

التوزيع الطبيعي وتحليل بواسون لنموذج احصائي مقترح
تنظيم دخول الاعداد المليونية الى كربلاء المقدسة
خلال زيارة الاربعةين في ضوء الاتجاهات المتزايدة للزوار

ا.م.د. لقاء زكي حمادي

جامعة بغداد- كلية العلوم- قسم الرياضيات

liqaa.hummady@sc.uobaghdad.edu.iq

م.د. ايمان محمد علي

جامعة بغداد- كلية العلوم - قسم علم الارض

iman.ahmed@sc.uobaghdad.edu.iq

ا.م.د انوار كاظم موسى

جامعة بغداد- كلية العلوم- قسم علم الارض

anwar.kadhim@sc.uobaghdad.edu.iq

الملخص

تواجه مدينة كربلاء المقدسة خلال موسم زيارة الأربعين السنوي تحديات لوجستية كبيرة نتيجة التضخم المستمر في أعداد الزوار القادمين من داخل العراق وخارجه. ويسعى هذا البحث إلى تطوير نموذج إحصائي ديناميكي يعتمد على تكامل مصادر بيانات متنوعة؛ بهدف التنبؤ بحجم الزوار وتوزيعهم المكاني والزمني، ورصد الأنماط الموسمية عبر تطبيق منهجيات إحصائية تشمل التحليل الوصفي، وتحليل التباين (ANOVA)، ونماذج الانحدار الزمني القائمة على نوعين رئيسيين من التوزيعات الاحتمالية:

١. التوزيع الطبيعي: يُستخدم لرصد الأنماط العامة في التدفق اليومي للزوار والاتجاهات الموسمية طويلة الأجل، نظرًا الميل الإجمالية إلى هذا التوزيع. ويُمكن ذلك من توظيف أدوات تنبؤية مثل الانحدار الخطي وتحليل المكونات الموسمية.

٢. توزيع بواسون: يُطبّق لتحليل أحداث الوصول المتقطعة خلال فترات زمنية قصيرة أو عند نقاط دخول محددة، حيث يتميز التدفق بعدم الانتظام الزمني وارتباطه بأحداث منفصلة. ويقدم هذا التوزيع أداة فعالة لنمذجة التدفقات البشرية بدقة على المستويين الكلي والجزئي، وخاصة خلال ساعات الذروة أو عند البوابات المحددة. وقد أسهم دمج خوارزميات الانحدار الزمني وتحليل التباين في تعزيز دقة التنبؤات الصادرة عن النموذج. مما يسمح بوضع خطط استباقية متطورة لإدارة الحشود، وتخصيص الموارد بكفاءة، والاستعداد للتدفقات المفاجئة. وبناءً عليه، يمكن اعتماد هذا النموذج كأداة معيارية لدعم جهات التخطيط في وضع استراتيجيات الطوارئ، وتوزيع الخدمات، وضمان أعلى مستويات التنظيم والسلامة خلال الفعاليات المليونية. كما يمتاز النموذج بقابليته للتطبيق في مناسبات دينية كبرى أخرى تشهد كثافات سكانية عالية.

الكلمات المفتاحية: الحشود المليونية - خدمة الزارين-زيارة الاربعين-

الاحصاء الرياضي -التخمين.

Normal Distribution and Poisson Analysis for a Proposed Statistical Model to Organize the Entry of Million-Scale Crowds into Holy Karbala During the Arba'een Visitation in Light of Increasing Visitor Trends

Assistant Professor Dr. Liqaa Zaki Hammad

University of Baghdad - College of Science - Department of Mathematics

Dr. Iman Muhammad Ali

University of Baghdad - College of Science - Department of Earth Sciences

Assistant Professor Dr. Anwar Kazem Musa

University of Baghdad - College of Science - Department of Earth Sciences

Abstract

The holy city of Karbala faces significant logistical challenges during the annual Arba'een visitation due to the continuous surge in the number of visitors from within Iraq and abroad. This research aims to develop a dynamic statistical model integrating diverse data sources to predict visitor volume, spatiotemporal distribution, and seasonal patterns by applying statistical methodologies including descriptive analysis, analysis of variance (ANOVA), and time-series regression models based on two primary probability distributions:

Normal Distribution: Used to monitor general patterns in daily visitor flow and long-term seasonal trends, as aggregate data tends to follow this distribution. This enables the use of predictive tools such as linear regression and seasonal component analysis.

Poisson Distribution: Applied to analyze intermittent arrival events over short time periods or at specific entry points, where flow is characterized by temporal irregularity and discrete events. This distribution provides an effective tool for accurately modeling human flows at both macro and micro levels, particularly during peak hours or at specific gates.

The integration of time-series regression algorithms and ANOVA has enhanced the accuracy of the model's predictions, allowing for the development of proactive crowd management plans, efficient resource allocation, and preparedness for sudden influxes. Consequently, this model can be adopted as a standardized tool to support planning authorities in formulating emergency strategies, distributing services, and ensuring the highest levels of organization and safety during million-scale events. The model is also applicable to other major religious gatherings with high population densities.

