

أثر شبكة النقل الجوي العالمية

في انتشار وباء فيروس كورونا المستجد (كوفيد-١٩)

أحمد يونس صالح*

ays01@fayoum.edu.eg

ملخص:

يعد النقل الجوي أحد أنماط النقل التي لا غنى عنها، حيث أسهم هذا النمط في جعل العالم قرية صغيرة، وانتقل عبر شبكة النقل الجوي الناس والبضائع والثقافات، ويتناول هذا البحث الجانب الآخر من هذا الدور الذي يتمثل في إسهام شبكة النقل الجوي العالمية في نقل ونشر الأوبئة، متمثلة في وباء فيروس كورونا المستجد ٢٠١٩. تم تحليل الشبكة المعقدة للنقل الجوي باستخدام أدوات تحليل الشبكات الاجتماعية المعتمدة على نظرية الشبكات المعقدة (برنامج Gephi)، وقد تم حساب مجموعة من المؤشرات للشبكة مثل بنية الشبكة وتركيبها المجتمعي وتم استخدام مؤشرا تجريبيا سمي بمعامل التأثير الوبائي لقياس التأثير والتأثر الوبائي بين مجتمعات الشبكة، كما تم حساب مؤشر المركزية (الدرجة، البينية، مركزية المتجهات الذاتية) ودرجة المحورية، ووجدت علاقة ارتباط قوية بين ترتيب الدول في هذه المؤشرات وعدد الإصابات بها. وأظهر التحليل كيف مثلت الصين بؤرة للانتشار خلال شهري يناير وفبراير ٢٠٢٠، ثم تغيرت وتعددت بؤر الانتشار فيما بعد؟ وكيف كانت أوروبا والولايات المتحدة بؤرتي الانتشار الأكثر تأثيرا فيما بعد شهر فبراير ٢٠٢٠؟ الكلمات الرئيسية: شبكة النقل الجوي - تحليل الشبكات - الأوبئة - فيروس كورونا - جغرافية النقل.

* مدرس بقسم الجغرافيا- كلية الآداب- جامعة الفيوم.

المقدمة:

يعيش العالم الآن حالة غير مسبوقة من الحظر والتخوف وعدم اليقين الناتج عن جائحة فيروس كورونا المستجد ٢٠١٩ الذي يعرف عالمياً بـ (COVID-19) Coronavirus Disaster 2019، وتشهد البشرية كلها حالة غير مسبوقة ليس في حجم الإصابات أو الوفيات، وإنما في سرعة التفشي والانتشار والعدوى لهذا الفيروس في عصر من العلم والعولمة لم تعيشها البشرية أيضاً من قبل.

إن المتتبع لمثل هذه الحالة منذ بدايتها يلاحظ بكل سهولة التطور الزمكاني spatiotemporal لهذا الفيروس، فقد انتشر مكانياً ليغطي الكرة الأرضية خلال الأشهر القليلة الأولى من اكتشافه، كما أنه أصاب أكثر من ٧٩ مليون نسمة حتى نهاية ديسمبر ٢٠٢٠، وهذا العدد الضخم تسبب فيه شخص واحد وهو الشخص الذي يمثل الحالة الأولى المصابة بالفيروس في مدينة "وهان" الصينية، وبهذا الشخص ومنه تحولت مدينة "وهان" الصينية إلى بؤرة وبائية محلية انتقل منها الوباء إلى أرجاء الصين، ومن الصين انتقل الفيروس إلى كافة دول العالم عبر الطرق الجوية والبحرية العالمية، وإن كانت سرعة الانتشار تعود في الأساس إلى حركة النقل الجوي عبر العالم.

يبحث هذا المقال في العلاقة بين خصائص شبكة النقل الجوي العالمية وانتشار فيروس كورونا المستجد (كوفيد-١٩)، ولذا فهو يخوض مجالاً يعاني من ندرة الدراسات على مستوى المدرسة العربية، ويرتكز على محورين أساسيين هما تحليل شبكة النقل الجوي العالمية كشبكة معقدة Complexed network، وتأثير خصائص الشبكة في انتشار وباء كورونا المستجد وتحوله إلى جائحة Pandemic، ومن هنا يستمد البحث أهميته.

ويهدف البحث إلى تحليل شبكة النقل الجوي وتحديد علاقتها بانتشار الوباء، ولذا فإن الفرضية الأساسية لهذا البحث هي "وجود علاقة بين خصائص شبكة النقل الجوي العالمية وانتشار الوباء"، ورغم واقعية هذه الفرضية، لكن التساؤلات التي تثار حولها تجعل هناك ضرورة للتحقق منها، فكيف يمكن التعرف على خصائص الشبكة وتحليلها كشبكة معقدة؟ وكيف لعبت الشبكة دور في نقل الفيروس بين أجزاء الشبكة؟ وما هي العلاقة بين مدى قوة اتصال الدول بغيرها، ومعدل خطورة إصابتها بالوباء؟ وهذه الأسئلة هي أيضا محور المشكلة البحثية لهذا الموضوع.

