الضبط وقاعدة البيانات بالتحكم في ضبط إعدادات وحدة المستشعرات الضوئية للحصول على أفضل وضوح وأجود وأدق صور، ووفق الخطة المرسلة إليها من وحدة التحكم واتخاذ القرار.
2. تقوم وحدة الضبط وقاعدة البيانات بتحديد المهام المطلوب تأديتها من وحدة المعالجة والتحليل، وتتحكم في البرمجيات التي تقوم بتأدية هذه المهام، فتعدلها وتطورها للوصول إلى أفضل نتائج. كما تقوم بتزويد وحدة المعالجة والتحليل بالمعلومات والبيانات الأساسية التي تحتاجها لأداء عملها، ويأتي هذا كله وفق الخطة المرسلة من وحدة التحكم واتخاذ القرار.
3. تقوم وحدة المستشعرات الضوئية بالتقاط الصور، وتغطية كافة المناطق المطلوب مراقبتها وفق الإعدادات المرسلة إليها من وحدة الضبط، وتحويلها آنياً إلى وحدة المعالجة والتحليل.
4. تقوم وحدة المعالجة والتحليل بالمهام المطلوبة منها من وحدة الضبط، ووفق الطريقة المحددة لها، وتستند على المعلومات المرسلة إليها من قاعدة البيانات للكشف عن التجاوزات، وتقوم بإرسال تقارير إلكترونية آنية بالخصوص لوحدة التحكم واتخاذ القرار.
5. تقوم وحدة التحكم واتخاذ القرار بتقييم الخلل المرسل إليها من وحدة المعالجة والتحليل، ويمكنها التحكم في وحدة المستشعرات الضوئية مباشرة للانتقال إلى البث المباشر بنظام فيديو بمكان الخلل للمساعدة في عملية التقييم.
6. يمكن لوحدة التحكم واتخاذ القرار الاستعانة بما تحتاجه من وحدة قاعدة البيانات بالمنظومة للمساعدة في اتخاذ القرار المناسب، كما يمكنها إعطاء الأوامر لوحدة الضبط بتعديل الإعدادات وفق ما تقتضي الحاجة.

7. في حال تقرر أن المخالفة المضبوطة تشكل خطرًا، يمكن لوحدة التحكم واتخاذ القرار إيقاف حركة الحجيج بشكل جزئي أو كلي، سواءً في مكان الخلل أو في عموم أرجاءِ المنطقة، وذلكم من خلال وحدة التنبيه والتحذير الآلي، والتي تضم نظمَ إشاراتٍ ضوئيةٍ وتنبيهاتٍ صوتيةٍ فعالةً جدًا للمشاة، وموزعةً بعناية على كافة أنحاء مواطن الازدحام.
8. تقوم وحدة التحكم واتخاذ القرار في نفس وقت إيقاف الحركة بإعطاء الأوامر لوحدة التدخل لمعالجة الخلل والحيلولة دون تطور الأمر، والتي تكون موزعة بانتظامٍ على طول وجانبي مسارات حركة الحجيج، فيكون تدخلهم سريعًا، لا سيما مع توقف حركة الحجيج. كما يمكن لوحدة التدخل التواصل مباشرة بوحدة التحكم واتخاذ القرار عبر موجة خاصة على شبكة أجهزة اللاسلكي لأخذ تعليمات خطة التدخل بشكل آني.
9. تقوم وحدة المستشعرات الضوئية بعملية بث مباشر لمكان الخلل لكافة عناصر وحدة التدخل على أجهزة محمولة ذات شاشات رؤية شخصية، وذلك لمتابعة تطورات الأمر أولاً بأولٍ، واتخاذ القرارات اللحظية المناسبة.
10. تقوم وحدة المعالجة والتحليل بتزويد عناصر التدخل بمواقعهم على البث المباشر الذي يصلهم من وحدة المستشعرات البصرية مع تحديد مكان الخلل، وذلك لمساعدتهم في الوصول بأسرع ما يمكن، وتحديد أفضل المسارات التي تقل فيها معدلات الازدحام.
11. تقوم وحدة الضبط وقاعدة البيانات بتحديث خرائط منطقة المراقبة بشكل دوري على أجهزة عناصر وحدة التدخل، وتزويدهم بما يحتاجونه من معلومات لوجستية كمخارج للطوارئ، صناديق الخدمات الطبية الحائطية، نظم الإطفاء الحائطية الصغيرة، ومضخات الإطفاء الثابتة، ونحو ذلك.

4. الوصفُ التفصيليُ لوحداتِ المنظومةِ

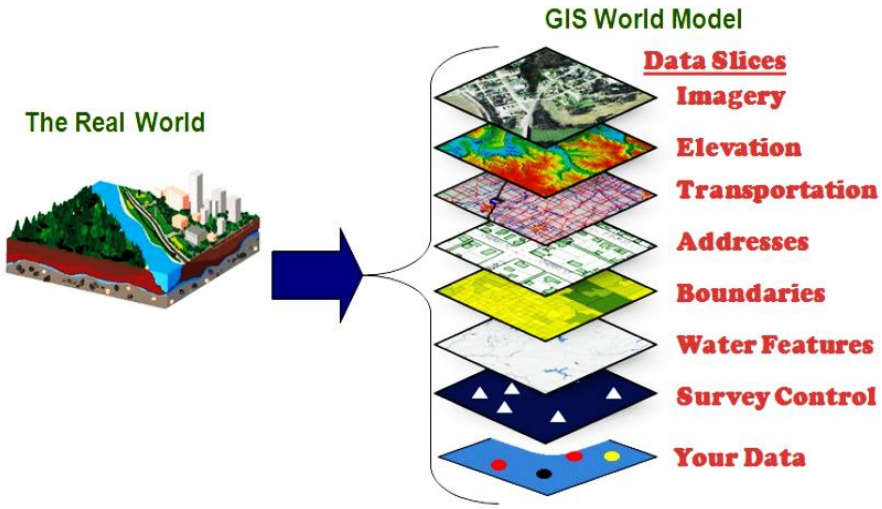
4-1 وحدة الضبط وقاعدة البيانات:

تُعد هذه الوحدة بمثابة نظام معلومات جغرافي (Geographic Information System "GIS") مصغر للمناطق المراد مراقبتها، حيث تضم الوحدة خرائط تفصيلية إلكترونية لكافة مناطق المراقبة، شاملة كافة طوابقها، بما تحويه من خدمات، كالمداخل، والمخارج، ومنافذ الطواري، وأماكن صناديق الطوارئ الطبية الحائطية، وأماكن عبوات الإطفاء الشخصية، ونقاط صمامات الإطفاء للحرائق الكبيرة، وتفاصيل كافة الخدمات الأساسية كالكهرباء، والمياه، والصرف الصحي، وصرف مياه الأمطار. وتكون كافة هذه الخرائط مسندة جغرافيا وفق نظام الإحداثيات المتبع في (GPS) أو أي نظام إحداثيات محلي، شريطة أن يتوافق هذا النظام مع نظام الإحداثيات المستخدم لمراكز الالتقاط بآلات التصوير. ويمكن من خلال هذه الخرائط معرفة كافة البيانات والمعلومات عن جميع الخدمات في أي نقطة عليها، حيث يكفي الإشارة إلى الموقع المطلوب على الخريطة الإلكترونية ليتم إظهار جميع التفاصيل الخاصة به. كما أن هذه الوحدة هي المسؤولة عن ترجمة خطط إدارة الحشود بالحج والعمرة وإرشاداتهم وتوجيهاتهم إلى صورة إلكترونية

على هذه الخرائط، لتغذية وحدة المعالجة والتحليل بها لاستخدامها كمرجع لضبط المخالفات. وتتصل وحدة الضبط وقاعدة البيانات بكافة الوحدات بشكل سلكي أو لاسلكي عبر شبكة اتصال معلوماتية داخلية توفر سرعة عالية في انتقال المعلومات، ودرجة من الأمن والسرية، ذلك لتوفير البيانات المطلوبة بشكل آني، لاسيما لوحدة التحكم واتخاذ القرار ووحدة التدخل. ويمكن لمكتب هذه الوحدة أن يعمل من أي مكان، شريطة توفير شبكة اتصالات عالية السرعة لضمان سرعة تدفق البيانات وبالتالي اتخاذ القرار بالسرعة المطلوبة. وتتكون الوحدة من عدد من الحواسيب المركزية ذات المواصفات المتميزة، ويمكن إدارتها بعدد من المبرمجين من ذوي الخبرة والكفاءة في مجال معالجة ومطابقة الصور آليا، ونظم المعلومات الجغرافية، والخرائط الإلكترونية، مع عدد من مهندسي الاتصالات، وتكنولوجيا المعلومات.

تقوم وحدة الضبط بالتحكم في ضبط إعدادات آلات التصوير بوحدة المستشعرات الضوئية للحصول على أفضل النتائج، شاملاً التحكم بدرجة نقاوة الصور والفيديوهات المطلوبة، والتحكم في معدل الالتقاط (عدد الصور بالثانية)، وسرعة الالتقاط، وحجم الغالق، وقيمة (ISO) إذا تبين أن هناك خللاً في عملية الضبط الآلي. كما تقوم الوحدة بتزويد وحدة المعالجة والتحليل بالمعلومات والبيانات الأساسية التي تحتاجها لأداء عملها كإحداثيات مراكز التصوير، والبعد البؤري بعد كل عملية معايرة، وارتفاع الأهداف، وحجم الوحدة الضوئية (Pixel)، وعدد الصور الملتقطة بالثانية. وتقوم هذه الوحدة أيضاً بتزويد وحدة المعالجة والتحليل بالخرائط الإلكترونية المُحَدَّثَةِ شاملةً كافة التعليمات والإرشادات الخاصة بخطة حركة الحجيج في كل جزء من المناطق المراد مراقبتها، كاتجاهات الحركة المسموح بها، والاتجاهات الممكن تقبلها، والاتجاهات التي تشكل خطراً، كذلك معدلات الازدحام والسرعة المسموح بهما في كل جزء من المناطقِ المراقبةِ، والمخالفات العامة المراد ضبطها، كاصطحاب الأمتعة، والافتراش، والتصرفات الغير مسؤولة وغير السوية، واستخدام المداخل كمخارج أو العكس. كما تقوم هذه الوحدة بضبط قائمة المهام المطلوبة من وحدة المعالجة والتحليل في كل جزء من مناطق المراقبة على حدًا، فالمهام المطلوبة عند مناطق مقدمة ووسط الحشود قد لا تكون ضرورية عند أطراف الحشود مثلاً. وتتحكم وحدة الضبط في البرمجيات التي يتم استخدامها بوحدة المعالجة والتحليل، فيتم تحديثها وتطورها وتعديلها بشكل دوري للوصول إلى أفضل النتائج. كما يتم في هذه الوحدة التحكم في تعريف معدل الخطورة بالمنظومة، فحركةُ فردٍ واحدٍ مخالفةٍ للتعليمات في مكان حرجٍ ذو معدل ازدحامٍ عالٍ قد يكون أخطر من حركة جماعة بشكل مخالف للتعليمات في مكان شبه خالٍ على أطراف الجموع مثلاً. ويتغير معدل الخطورة بتغير المكان والزمان ومكانة الأشخاص المتواجدين به، والظروف المحيطة. ويتحكم معدل الخطورة المختار بطريقة عمل وحدة المعالجة والتحليل، فكلما ازداد معدل الخطورة كلما ازدادت عملية التدقيق، وقل هامش التجاوز عن المخالفات الصغيرة، واعتُبِرَتْ كل حركة لا تتوافق مع التعليمات والإرشادات الإلكترونية المسجلة على الخرائط مخالفة صريحة يحال بها تقرير إلى وحدة التحكم واتخاذ القرار. شكل (17) يبين

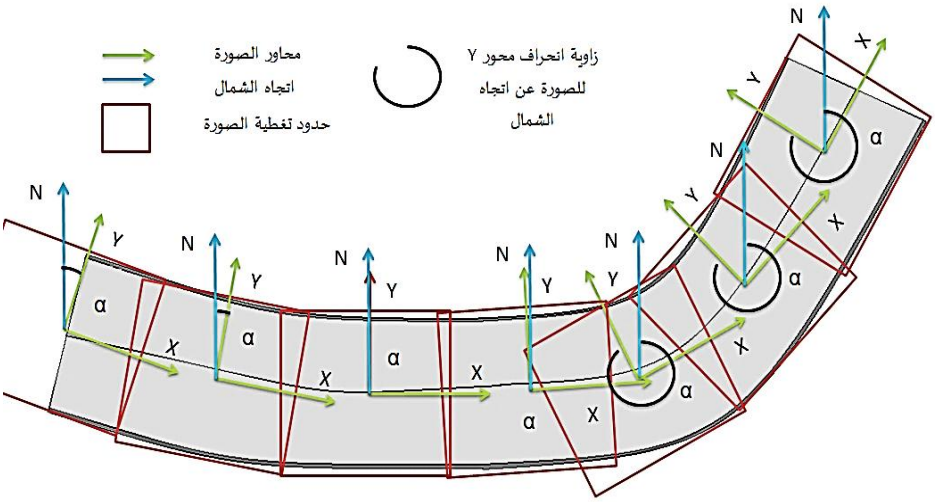
رسماً توضيحياً لعملية تجميع البيانات المختلفة وإسنادها جغرافياً بنظام (GIS).