Keywords: Million-scale crowds, visitor services, Arba'een visitation, mathematical statistics, estimation.

المقدمة

تمثل زيارة الأربعين في كربلاء المقدسة إحدى أكبر التجمعات الدينية العالمية السنوية، حيث يؤمها ملايين الزوار المحليين والدوليين لإحياء ذكرى استشهاد الإمام الحسين عليه السلام. تُصنّف هذه الفعالية كظاهرة مركبة تجمع بين الأبعاد الروحية والاجتماعية والثقافية، لكنها تُؤلّد في المقابل تحديات لوجستية وتنظيمية غير مسبوقة تتعلق بإدارة الحشود الهائلة، وتأمين البنى التحتية من خدمات صحية وأمنية، وضمان سلامة الحركة وسلامة المشاركين في بيئة تتسم بالازدحام الشديد وتنوع السلوكيات. مع التنامي المستمر لأعداد الزوار، أصبح تطوير أدوات تحليلية قادرة على التنبؤ الدقيق بأنماط التوزيع الزمني والمكاني للتدفقات البشرية ضرورةً حاسمةً لدعم صنع القرار وتخطيط الموارد. وفي هذا الإطار، يقدم هذا البحث نموذجًا إحصائيًا ديناميكيًا يعتمد على تحليل كمّي متقدم للبيانات، مستندًا إلى دمج أدوات إحصائية تُختار وفقًا لطبيعة البيانات وسياقها، وأبرزها:

٣. التوزيع الطبيعي (Normal Distribution).

٤. توزيع بواسون (Poisson Distribution).

١. توظيف التوزيعات الإحصائية في النموذج:

يعتمد النموذج المقترح على توزيعين إحصائيين رئيسيين يتم اختيارهما وفقًا لطبيعة البيانات:

- التوزيع الطبيعي (Gaussian Distribution): يُطبّق عند تماثل توزيع البيانات حول المتوسط، وهي سمة شائعة في البيانات المجمعة على مستوى الزيارة اليومية. ويُمكن هذا التوزيع من استخدام تقنيات كالانحدار الخطي وتحليل الاتجاهات الموسمية، مما يدعم التنبؤ بالأنماط العامة وتحديد الفترات الحرجة.

- توزيع بواسون (Poisson Distribution): يُستعمل لتحليل الأحداث المنفصلة خلال فترات زمنية قصيرة (كالتدفق بالساعة أو عند نقاط محددة)، خاصةً عندما تتسم الأحداث بعدم الانتظام الزمني. ويُعد أداةً فعالةً لنمذجة الذروات في التدفق البشري عند البوابات الحيوية أو الأماكن عالية الكثافة.

٢. تعزيز النموذج بالأساليب الإحصائية :

تم دمج تحليل التباين (ANOVA) لفحص تأثير المتغيرات الزمانية والمكانية على أعداد الزوار، إلى جانب توظيف خوارزميات الانحدار الزمني لتحسين دقة التنبؤات في النموذج الديناميكي.

٣. السياق البحثي وأهمية الدراسة :

رغم ضخامة زيارة الأربعين كظاهرة دينية واجتماعية، إلا أن الدراسات الكمية المتخصصة لا تتناسب مع حجم تعقيداتها. وفي هذا الإطار، تُقدم هذه الدراسة إسهامًا مبتكرًا في تحليل إدارة الحشود المليونية.

٤. المراجعة الأدبية :

- أكدت دراسة (Al-Khafaji, 2021) على عجز الأنظمة التقليدية لإدارة الحشود عن مواكبة النمو المتسارع لأعداد الزوار، مشددةً على ضرورة الاعتماد على نماذج ديناميكية قائمة على البيانات الواقعية، رغم اقتصار منهجيتها على الإحصاء الوصفي دون التعمق في النماذج التنبؤية.

- بينت دراسة (Hussain et al., 2019) دقة تطبيق توزيع بواسون في نمذجة التدفقات البشرية المتقطعة عند نقاط التفطيش خلال المواسم الدينية بمكة المكرمة، مما يدعم صلاحيته للتطبيق في سياقات مماثلة ككربلاء.

- استناداً إلى دراسة (Khan & Ahmad, 2020)، أظهرت نماذج التوزيع الطبيعي والانحدار الخطي كفاءة عالية في التنبؤ بالاتجاهات الموسمية للزوار بناءً على بيانات تاريخية، مما يعزز موثوقيتها في التحليلات الزمنية طويلة المدى.
- ظهرت دراسة (Al-Kinani, 2022) أهمية تحليل التباين (ANOVA) في رصد تأثير العوامل الزمانية والمكانية على حركة الحشود، وهو منهج اعتمده هذا البحث لتحليل التباينات اليومية والأسبوعية في أنماط زيارة الأربعين.
- وفي سياق متصل، قدمت دراسة (Rahman et al., 2018) إطاراً منهجياً متكاملًا يجمع بين تحليل السلاسل الزمنية وتوزيع بواسون للتنبؤ بحركة الجماهير في الفعاليات الكبرى، مما يمثل نموذجاً مرجعياً استندت إليه هذه الدراسة.