ويركز البحث على استخدام منهجية متعددة لتحقيق الهدف، حيث اعتمد على مدخل تحليل النظم (SAA) Systems Analysis Approach وهو أحد المداخل المستخدمة في جغرافية النقل ويستخدم لتحليل عناصر نظام النقل كنظام له مدخلاته وعملياته ومخرجاته، وقد استخدم هذا المدخل من خلال تحقيق التكامل بين بيانات التحليل الشبكي الناتجة من برنامج Gephi، والبنية المكانية لشبكة النقل الجوية العالمية من خلال برنامج ArcGIS 10.8 كأحد برمجيات نظم المعلومات الجغرافية. أما تحليل شبكة النقل الجوي المعقدة فيعتمد على نظرية الشبكات والأساليب المختلفة لتحليلها، وهنا فقد اعتمد على أحد أساليب تحليل الشبكات الاجتماعية (SNA) Social Network Analysis واستخدم هذا الأسلوب من خلال برنامج Gephi كأحد البرامج الحاسوبية المتخصصة في تحليل الشبكات عموماً، والشبكات الاجتماعية خصوصاً. وتم تحليل مؤشرات البنية المجتمعية للشبكة Modularity، ومؤشر مركزية الدرجة Degree Centrality ومؤشر مركزية البينية Betweenness Centrality

ومركزية المتجهات الذاتية Eigenvector Centrality ودرجة المحورية Hub Degree من خلال هذا البرنامج.

الدراسات السابقة:

حاولت العديد من الدراسات الكشف عن أثر شبكات النقل بشكل عام وشبكات النقل الجوي بشكل خاص في انتشار الأوبئة والأمراض، فقد رجح (جريز، إيلز، جلاس، ٢٠٠٣)^(١) هذه العلاقة من خلال دراسته لجائحة الإنفلونزا بين عامي ١٩٦٨-٢٠٠٠ باستخدام نموذج SEIR لمحاكاة الجائحات، حيث أثبتت دراستهم أن انتشار الأنفلونزا حول العالم يرجع جزئياً إلى السفر عبر الخطوط الجوية. كذلك أكدت دراسة (كوليزا وآخرون، ٢٠٠٥)^(٢) دور شبكة النقل الجوي في التنبؤ والقدرة على توقع الأوبئة العالمية، مستخدمين في ذلك النماذج الرياضية، وقد تبين من الدراسة أن هناك علاقة وثيقة بين خصائص شبكة النقل الجوي والنمط العالمي للأوبئة، وأن السمات المعقدة التي تتسم بها الشبكة هي الأساس في الانتشار العالمي غير المتجانس للأوبئة، وذلك دون الأخذ في الاعتبار الآثار الناتجة عن اختلاف الخصائص المكانية وعلاقتها بانتشار المرض (الظروف الصحية وأنظمة الرعاية في البلدان)، وكذا الاختلافات الموسمية وتأثيراتها في انتشار الأوبئة.

وقد قدم (تاتيم، روجرس، هاي، ٢٠٠٦)^(٣) عرضاً نظرياً شاملاً لموضوع شبكات النقل العالمية وانتشار الأمراض المعدية، وعرضوا لأهم الجائحات والأمراض التي اجتاحت العالم ودور شبكات النقل في انتشارها، كما عرضوا في هذه الدراسة لأعلى ٢٠ خطاً ملاحياً بحرياً وجوياً من حيث معدل الخطورة في انتشار بعض الأوبئة كحمى الضنك، وبعوضة النمر الآسيوية.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

طوّر (هوانج، وآخرون ٢٠١٢)^(٤) نموذج معتمد على نظم المعلومات الجغرافية لتحديد دور المطارات والخطوط الجوية في نقل وانتشار الأمراض المعدية التي تنقلها الناقلات (الحشرات) Vector-Borne Diseases وهذه الأداة (VBD-AIR) تم تطويرها لتكون معتمدة على الويب Web-Based واستخدمت مجموعة من البيانات المكانية المتمثلة في توزيع الأمراض والأوساط الناقلة لها (الحشرات) حول العالم، والبيانات المناخية، وبيانات حركة النقل الجوي، وتم دمج هذه البيانات لاستخراج معامل المخاطر النسبية للعدوى والناقلات التي يمكن لحركة النقل الجوي نقلها، وقد أتاحت هذه الأداة معلومات عن أمراض عديدة مثل الملاريا، حمى الضنك، الحمى الصفراء، حمى فيروس الشيكونغونيا، وعلاقة هذه الأمراض بشبكة النقل الجوي والانتقال الموسمي لها عبر شبكة الخطوط الجوية.

ربطت دراسة (سيمنزا، وآخرون، ٢٠١٣)^(٥) بين حركة ركاب النقل الجوي بين المناطق النشطة في وباء حمى الضنك Dengue وأوروبا، وقام الباحثون من خلال البيانات المتاحة عن عدد الإصابات بحمى الضنك في مناطق تفشي الوباء بتطوير نموذج انحدار هرمي Hierarchical regression model لتحديد العلاقة بين عدد حالات الإصابة بحمى الضنك المبلغ عنها داخل أوروبا، وعدد الركاب القادمين جواً من مناطق نشطة وبائياً، وتبين أن معدل الإصابة بحمى الضنك داخل أوروبا بلغ ١.٠٩ لكل زيادة في عدد الركاب مقدارها ١٠ آلاف راكباً.