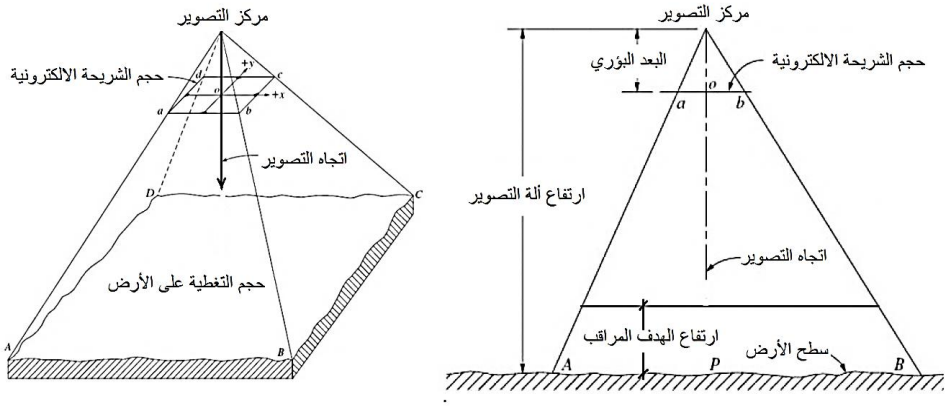
شكل (17): رسم توضيحي لعملية تجميع البيانات وإسنادها جغرافيا بنظام (GIS)، وتوضيحاً للخرائط التفصيلية الإلكترونية [10]

2-4 وحدة المستشعرات الضوئية (آلات التصوير):

هذه الوحدة هي ذراع المنظومة وسبيلها للحصول على البيانات، وتتكون الوحدة من عدد محسوب من آلات تصوير ذات مواصفات معينة، تثبت بطريقة خاصة، وعلى ارتفاع معلوم، لتعطي صورًا رأسيةً عالية الجودة والوضوح، بمعدل التقاط محدد، وقدرة على تصوير فيديو بدقة عالية عند الطلب. وتغطي الوحدة كافة المناطق ذات معدلات الازدحام المرتفعة، شاملة المسعى وصحن الطواف ومساراته بالحرم المكي، وتغطية مداخل ومخارج وكافة طوابق جسر الجمرات والطرق المؤدية إليه من مشعر مزدلفة، مع قدرة على إرسال ما يُلْتَقَطُ بشكل لحظي إلى وحدة المعالجة والتحليل المتصلة بها. ويتم تركيب هذه المستشعرات لتعطي صورًا رأسيةً بحيث يكون اتجاه تصويرها للأسفل، وتثبت في نقاط معلومة الإحداثيات بدقة، ومحسوبة بنظام المواقع العالمي (GPS)، أو أي نظام إحداثيات محلي، بحيث تكون إحداثيات مركز تصوير كل آلة معروفة في هذا النظام. ويماثل هذا النظام ما يحدث في عمليات التصوير باستخدام الطائرات بدون طيار في أعمال المساحة غير أنها ثابتة والطائرات متحركة. لمزيد استفادة ينصح بقراءة [22-24]. ويشترط في عملية التثبيت حساب الزاوية التي يصنعها محور (Y+) لكل آلة تصوير مع اتجاه الشمال الحقيقي مقاسة مع عقارب الساعة، وأن تكون التغطية الأرضية للصور كاملة دون وجود مساحات مفقودة، وإن أدى ذلك إلى وجود تداخل بين الصور. شكل (18) يوضح الفكرة. وبمعرفة البعد البؤري لآلة التصوير، وارتفاعها عن سطح الأرض، وعرض شريحة الاستشعار الضوئي (CCD)، يمكن حساب المساحة التي تغطيها كل آلة تصوير، وطولها وعرضها، وبالتالي يمكن حساب عدد آلات التصوير المطلوبة، وطريقة توزيعها. المعادلات التالية تبين العلاقات الرياضية بين المتغيرات المطلوبة لحساب مساحة تغطية كل صورة، وشكل (19) يوضح هذه المتغيرات.



شكل (18): زاوية انحراف محور (Y+) لكل آلة تصوير بالمنظومة عن اتجاه الشمال



شكل (19): المتغيرات الأساسية للعمليات الحسابية لوحدة المستشعرات الضوئية

من الشكل أعلاه، ومن تشابه المثلثات، يمكن حساب طول وعرض ومساحة المنطقة التي تغطيها آلة التصوير على الأرض وعدد آلات التصوير الكلي المطلوب كما يلي:

$$L = L_{(CCD)} * (H - PT) / F \quad (1)$$

$$W = W_{(CCD)} * (H - PT) / F \quad (2)$$

$$A = L * W \quad (3)$$

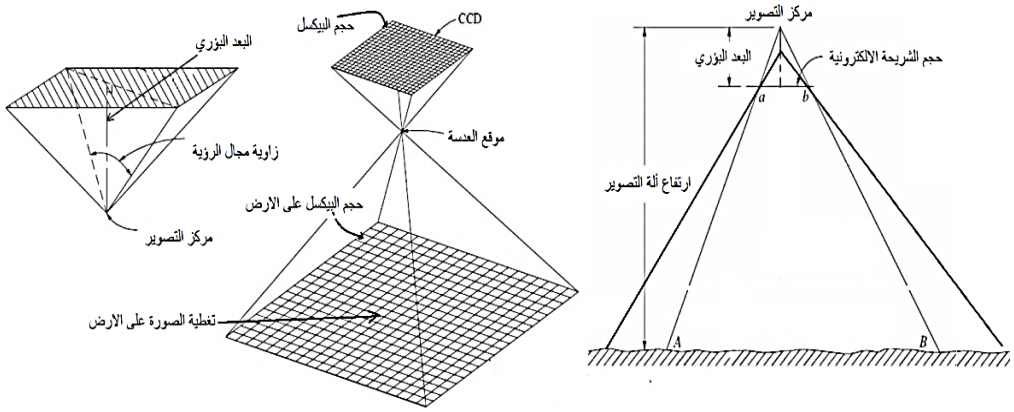
$$TNC = (TA / A) * S \quad (4)$$

حيث

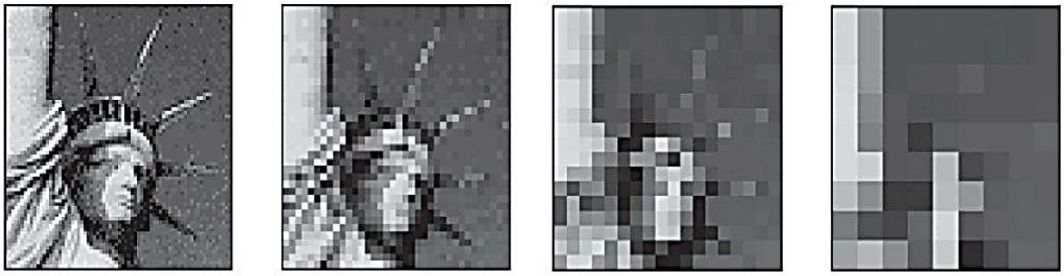
L طول المنطقة التي تغطيها الصورة الواحدة على السطح المراد تصويره ومراقبته.
W عرض المنطقة التي تغطيها الصورة الواحدة على السطح المراد تصويره ومراقبته.
$L_{(CCD)}$ طول المستشعر الضوئي بآلة التصوير.

W (CCD) عرض المستشعر الضوئي بآلة التصوير.
H ارتفاع مركز التصوير عن السطح المراد تصويره ومراقبته.
PT ارتفاع العنصر المراد مراقبته عن سطح الأرض (يمكن استخدام 2متر لضمان تغطية المنطقة بالكامل).
F البعد البؤري لعدسة آلة التصوير.
A المساحة التي تغطيها الصورة الواحدة على السطح المراد تصويره ومراقبته.
TA المساحة الكلية المراد تغطيتها بالصور ومراقبتها.
TNC عدد آلات التصوير المطلوبة لعملية المراقبة.
S معامل خاص بالتداخل (يتراوح بين 1 في المسارات المستقيمة، إلى 1.5 في المسارات شديدة التعرج).

وكما هو واضح من العلاقات الرياضية، فإن استخدام آلات تصوير ذات بعد بؤري صغير يزيد من مساحة تغطية الصورة الواحدة على الأرض، وبالتالي يقلل من العدد الكلي لآلات التصوير المطلوبة، والعكس في ذلكم صحيح. إلا أن قياس البعد البؤري يؤثر بشكل كبير على جودة الصورة الملتقطة، فكلما زاد البعد البؤري كلما قلت المساحة الأرضية المغطاة للوحدة الضوئية الواحدة (Pixel) وبذلك يزداد الوضوح، وتتزايد معه قابلية التمييز في الصورة. كما أن الأمر ينطبق على ارتفاع الألة عن السطح المراد مراقبتهُ، فكلما زاد الارتفاع زادت مساحة تغطية الصورة الواحدة، وقل بذلك عدد المستشعرات المطلوبة للمراقبة. إلا أن زيادة بعد مركز التصوير عن العنصر المراد تصويره يماثل استخدام بعد بؤري صغير حيث تزداد المساحة الأرضية المغطاة للوحدة الضوئية الواحدة ويقل معها وضوح الصورة وقابلية التمييز فيها. كما أن حجم المستشعر الضوئي بآلة التصوير (CCD) يلعب دورًا رئيسًا في حجم التغطية الأرضية، فكلما ازداد حجم (CCD) ازدادت زاوية مجال الرؤية، وبالتالي تتسع مساحة التصوير. ولابد من الإشارة هنا إلى أن زيادة حجم (CCD) يؤثر سلبًا على توافق مقياس العناصر في الصورة الواحدة وتوافق جودة الرؤية فيها، حيث أن المساحة الأرضية التي يغطيها ال (Pixel) القريب من مركز التصوير تختلف بشكل كبير عن تلكم التي يتم تغطيتها بوحدة ضوئية أخرى تقع على أطراف ال (CCD)، مع العلم بأن حجم ال (Pixel) ثابت لا يتغير على ال (CCD) الواحد. ويمكن لحجم ال (Pixel) أن يتغير بحسب جودة ال (CCD) المستخدم، فكلما صغر حجم ال (Pixel) كلما ازدادت أعداده على ال (CCD)، وبالتالي تزداد جودة الصورة ووضوحها والقدرة على تمييز العناصر الصغيرة فيها. لذا كان لزاماً عمل توازن بين هذه المتغيرات للحصول على أفضل جودة صورة ممكنة وأقل عدد آلات تصوير، بحيث يحقق هذا التوازن الهدف المناط بهذه الوحدة، دونما زيادة لا حاجة لها أو تفريط يضر بقيمة المُخْرجِ. شكل (20) يبين تأثير البعد البؤري، والارتفاع، وحجم ال (CCD) وال (Pixel) وزاوية مجال الرؤية على التغطية، وشكل (21) يبين تأثير عدد (Pixel) في ال (CCD) على جودة الصورة.



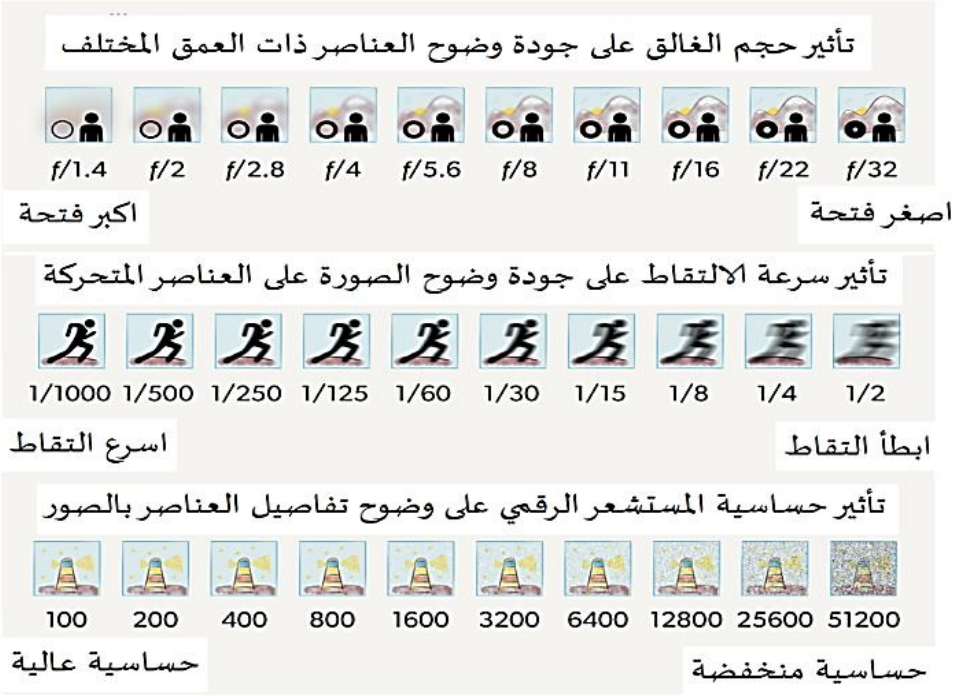
شكل (20): تأثير البعد البؤري، والارتفاع، وحجم ال (CCD) وال (Pixel)، وزاوية مجال الرؤية على حجم التغطية الأرضية



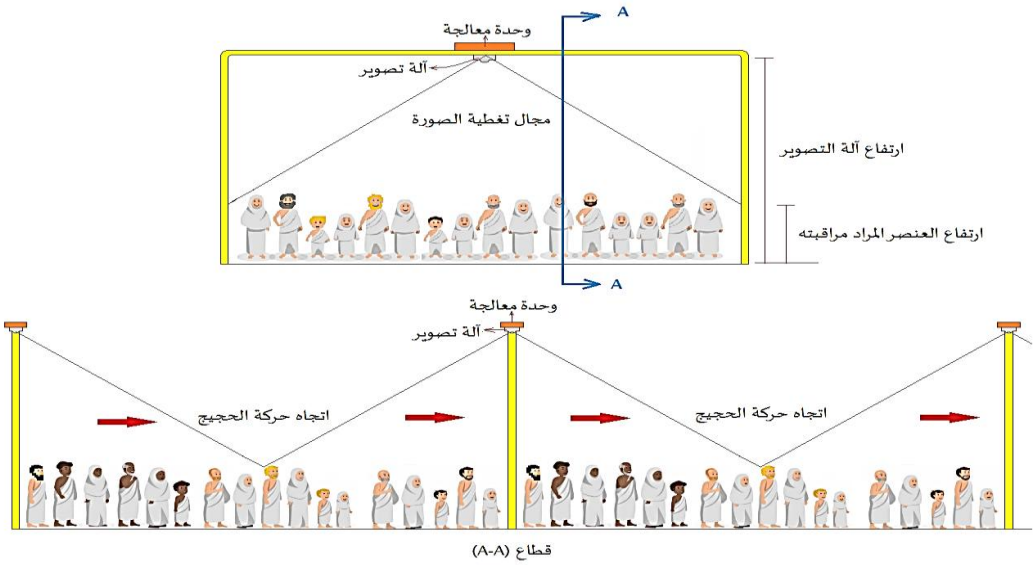
شكل (21): تأثير عدد ال (Pixel) في ال (CCD) على جودة الصورة [25]