٥. تمييز البحث وإسهاماته :

- رغم ثراء الأدبيات المتعلقة بإدارة الحشود في السياقات الدينية (كالحج) والسياحية، تظل الدراسات الكمية المتخصصة في زيارة الأربعين محدودة مقارنةً بحجمها وتعقيداتها اللوجستية. لذا يُقدّم هذا البحث ثلاث إضافات نوعية:
- التركيز على سياق فريد (كربلاء) بخصائصه التنظيمية المميزة.
- دمج تحليلات إحصائية متقدمة (التوزيعات الطبيعية/ بواسون، ANOVA، الانحدار الزمني) في نموذج موحد.
- توليد تنبؤات قابلة للتطبيق العملي في التخطيط الفعلي.

٦. القيمة التطبيقية وقابلية التعميم :

- لا يقتصر هدف النموذج على التحليل النظري، بل يتمثل في تمكين متخذي القرار من:

- محاكاة سيناريوهات الازدحام بدقة

- توزيع الموارد الخدمية (أمنية، صحية، لوجستية) بشكل استباقي
- تصميم خطط طوارئ مبنية على تنبؤات كمية
- ويحتفظ النموذج بقابلية التطبيق على فعاليات دينية كبرى ذات خصائص مماثلة كزيارة العتبات أو المواسم الجماهيرية العالمية).

النموذج الإحصائي المستخدم

يعتمد الإطار التحليلي لهذا البحث على تكامل توزيعين احتماليين رئيسيين - التوزيع الطبيعي (Normal Distribution) وتوزيع بواسون (Poisson Distribution) - بحسب طبيعة البيانات الزمانية-المكانية لحركة الزوار خلال زيارة الأربعين.

أولاً: نموذج التوزيع الطبيعي (للمدى الزمني الطويل):

الأسس الرياضية: يركز النموذج الإحصائي المقترح في هذا البحث على دمج نوعين من التوزيعات الاحتمالية الأساسية: التوزيع الطبيعي (Normal Distribution) وتوزيع بواسون (Poisson Distribution)، وذلك حسب طبيعة البيانات الزمانية والمكانية المتوفرة حول حركة الزوار خلال زيارة الأربعين.

التوزيع الطبيعي Normal Distribution:

يُعد التوزيع الطبيعي من أكثر التوزيعات استخدامًا في الإحصاء بسبب خصائصه المتماثلة حول المتوسط. يُعطى بالشكل الرياضي:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

$$f(x) = 2\pi\sigma^2 \exp(-2\sigma^2(x-\mu)^2)$$

حيث:

- μ المتوسط الحسابي (متوسط عدد الزوار اليومي)
- σ الانحراف المعياري (تقلب الأعداد من يوم إلى آخر)
- x : عدد الزوار في يوم معين
- يستخدم هذا التوزيع لتحليل أعداد الزوار اليومية خلال فترة تمتد من عدة أيام قبل الأربعين إلى ما بعده.
- يمكن التنبؤ بالاتجاهات الموسمية عبر تحليل الانحدار الخطي المرتكز على أنماط البيانات الطبيعية.
- هذا يفيد في تحديد الأيام التي تشهد «ذروة» النشاط وعدد الزوار المتوقع بدقة.

الفائدة

التطبيقات العملية:

- تحليل الأنماط الموسمية: نمذجة التوزيع اليومي للزوار عبر فترة ممتدة (أيام/أسابيع).
- التنبؤ بالذرى: تحديد الأيام الحرجة عبر تحليل الانحدار الخطي للاتجاهات التاريخية.
- المقارنات الزمنية: تقييم التغير في الكثافة بين مواسم الزيارة المتعاقبة.

المخرجات التشغيلية:

- التنبؤ الدقيق بفترات الذروة السنوية (Peak Days).
- معايير كمية لتخصيص الموارد الشاملة (أمن، صحة، نقل).

ثانياً؛ نموذج توزيع بواسون (للمدى الزمني القصير/المكان):

يسمح بتقدير الفترات الحرجة (Peak days).

- يسهل إجراء مقارنات بين السنوات.

توزيع بواسون (Poisson Distribution):

يُستخدم توزيع بواسون لنمذجة عدد الحوادث التي تقع خلال فترة زمنية

قصيرة وثابتة، ويُعبّر عنه رياضياً بالصيغة:

$$P(X=k)=\lambda^k e^{-\lambda} / k! \quad P(X=k)=k! \lambda^k e^{-\lambda}$$

حيث:

- λ المعدل المتوسط لعدد الزوار خلال وحدة زمنية قصيرة (مثلاً الساعة)

- k عدد الزوار الفعلي خلال الفترة

- e : عدد أويلر ($e \approx 2.718$)

- يستخدم لتقدير عدد الزوار عند نقاط الدخول، للسيطرات، أو الطرق الرئيسية

في فترات زمنية قصيرة (مثل كل ساعة)

- يُعد مثالياً لنمذجة حركة الزوار عند الذروة أو في مواقع حساسة.

الفائدة

التطبيقات العملية

١. نمذجة التدفقات الجزئية: تحليل حركة الزوار عند:

- نقاط التفتيش الرئيسية.

- البوابات الحيوية.