درس (هوانج، تاتيم، ٢٠١٣)^(٦) الانتشار/الاتصال العالمي للملاريا عبر الخطوط الجوية، من خلال الدمج بين خرائط الخطورة للملاريا مع البيانات الخاصة بالرحلات المجدولة والمتدفقة عبر الخطوط الجوية، لوصف دور

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

الخطوط الجوية في انتشار الملاريا واتصالية بؤر انتشارها، وقد استخدم الباحثان مدخل تحليل الشبكات من خلال حساب مؤشرات المركزية المرجحة Weighted centrality مثل الدرجة أو ما يسميها الباحثان القوة (القوة الداخلة In-strength ، القوة الخارجة Out-strength) ومؤشر البينية البسيط والمرجح، والتحليل المجتمعي للشبكة Network Modularity التي تقسم الشبكة إلى مجموعات متشابهة الخصائص من العقد. وأظهرت التحليلات ترابطا جويا كبير بين المناطق الموبوءة بالملاريا.

أما دراسة (لوير، ٢٠١٦)^(٧) فقد تناولت دراسة الإمكانيات المحتملة لمساهمة المطارات الفردية في تفشي الأوبئة عبر شبكة النقل الجوي العالمية، من خلال تصميم نموذج لتحليل شبكة النقل الجوي العالمي في ٢٠١٤ (٣٤٥٨ مطار - ٦٨٨٢٠ خط ملاحى وقد تم تبسيط الشبكة بعمل وصلة واحدة بين كل مطارين متصلين وإزالة الخطوط الجوية المكررة) واعتمدت الفكرة على قياس القوة المتوقعة للمطار لنقل العدوى Airport the Expected Force of

Infection (AEF) إذا ما تولدت العدوى به، وتم محاكاة ذلك عبر وباء أنفلونزا ٢٠٠٩ وقورنت النتائج مع أداة المحاكاة GLEAMviz التي تستخدم لمحاكاة انتشار الأوبئة اعتمادا على تنقل الناس. وتبين من الدراسة أن النموذج المعتمد على معامل قوة المطار الممكنة لنشر العدوى (AEF) يشرح جيدا خطورة الوباء ويحاكي انتشاره بمستوى جيد.

قدم (مالك، عبد الله ٢٠١٦)^(٨) دراسة حول تأثير الركاب المنقولين جواً في انتشار وباء انفلونزا ٢٠٠٩ (H1N1) في أمريكا، بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية، مسح الباحثان نمط الوفيات في الولايات المتحدة زمنياً ومكانياً، واستخدما كثافة السكان مع التوزيع المكاني لعدد حالات الوفيات لفهم

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

طبيعة التوزيع المكاني لحالات الوفاة، وربطاً تفشي الوباء بحركة النقل الجوي القادمة من المكسيك إلى الولايات المتحدة.

حاول (بروكمان، ٢٠١٧)^(٩) دراسة استخدام مفهوم المسافة الفاعلة* Geographical Effective Distance كبديل عن المسافة الجغرافية التقليدية Distance لفهم حركة انتشار الأوبئة العالمية وكيف يمكن استخدامها كأسلوب جديد يمكن من خلاله تطوير أدوات ووسائل التنبؤ لاختبار استراتيجيات الاحتواء الأكثر فاعلية. استخدم الباحث المحاكاة الحاسوبية لمحاكاة الانتشار الجغرافي والزمني لفيروس أنفلونزا (H1N1) ٢٠٠٩ وفيروس سارس ٢٠٠٣ (SARS)، وتبين من المحاكاة الحاسوبية أن الانتشار الجغرافي (المسافة) اليومية تتراوح بين ٢٥٠ - ٤٠٠ كم/يوم من بؤرة الوباء المتمثلة في إقليم "هونج كونج" وهذا الانتشار أسرع بـ ١٠٠ مرة من انتشار وباء الطاعون الأسود في القرن الرابع عشر، وباستخدام أداة محاكاة الأوبئة والتنقل العالمي GLEaM تمكن الباحث من تطبيق مفهوم المسافة الفاعلة ومحاكاة انتشار الوباء من مدينة هونج كونج عبر شبكة النقل الجوي وفقاً للمسافة الفاعلة بين المطارات.

قدم كل من (فندلاتر، بوجوش، ٢٠١٨)^(١٠) دراسة مرجعية حول تأثير التنقل البشري في انتشار الأمراض المعدية بالتركيز على السفر جواً، وناقشا تأثير السفر جواً على انتشار العديد من الأوبئة خلال القرن العشرين والتي منها سارس SARS، ميرس MERS، إيبولا Ebola، وغيرها.

استعرض (ميولي، وآخرون ٢٠٢٠)^(١١) في دراستهم الأدبيات العالمية المتعلقة بالنقل والأمراض المعدية، وقد أشارت نتائج هذه الدراسة إلى الدور المتبادل لقطاع النقل أثناء تفشي الأمراض المعدية: حيث دوره في تفشي العدوى، ودور تقليص الأنشطة (خارج المنزل) على قطاع النقل، ووجدوا أيضاً

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

أن قيود السفر المحلية والدولية لها دور فعال في السيطرة على انتشار الأمراض المعدية.