كما لابد عند اختيار آلة التصوير من التدقيق على عدد من المواصفات الهندسية الهامة التي من شأنها إظهار الصورة بأفضل جودة، وإعطاء أفضل وضوح، وأهمها: سرعة الالتقاط (Shutter Speed)، حجم الغالق (Aperture Size)، ومعدل حساسية المستشعر الرقمي للضوء (ISO-Sensitivity). وتختلف حدود هذه المواصفات بين آلات التصوير المختلفة، وتؤثر بشكل ملحوظ في أسعارها، وقد لا ينتبه كثير من محبي التصوير لها إذ يتم عادة تشغيل آلات التصوير على الوضع الآلي للحصول على أفضل النتائج. لمعرفة العلاقة بين هذه العوامل الثلاثة، لابد أن نعي أن عملية التصوير هي عبارة عن إسقاط ضوء بكمية معينة على شريحة حاسة لهذا الضوء، موجودة في مكان مغلق له باب يفتح ويغلق لتوفير القدر المناسب من الضوء. وبناء على هذا، فإن كمية الضوء الساقطة على هذه الشريحة هي دالة في سرعة ومقدار فتح هذا الباب، ففتح الباب وإغلاقه بسرعة كبيرة وبشكل واسع يوفر كمية ضوء تَعْدِلُ فتح الباب وإغلاقه ببطيء وبشكل ضيق. وباعتبار أن الشريحة حساسة للضوء، فإنها ستتأثر بكل حزمة ضوئية تسقط عليها خلال زمن الالتقاط، فإذا ازداد زمن الالتقاط (قلت سرعة الالتقاط)، تنوعت الحزم الضوئية الساقطة عليها فتتداخل التأثيرات وتظهر الصورة مشوشة غير واضحة المعالم. وإذا ازدادت سرعة الالتقاط عما هو

مطلوب، فقد لا يتأتى توفير كمية الضوء المطلوبة للشريحة، فلا تستجيب أجزاء منها بالشكل المطلوب، فتعطي صورًا مظلمة. ومن ناحية أخرى، إذا تم استخدام حجم غالق كبير فوق الحاجة، فإن كمية الضوء الكبيرة الساقطة قد تؤثر سلبًا على الشريحة، فلا يمكن تمييز درجات الألوان فيها وتعطي صورًا مشوشةً يغلب عليها البياض. هذا بالإضافة إلى أن حجم الغالق يؤثر في عمق التصوير الواضح، وهو المجال الذي تظهر فيه المعالم بذات الوضوح من مركز التصوير. كما يمكن التحكم في معدل حساسة الشريحة، فيتم زيادة الحساسية عند الحاجة إلى استخدام سرعة التقاط عالية في مكان قليل الإضاءة، وذلك حتى لا يتم اللجوء إلى استخدام حجم غالق كبير يؤثر على جودة الصور وعمق الوضوح فيها [8]. شكل (22) يبين بعض تأثيرات سرعة الالتقاط، وحجم الغالق، وحساسية المستشعر الرقمي على جودة الصور. شكل (23) يوضح قطاعات جانبية وعلوية وأمامية لطريقة تركيب آلات التصوير، وضمان توفير تغطية تامة لكل جزء من المناطق المراد مراقبتها.



شكل (22): تأثير سرعة الالتقاط، وحجم الغالق، وحساسية المستشعر الرقمي على جودة الصور [13]



شكل (23): قطاع أمامي (أعلى) وجانبي (أسفل) لطريقة تركيب آلات التصوير بالمنظومة

الجدول (1) يبين عددًا من الخيارات المطروحة لآلات التصوير الممكن استخدامها في نظام المراقبة المقترح هذا، مع بيان مواصفاتها الهندسية، كالبعد البؤري، وحجم (CCD)، وحجم ال (Pixel)، وطريقة توصيلها بوحدة المعالج الإلكتروني، ونحو ذلك. والجدول (2) يبين وفق المعادلات الرياضية المذكورة آنفاً المساحة التي يمكن لكل آلة تصوير من تلك المذكورة بالجدول (1) أن تغطيتها على السطح المراد مراقبته باعتبار أن ارتفاع سقف طوابق جسر الجمرات هو 12 متر وارتفاع أهداف المراقبة عن سطح الأرض هو 2 متر، وعدد آلات التصوير المطلوب لتغطية جسر الجمرات ومداخله ومخارجه والطرق المؤدية إليه، وعدد آلات التصوير المطلوب لتغطية صحن الطواف ومساراته، والمسعى بالحرم المكي بالاعتماد على المساحات المذكورة في الفقرة رقم (1) لكل منها.

جدول (1): بعض أفضل الآلات التصوير المناسبة للاستخدام في نظام المراقبة المقترح مع أهم مواصفاتها

العلامة التجارية	البعد البؤري mm	حجم ونوع الصور (Megapixel)	حجم ال (Pixel) Microns	أبعاد الصورة (Pixel)	طرق نقل الصور المتاحة	أقصى عدد صور بالثانية	أقصى سرعة التقاط (S)	حساسية المستشعر (ISO)
Nikon D850	35 - 25	HD & 4K 45.7	4.34	8256 5504	Wi-Fi Bluetooth HDMI & USB	8 -10 (صور) 60 – 120 (فيديو)	1/8000	102400 - 32
Sony A7R III	35 - 25	HD & 4K 42.4	4.5	7952 5304	Wi-Fi Bluetooth HDMI & USB	10 (صور) 30 - 60 (فيديو)	1/8000	102400 - 50
Canon EOS R5	137 - 7	HD & 4K 45	4.5	8500 5300	Wi-Fi Bluetooth USB Super Speed	12 (صور) 60 - 120 (فيديو)	1/8000	102400 - 50

جدول (2): مساحة التغطية الأرضية لكل آلة تصوير، والعدد المطلوب منها في المناطق المطلوبة للمراقبة

آلة التصوير	مساحة التغطية الأرضية (m^2)	عددها فى صحن الطواف 9000 m^2	عددها فى مسارات الطواف الأكثر ازدحاماً * 14000m^2	عددها فى طوابق المسعى الأكثر ازدحاماً** 16500 m^2	عددها فى جسر الجمرات والطرق المؤدية له 300000 m^2	العدد الإجمالى لآلات التصوير
Nikon D850	110	81	128	150	2730	***3089
Sony A7R III	110	81	128	150	2730	***3089
RP-Canon EOS	115	78	121	144	2610	***2953

* المسارات الأكثر ازدحاماً هي مسار الطابق الأرضي بعرض 12 متر، والطابق الأول بعرض 24 متر، أما باقي المسارات فيقل فيها معدل الازدحام إلى حوالي شخص بالمتر المربع وهي بيئة غير ملائمة لحوادث التدافع، فلا حاجة لتنصيب آلات تصوير المنظومة فيها.

** الطوابق الأكثر ازدحاماً هي الطابق الأرضي، والطابق الأول، أما باقي الطوابق فيقل فيها معدل الازدحام إلى حوالي شخص بالمتر المربع وهي بيئة غير ملائمة لحوادث التدافع، فلا حاجة لتنصيب آلات تصوير المنظومة فيها.

*** عدد آلات التصوير المستخدمة للمراقبة حالياً بالحرم المكي والمشاعر المقدسة يزيد عن 5000 آلة، لذا يعد عدد آلات التصوير بالمنظومة المقترحة في الحدود المستخدمة لمثل هذه الأماكن، كما يمكن استغلال ما يكفي من آلات التصوير الحديثة الموجودة حالياً بالحرم المكي والمشاعر المقدسة للعمل بالمنظومة المقترحة بعد فكها من أماكنها، وإعادة ضبطها، وتعديلها، وتركيبها في الأماكن المقترحة بالمنظومة، وبالطريقة المنصوص عليها.

3-4 وحدة المعالجة والتحليل:

تتصل هذه الوحدة مباشرة بثلاث وحدات داخل المنظومة: أولها وحدة الضبط وقاعدة البيانات، وذلك كما أسلفنا سابقاً لتزويدها بالخرائطِ المُحَدَّثَةِ وخططِ إدارة الحج والعمرة في تحريك الحجيج، شاملاً الاتجاهات والسرعات ومعدلات الازدحام المسموح بها، والمخالفات المطلوب ضبطها، ومعدل الخطورة، ونحو ذلك لتكون لها مرجعًا لمقارنتها مع ما يتم استنتاجه من عملية معالجة الصور، وبالتالي معرفة مواطن الخلل، وثاني الوحدات التي تتصل بها هي وحدة المستشعرات الضوئية لتزويدها بالصور والفيديوهات الملتقطة، والتي لا عمل للمنظومة بدونها، وثالثها وحدة التدخل، ففي حال اتخاذ قرارٍ بالتدخل، تقوم وحدة المستشعرات الضوئية بتزويد عناصر وحدة التدخل ببث فيديو مباشر لمنطقة الخلل على أجهزتهم المحمولة، وتقوم وحدة المعالجة بتزويد عناصر التدخل بمواقعهم، وموقع الحادث، والأماكن ذات معدلات الازدحام المنخفضة ليتحركوا من خلالها، ويكون ذلك بشكل مباشر على الفيديوهات المرسلة إليهم من وحدة المستشعرات الضوئية ليتمكنوا من الوصول بأقصى سرعة ممكنة. تضم الوحدة جهاز معالجة خاص (CBU) لكل آلة من آلات التصوير متصلاً بها مباشرة بالطريقة التي

تضمن أسرع انتقال للبيانات بينهما. ويكون المعالج بمواصفات عالية، تضمن السرعة الفائقة في عملية معالجة الصور، وتحليل وتخزين وإرسال البيانات. جدول (3) يوضح نماذج من أجهزة المعالجة المناسبة للعمل بوحدة المعالجة والتحليل.

جدول (3): نموذج من أجهزة المعالجة المناسبة للعمل بوحدة المعالجة والتحليل

نوع المعالج	Cache	Cores	Max Turbo Frequency
Intel^{R} Core^{TM} i9-14900T	128 MB Intel^{R} Smart Cache	24	5.80 – 6 GHz

ويمكن شرح خطوات وطريقة عمل وحدة المعالجة والتحليل من خلال النقاط التالية:

1. رصد العناصر على الصورة آليا (Automatic Features Detection)، وهو عملية إيجاد العناصر المراد مراقبتها ورصد تحركاتها في الصور الملتقطة من وحدة المستشعرات الضوئية، يلي ذلك كما سيتم توضيحه في النقطة (2) عملية مطابقة العناصر المرصودة بين كل صورتين متتاليتين زمنيًا، وتحديد العناصر المتماثلة والمتطابقة بينهما. وتشمل عملية الرصد رصد العنصر البشري بكافة أوضاعه، سواء أكان واقفًا، أو جالسًا على الأرض، أو على كراسي متحرك، أو مضطجعًا، وسواءً أكان يستخدم قبعةً أو مظلةً للوقاية من الشمس أو المطر، أو كان حاسر الرأس مجردًا. كما تشمل عملية الرصد الآلي الأمتعة الكبيرة والمتوسطة التي يأخذها بعض الحجيج معهم أثناء تأديتهم لمناسك الحج في مخالفة واضحة للتعليمات والإرشادات المنصوص عليها في خطط إدارة الحج والعمرة. وتشمل أعمال الرصدِ رصدَ عناصر وحدة التدخل بملابسهم وقبعاتهم المميزة أثناء تواجدهم في مناطق التصوير للمساعدة في عملية توجيههم في الأماكن التي لا يستطيعون فيها استخدام نظام (GPS). وتشمل عملية الرصد أيضاً رصد أماكن رجال الأمن والخدمات للتأكد من التزامهم بالتعليمات، وصد تواجد الحجيج في الأماكن غير المسموحة.

وتعد عملية رصد عناصر معينة في الصور كالبشر والمركبات الآلية والأشجار والأمتعة والطرقات والممرات والمباني من التطبيقات المعروفة والمستخدمة بكثرة في مجال فهم ومعالجة الصور ورؤية الحاسوب بشكل عام، ومجال رصد العناصر بشكل خاص (Computer Vision & Image Understanding – Feature Detection)، حيث توجد مئات البرمجيات المتخصصة في عمليات الرصد، منها ما هو بسيط مخصص للتعامل مع عناصر معينة ثابتة الشكل والحجم وزاوية الرؤية كما هو الحال في مصانع تعليب المنتجات، ومنها ما يكون معقدًا خاصًا بالتعامل مع العناصر ذات الطبيعة المتحركة، أو الأشكال والأحجام المتغيرة، كما هو الحال في عمليات رصد العناصر البشرية، حيث تتنوع طبيعة حركتهم بين وقوفٍ وجلوسٍ وغيرها، وزاوية رصد آلة التصوير لهم بين إقبال وإدبار ومجانبة، وزاوية رصد علوية عمودية كالمستخدمة في النظام المقترح في هذه الورقة. وبعض البرامج تأتي في شكل نظام مفتوح، يتيح للمستخدم إدخال مواصفات العناصر التي يرغب في

رصدها على الصور، وتتم عملية الوصف عادة بتحديد نوع الشكل أو الأشكال التي تمثل العنصر المطلوب، سواءً أكانت منتظمةً أو غير منتظمةٍ، وطريقة ارتباطها ببعضها في حال استخدام أكثر من شكل واحد في عملية الوصف، وهامش الحرية في مدى انطباق الشكل المحدد على العنصر المرصود، والمقياس الذي يعطي مرونة في تغير الحجم مع الحفاظ على الشكل، وزوايا الدوران المحتملة للشكل الموصوف على الصورة، وغير ذلك مما هو معروف عند أصحاب التخصص، ويوضع ذلك كله في صيغة مصفوفة رقمية بتنسيق معين معروف في هذا المجال، وتسمى هذه الصيغة بالواصف (Descriptor). وتتوقف دقة عمليات الرصد على دقة هذا الواصف، ولابد أن يكون هناك توازن بين معدل المرونة المحدد لعملية رصد العنصر وبين طبيعة العنصر الموصوف، حيث أن ازدياد هامش المرونة يؤدي إلى رصد عناصر كثيرة منها ما لا يمت للعنصر المطلوب بصلة، فيكون هناك مضيعة للوقت في عمليات الفرز والتصفية البشرية، والعكسُ واقعٌ أيضًا، فتقليل هامش المرونة يؤدي إلى إهمال عدد من العناصر الواجب رصدها بسبب عدم انطباق الشروط عليها.