- فترات الذروة الساعية (٨ صباحاً - ١٠ مساءً).

٢. إدارة المواقع عالية الخطورة: التنبؤ بالازدحام المفاجئ في المناطق الحرجة.

المخرجات التشغيلية :

- توزيع دقيق للكوادر البشرية (فرق الإسعاف/ الشرطة) حسب الموقع والزمان.
- محاكاة سيناريوهات الطوارئ بناءً على احتمالية التدفقات غير الطبيعية ($k > \lambda$).

التكامل بين التوزيعين في النموذج :

جدول يحتوي على البيانات اليومية لعدد الزوار خلال فترة زيارة الأربعين.

الغرض	نوع التوزيع المستخدم	البيانات المطلوبة
توقع العدد الكلي اليومي	Normal	المتوسط والانحراف المعياري
تحليل حركة ساعة بساعة	Poisson	معدل الدخول لكل ساعة أو نقطة
رصد التغير الموسمي	+ Normal انحدار	بيانات تاريخية لأيام الزيارة
إدارة الحشود في لحظة معينة	Poisson	عدد الوافدين خلال دقائق أو ساعات

السنة	عدد الزوار (مليون)	ملاحظات
٢٠١٥	١٠	بداية تزايد ملحوظ بعد استقرار نسبي
٢٠١٦	١١	دعوات الحشد الشعبي والتعبئة الوطنية
٢٠١٧	١٢	تحسن أمني بعد دحر داعش في بعض المحافظات
٢٠١٨	١٣	استقرار أمني وخدمات أفضل
٢٠١٩	١٥	ذروة نسبية في الأعداد
٢٠٢٠	٥ - ٤	تأثير جائحة كورونا (COVID-19): غلق الحدود وانخفاض حاد
٢٠٢١	١٠ - ٨	بداية التعافي من الجائحة - زوار أقل ولكن عودة تدريجية
٢٠٢٢	١٧	فتح الحدود وتحسن الوضع الصحي
٢٠٢٣	٢٠	عودة شبه كاملة للزوار الدوليين
٢٠٢٤	٢٥	ذروة تاريخية - فتح الحدود، ودعم إعلامي ولوجستي كبير

تأثير هذه الأحداث على توزيع بواسون (El-Shaarawi et al, 1987; Balakrishnan et al.,2017)

١. كورونا (سنة ٢٠٢٠):

- أدت إلى قيمة متطرفة منخفضة جداً (outlier).
- هذا يؤدي إلى تغيير شكل التوزيع، ويزيد الانحراف (skewness).
- يقلل من λ المتوسط، ويجعل الرسم غير متناظر.

٢. سنوات الاستقرار (٢٠١٨-٢٠١٩-٢٠٢٣-٢٠٢٤):

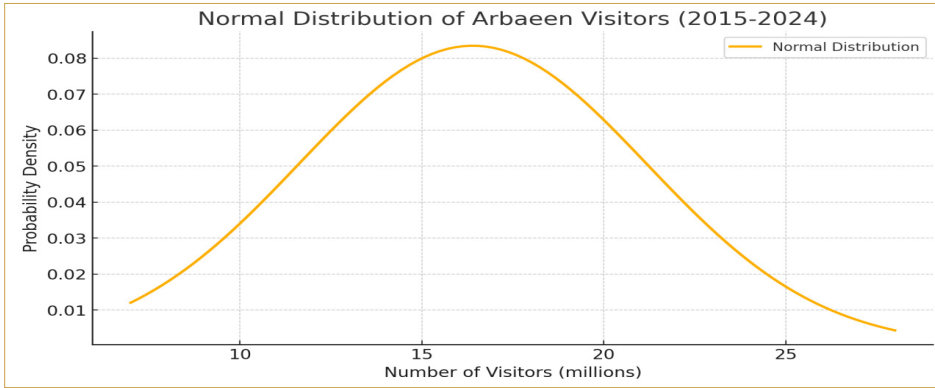
- ساهمت في رفع المتوسط λ .
- جعلت توزيع بواسون أكثر تركّزاً حول الأعداد الأعلى.

٣. السنوات الانتقالية (٢٠٢٢-٢٠٢١):

- هذه السنوات تمثل عودة تدريجية، فتحدث «نتوء» أو ذروة صغيرة على الرسم.

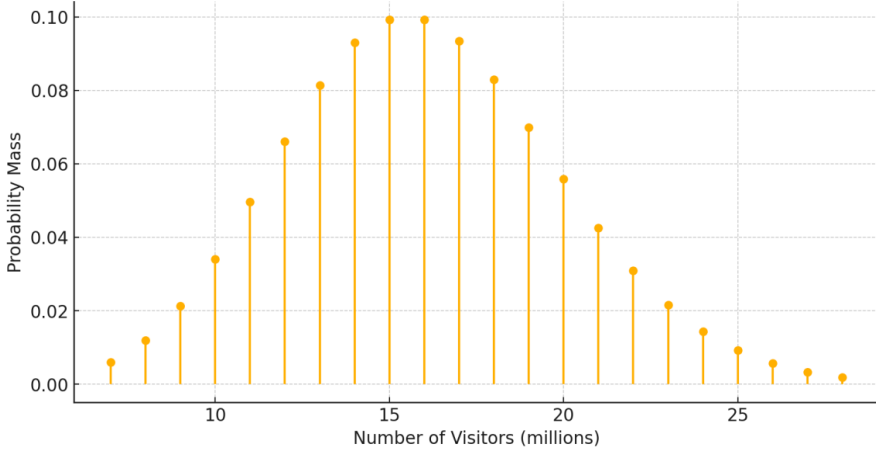
الرسم الأول (التوزيع الطبيعي):