قدم كل من (بوجوش، وآخرين ٢٠٢٠)^(١٢) دراستهم حول احتمالية التفشي العالمي لفيروس كورونا من الصين، وبناء على تحليلهم للرحلات الجوية للركاب الخارجة من ١٠ مدن صينية (ووهان، بكين، شانغهاي، كونمينغ، تشنغدو، شيامن، هايكو، قوانغتشو، شننتشن، هونغ كونغ) إلى العديد من الوجهات التي كان أهمها مدن غرب أوروبا (أهمها لندن، باريس، ميلان، بارشلونا) ومدن أمريكا (لوس أنجلوس، نيويورك، سان فرانسيسكو) ومدن عربية (دبي - القاهرة) ومدن أستراليا (سيدني، ملبورن) والمدن الجنوب شرق أسيوية المحيطة بالصين أهمها (بانكوك، سنغافورة، طوكيو، سيول) وتم مقارنة حجم الرحلات الواردة إلى الوجهات المختلفة مع مؤشر الحساسية للأمراض المعدية Infectious Disease Vulnerability Index (IDVI) الذي يعبر عن قدرة الدولة على مواجهة تهديدات الأمراض المعدية، ويتراوح بين (٠-١) يدل الصفر على عدم قدرة الدولة على مواجهة المرض.

حاول كل من (نكيولاو، ديميتريو، ٢٠٢٠)^(١٣) تحديد المطارات الحرجة للسيطرة على التفشي العالمي للأمراض المعدية، مع التركيز على المطارات الأوروبية، وذلك من خلال تحليل الشبكة وقياس مؤشرات المركزية كخطوة أولى لتحديد المطارات الأكثر مركزية، وتوليد سيناريوهات اختبار التحمل - stress test لاختبار مقاومة ومتانة robustness المطارات الأوروبية لتفشي الوباء وذلك باستخدام أداة المحاكاة GLEAMviz، واعتمد المنهج التحليلي لهذه الدراسة على ثلاثة سيناريوهات لنموذج تفشي الوباء (محتمل الإصابة - مصاب - معافى) (Susceptible-Infected-Recovered (SIR) model)

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

بمعدلات مختلفة لكل متغير من الثلاثة، وطبق السيناريو الأول على مطارات أفريقية، والثاني على مطارات أسيوية، والثالث على مطارات أمريكا الجنوبية بهدف تقدير إمكانية تفشي الأوبئة داخل أوروبا عندما يحدث الوباء في ثلاث قارات مختلفة. وفي الخطوة التالية حدد الباحثان المطارات الحرجة، ثم أخيرا حددا الإجراءات الواجب اتخاذها في الأوقات المناسبة للسيطرة على تفشي الوباء عبر المطارات.

تناول (لاو، وآخرون ٢٠٢٠)^(٤١) العلاقة بين النقل الجوي الدولي والداخلي وانتشار جائحة كورونا ٢٠١٩، حيث قام الباحثون بتحليل بيانات حركة النقل الجوي الداخلي (داخل أقاليم الصين) والدولي (من الصين إلى باقي العالم) ومقارنتها ببيانات حالات الإصابة بفيروس كورونا المستجد (داخل الصين) وفي كل دولة، ووجدت الدراسة علاقة ارتباط قوية بين حالات الإصابة بكوفيد ١٩ وحجم حركة الركاب بالنقل الجوي داخل أقاليم الصينية، ($R^2=0.92$) وكذا علاقة ارتباط قوية بين حركة الركاب الدولية وحالات الإصابة ($R^2=0.98$)، وحذرت الدراسة من أن الأقاليم الأكثر ارتباطا بالصين من حيث تدفق الرحلات الجوية هي عرضة لتزايد تفشي الوباء، مثل أقاليم آسيا، وأمريكا الشمالية، وأوروبا، في حين أن هناك أقاليم أقل عرضة للتفشي مثل أمريكا الجنوبية، وأفريقيا. لكن لم تستخدم الدراسة مؤشرات تحليلات الشبكات واعتمدت فقط على قياس علاقة الارتباط بين بيانات حركة النقل الجوي وحالات الإصابة بالفيروس.

وننتج عن العمل المضمنى للباحثين في مجالات عدة حول هذا الموضوع منها علم الأوبئة، وعلم الشبكات، وغيرهما، العديد من النماذج والأدوات التي تقوم بمحاكاة انتشار الأوبئة اعتمادا على عدة متغيرات منها شبكة النقل الجوي والمطارات، ومن هذه النماذج والأدوات أداة GLEaM التي تعتمد على شبكة

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

لنقل الجوي ونموذج SIR في محاكاة انتشار الأوبئة، وأداة InfluSim التي تتضمن بعض الخصائص السكانية التي يتوقف عليها انتشار المرض كالتركيب العمري لكنه لا يعتمد على أي بنية مكانية للمحاكاة، وأداة CommunityFlu التي تحاكي انتشار الأنفلونزا في مجتمع مكون من ١٠٠٠ أسرة، وأداة FLuTe التي تحاكي انتشار الأوبئة في الولايات المتحدة الأمريكية، وأداة The STEM Epidemiological Modeler Spatiotemporal التي تعد أداة تعتمد على بنية مكانية لمحاكاة انتشار الأوبئة.^(١٥)

ويبدو من التحليل السابق أن الدراسات السابقة قد اتخذت منهجياتها أربعة أنماط مختلفة، تمثلت في التحليل الطبولوجي للشبكة، الأساليب والنماذج الرياضية، التحليل الإحصائي لعلاقة الارتباط بين حجم الحركة وعدد الإصابات، وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية. وسيتم استخدام منهجية متعددة في هذه الدراسة بين التحليل الطبولوجي للشبكة بالاعتماد على منهجية تحليل الشبكات الاجتماعية، والتحليل الإحصائي للبيانات وسيتم توضيح ذلك فيما يلي.