وتبدأ عملية الرصد بشكل عام بتقسيم الصورة إلى مجموعات من ال (Pixel) ذات الطبيعة المتماثلة والمنعزلة كلياً أو جزئياً عن محيطها، وإيجاد حوافها والخطوط الفاصلة بينها (Edge Detection). يلي ذلك عملية إصدار واصف (Descriptor) لكل مجموعة من هذه المجموعات تشمل طبيعة شكلها، وكذا درجة تفاوت الألوان فيما بينها، وفيما بينها وبين محيطها، وغيرها. وآخر خطوة هي عملية مطابقة الواصف المتحصل عليه بالواصف المدخل من قبل المستخدم للعنصر المراد رصده، وحساب معامل الارتباط بينهما، مع الأخذ بعين الاعتبار زاوية التفاف العنصر، وحجمه، فإن كان تمَّ تطابق وفق معدلات المرونة المحددة، فإنه سيتم اعتباره عنصرًا مرصودًا، وإلا تم إهماله وحذفه. جدول (4) يوضح عددًا من البرمجيات المعروفة والمستخدمة في معالجة الصور وعمليات الرصد الآلي، والشكل (24) يبين نموذجًا لعملية رصد العناصر البشرية والأمتعة وبعض العناصر الأخرى بشكل آلي ومن زوايا رؤية مختلفة.

الشكل (24): نماذج لعمليات رصدٍ آلي للأفراد، والأمتعة، وبعض العناصر الأخرى من زوايا رؤية مختلفة باستخدام بعض البرمجيات المتوفرة بشكل تجاري [10]

جدول (4): بعض البرمجيات المعروفة والمستخدمة في معالجة الصور وعمليات الرصد الآلي

البرنامج	التخصص	طبيعته	المطور
CV Open	Image processing & automatic features detection	Open-source algorithm	Intel, Willow Garge, & Itseez
Histograms Of Oriented Gradients	Image processing & automatic features detection	Open-source algorithm	Researchers
Surveillance Solution	Automatic Human detection	Software	Sighthound

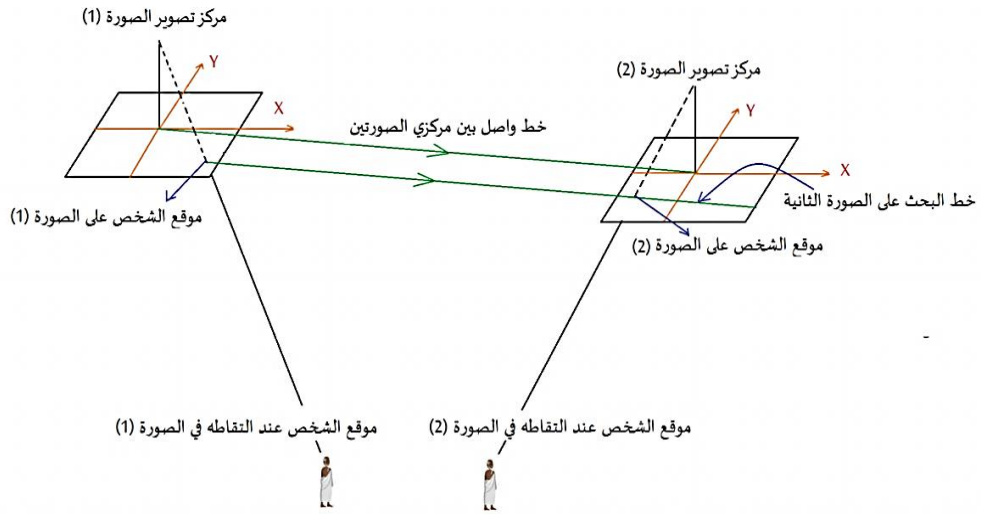
ويمكن الاستفادة من عملية رصد عناصر بعينها على الصور في الكشف مباشرة عن بعض التجاوزات دون الحاجة إلى عملية مطابقة بين الصور، وتتبع لسرعة واتجاه حركة العنصر عبر الصور، ومن هذه المخالفات ما يلي:

- اصطحاب الأمتعة خلال أداء المناسك، وهي إحدى أهم المخالفات المسببة لعملية عرقلة حركة الحجيج وسقوط بعضهم، والتي قد تكون سببًا وراء أعمال التدافع. وتتم عملية الكشف الآلي عن الأمتعة في كل صورة بنفس الطريقة المذكورة سابقاً، حيث يخصص عدد من الواصفات (Descriptors) للأشكال المتوقعة للأمتعة والتي عادة ما تأخذ أشكالاً هندسية شبه ثابتة، مع إعطاء هامش جيد للمرونة في الأشكال لتتوافق مع طبيعة تغير شكل الأمتعة، ويتم بعدها مطابقة هذه الواصفات بالواصفات المكونة آلياً لكافة الأشكال المستقلة والمستنبطة على الصورة، وحساب معاملات الارتباط، واختيار أعلى قيمة للارتباط، شريطة أن تكون الفروقات ضمن الحدود المسموح بها والمحددة من قبل وحدة الضبط وقاعدة البيانات.
- كذا الأمر بالنسبة لعملية رصد مكان عناصر الأمن والخدمات وعناصر وحدة التدخل بشكل آلي ودوري للتأكد من تواجدهم في الأماكن المحددة لهم، حيث يمكن لحركة غير مسؤولة أن تؤدي إلى

نتائج غير متوقعة. وتتم هذه العملية أولاً بتحديد موقع العنصر على الصورة بالطريقة ذاتها المذكورة آنفاً، ثم يتم تحديد إحداثياته الأرضية كما سيتم توضيحه في الخطوة (2)، وبعدها يتم مقارنة هذه الإحداثيات بالمنطقة المحددة لتواجد العنصر وحدود حركة.

- رصد بعض التصرفات غير المسؤولة كرمي الأحذية وقطع الأخشاب بدل الحصى أثناء رمي الجمرات، مما قد يسبب أذية لبعض الحجيج، وقد يكون سببًا في عِراكٍ وتشابكٍ يؤولُ بعدها إلى تدافع بشري. كذلك الأمر بالنسبة لرصد مخالفة تواجد بعض الحجيج في الأماكن غير المسموحة، كممرات الطوارئ والخدمات، والممرات المخصصة لكبار الزوار، مما قد يشكل خطرًا وتهديدًا أمنيًا.

2. عملية المطابقة الآلية بين الصور، (Automatic Image Matching)، والهدف منها هو إيجاد العنصر المطابق في إحدى الصورتين لكل عنصر في الصورة الأخرى، ويتم ذلك من خلال مقارنة واصف كل عنصر من الصورة الأولى مع الواصف الخاص بكل عنصر من عناصر الصورة الثانية، وحساب معامل الارتباط بينها، واختيار أعلى معامل ارتباط حاصل للدلالة على وجود تطابق، شريطة أن يكون مقدار الترابط ضمن حدود المرونة المسموح بها والمحددة من المستخدم. وتتم عملية المطابقة بين الصور بنظام الصورة الوسطية، حيث يتم مطابقة الصورة الأولى والثانية، ثم الثانية والثالثة، ثم الثالثة والرابعة، وهكذا، وذلك لضمان تتبع مسار العنصر بالشكل المطلوب دون حصول أي انقطاع. ويمكن تقليص عملية البحث عن العنصر المطابق في الصورة الثانية في منطقة ضيقة من الصورة فقط دون البحث في كافة الأرجاء، وذلك اعتمادًا على موقع العنصر في الصورة الأولى، وسرعة واتجاه الحركة المسموح بهما، حيث يمكن حساب موقعه المتوقع في الصورة الثانية، فيتم البحث في هذه المنطقة أولاً، فإن لم يتم العثور على الهدف فإنه يتم تكبير دائرة البحث حولها، وهكذا. ومن شأن هذه العملية تقليص زمن البحث بشكل كبير جدًا، مما يساعد في سرعة إنجاز العمل بالكشف عن المخالفات ومعالجتها حال حدوثها. ويمكن أيضاً استخدام فكرة توازي الخط الواصل بين مركزي التصوير بالخط الواصل بين ذات العنصر على الصورتين، وهو مبدأ معروف في علم المساحة التصويرية (Photogrammetry) ويسمى (Epipolar line)، والمبين بالشكل (25)، حيث تنحصر مساحة البحث كذلك في شريطٍ ضيقٍ فيساعد ذلك في التقليل من وقت البحث ويزيد من دقة التطابق [16-20].

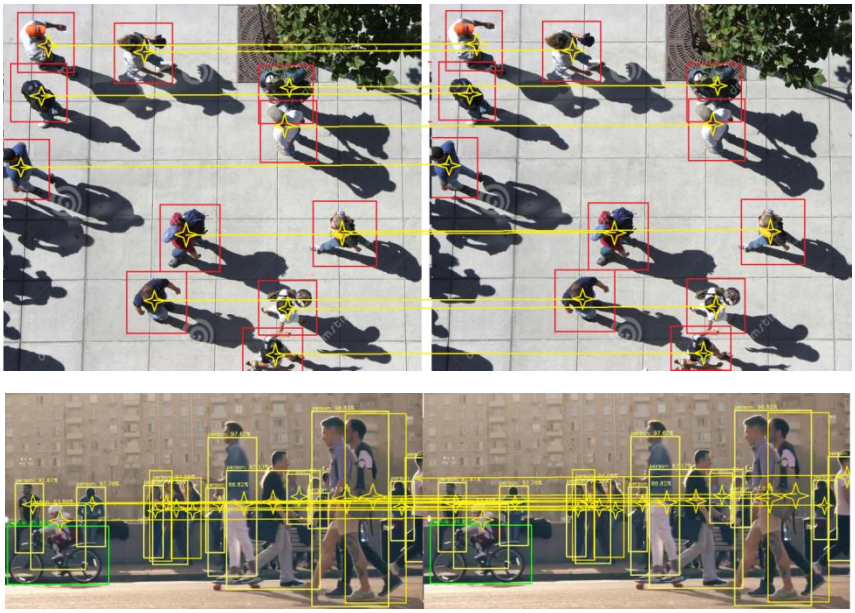


شكل (25): حصر منطقة البحث عن العنصر المطابق بين الصورتين باستخدام (Epipolar Line)

وكما هو الحال في عملية إيجاد ورصد العناصر المطلوبة على الصورة، فإن عملية تطابق الصور تتم عبر برمجيات جاهزة ومتخصصة في مجال مطابقة الصور آليا (Automatic Image Matching)، والذي يعد من المجالات البحثية النشطة، ودائمة التجدد والتطور [16, 17, 18]. وتكون عملية تحديث وتعديل وإصدار أي واصف للعناصر المراد رصدها في منظومتنا هذه، وعملية اختيار وتعديل وتطوير برمجيات رصد العناصر (Feature Detection)، وبرمجيات مطابقة الصور، وتحديد معدلات المرونة، وغيرها من أمور الضبط من مسؤوليات وحدة الضبط وقاعدة البيانات، حيث أن الأمر يتطور سنة بعد سنة، ويتم في كل مرة الوقوف على بعض العيوب في عملية الرصد وتصحيحها، فالنجاح في مثل هذه الأمور لا يتأتى إلا بتراكم الخبرات والتجارب. جدول (5) يوضح عددًا من البرمجيات المعروفة والمستخدمة في عملية تطابق الصور بشكل آلي، وشكل (26) يبين نموذجاً لعملية مطابقة العناصر آليًا بين الصور.