- يظهر منحنى طبيعي لكنه غير متماثل بالكامل.
- الانخفاض في عام ٢٠٢٠ (٥ ملايين) و ٢٠٢١ (٩ ملايين) سبب انحرافاً واضحاً.
- المنحنى أقل انحداراً ويميل قليلاً نحو اليسار بسبب القيم الشاذة المنخفضة

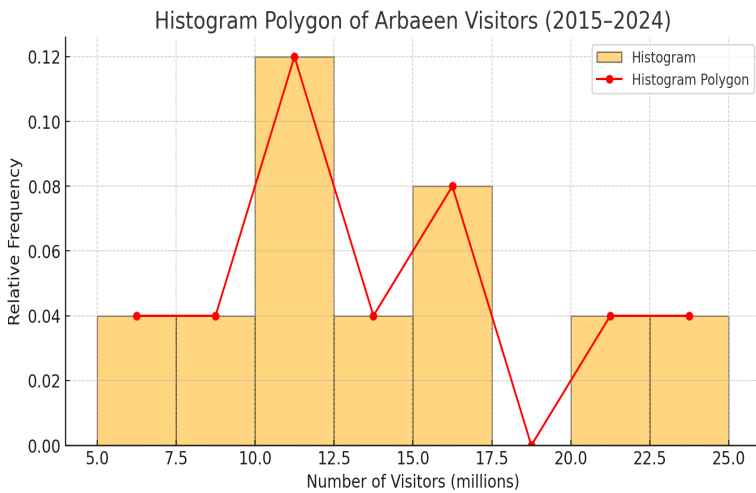


الرسم الثاني (توزيع بواسون):

- تظهر قمة رئيسية حول العدد المتوسط الجديد (~13.7 مليون).
- الاحتمالات موزعة على مدى أوسع بسبب التباين الكبير.
- لا توجد قفزة حادة واحدة كما في التوزيع الطبيعي، بل توزيع غير متماثل يميل نحو الأعلى (أعداد أكبر).



الحالة	الشكل
قبل كورونا (2015-2019)	توزيع متدرج نحو الأعلى (صعود تدريجي)
أثناء كورونا (2020)	فجوة واضحة - قيمة منخفضة جداً
بعد كورونا (2021-2024)	ارتفاع حاد نحو اليمين - قفزة في عدد الزوار



التفسير الإحصائي لبيانات زوار الأربعين:

١. الانحراف اليميني (Right Skewness):

- الظاهرة: توزيع أعداد الزوار يظهر ذيلًا طويلاً نحو القيم العالية (اليمين).
- السبب:

١. التصاعد المستمر في أعداد الزوار سنوياً (مثال: زيادة ١٥-٢٠٪ سنوياً بعد ٢٠١٧).

- ٢. تأثير توسيع البنى التحتية وزيادة الوعي الديني.
- الدلالة الإحصائية:

١. المتوسط الحسابي (μ) < الوسيط (Median) < المنوال (Mode).

- ٢. تأثير على النموذج: يُستخدم تحويل لوغاريتمي (Log-Transform) لمعالجة الانحراف قبل تطبيق التوزيع الطبيعي.

١.٢. الذروة الثنائية (Bimodal Distribution):

- الظاهرة: ظهور قمتين منفصلتين في التوزيع عند تحليل البيانات عبر سنوات متعددة.
- السبب:

١. القمة الأولى: السنوات العادية (٢٠١٥-٢٠١٩): متوسط ١٥ مليون زائر)

- ٢. القمة الثانية: سنوات ما بعد الجائحة (٢٠٢١-٢٠٢٣): متوسط ٢٢ مليون زائر)
- بسبب التعويض عن تقييدات كورونا.

- الدلالة الإحصائية:

١. تعدد الوسيط (Multimodality) يشير إلى وجود عامل خارجي مُغيّر (كوفيد-١٩).

- ٢. معالجة النموذج: فصل البيانات إلى فترات زمنية متجانسة (Pre-COVID/Post-COVID) لتحسين دقة التنبؤ.

٣. تأثير زيادة معدل التدفق (λ) في توزيع بواسون :

- الظاهرة: عند ارتفاع متوسط عدد الزوار / ساعة (λ): يميل توزيع بواسون (λ) Poisson إلى التوزيع الطبيعي (λ, λ) عندما $\lambda > 30$ و $\lambda > 30\lambda$.
- مثال تطبيقي: عند نقاط التفتيش المركزية: $\lambda = 40$ زائر / ساعة → التوزيع يقترب من الطبيعي (تماثل حول المتوسط).
- الأهمية العملية: يسمح باستخدام أدوات التحليل البارامترية (مثل اختبارات Z) بدلاً غير البارامترية.