منهجية الدراسة:

١- **المدخل المستخدم:** استخدم هذا البحث مدخل تحليل الشبكات المعقدة وهو أحد المداخل الحديثة، كما استخدم مدخل تحليل النظم Systems Analysis Approach وهو أحد المداخل المستخدمة في جغرافية النقل ويستخدم لتحليل عناصر نظام النقل كنظام له مدخلاته وعملياته ومخرجاته.^(١٦)

٢- مراحل البحث:

مر البحث بمجموعة من المراحل والخطوات المنهجية؛ ففي المرحلة الأولى تم بناء وتجهيز شبكة النقل الجوي باستخدام برنامج Excel مكونة من ملفين

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

يحتوي الأول على ٣٤٢٥ صفاً Row تمثيل المطارات (العقد)، في حين يحوي الثاني أكثر من ٦٧ ألف صفاً Row يمثل الخطوط الجوية بين المطارات (الوصلات)، وتم إدخالها لبرنامج Gephi الذي استُخدم في تحليل هذه الشبكة الضخمة، وقد تم معالجة هذه الشبكة من خلال تقليل حجم الوصلات بإلغاء الوصلات المكررة، واعتبار الوصلتان اللتان تربطان بين نفس العقدتين وصلة واحدة تربط العقدتين في الاتجاهين مما قلل عدد الوصلات إلى ٣٧٥٩٥ وصلة، وفي المرحلة الثانية تم استخراج العديد من المؤشرات التحليلية منها مؤشرات المركزية (الدرجة، والبيانية، ومركزية المتجهات الذاتية) ودرجة المحورية وكذا البناء المجتمعي للشبكة. واستخدم برنامج Arc GIS في المرحلة الثالثة لتحويل قاعدة البيانات الخاصة بشبكة النقل الجوي من شبكة اجتماعية، إلى قاعدة بيانات مكانية، ثم تم استخراج المؤشرات التراكمية لعدد ٢٠٥ دولة ووحدة سياسية والتي انتشر فيها الوباء حتى أبريل ٢٠٢٠. وقد تم إجراء التحليل الإحصائي المتمثل في استخراج علاقات الارتباط بين مؤشرات هذه الدول وعدد الإصابات بفيروس كورونا المستجد بها باستخدام برنامج SPSS في المرحلة الرابعة.

٣- مصادر البيانات:

- تم بناء شبكة النقل الجوي العالمية المكونة من ٣٤٢٥ مطاراً، بالإضافة إلى عدد ٦٧٦٦٣ خطأ جويًا بين هذه العقد وبعضها، وقد تم الحصول على بيانات هذه الشبكة من موقع <https://openflights.org/data.html> وهي قاعدة بيانات لعام ٢٠١٤^(١٧). حيث لم يستطع الباحث الحصول على بيانات أحدث من ذلك نظراً لتكاليفها الباهظة.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- تم الحصول على بيانات الإصابات بفيروس كورونا المستجد من تقارير الحالة Situation Reports الأسبوعية والشهرية لمنظمة الصحة العالمية WHO، وهي بيانات للفترة من يناير إلى نهاية أبريل من عام ٢٠٢٠، وقد تم الاعتماد على هذه الفترة بقصد، فهذه الفترة تمثل فترة انتشار الفيروس في ظل اتاحة السفر والانتقال بين دول العالم عبر شبكة النقل الجوي، حيث تم الإغلاق الجوي الكامل لمعظم دول العالم نهاية أبريل ٢٠٢٠، وكان قد اكتمل انتشار الفيروس في العالم ككل.^(١٨)

٤- الأدوات المستخدمة:

- **برنامج Gephi:** استخدم لتحليل شبكة النقل الجوي العالمية وهو برنامج حاسب آلي مفتوح المصدر لتحليل الشبكات الاجتماعية والمكانية البسيطة والمعقدة، اعتماداً على منهج تحليل الشبكات الاجتماعية Social Network Analysis (SNA).
- **برنامج Arc GIS 10.8:** وهو برنامج حاسب آلي لإدارة البيانات المكانية وتحليلها ونمذجتها، وقد استخدم في استخراج المؤشرات الشبكية التراكمية لكل دولة.
- **برنامج SPSS:** أحد برامج التحليل الإحصائي للبيانات، وقد استخدم في تحليل علاقات الارتباط بين المتغيرات المختلفة وبعض العلاقات الإحصائية الأخرى.
- **أداة SnakyMatic:** استخدمت هذه الأداة المعتمدة على الويب Web في تمثيل مصفوفة التأثير والتأثر الوبائي، وهي أداة مجانية متاحة على الموقع <http://sankeymatic.com/build> وتستخدم لرسم الأشكال البيانية من نوع Snaky.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

أولاً: ملامح شبكة النقل الجوي الدولية:

تتكون شبكة النقل الجوي التي تم الاعتماد عليها في البحث من عدد ٣٤٢٥ مطاراً، وعدد ٣٧٥٩٥ خطأً ملاحياً جويًا. وطبقاً لتقرير المنظمة الدولية للطيران المدني ICAO لعام ٢٠١٩ فإن عدد الركاب المنقولين عبر هذه الشبكة في رحلات مجدولة (دولياً ومحلياً) بلغ ٤.٥ مليار راكب، بزيادة مقدارها ٣.٦% عما كان عليه الوضع عام ٢٠١٨، وقد بلغ حجم الركاب الدوليين ١.٨ مليار راكب خلال عام ٢٠١٩. استأثر إقليم أوروبا بنسبة ٤٨% من الركاب الدوليين المنقولين جواً، في حين استأثر إقليم آسيا والمحيط الهادي بنسبة ٢٦%، وجاء إقليم الشرق الأوسط بنسبة ١٠.٢%، في حين جاء إقليم أمريكا الشمالية بنسبة ٨.٧%، بينما جاء إقليم أمريكا اللاتينية بنسبة ٤%، في حين جاء إقليم أفريقيا بنسبة ٣.١%. وتجدر الإشارة إلى أن إقليم آسيا والمحيط الهادي يأتي في المرتبة الأولى من حيث إجمالي الركاب المنقولين جواً (دولياً ومحلياً) بنسبة ٣٧%، يليه إقليم أوروبا بنسبة ٢٦.١%، ثم أمريكا الشمالية بنسبة ٢٢.٧%، مما يفسر الاعتماد الواضح لهذه الأقاليم الثلاثة على النقل الجوي. كذلك بلغ حجم البضائع المنقولة عبر شبكة النقل الجوي في رحلات مجدولة ٥٧.٦ مليون طن في نفس العام.^(١٩)

وكما أن لهذا الحجم الهائل من الركاب والبضائع المنقولة جواً عائدات اقتصادية كبيرة فإن له عائدات صحية وبيئية تتمثل في عولمة الأمراض وانتشارها، حيث تنتقل عدوى الأمراض والأوبئة المختلفة بين دول العالم بسرعة كبيرة، مما يعمل على تحور وتطور هذه الأمراض لتلائم البيئات الجديدة التي تنتقل إليها، وهذا ما حدث في تفشي أنفلونزا الطيور، وأنفلونزا الخنازير، وأخيراً

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

الكورونا، ولذا فإن الشبكة التي تقوم بنقل كل هذا تجدر دراستها وتحليلها لفهم الدور الواضح لها في انتشار وانتقال الأوبئة.

ثانياً: تطور النطاق الجغرافي لجائحة كورونا:

تم تسجيل أول حالة مؤكدة للإصابة بالفيروس التاجي المستجد في مقاطعة "وهان الصينية" بتاريخ ٣١ ديسمبر ٢٠١٩ وخلال ثلاثة أيام (حتى ٣ يناير ٢٠٢٠) تم الإبلاغ عن ٤٤ حالة من الالتهاب الرئوي غير معروف السبب في الصين، وفي ٧ يناير تم تحديد السلالة الجديدة من الفيروس التاجي (الكرونا)، ومنذ ذلك الحين بدأ انتشار الفيروس في كافة أنحاء العالم، وتم التعويل على شبكة النقل الجوي في هذا الانتشار السريع للفيروس، وبدأ رصد العديد من الحالات في الدول المختلفة وأرجعت منظمة الصحة العالمية الحالات الأولى للإصابة بالفيروس في الدول إلى السفر عبر خطوط النقل الجوي بين هذه الدول وبين الصين أو بينها وبين دول أخرى موبوءة*.

بدأت العديد من الدول تمنع السفر بينها وبين الصين كإجراء أولي للسيطرة على نقشي الفيروس وذلك بداية من يناير ٢٠٢٠، واتخذ هذا المنع أربعة أشكال تتمثل في الإغلاق الكلي أو الجزئي للحدود مع الصين، وحظر الدخول والخروج لكل من يريد السفر إلى الصين أو منها أو للمسافرين الذين مروا بالصين خلال سفرهم سواء كانوا مواطنين أم أجنبي، وقف تأشيرات الدخول أو السفر من وإلى الصين، ووقف الرحلات الجوية من وإلى الصين وحتى بداية أبريل كان هناك ٩٦ دولة قد اتخذت أحد هذه الإجراءات^(٢٠)، وقد تتابع إغلاق الحدود ووقف الطيران بين الدول وبعضها بداية من منتصف مارس ٢٠٢٠ كما حدث في الاتحاد الأوروبي ثم دول الخليج وباقي دول العالم تبعاً^(٢١).

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

وبناء على ما سبق فقد تم رصد تطور الانتشار المكاني للفيروس وتطور أعداد الإصابات بفيروس كورونا المستجد خلال الفترة من يناير - أبريل ٢٠٢٠ لتعبر عن تطور انتشار الوباء والعدوى في ظل ظروف إتاحة السفر واستمرار حركة النقل الجوي بين الكثير من الدول المصابة في العالم وقبل الإعلان عن الحظر شبه الكامل للسفر في معظم دول العالم، جدول (١) شكل (١) اللذان يوضحان أن رقعة انتشار الوباء تزايدت بسرعة مطردة حيث كانت قاصرة على الصين منذ ديسمبر ٢٠١٩، ثم انتقلت للدول المحيطة بها خلال شهر يناير، حيث وصلت لقرابة ١٠% من دول العالم، زادت للربع تقريبا خلال فبراير ٢٠٢٠، ثم اتسعت رقعة التفشي حتى طالت كافة دول العالم تقريبا نهاية أبريل.