جدول (5): بعض البرمجيات المعروفة والمستخدمة في عملية التطابق الآلي للصور

البرنامج	التخصص	طبيعته	المطور
Scale Invariant Feature Transform (SIFT)	automatic Image matching	Open-source algorithm	Researchers
Speed Up Robust Feature (SURF)	automatic Image matching	Open-source algorithm	Researchers
Binary Robust Independent Elementary Features (BRIEF)	automatic Image matching	Open-source algorithm	Researchers



الشكل (26): بعض نماذج عملية مطابقة العناصر آليا بين الصور باستخدام (SIFT) أعلى و (SURF) أسفل

3. إيجاد الإحداثيات الأرضية للنقاط المتطابقة على كل صورة بعد إيجاد إحداثياتها الرقمية بنظام ال (Pixel) على الصور وتحويلها إلى الإحداثيات المركزية، وتطبيق عملية الدوران ثنائي الأبعاد عليها. المعادلات التالية تبين طريقة حساب الإحداثيات الأرضية من إحداثيات الصورة المركزية والرقمية، والشكل (27) يبين العلاقة بين الإحداثيات الأرضية وإحداثيات النقاط على الصورة، والعلاقة بين الإحداثيات المركزية وإحداثيات الصور الرقمية.

$$x_{A\,(o)} = x_{A\,(p)} - dx/2 \quad (5)$$

$$y_{A\,(o)} = dy/2 - y_{A\,(p)} \quad (6)$$

$$x'_{A\,(o)} = x_{A\,(o)} * \cos(\alpha) - y_{A\,(o)} * \sin(\alpha) \quad (7)$$

$$y'_{A\,(o)} = x_{A\,(o)} * \sin(\alpha) + y_{A\,(o)} * \cos(\alpha) \quad (8)$$

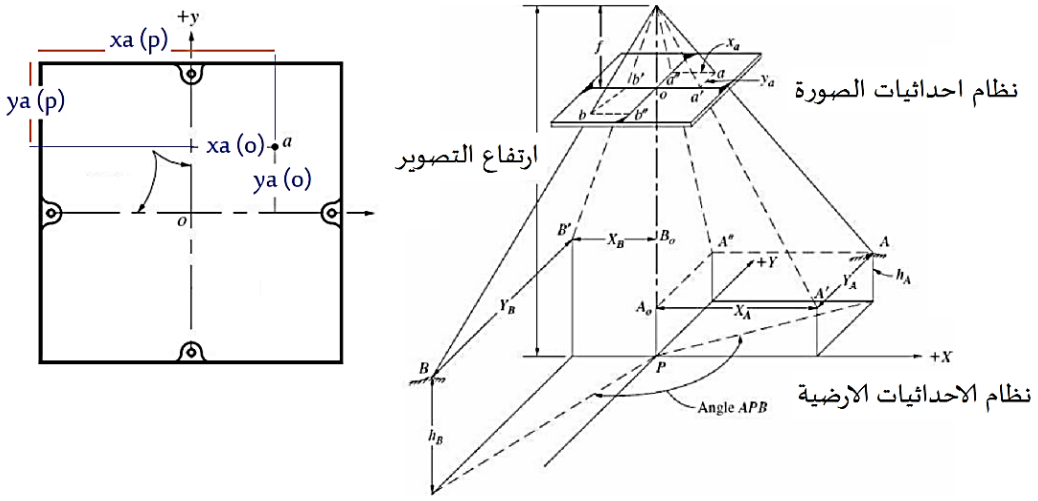
$$X_A = (x0 + x'_{A\,(o)}) * F/(H - PT) \quad (9)$$

$$Y_A = (y0 + y'_{A\,(o)}) * F/(H - PT) \quad (10)$$

حيث:

H ارتفاع مركز التصوير عن السطح المراد تصويره ومراقبته.
PT ارتفاع العنصر المراد مراقبته عن سطح الأرض.
F البعد البؤري لعدسة آلة التصوير.
X_A , Y_A إحداثيات النقطة A على الأرض
x0, y0 إحداثيات مركز الالتقاط على الصورة (تحسب من عملية المعايرة مع البعد البؤري).

$x_{A\,(o)}$, $y_{A\,(o)}$ الإحداثيات المركزية للنقطة A على الصورة.
$x_{A\,(P)}$, $y_{A\,(P)}$ إحداثيات نظام ال (Pixel) الرقمية للنقطة A من الزاوية العليا اليسرى.
dx , dy مقاس الصورة في الاتجاهين (x, y).
$x_{A\,(o)}$, $y_{A\,(o)}$ الإحداثيات المركزية للنقطة A على الصورة بعد دورانها لتصبح محاور الصورة منطبقة على نظام الإحداثيات الأرضي المستخدم.
α زاوية انحراف المحور (+Y) للصورة عن اتجاه الشمال الحقيقي.



الشكل (27): العلاقة بين الإحداثيات الأرضية وإحداثيات النقاط على الصورة، والعلاقة بين الإحداثيات المركزية وإحداثيات الصور الرقمية

4. من الإحداثيات الأرضية المحسوبة في الفقرة رقم (4)، وبمعرفة زمن التقاط كل صورة، يتم حساب سرعة حركة كل عنصر بين كل صورتين متتاليتين زمنيًا، ومعدل سرعته بين عدد الصور الملتقطة في الثانية الواحدة، ففي أماكن معدلات الازدحام المرتفعة، وعند استخدام معدل خطورة عالٍ ينصح باستخدام معدل التقاط قدره 4 إلى 6 صور بالثانية، وفي المناطق ذات معدلات الازدحام المتوسطة والبسيطة يمكن استخدام معدل التقاط قدره 2 صورة بالثانية، ولا داعي لاستخدام معدلات أعلى من ذلك أو استخدام نظام الفيديو حيث أن سرعة حركة الحشود في أمكان الازدحامات تكون عادة بطيئة نسيبًا، كما هو الحال في المشاعر المقدسة والحرم المكي. سرعة حركة العنصر بين كل صورتين، ومعدل سرعته بين الصور المتتالية، والمعدل العام المتوسط لكافة العناصر يمكن حسابها من المعادلات التالية:

$$PS = ((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2)^{0.5} / (T2 - T1) \quad (7)$$

$$MPS = SUM\ (PS)_{(1....m)} / m \quad (8)$$

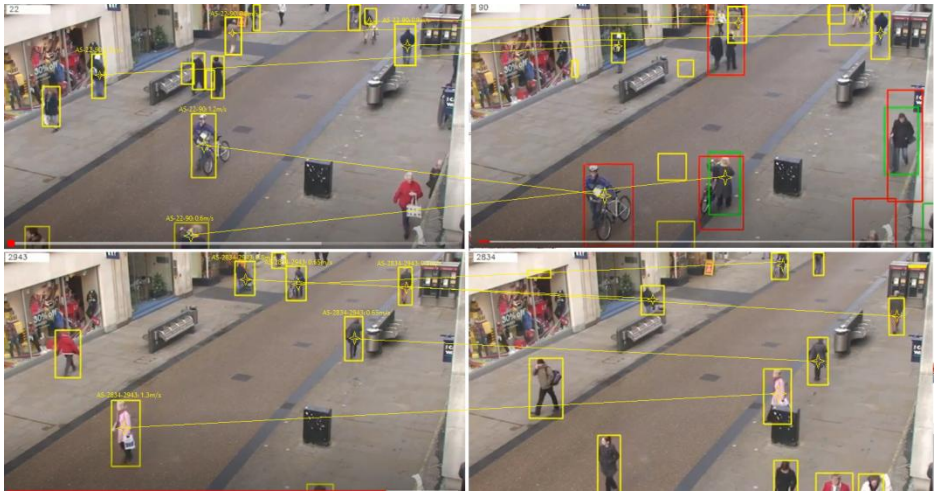
$$MS = SUM\ (MPS)_{(1....n)} / n \quad (9)$$

حيث:
PS سرعة العنصر بين صورتين متتاليتين.

(X2, Y2) & (X1, Y1) الإحداثيات الأرضية للعنصر على الصورتين المتتاليتين.
(T2 & T1) زمن التقاط الصورتين المتتاليتين.
MPS معدل سرعة العنصر بين عدد من الصور المتتالية.
m عدد الصور الملتقطة بالثانية الواحدة من نفس آلة التصوير.
MS المعدل العام لحركة الجماعة في الصور الملتقطة.
n عدد العناصر المرصودة والمراقبة بالصور.

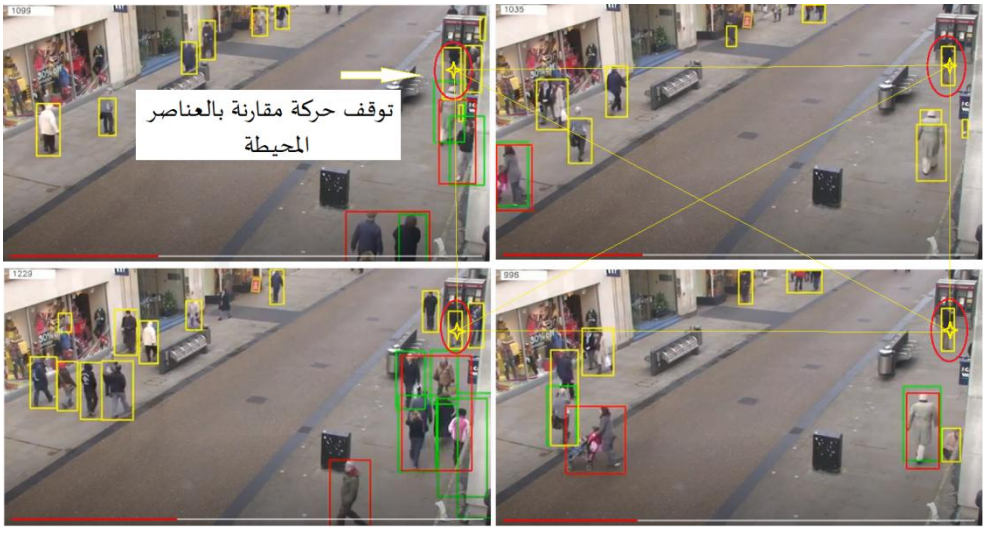
وبإيجاد هذه القيم، يمكن الكشف الآلي عن المخالفات التالية، والتي تعد من أبرز مسببات التدافع البشري في المشاعر المقدسة والحرم المكي:

- مخالفة سرعة الحركة المنصوص عليها وفق تعليمات خطة إدارة الحج والعمرة في منطقة مراقبة آلة التصوير الملتقطة للصور، سواء بالإسراع في أماكن التريث، أو العكس، حيث يتم آلياً مقارنة معدلات السرعة الفردية والجماعية المتحصل عليها بالمعدلات المسموح بها. وتحديد حدود السرعة المسموح بها لحركة الحجيج لا بد أن يتضمن متوسط السرعة المسموح بها، والانحراف المعياري لها، ودرجة المرونة وهي القيمة التي تحدد مجال ضبط المخالفات، وكلما كانت أصغر كلما كانت الحدود المسموح بها من القيمة المتوسطة أضيق، وبالتالي تزيد درجة التدقيق ويتم ضبط مخالفات أكثر، والعكس صحيح. فإذا استخدمت القيم التالية كمثال توضيحي: (1m/s, 0.25m/s, 2 -/+)، فإنه يعني أن متوسط السرعة هو 1m/s، وأن أقل معدل للسرعة يسمح به هو (0.5 m/s) ، وأقصى معدل هو (1.5m/s)، وأي قيمة خارج هذه الحدود تعد قيمةً شاذة ومخالفة للتعليمات يجب ضبطها، وإحالة تقرير إلكتروني مباشر إلى وحدة التحكم واتخاذ القرار بالخصوص. وقد تكون المخالفة جماعية، حيث تتحرك المجموعة جميعًا بسرعة دون أو فوق الحدود المسوح بها، وهو من الأسباب الرئيسية المؤدية إلى حدوث التدافعات، حيث ينعكس ذلك إما ضغطاً على من هم أمامهم بسبب زيادة سرعتهم فيحصل التدافع، أو ضغطاً عليهم ممن هم وراءهم بسبب إبطاء حركتهم ومحافظة الجموع التي من ورائهم على سرعتهم فيحصل التدافع. ويتم الكشف عن هذه المخالفة بمقارنة المتوسط العام المحسوب لسرعة الحركة بالحدود المنصوص عليها. ولا يعني أبداً تحرك الجماعة ضمن حدود السرعة المسموح بها أن الأمور تسير بالشكل السليم في هذا القاطع، إذ قد تكون المخالفة خاصة ببعض العناصر التي تشذ عن حركة الجماعة، وتخرج عن الحدود الموضوعة لسرعة الحركة في هذه المنطقة، ويتم الكشف عن هذه المخالفات الشخصية بمقارنة معدل السرعة المحسوب لكل عنصر بالمعدلات المسموح بها. وتعد مخالفات السرعة الفردية من الأسباب المعروفة وراء سقوط بعض الحجيج، حيث يؤدي إبطاء الحركة دون الجماعة إلى احتمال حدوث دفع خلفي، مما يؤدي إلى سقوط المتباطئ، كما يؤدي إسراع الحركة دون الجماعة إلى سقوط من هو أمام المسرع، وفي كلا الحالتين يحصل السقوط، وهو ما قد يكون شرارة لسقوط المزيد، وحصول الفوضى والتدافعات. شكل (28) يبين نموذجاً لعملية حساب سرعة حركة الأشخاص بطريقة آلية من الصور والفيديوهات المصورة.



شكل (28): نموذج لعملية حساب سرعة حركة الأشخاص بطريقة آلية من الصور والفيديوهات المصورة باستخدام بعض البرمجيات المتوفرة بشكل تجاري

- مخالفة الافتراش، وهي عملية افتراش الأرض لغرض الاستراحة القصيرة أو الطويلة، أو لغرض التكسب الثابت في أماكن الحركة، ويتم الكشف عنها بنفس الطريقة المتبعة في الخطوة السابقة، بالمقارنة المباشرة بين معدل السرعة المحسوب للعناصر الممثلة للمفترشين وبين المعدلات المسموح بها، حيث يكون معدل سرعة المفترشين معدومًا مقارنة بحركة العناصر المحيطة بها. كما يمكن ضبط المخالفة بدون أي مقارنات، وذلك من خلال تكرار رصد نفس النقاط المميزة بالصورة، والتي تمثل المفترشين، رغم تغير النقاط المحيطة بها وتجددها باستمرار مما يعني بقاءها ثابتة دون حراك يذكر. شكل (29) يبين نموذجا لعملية ضبط عنصر بشري لا يتحرك مقارنة بمن هم حوله (سرعته صفر)، وهي حالة مماثلة لعملية الافتراش.