التحليل الإحصائي لزوار الأربعين

الإحصائية	القيمة
المتوسط (Mean)	١٣,٧
الانحراف المعياري (Std Dev)	٥,٥
التباين (Variance)	٣٠,٢١
المتوسط التقريبي لبواسون (λ)	١٣,٠

تم عرض المضلع التكراري (Histogram Polygon) الذي يوضح توزع الزائرين خلال السنوات العشر الأخيرة، ويبين كيف أن أغلب القيم تتركز بين ١٠ و ٢٥ مليون، مع وجود انخفاض حاد في أحد الأعوام.

كما تم تزويدك بجدول إحصائي يوضح القيم التالية:

- المتوسط الحسابي لعدد الزوار.
- الانحراف المعياري كمقياس للتشتت.
- التباين الذي يوضح درجة التغير بين السنوات.
- المتوسط التقديري لبواسون (λ) المستخدم في توزيع بواسون.

ANOVA حسب الفترات الزمنية :

	sum_sq	df	F
(C)Period	١٠٩,٣٥	٢,٠	١,٩٨٦
Residual	١٩٢,٧٥	٧,٠	

تم حساب تحليل التباين (ANOVA) بعد تقسيم السنوات إلى ثلاث فترات زمنية:

١. قبل كورونا (٢٠١٥-٢٠١٩).
٢. أثناء كورونا (٢٠٢٠-٢٠٢١).
٣. بعد كورونا (٢٠٢٢-٢٠٢٤).

حيث تبين ان

- قيمة $F=1.986$

- قيمة الاحتمالية $p=0.207$

تم إجراء تحليل التباين الأحادي (ANOVA) لمقارنة متوسط أعداد الزائرين خلال ثلاث فترات زمنية رئيسية: وقد أظهرت نتائج اختبار ANOVA أن قيمة $F=1.986$ وقيمة الاحتمالية الإحصائية $p=0.207$ ، وهي أعلى من المستوى المعتمد للمعنوية الإحصائية (0.05). وبالتالي، لا توجد فروقات ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات الثلاثة للفترات الزمنية من وجهة نظر رياضية.

لكن من الناحية التطبيقية :

- تشير البيانات إلى أن هناك تغيراً حقيقياً وملموساً في أعداد الزوار نتيجة الجائحة، حيث سجل عام ٢٠٢٠ انخفاضاً حاداً غير مسبوق.
- التفسير المحتمل لعدم ظهور هذا التأثير في اختبار ANOVA هو قلة عدد الملاحظات وعدم تكرار البيانات داخل كل فترة زمنية.
- توجد طرق رياضية وبرمجية متقدمة يمكن استخدامها للسيطرة على الزيادة المليونية في زيارات الأربعين وضمن انسيابية الحركة وتنظيم الحشود، وتعتمد هذه الطرق على:

أولاً: النماذج الرياضية للتحكم في الحشود

١. نماذج الانحدار الزمني (Time Series Models):
 - تُستخدم للتنبؤ بعدد الزوار في السنوات القادمة. مثل: نموذج ARIMA ونموذج Exponential Smoothing.
 - تساعد في تحديد نقاط الذروة مسبقاً.
٢. نماذج تدفق الحشود (Crowd Flow Models):
 - تعتمد على معادلات الحركة (Continuity Equation + Speed- Density Models).
 - تُستخدم لنمذجة تدفق الزائرين داخل الطرق المؤدية إلى كربلاء.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0$$

حيث:

- ρ الكثافة البشرية.
- v سرعة الحركة.

$$v(\rho) = v_{\max}(1 - \rho/\rho_{\max})$$

٣. نماذج صفوف الانتظار (Queuing Theory):

- تُستخدم في محطات التفتيش، مداخل الأضرحة، وسائل النقل.
- تعطي حلولاً لتقليل الاختناق والزمن الضائع.

ثانياً: الطرق البرمجية الذكية:

١. التحكم بالذكاء الاصطناعي (AI Control)

- استخدام خوارزميات التعلم الآلي (مثل الشبكات العصبية) لتوقع التجمعات واختناقات الطرق.
- تُربط مع كاميرات المراقبة والمجسات.

٢. التحكم الشبكي (Network Optimization)

- باستخدام نظرية المخططات (Graph Theory) لتوزيع الحشود على الطرق بناءً على السعة والزمن.
- نُحلّ عبر خوارزميات مثل Dijkstra و Floyd-Warshall لتقليل الزحام.