شكل (29): نموذج لعملية ضبط عنصر بشري لا يتحرك مقارنة بمن هم حوله كحالة مشابهة لعملية الافتراش باستخدام بعض البرمجيات المتوفرة بشكل تجاري

- مخالفة ازدياد معدلات الازدحام عن المعدلات المنصوص عليها، ويتم حساب معدل الازدحام من خلال تقسيم الصورة إلى مربعات معلومة المساحة على الأرض، وحصر عدد العناصر البشرية الملتقطة آلياً (كما تم شرحه في النقطة رقم 1) في كل مربع، وتقسيم العدد على المساحة ليكون الناتج هو عدد الأشخاص بالمتر المربع. ويمكن استخدام طريقة المربعات المتحركة للحصول على دقة عالية لمعدل الازدحام، لاسيما في الأماكن الحرجة والحساسة، حيث يتحرك المربع على الصورة بمعدل أقل من طول ضلعه فينتج عنه تداخل بين المربعات، وبالتالي يمكن الحصول على نتائج أكثر دقة وأعلى موثوقية. ويمكن التحكم في معدل حركة المربع هذا، كما يمكن التحكم في حجمه، حيث كلما صغر حجم المربع وازدادت درجة التداخل كلما تم الحصول على تفاصيل أكثر عن معدلات التزاحم بمنطقة التصوير. ويتم مقارنة المتوسط العام لمعدل الازدحام والمتحصل عليه من كافة القيم الخاصة بالمربعات الثابتة أو المتحركة، والمعدلات المرصودة لكل مربع، مع الحدود المنصوص عليها والمسموح بها، والتي تشمل أيضاً القيمة المتوسطة، والانحراف المعياري، ودرجة الموثوقية، وهو ما تم شرحه مسبقاً فلا داعي للرجوع إليه تارة أخرى. وفي حال وجود مخالفات، يحال تقريرٌ بالخصوص إلى وحدة التحكم واتخاذ القرار. شكل (30) يبين طريقة حساب معدل الازدحام بطريقة المربعات، وطريقة المربعات المتداخلة.

شكل (30): طريقة حساب معدل الازدحام بطريقة المربعات (يسار)، وطريقة المربعات المتداخلة (يمين) [10]

5. من الإحداثيات الأرضية المحسوبة في الفقرة رقم (4)، يتم حساب زاوية اتجاه حركة كل عنصر بين كل صورتين متتاليتين زمنيًا، ومعدل اتجاه حركته بين عدد الصور الملتقطة في الثانية الواحدة، والمعدل العام لحركة كافة العناصر. المعادلات التالية توضح كيفية حساب كلاً منها:

$$PA = \tan^{-1}((X2 - X1) / (Y2 - Y1)) + C = \tan^{-1}(\Delta X / \Delta Y) + C \quad (10)$$

$$MPA = SUM(PA)_{(1....m)} / m \quad (11)$$

$$MA = SUM(MPA)_{(1....n)} / n \quad (12)$$

حيث:

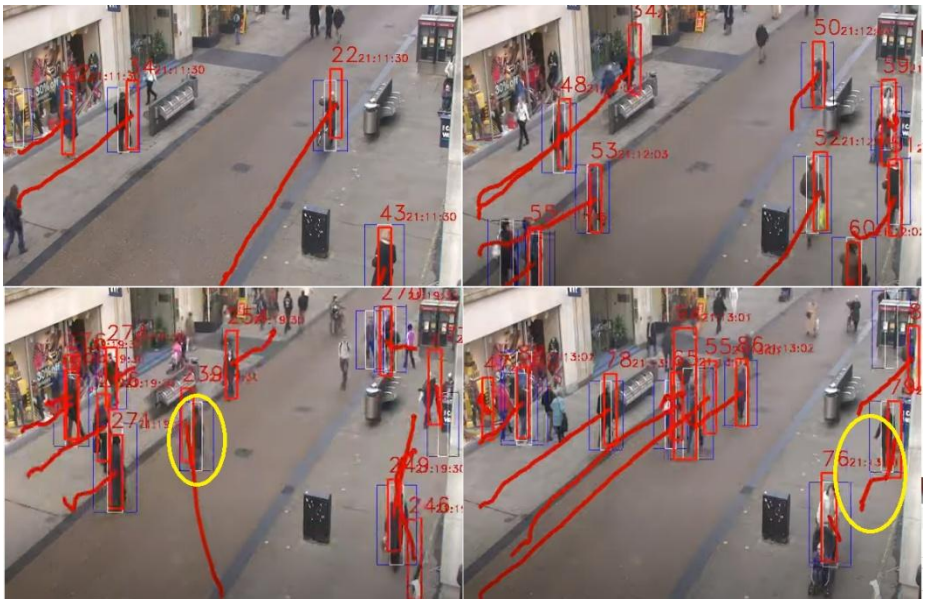
PA زاوية اتجاه حركة العنصر بين صورتين متتاليتين من محور (+Y) للصورة.
(X2, Y2) & (X1, Y1) الإحداثيات الأرضية للعنصر على الصورتين المتتاليتين.
MPA معدل زاوية اتجاه حركة العنصر بين عدد من الصور المتتالية.
m عدد الصور الملتقطة بالثانية الواحدة من نفس آلة التصوير.
MA المعدل العام لزاوية اتجاه حركة الجماعة في الصور الملتقطة.
n عدد العناصر المرصودة والمراقبة بالصور.
C ثابت الانحراف الكلي، والذي يعتمد على إشارة (ΔX) & (ΔY) كما يلي:
(+ΔX & +ΔY, C = 0) (+ΔX & -ΔY, C = 180) (-ΔX & -ΔY, C = 180) (-ΔX & +ΔY, C = 360)

وبإيجاد هذه القيم، يمكن الكشف الآلي عن المخالفات التالية، والتي تعد من أبرز مسببات التدافع البشري في المشاعر المقدسة والحرم المكي:

- مخالفة اتجاه زاوية الحركة المسموح بها وفق تعليمات خطة إدارة الحج والعمرة في منطقة مراقبة آلة التصوير الملتقطة للصور، سواء بالرجوع إلى الخلف، أو التحرك بشكل عرضي للتنقل من مسار إلى مسار، حيث يتم آلياً مقارنة معدلات اتجاهات الحركة الفردية والجماعية المتحصل عليها من الصور بالمعدلات المسموح بها. وكمثل طريقة العمل مع رصد المخالفات في سرعة الحركة، فإن تحديد نطاق اتجاه الحركة المسموح بها للحجيج لا بد أن يتضمن متوسط زاوية الحركة المسموح بها، والانحراف المعياري لها، ودرجة المرونة وهي القيمة التي تحدد مجال ضبط المخالفات، وكلما كانت أصغر كلما كانت الحدود المسموح بها من القيمة المتوسطة أضيق، وبالتالي تزيد درجة التدقيق ويتم ضبط مخالفات أكثر، والعكس صحيح. فإذا استخدمت القيم التالية مثلا: (10^{O}, 1.5 3^{O} -/+، فإنه يعني أن متوسط زاوية حركة الحجيج هي 10 درجات من اتجاه الشمال، وأن أقل معدل للانحراف يسمح به في مثل هذه الخالات هو ($10^{o} - 3^{o} * 1.5 = 6.5^{o}$)، وأقصى معدل هو ($10^{o} + 3^{o} * 1.5 = 14.5^{o}$)، وأي قيمة تقع خارج هذه الحدود تعد قيمة شاذة ومخالفة للتعليمات يجب ضبطها، وإحالة تقرير إلكتروني مباشر إلى وحدة التحكم واتخاذ القرار بالخصوص. وبخلاف مخالفة السرعة، فإن احتمال حصول مخالفة اتجاه الحركة بشكل جماعي يعد ضئيلاً جداً، ولا يتوقع أن يحصل إلا بسبب معين، كوجود افتراش أو عائق يحول دون استمرار الحركة في ذات الاتجاه، أو حصول شيء يخيف الحجيج كانفجارات أنظمة التكييف أو حصول مس كهربائي، فتكون ردةُ فعلهم بتغيير اتجاه حركتهم بشكل تلقائي ومفاجئ خارج الحدود المسوح بها. وتعد عملية تغيير اتجاه حركة الحشود في الازدحامات من أخطر الأسباب المؤدية إلى حدوث التدافعات، حيث تزداد معدلات التزاحم في المناطق التي تم الاتجاه إليها بشكل ملحوظ، فيؤدي إلى سقوط أعداد كبيرة من الحجيج، فيحصل التدافع. ويتم الكشف عن هذه المخالفة بمقارنة المتوسط العام المحسوب لزاوية اتجاه الحركة بالحدود المنصوص عليها. وقد تكون المخالفة خاصة ببعض العناصر التي تشذ عن حركة الجماعة، وتخرج عن الحدود المسموح بها لزاوية اتجاه الحركة في هذه المنطقة، ويتم الكشف عن هذه المخالفات الشخصية بمقارنة معدل اتجاه الحركة المحسوب لكل عنصر بالحدود المسموح بها. وتعد مخالفات اتجاه الحركة الفردية شائعة

جداً ودائمة التكرر، حيث يقوم بعض الحجيج بتغيير مسار حركتهم بشكل دائم، والتنقل بشكل مستعرض لشغل أي فسحة يرونها أمامهم، وذلك مظنة الإسراع في الوصول إلى غايتهم، أو يتحركون بعكس اتجاه الحركة للبحث عن شخص أو متاعٍ، فيؤدي ذلكم إلى عمليات تعثرٍ وسقوطِ بعض الحجيج، وهو ما قد يكون شرارةً لسقوطِ المزيد، وحصول التدافع. شكل (31) و (32) يبين نموذج لعملية ضبط مسارات الحركة المخالفة للحركة العامة.

شكل (31): نموذج لعملية ضبط مسارات الحركة المخالفة للحركة العامة



شكل (32): نموذج لعملية ضبط مسارات الحركة المخالفة للحركة العامة

-مخالفة الاستخدام العكسي للمداخل والمخارج، حيث يعد هذا الفعل شائعًا ومقبولاً عند بعض الحجيج، فتراهم يحاولون الدخول من أماكن الخروج عكس اتجاه حركة الجموع، أو العكس،

ظانين بذلكم أنهم يختصرون مدة الذهاب أو الإياب. وللأسف فإن هذا الفعل يحدث عادة من كبار السن والضعفاء وذوي الاحتياجات الخاصة ممن لا يملكون حيلةً ولا يهتدون سبيلاً، فلا يصمدون أمام حركة الجموع المقابلة لهم، فيقعون أرضًا، ويقع بسقوطهم المحظور. وتكون عملية كشف مثل هذه المخالفات من السهولة بمكان، حيث تكون زاوية اتجاه حركتهم مخالفة بشكل كبير للزاوية المسموح بها في تلك المنطقة، ومخالفاً لزاوية حركة الحشود، فيسهل رصدها، وبالتالي إحالة تقرير للجهات المختصة بالخصوص.

- عمليات التكسب غير الثابتة، حيث يستغل البعض أماكن الازدحامات لعمليات التكسب المتحركة والسريعة، فتراهم يحملون بعض البضائع التي يحتاجها الحجيج، كالمشروبات والمياه الباردة وغيرها دون علم من جهات الاختصاص التي تمنع مثل هذه الأعمال. ويمكن الكشف عن مثل هذه المخالفات بكفاءة عالية بسبب طبيعة حركتها غير المتوافقة مع طبيعة حركة العناصر المحيطة بها، حيث تعتمد على التنقل بشكل عرضي بين الحجيج، وفي اتجاهات وسرعات تخالف اتجاهات وسرعة حركة الحشود، وتخالف المعدلات المنصوص عليها بخطة إدارة الحج والعمرة، فيتم رصدها وإحالة تقرير إلى الجهات المسؤولة بالخصوص.

6. إرسال تقارير آنية إلى وحدة التحكم واتخاذ القرار عن أي مخالفة مرصودة، ليتم تقييمها أولاً، واتخاذ ما يلزم من إجراء، سواء بالتغاضي أو التدخل. وتكون طريقة الإحالة بعرضٍ مباشرٍ على شكل فيديو من آلة التصوير الملتقطة للمخالفة والآلات المجاورة لها على شاشات خاصة في وحدة اتخاذ القرار لمتابعة تطورات الأمر والمساعدة في اتخاذ ما يلزم، مع عملية تنبيه صوتية وضوئية للتأكد من تنبيه أفراد الوحدة لعملية إحالة التقرير. ويشمل التقرير المرئي تحديد رقم آلة التصوير الملتقطة للخلل، وموضعها على الخريطة، ونوع المخالفة، وتحديد مكانها على الصورة، وإحداثياتها الأرضية، ورصد ما يترتب على هذا الخلل بشكل آني مباشرٍ، كحساب معدلات الازدحام في منطقة المخالفة، ورصد التغيرات في سرعة واتجاه الحركة ونحو ذلك.

7. في حال اتخاذ قرار من وحدة التحكم وإصدار القرار بالتدخل، تقوم وحدة المعالجة والتحليل بدعم عناصر وحدة التدخل بتحديد أماكنهم على الفيديوهات المرسلة إليهم مباشرة من وحدة المستشعرات البصرية بجانب مكان حدوث الخلل المستوجب للمعالجة. ويعين ذلكم في عملية توجيه العناصر إلى مكان الحادث في الأماكن المغطاة والمغلقة التي لا يعمل بها نظام (GPS)، كما تعمل الوحدة عند الطلب على توجيه العناصر إلى أقرب مخارج طوارئ، ونقاط إسعاف، وخدمات، ودفاع مدني، ونحو ذلك، وإرشادهم إلى أسلك الطرق وأقلها ازدحاماً، ويتم كل ذلك وفق الخطوات المذكورة آنفاً، فلا داعي لإعادتها مرة أخرى. يبقى أن نوضح أن عمليات التعقب على الفيديوهات هي عمليات مماثلة للتعقب على الصور المتتالية الملتقطة من آلات التصوير، فالفيديوهات ما هي إلا صورٌ متتاليةٌ تؤخذ بوتيرة عالية تبدأ من 30 صورة في الثانية، وتصل إلى 120 صورة في الثانية. وعملية تحويل الفيديو إلى صور تسمى (Frame Extraction)، وهي من مبادئ علم معالجة الصور الرقمية،

وتتم عبر برمجيات منتشرة بشكل لا يحصى، ويمكن أيضاً فعل ذلك باستخدام بعض لغات البرمجة الحديثة مثل (MATLAB). وقد تم في هذه المنظومة اعتماد نظام الصور المتتالية بدل نظام الفيديو لأن سرعة وطبيعة حركة الحجيج والحشود في الازدحامات تكون بطيئة، فلا داعي لاستخدام معدل عالٍ للتصوير أو استخدام الفيديو، لأن ذلك يعتبر إهدارا لطاقة ووقت وحدة المعالجة والتحليل دونما فائدةٍ تُرْجَى، كما يمكن تسخير الوقت المختصر باستخدام الصور المتتالية بديلاً عن الفيديوهات في تحسين دقة عمل الوحدة وزيادة جودة المنتجات. كما أن عملية استنباط الصور من الفيديوهات قد تنتج صورًا مشوشةً بعض الأحيان مما يؤثر على عمليات رصد العناصر وتتبعها وهو عماد وصلب عمل هذه المنظومة. وقد تم الاقتصار على استخدام نظام الفيديوهات بمعدل 30 إلى 60 صورة بالثانية في حال عمليات التدخل، وذلك للحاجة إليها حيث يتوقع أن تكون طبيعة الحركة بمنطقة الحادث ذات وتيرة متسارعة.

4-4 وحدة التحكم واتخاذ القرار:

يعكس اسم هذه الوحدة دورها ووظيفتها، فهي العقل المدبر لعمل المنظومة، تتحكم في كافة الوحدات الأخرى إما بشكل غير مباشر عن طريق وحدة الضبط وقاعدة البيانات، كتحكمها في ضبط إعدادات وحدة المستشعرات الضوئية، وضبط معدلات المرونة والخطورة وطريقة العمل بوحدة المعالجة والتحليل، أو تحكم بشكل مباشر كتحكمها في طريقة تشغيل وحدة المستشعرات الضوئية، وعمل وحدة التدخل، وتشغيل وحدة التنبيه والإنذار. ويمكن لهذه الوحدة أن تتصل بباقي الوحدات بطريقة سلكية، وهي الأفضل بما توفره من سرعة وجودة في عمليات الإرسال والاستقبال خاصةً فيما يتعلق بالصور والفيديوهات، كما يمكن أن يكون الربط بشبكة غير سلكية عبر شبكة معلومات داخلية تكون قادرة على الإيفاء بمتطلبات عمل المنظومة. ولا بد أن تضم هذه الوحدة لفيفاً من الكفاءات الهندسية والأمنية والخدمية، وأصحاب الخبرة والدراية. ويمكن تلخيص مهام هذه الوحدة في النقاط التالية:

1. إحالة خطة إدارة الحج والعمرة الخاصة بحركة الحجيج إلى وحدة الضبط وقاعدة البيانات بعد مراجعتها والتدقيق فيها، وذلك لتحويلها إلى خرائط إلكترونية كما ذكرنا سابقاً في الفقرة (4-1). وتشمل الخطة المرسلة كافة التفاصيل الخاصة باتجاهات حركة الحجيج، وسرعة الحركة في كل منطقة، ومعدلات الازدحام المسموح بها، وكامل تفاصيل المرافق بمنطقة المراقبة، شاملاً المداخل والمخارج، والخدمات الطبية، والاتصالات، وصرف مياه الأمطار، والصرف الصحي، ومياه الشرب، وممرات ومخارج الطوارئ، لاسيما ما تم تحديثه، أو تغييره، أو تطويره، ليتم تعديل بياناته على الخرائط السابقة حال إنشائها.
2. تحديد قيم الانحرافات المعيارية وهوامش المرونة في سرعة واتجاه الحركة ومعدلات الازدحام المسموح بها في كل جزء من منطقة المراقبة، والتي تتحكم في مدى صرامة ومرونة المنظومة في ضبط المخالفات، وإحالتها لوحدة الضبط وقاعدة البيانات لضبط عمل المنظومة وفقها.

3. تحديد قيمة معدل الخطورة المكانية والزمانية، والذي يتوقف على طبيعة المكان والزمان والأشخاص المتواجدين، فتكون القيمة أقصى ما يمكن عند أماكن وأوقات الذروة، وحال وجود شخصيات هامة، مع احتمال وجود تهديدات أمنية مثلاً، وتبلغ أدناها عكس تلك الظروف. ويتحكم معامل الخطورة في قيمة هامش المرونة، حيث كلما زاد معدل الخطورة تم تضييق قيمة هامش المرونة، فيتم رصد أي حركة خارج حدود ذاك الهامش الضيق وتعد مخالفة. كما يتحكم معدل الخطورة في مستوى الاستعدادات لاسيما بالوحدات غير الآلية بالمنظومة كوحدة التحكم واتخاذ القرار، ووحدة التدخل، ووحدة الضبط وقاعدة البيانات، وذلك بزيادة أعداد العاملين والمراقبين والمخططين والاستعانة بأصحاب الخبرة والدراية.
4. التحكم المباشر في وحدة المستشعرات الضوئية حال إحالة التقرير المرئي، حيث يمكن التحكم بآلات التصوير من تكبير، وتصغير، وانتقال من نظام الصور لنظام الفيديو أو العكس، والانتقال من آلة تصوير إلى أخرى، وذلك مما يساعد في عملية التقييم واتخاذ القرار.
5. تقييم المخالفة المرصودة من ناحية ضرورة التدخل من عدمه، ومستوى التدخل المطلوب، ووضع خطة عمل مبدئية لوحدة التدخل للسير عليها، وإصدار الأوامر المباشرة لوحدة التدخل بمعالجة الإشكال الحاصل.
6. التحكم في وحدة التنبيه والتحذير، وذلك وفقاً لمقتضيات الحاجة، فيمكن إيقاف حركة الحجيج في كافة مناطق المراقبة، أو في بعض أجزائها، وذلك للمساعدة في تفادي التدافعات، أو التقليل من أضرارها، والمساعدة في تسهيل حركة عناصر وحدة التدخل.
7. تقييم أداء عمل المنظومة، وجودة مخرجاتها، ورصد أخطاء عمليات إيجاد العناصر ومطابقة الصور، والوقوف على العيوب التي من شأنها إعاقة اتخاذ القرارات المناسبة في الوقت المناسب، وإحالة تقارير دورية بذلك لوحدة الضبط وقاعدة البيانات لمعالجتها وإيجاد حلولٍ لها.

5-4 وحدة التدخل:

وتُعْنَى هذه الوحدة بتنفيذ قرارات وحدة التحكم واتخاذ القرار بالتدخل لحل إشكال معين، وفق خطة مبدئية موضوعة، تشمل تحديد أرقام وحدات التدخل الفرعية المكلفة بالمهمة، والمسارات التي يجب اتخاذها للوصول إلى موقع الحادث، مع أقرب مخارجَ للطوارئ، والخدمات الطبية والإطفائية. كما تشمل الخطة بيان طريقة المعالجة المطلوبة، إما بالتنبيه والتوضيح حال الجهل، أو التحذير حال العلم مع حسن النية، أو الاعتقال حال العلم مع سوء النية، أو تقديم الإسعافات الطبية الأولية، أو عمليات الإخلاء ونقل المصابين، ونحو ذلك. ويقوم عناصر الوحدة باستخدام أجهزة (GPS) في الأماكن المفتوحة غير المغطاة لتحديد مواقعهم على الخرائط الإلكترونية المبينة على أجهزتهم الذكية التي يتم تزويدهم بها، وهي عبارة عن هواتف نقالة ذكية ذات شاشات عرض كبيرة، أو أجهزة لوحية (Tablets)، وتحديد موقع الحادث، وتوجيههم إليه وفق الخطة المعدة. أما في الأماكن التي لا تتوفر فيها خدمة نظام (GPS)، كجسر الجمرات، ومسارات الطواف، والمسعى، فإن عناصر وحدة التدخل يستعينون بوحدة المعالجة والتحليل

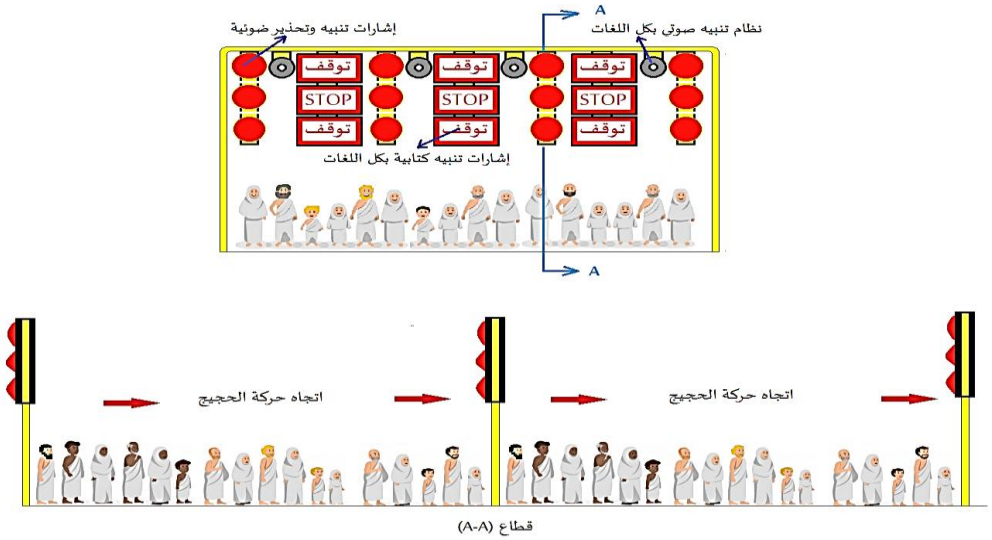
لتحديد مواقعهم على الفيديوهات المرسلة إليهم بشكل آني، مع تحديد موقع الحادث، وتوجيههم عبر أفضل المسارب ذات الكثافة العددية المنخفضة.

وتتصل وحدة التدخل في حد ذاتها بباقي الوحدات سلكياً أو لا سلكياً ضمن الشبكة المعلوماتية المغلقة الخاصة بالمنظومة (Ethernet)، أما التواصل بين عناصر وحدة التدخل وإدارة الوحدة فيكون عبر أجهزة اللاسلكي على موجة خاصة بالمنظومة. ويمكن لعناصر وحدة التدخل طلب المساعدة مباشرة من وحدة التحكم واتخاذا القرار بإيقاف حركة قاطعٍ معينٍ، أو فتح أو إغلاق مدخلٍ أو مخرجٍ، والانتقال في البث إلى آلة تصوير معينة، أو نحو ذلك مما يرونه مناسبًا حال معالجتهم للخلل، كما يمكنهم طلب معلومات بعينها من وحدة الضبط وقاعدة البيانات والتي يتم عرضها مباشرة على أجهزتهم الذكية أو اللوحية. وتكون فرق التدخل موزعة على طول وجانبي مسار حركة الحجيج في كافة المناطق الخاضعة لمراقبة المنظومة، ويتم توزيعهم بشكل مكاني وزماني يتوافق مع معدلات الخطورة المنصوص عليها في تعليمات وحدة التحكم واتخاذ القرار، فيكثف وجودهم في مناطق وأزمنة الذروة. كما يتوجب أن يكون لباسهم مميزاً، لتسهل عملية رصدهم وتعقبهم آلياً عبر وحدة المعالجة والتحليل.

6-4 وحدة التنبيه والتحذير:

وهي من الوحدات المكملة لعمل المنظومة، ودورها الرئيسي هو إيقاف حركة الحجيج أو إبطاؤها في كامل المناطق الخاضعة لمراقبة المنظومة، أو بشكل جزئي في قواطع حدوث المخالفات. وتتكون الوحدة من أجهزة تنبيه وتحذير ضوئية وصوتية خاصة، موزعة بدقة على مسارات الحجيج، وفق اتجاه حركتهم، وفي المداخل والمخارج، ونحو ذلك، وتكون متصلة مباشرة بوحدة التحكم واتخاذ القرار لتشغيلها بالطريقة والكيفية التي تتوافق مع حالة المخالفة المضبوطة. المنبهات الضوئية هي عبارة عن إشارات ضوئية، ذات شدة إضاءة عالية جدًا، وأشكال مميزة، كالدوائر والمثلثات، وبألوان مميزة ومعروف عند كافة البشر للدلالة على التوقف، أو الانتباه، كاللونين الأحمر والبرتقالي، والإبقاء على اللون الأخضر في الحالة الطبيعية. كما يصحب هذه الإشارات الضوئية إشارات ضوئية أخرى بذات المواصفات تعرض كلمات للتوقف والانتباه بكافة اللغات المعروفة، مع منظومة صوتية متكاملة موزعة بدقة على كافة نواحي منطقة المراقبة، وذلك لإصدار التعليمات بالتوقف والانتباه للحجيج بكافة اللغات، وذلك لتنبيه من كان غافلاً عن الإشارات الضوئية، أو كِفَافَ وضِعَافَ البصرِ. ويمكن الاستفادة من الإشارات الضوئية في عمليات تحريك الحجيج في الظروف العادية أيضاً، ويكون التحكم فيها خاصًا بمنظمي الحركة العاديين، وفي حال وقع حادث، وإصدار وحدة التحكم قرارًا بالتدخل، ينتقل التحكم في كافة الإشارات الضوئية والصوتية إلى وحدة التحكم وإصدار القرار بالمنظومة. ويتم تركيب الإشارات الضوئية على ارتفاعات مدروسة بحيث لا يكون هناك مجال للشك في رؤية الحجيج لها، لذا لابد من تركيبها بشكل يتوزع على عرض ممرات المشاة،

وبمستويات ارتفاع تضمن زاوية رؤية مناسبة، كما هو موضح في الشكل (33) الذي يبين قطاعًا جانبيًا وأماميًا لمكونات وحدة التنبيه والتحذير.