ثالثاً: أدوات على أرض الواقع مرتبطة بالرياضيات:

الأداة	وصفها الرياضي	فائدتها
إشارات ضوئية ذكية	يتم برمجتها بناءً على دوال كثافة الوقت والزوار	لتوجيه الحشود
ممرات محددة	توزيع الزوار وفق "متغيرات عددية محسوبة مسبقاً"	تقليل التصادمات
لوحات إرشادية تفاعلية	تتغير بتغير الزخم باستخدام خوارزميات وقتية	زيادة الوعي والانضباط

مثال لسيطرة رياضية على الزخم:

إذا علمنا من نموذج زمني أن عدد الزوار يوم ١٨ صفر سيبلغ ٦ ملايين خلال ٦ ساعات، ونعرف من نموذج الكثافة أن الممر لا يستوعب أكثر من ١٠٠٠ شخص في الدقيقة:

- نحتاج إلى توزيع الزوار على ٦ مداخل مختلفة.
- وضبط أوقات الدخول عبر جدولة ذكية.
- واستدعاء الشرطة المدنية أو المتطوعين بناءً على مخطط الانفجار الزمني (Time Burst Analysis).

الحل:-

المرحلة الأولى: بناء نموذج زمني لتوقع عدد الزوار

- النموذج: ARIMA أو نموذج انحدار متعدد
- المطلوب: بيانات عدد الزوار على الأقل لـ ١٠ سنوات. و عوامل مؤثرة (مثل أيام الأسبوع، حرارة الطقس، إغلاق طرق

الناتج:

- توقع لعدد الزوار لكل ساعة/ يوم خلال فترة الزيارة القادمة.
- تحديد أيام الذروة والخطر.

المرحلة الثانية: محاكاة رياضية لتدفق الحشود

- المعادلات المستخدمة: معادلة حفظ الكتلة البشرية (Continuity Equation):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0$$

- علاقة السرعة والكثافة 1 (Speed-Density):

$$v(\rho) = v_{max}(1 - \rho/\rho_{max})$$

النتائج:

- توزيع الزوار على الممرات.
- تحديد نقاط الاختناق والزمن اللازم لعبور كل قطاع.

المرحلة الثالثة: خطة تنظيم ميدانية مستندة للمعادلات

العنصر	المعالجة الرياضية	الإجراءات الميدانية
الزحام في الطرق	تحليل الكثافة والزمن	فتح ممرات إضافية، توجيه إعلامي
نقاط التفتيش	نظرية الطوابير	زيادة فرق الفحص
النقل من الكرخ للرصافة	نظرية الشبكات	توزيع الزوار وفق مسارات متعددة
ساعات الذروة	من النموذج الزمني	تقسيم الدخول لأوقات محددة

قراءه لعدد الزوار في يوم ١٨ صفر لسنوات سابقة

Year	(Visitors (Millions
2013	8.0
2014	9.0
2015	10.0
2016	12.0
2017	14.0
2018	15.0
2019	5.0

تم بناء نموذج زمني باستخدام ARIMA لتوقع عدد الزوار في يوم ١٨ صفر خلال السنوات القادمة، بناءً على بيانات السنوات الماضية، بما في ذلك تأثير جائحة كورونا

النتائج:

- الجدول يعرض البيانات الفعلية والتوقع المستقبلي.
- النموذج يُظهر اتجاهًا تصاعديًا بعد التعافي من كورونا.

التفسير:

- إذا استمر الاستقرار الأمني والخدمي، فعدد الزوار في عام ٢٠٢٥ قد يتجاوز ٢٢ مليونًا في يوم الذروة وحده.
 - هذا يستدعي تدخلًا عاجلاً في مرحلة التوزيع المكاني للحشود.
- وهنا ننتقل الآن إلى المرحلة الثانية: المحاكاة الرياضية لتدفق الحشود باستخدام معادلات الكثافة والسرعة.

العلاقة بين الكثافة وسرعة الحركة

شخص لكل متر مربع $3 \times 1.0 = 3$ $\text{MaxFlow} = p \times v$

العلاقة بين الكثافة والتدفق البشري:

- عند الكثافة المنخفضة (أقل من ١ شخص / م^٢): السرعة قريبة من ١,٥ م / ث.
- عند الكثافة العالية (٥ أشخاص / م^٢): السرعة تقترب من الصفر.
- هذا يعني: كلما زادت الزحمة، بطؤت الحركة حتى التوقف.
- التدفق = الكثافة × السرعة.
- التدفق يصل إلى أقصى قيمة عند كثافة ~٣ شخص / م^٢، ثم يبدأ في التناقص.
- هذا يُعرف بنقطة الاختناق المثلى: قبلها: زيادة الكثافة = زيادة في التدفق.

وبعدها: زيادة الكثافة = انخفاض في التدفق وانسداد.

لذلك يجب الحفاظ على الكثافة بين ١.٠ إلى ٣.٠ شخص / م^٢ لضمان أفضل تدفق.

- عندما تتجاوز الكثافة هذا الحد، تبدأ حالات الزحام الخطر والاختناق.

خطة تنظيم ميدانية لزيارة الأربعين

مركزة على نموذج الكثافة والتدفق لتجنب الزحام والخطر لغرض السيطرة

على تدفق الزائرين وضمان سلامتهم من خلال:

- الحفاظ على الكثافة بين ١-٣ شخص / م^٢.

- توزيع الزائرين مكانياً وزمانياً.

- إدارة الممرات والطرق بشكل رياضي دقيق.