الشكل (33): قطاع جانبي وأمامي لمكونات وحدة التنبيه والتحذير

5. الخلاصة والتوصيات

في إطار البذل الحثيث والمتواصل الذي تتبعه المملكةُ العربيةُ السعوديةُ لتطوير بيت الله الحرام والمشاعرِ المقدسةِ، تأتي التوسعةُ العملاقةُ الأخيرةُ لتتويج هذه المساعي، والتي منْ شأنِهَا الارتقاء عمرانيًا بهذه البقاعِ المقدسةِ، والإلقاء بظلالِهَا علىَ محيطها، فترتقي وتزدهر جميعًا، سامحةً بازدياد الطاقة الاستيعابية لهذه الرقاع المقدسة بشكل كبير. وتتطلبُ الزيادةُ المتوقعةُ في أعدادِ الحجيجِ، لا سيما في فتراتِ الذروةِ كشهر رمضانِ وموسم الحج، اهتماماً بالغاً بأمورِ التنظيمِ، والتنسيقِ، والمراقبةِ، وإدارةِ وحركةِ الحشودِ، في كلِ مراحلِ ومناطقِ الازدحامات بالبقاعِ الطاهرة، لاسيما مشعر منىَ عند رمي الجمرات، والمطاف والمسعى بالبيت العتيق، حيث تبلغ معدلات التزاحم أقصاها، وتحدث أغلب حوادث التدافع. وتسخرُ وزارة الحج والعمرة إمكاناتٍ هائلةً لتجنبِ وقوعِ حوادث التدافع، والتعامل المسبق مع مسبباته، فيتم استخدامُ أحدثِ الطرقِ والأساليب لوضع الخطط، وإدارةِ الجموعِ، وتوفير الطواقمِ الطبيةِ والأمنيةِ وفرقِ الدفاعِ المدنيِ والتدخلِ السريعِ، والمراقبةِ الأمنيةِ عبرَ منظومةٍ مكونة من آلاف آلات التصوير الحديثة، الموزعةِ لضمان تغطية تامة لكافة النواحي والأركان، يتناوب عليها بجيشٌ من الموظفين للمراقبةِ المباشرةِ وضبط المخالفات. إلا أنه بالنظر إلى طبيعة شعيرة رمي الجمرات واختلافها عن باقي الشعائر من ناحية التكرار، وضيق مكان تأديتها، واستحباب تأديتها بزاوية معينة، من مكان معين، وبزمن معين، وبالنظر إلى الطبيعة المعقدة لحوادثِ التدافعِ التي تتداخل فيها العوامل النفسية، والعقلية، الاجتماعية،

والتربوية، والتوعوية، تجد أنه من الصعوبة جداً التنبؤ بمسببات حوادث التدافع، ورصد بوادرها، وضبطُها، والتحكمُ بها، لاسيما بالمراقبة البشرية المباشرة دون التدخل الآلي الدقيق.

وتم خلال هذه الورقة طرحُ فكرةٍ تصميميةٍ مبتكرةٍ لمنظومةِ مراقبةٍ إلكترونيةٍ متكاملةٍ، تعمل على الكشفِ الآلي المبكرِ عنْ مسببات وبوادرِ التدافعِ في المناطق الحساسة من المشاعر المقدسةِ كجسر الجمرات، والطرق المؤدية إليه من مزدلفة، والمطاف والمسعى بالحرم المكي، سواء في ذلك المساحات المفتوحة منها أو المغطاة. وقد روعي عند وضع تصميم المنظومة أن تكون فعالة في تتبع حركة واتجاه وسرعة كافة المتواجدين في هذه المناطق دون استثناء، والكشف آلياً عن أي مخالفة للتعليمات والإرشادات المنصوص عليها في خطط تنظيم حركة الحجيج والمعتمرين الموضوعة من الجهات المسؤولة، سواء أكانت مخالفات فردية أو جماعية. وتشمل المخالفات التي يمكن للمنظومة رصدها آلياً مخالفة حدود سرعة الحركة المسموح به، كالإسراع في أمكان التريث، أو العكس، ومخالفة اتجاه الحركة، كالتحرك في اتجاهات معاكسة أو مخالفة لاتجاه حركة الحجيج، أو اتخاذ مسارات متعرجة والحركة باتجاه عرضي، ورصد ازدياد معدلات الازدحام عن القيم المنصوص عليها، وعمليات الافتراش، والتكسب الثابت والمتحرك، واصطحاب الأمتعة، والتواجد في غير الأماكن المسموح بها، ومراقبة تواجد عناصر الأمن والخدمات في الأماكن المخصصة لهم، ورصد التصرفات الغير مسؤولة التي من شأنها إحداث فوضى وشغب بين جموع الحجيج. كما روعي أيضاً أن تكون التصاميم متكاملة لتغطية كافة نواحي المنظومة، شاملة تجهيز قاعدة البيانات الإلكترونية للمنظومة ومحتوياتها، وطريقة ضبط إعدادات كافة الأجهزة بها، وشرح طريقة عمل المستشعرات الضوئية، وكيفية تركيبها، والبيانات الأساسية المحتاجة لأداء عملها، وعملية معالجة الصور بالتفصيل لاستنباط العناصر ورصد المخالفات، وعملية مطابقة الصور آلياً، وكيفية تسريعها وزيادة دقتها، وشرح مهام وحدات التحكم واتخاذ القرارات، والتدخل، ووحدة التنبيه والتحذير. وتشمل التصاميم المطروحة بيان قدرة المنظومة على رصد المخالفات المطلوبة آلياً، وإحالتها إلى عملية التقييم النهائية من قبل عناصر بشرية ذات كفاءة لاتخاذ القرارات المناسبة لمعالجة الخلل، والحيلولة دون حدوث مسببات التدافع، أو التقليل من آثارها حال حدوثها، والقدرة عند الطوارئ على إيقاف أو إبطاء حركة الحجيج في كافة أرجاء المشاعر أو في جزء منها، والقدرة على توجيه عناصر التدخل إلى موقع الحالة، سواءً أكانت داخل المباني أو خارجها، وإرشادهم إلى أقرب المخارج، وأسلك السبل لإسعاف وإجلاء المصابين وتدارك الأمور. كما بينت التصاميم قابلة المنظومة للتطوير بشكل دوري، باعتبار أن عملها يعتمد على تراكم الخبرات، وتم أيضاً التطرق إلى طرق الاتصالات والربط بين وحدات المنظومة، والبرمجيات القادرة على تنفيذ الأعمال المختلفة المطلوبة لتنفيذ مهام المنظومة، ونماذج من الأجهزة التي يمكن استخدامها في وحدات المنظومة المختلفة، شاملاً المستشعرات الضوئية، والمعالجات الإلكترونية.

وينصح بتطبيق هذه الفكرة أولاً على نطاق ضيق باستخدام عدد بسيط من آلات التصوير والمعالجات، والاستعانة بمبرمجين محترفين في مجال معالجة وتحليل الصور، وآخرين في مجال تقنية المعلومات والخرائط الإلكترونية، واستخدام أحدث البرمجيات المفتوحة في مجال رصد العناصر على الصور ومطابقتها آلياً، وبرمجة العناصر المراد رصدها ومراقبتها بكيفية التصوير المتبعة، ودراسة المميزات والعيوب، والمثابرة في التعديل والتطوير إلى حين الوصول إلى درجة عالية من الدقة والموثوقية في نتائج العمل. عندها يمكن البدء في عملية تعميم المنظومة على كافة أرجاء المناطق المراد مراقبتها بالكيفية المبينة بالورقة، كما يمكن عندها البدء في عملية إعداد وتدريب الكوادر الخاصة بتشغيل كافة وحدات المنظومة من مبرمجين متخصصين في مجالات معالجة الصور، وإحصائيين متخصصين في تحليل البيانات، ومهندسي نظم معلومات جغرافية، ومهندسي مساحة تصويرية ونظم مواقع عالمية، ومهندسي اتصالات وتكنولوجيا المعلومات، ومتخصصين في إدارة وتنظيم الحشود، وعناصر الأمن والتدخل والخدمات الطبية والإسعاف والدفاع المدني، ونحو ذلك.

وأخيرًا، فإننا لا ندعي كمالاً لهذا العمل، أو تغطيةً دقيقةً لكافةِ جوانبهِ، فإنما هي فكرةٌ مبدئيةٌ ارتأينا طرحَهَا، علهَا تلقىَ نجاحًا، أو يُكْتَبُ لها القبولُ، فتنفذُ، وتكونُ سببًا لمنعِ تدافعٍ، أو تجنبِ أذيةٍ، أو حفظ حياةِ إنسانٍ، فيُكْتَبُ لنا من وراء ذلكم أجرٌ وثوابٌ. والمجالُ مفتوحٌ واسعٌ للعملِ والإبداعِ وتطويرِ هذهِ الفكرةِ للوصولِ إلى أفضلِ النتائجِ، وقد اجتهدنَا وسعنَا، فإن كان ثمَّ صوابٌ، فبفضلٍ من اللهِ ومنةٍ، وإن كان غيرَ ذلكمْ، فمِنْ أنفسِنَا، وعليهِ – سبحانهُ – قصدُ السبيلِ.

المراجع

1. وزارة الحج والعمرة بالمملكة العربية السعودية، الموقع الرسمي، "Haj.gov.sa"، أخر تصفح 03-12-2021.
2. موقع المرجع، الموقع الرسمي، "almrj3"، أخر تصفح 01-12-2021.
3. حاشية العلامة ابن حجر الهيثمي على شرح الإيضاح في مناسك الحج للإمام النووي، دار الحديث للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، لبنان.
4. أشهر حوادث الحج في الحرم المكي التي حصلت عبر التاريخ، "arabwalls.com"، أخر تصفح 29-11-2021.
5. Amami M. Enhancing Stand-Alone GPS Code Positioning Using Stand-Alone Double Differencing Carrier Phase Relative Positioning. Journal of Duhok University (Pure and Eng. Sciences). 2017; 20(1): 347 355.
6. Amami M. Investigations into the quality of final-product dual-frequency static PPP over fixing time using CSRS-PPP free online service: GPS Vs. GPS + GLONASS. World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences (GJETA). November 2025; 17(2):438-443.

7. Amami M. Kinematic PPP Using PPP-WIZARD Free Online Service: GPS Vs. GPS + GLONASS. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. December 2025; 7(12).
8. Amami M. Quality of Static PPP over observation time using PPP-WIZARD free online service: GPS Vs. GPS + GLONASS. Open Access Research Journal of Science and Technology. December 2025; 15(2): 195-200.
9. Amami M. Investigations into the quality of final-product dual frequency kinematic PPP in open sky using CSRS-PPP free online service: GPS Vs. GPS+GLONASS. Global Journal of Engineering and Technology Advances (GJETA). November 2025; 25(2):138-143.
10. Amami, M. M. Advanced Automatic Image Matching for Online SLAM-Based Navigation. The 1st Technical Conference of Exhibition on Architecture & Civil Engineering. Benghazi, Libya. 2019.
11. Amami M. The Advantages and Limitations of Low-Cost Single Frequency GPS/MEMS-Based INS Integration. Global Journal of Engineering and Technology Advances. Feb. 2022; 10(2): 018-031.
12. Amami M. Fast and Reliable Vision-Based Navigation for Real Time Kinematic Applications. International Journal for Research in Applied Sciences and Engineering Technology. Feb. 2022; 10(2): 922-932.
13. Amami M. A Novel Design Concept of Cost-Effective Permanent Rail-Track Monitoring System. World Journal of Advanced Research and Reviews. March 2022; 13(3): 451-473.
14. Amami M. The Integration of Stand-Alone GPS Code Positioning, Carrier Phase Delta Positioning and MEMS-Based INS. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. March 2022; 4(3): 700-715.
15. Amami M. The Integration of Time-Based Single Frequency Double Differencing Carrier Phase GPS/ Micro-Elctromechanical System-Based INS. International Journal of Recent Advances in Science and Technology. Dec. 2018; 5(4): 43-56.
16. Amami M. Comparison Between Multi and Single Epipolar Geometry-Based Filters for Optical Robot Navigation. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. March 2022; 4 (3): 476-485.
17. Amami M. Comparison between Multi Epipolar Geometry and Conformal 2D Transformation-Based Filters for Optical Robot Navigation. International Journal for Research in Applied Sciences and Engineering Technology. March 2022; 10(3): 388-398.
18. Amami M. Comparison between Multi Epipolar Geometry and Affine 2D Transformation-Based Filters for Optical Robot Navigation. International Journal for Research in Applied Sciences and Engineering Technology. March 2022; 10(3): 399-409.
19. Amami M. Speeding up SIFT, PCA-SIFT and SURF Using Image Pyramid. Journal of Duhok University, [S.I]. July 2017; 20(1): 356-362.

20. Amami M. Multi and Single Epipolar Geometry-Based Filters Vs. Affine and conformal 2D Transformation-Based Filters. Global Journal of Engineering and Technology Advances. March 2022; 10(3): 032-051.
21. Amami M, Smith M, Kokkas N. Low-Cost Vision Based Personal Mobile Mapping System. ISPRS- International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014; XL-3/W1: 1-6.
22. Amami M. The Integration of Image-Based Navigation and GPS Carrier Phase Delta Positioning for Aerial Triangulation using Low-Cost Drones with Limited Number of Ground Control Points. Quest Journals. 2022; 7(5): 23-31.
23. Amami M, EL-Turki A, Rustum A, EL-Amaari I, Jabir T. Topographic Surveying using low-cost amateur drones and 4K ultra-high-definition videos. Open Access Research Journal of Science and Technology. April 2022; 4(2): 072-082.
24. Amami M, Elmehdwi A, Borgaa A, Buker A, Alareibi A. Investigations into utilizing low-cost amateur drones for creating ortho-mosaic and digital elevation model. International research journal of modernization in engineering technology and science. March 2022; 4(3): 2107-2118.
25. McGlone, J. C., Mikhail, E. M., Bethel, J. and Roy, M. Manual of photogrammetry. 5th ed. Bethesda, Md.: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 2004.