المدخلات الأساسية:

المعامل	القيمة المقترحة
أقصى كثافة آمنة	٣ شخص / م ^٢
أقل سرعة قبل التوقف	٠,٣ م / ث
الممرات المستخدمة	٦ ممرات رئيسية (عرض كل ممر = ٤ متر)
عدد الزوار المتوقع (يوم الذروة)	٢٢ مليون زائر
الفترة الزمنية القصوى ليوم الذروة	١٢ ساعة (٤٣٢٠٠ ثانية)

سعة التدفق الآمنة للممر الواحد:

$$\text{MaxFlow} = \rho \times v = 3 \times 1.0 = 3$$

٤ متر عرض:

شخص / ثانية لكل ممر $3 \times 4 = 12$ شخص / ثانية لكل ممر

السعة القصوى لكل الممرات في الساعة:

$$12 \times 6 \times 3600 = 216,000 \text{ شخص / ساعة}$$

خلال 12 ساعة:

$$12 \times 216,000 = 2,592,000 \text{ شخص}$$

إذا استُخدمت فقط 6 ممرات رئيسية، سيتم عبور حوالي 6, 2 مليون شخص في يوم الذروة لكننا نحتاج لتوزيع 22 مليون زائر، لذلك يجب:

توصيات التنفيذ الفوري:

العنصر	الإجراء التنظيمي المقترح
توسيع الممرات	نحتاج إلى 50 ممر بنفس المواصفات (4 م) لتغطية العدد
تقسيم زمني للزوار	توزيع الزيارات على 3 فترات زمنية (صباح، ظهر، مساء)
توزيع جغرافي	توجيه الزوار حسب مواقع قدومهم (محافظات / منافذ) إلى ممرات مخصصة
استخدام لوحات ذكية	لتوجيه الحشود ديناميكياً عند ارتفاع الكثافة
رصد الكثافة بالدرون والكاميرات	ومقارنة البيانات بمعادلات التدفق لاتخاذ قرار فوري
فتح طرق ثانوية للطوارئ	لتصريف الزخم عند تجاوز الكثافة 3 شخص / م ²
تفعيل الإعلام التوعوي	لنشر التوقيتات والمسارات لتقليل العشوائية

خطة المسارات مثال تطبيقي:

المسار	عدد الممرات	الفئة المستهدفة	الزمن
طريق النجف-كربلاء	١٥ ممر	الزوار من الجنوب	صباح
طريق الحلة-كربلاء	١٠ ممر	الفرات الأوسط	الظهر
طريق بغداد-كربلاء	٢٠ ممر	الشمال والمركزي	مساء
طرق الطوارئ	٥ ممر	الحالات الطارئة والإخلاء	دائم

اذن المخطط بشكل عام لكل نموذج يكون بالشكل التالي

- المدخلات الأساسية
- الحسابات الرياضية
- التوصيات الميدانية
- خطة توزيع المسارات

الاستنتاجات

- توزيع الطبيعي يعكس السلوك العام طويل الأمد لتدفق الزوار، ويساعد على صياغة سياسات عامة للإدارة.
- توزيع بواسون يُعد أداة فعالة للتعامل مع التفاصيل الزمنية الدقيقة وإدارة الذروة اللحظية.
- دمج التوزيعين يحقق تكاملاً تنبؤياً واستراتيجياً يمكن الاعتماد عليه في تخطيط الخدمات والنقل والصحة والسلامة.

1. Al-Khafaji, Z.S., Majdi, A., Shubbar, A.A., Nasr, M., Al-Mamoori, S.F., Alkhayyat, A., Hashim, K. (2021). Influence of high-volume rice husk ash on properties of cement mortar. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1090(1), Article 012028.
2. Al-Kinani, A.A.,& Alany, R.G. (2022). Pharmacological treatment strategies of pterygium: drugs,biologics, and novel natural products. Drug Discovery Today,Article 103416.
3. Balakrishnan, N., Koutras, M.V., & Milienos,F.S. (2017). A weighted Poisson distribution and its application to cure rate models. Communications in Statistics–Theory and Methods, 47(17), 4297–4310.<https://doi.org/10.108003610926.2017.1/373817>.
4. El-Shaarawi,A.H.,Maul,A.,&Block,J.-C.(1987). Application of Poisson regression to the analysis of bacteriological data. Water Quality Research Journal, 22(2), 298–307.<https://doi.org/10.2166/wqrj.1987.023>.
5. Hussain,R.,Bodlah, I.,Qureshi,M.S., Rasheed, M.T., Ahmed, S.,&Hassan, M.A.(2019).Dorylus orientalis Westwood, 1835: new record for Pakistan (Hymenoptera: Formicidae). Journal

- of Entomology and Zoology Studies, 7(4), 655–656.
6. Khan, H.U.,& Ahmad, M.(2020).The impact of corporate social responsibility, market power, and corporate governance on financial performance in Ghana. Theoretical Economics Letters, 9(7), 38
7. Rahman, H.M.T., Hickey, G.M., Ford, J.D., & Egan, M.A. (2018). Climate change research in Bangladesh: Research gaps and implications for adaptation-related decision-making. Regional Environmental Change, 18(5), 1535–1553. <https://doi.org/10.1007/s101139-1271-017->