جدول (١) تفشي وباء كورونا في دول العالم في الفترة (يناير - أبريل ٢٠٢٠)

البيان/الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل
عدد الدول المصابة	٢٠	٥٣	١٨٠	٢٠٥
عدد الإصابات (مصائب)	٩٨٢٦	٨٥٤٠٣	٧٥٠٨٩٠	٣٠٩٠٤٤٥
(الصين) % من الإجمالي	٩٨.٩	٩٣.٠	١١	٢.٧

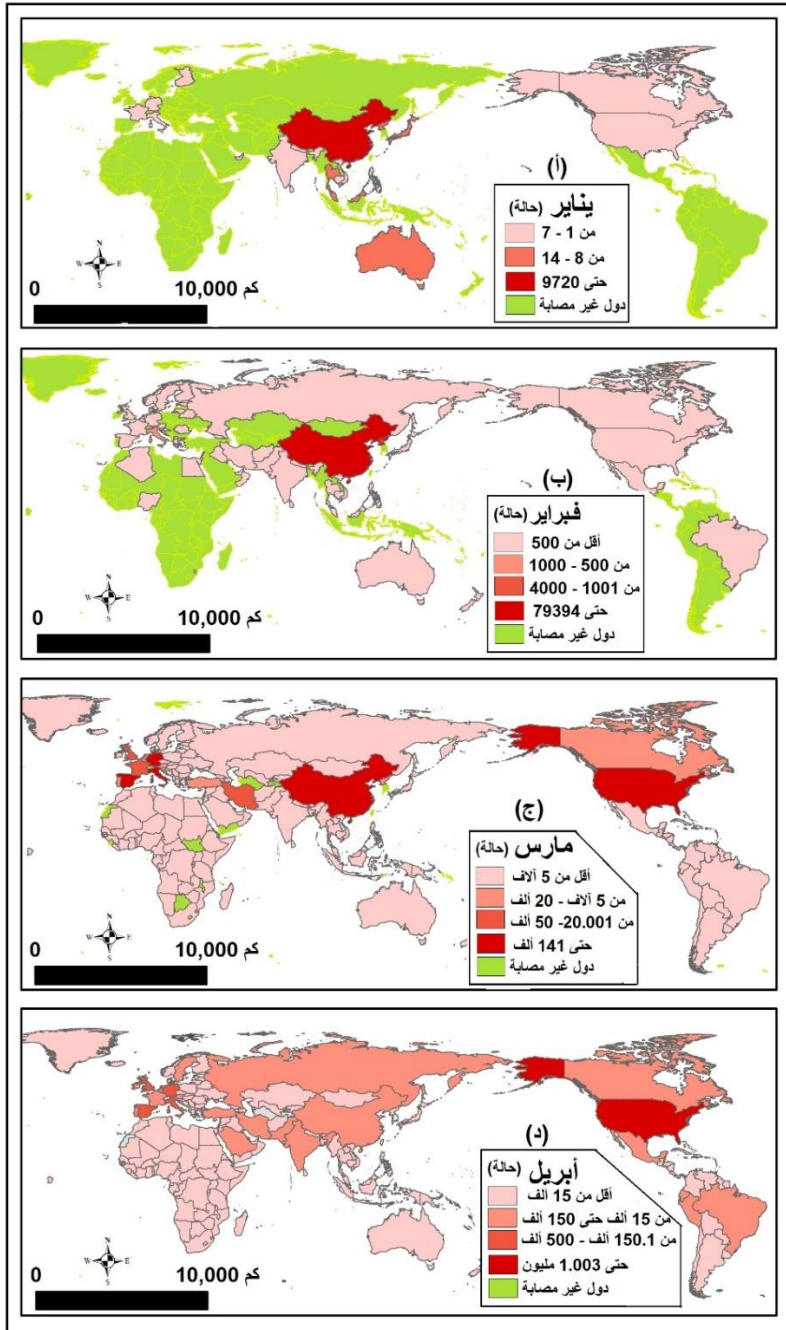
المصدر: الباحث اعتمادا على:

WHO (2020) Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Reports, No11-40-71-101, available at; <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> , Accessed in 10.11.2020.

كذلك يبدو واضحاً الإصابة الإجمالية في العالم ككل قد بلغت قرابة ١٠ آلاف حالة حتى يناير ٢٠٢٠، ارتفعت بشكل سريع ومضطرد حتى وصلت لأكثر من ٣ ملايين إصابة في أبريل، وتجدر الإشارة إلى أنه رغم التفشي السريع للوباء إلا أن النسبة الأكبر من الإصابات كانت في الصين حتى نهاية فبراير ٢٠٢٠، وخلال شهري مارس وأبريل لم تعد الصين تمثل سوى ٢.٧% من جملة الإصابات بفيروس كورونا المستجد، مما يعني الانتقال الكامل للفيروس ولبؤرة الجائحة خارج الصين تماماً بداية من مارس ٢٠٢٠.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

شكل (١) التطور الزمني والمكاني لانتشار فيروس كورونا المستجد ٢٠٢٠



المصدر: الباحث اعتمادا على WHO (2020) Op.,Cit.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

ثالثاً: خصائص شبكة النقل الجوي وتفشي وباء كوفيد-١٩:

يمكن الوقوف على العلاقة بين خصائص شبكة النقل الجوي واتساع رقعة تفشي وباء كورونا المستجد من خلال مجموعة من المؤشرات التحليلية لشبكة النقل الجوي، ومن هذه المؤشرات ما يلي:

١- البنية المجتمعية للشبكة **Community structure**: ورد مفهوم التركيب المجتمعي أو الجزئي، أو ما عرف بالانتمائية Modularity في دراسة (نيومان، جيرفان، ٢٠٠٤)^(٢٢) ويقصد بها تقسيم الشبكة الكلية إلى مجموعة من الشبكات الفرعية (المجتمعات/الأنماط) التي تكون فيها الترابطات بين العقد كثيفة بشكل أكبر من ترابطاتها مع المجتمعات الأخرى المجاورة في الشبكة، وبمعنى آخر فإن العقدة في مجتمعها المحلي تكون أكثر ارتباطاً بباقي العقد في نفس المجتمع مقارنة بارتباطها بعقد أخرى من المجتمعات الأخرى المجاورة في الشبكة، ففي شبكة النقل الجوي يقصد بالتركيب الجزئي أن المطارات داخل الدولة الواحدة مترابطة ببعضها أكثر من ارتباطها بدول أخرى، وهنا تمثل مجتمعا فرعيا داخل شبكة النقل الجوي للقارة مثلا، أو داخل شبكة النقل الجوي العالمية.^(٢٣) ويمكن الوصول للمجتمعات الفرعية للشبكة من خلال المعادلة التالية^(٢٤):

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2)$$

حيث e_{ij} هي عدد الوصلات التي تربط بين عقد المجموعة (i) و a_i هي مجموع الوصلات المتصلة بعقد المجموعة (i) داخل الشبكة ككل.

وتتراوح قيمة Q بين (٠-١) بحيث تعبر القيمة (١) عن بنية مجتمع قوية داخل الشبكة، وعملياً تتراوح القيم بين (٠.٣ - ٠.٧) أما القيم الأعلى فنادرة. ووفقا

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

لهذا المؤشر تنقسم شبكة النقل الجوي العالمية إلى ١٢ مجتمعاً أساسياً community يوضحها الجدول (٢) .

- يتبين من الجدول (٢) أن الولايات المتحدة ودول أمريكا الوسطى هي أكبر مجتمع داخلي في شبكة النقل الجوي العالمي، وهذا المجتمع الشبكي Module يضم أكثر من خمس عقد الشبكة (مطارات) وهو مجتمع تتسم فيه العقد بالكثافة العالية والتقارب وتتسم فيه الوصلات الداخلية بقصرها النسبي، ويسهم هذا المجتمع بنسبة ٢٥.٥% من إجمالي حركة النقل الجوي، كذلك يحتل هذا الإقليم الترتيب الثاني بين المجتمعات من حيث عدد الإصابات بنسبة ٣٦.٥%.
- تمثل منطقة أوروبا وشمال أفريقيا المجتمع الثاني في شبكة النقل الجوي العالمية، وهي تضم مجموعة من العقد المحورية Hubs التي تركز عليها حركة النقل الجوي العالمية بين الشرق والغرب مثل مطارات فرانكفورت وزيورخ وغيرهما، ويضم هذا المجتمع سدس عقد الشبكة العالمية، ويتسم هذا المجتمع بتعدد العقد المحورية وزيادة معامل المشاركة Participant coefficient الذي يمثل عدد الوصلات الرابطة بين عقد هذا المجتمع وعقد المجتمعات الأخرى، وقد احتل هذا المجتمع الشبكي الترتيب الثاني من حيث حجم الحركة بنسبة ٢٥.٢%، في حين أنه احتل الترتيب الأول بين الأقاليم من حيث عدد الإصابات.

جدول (٢) الأنماط/المجتمعات الشبكية الفرعية داخل شبكة النقل الجوي العالمية

الإقليم/النمط	% من المطارات	% من الإصابات حتى أبريل ٢٠٢٠	% من إجمالي حركة الركاب عام ٢٠١٩
أمريكا الجنوبية	٨.٩٩	٥.٣٩	٥.٤٦
كندا	٣.٥٦	١.٧٥	٢.٢٦
أفريقيا والشرق الأوسط	٩.٢٨	٣.٧٨	٦.٣٧
جنوب شرق آسيا والهندي	١٣.٥٥	٥.٩٥	١٣.٨٥
الولايات المتحدة وأمريكا الوسطى	٢٠.١٨	٣٦.٠٥	٢٥.٥٠
أوروبا وشمال أفريقيا	١٦.٩٦	٣٩.١٠	٢٥.١٩
ألaska وساحل غرب كندا	٦.٣١	٠.٠١	٠
شمال ووسط آسيا	٥.١٧	٤.٠٦	٣.٥٦
أستراليا وجزر الهادي	٧.٨٨	٠.٢٨	١.٨٦
النرويج	٠.٧٦	٠.٢٧	٠
الصين والكويتين	٥.٨٤	٣.٣٠	١٥.٩٤
جرينلاند	١.٥٢	٠.٠٦	٠
الإجمالي	١٠٠	١٠٠	١٠٠

المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامجي Gephi 0.9.2 , ArcGIS 10.8 (WHO (2020), Op.Cit. -

ICAO (2020) Op. Cit. -

- انتظمت المطارات الواقعة في دول جنوب وجنوب شرق آسيا والساحل الغربي لأستراليا في مجتمع داخلي داخل الشبكة العالمية للنقل الجوي، حيث تتسم فيها الوصلات بامتدادات متوسطة وتوزع فيها العقد بشكل شريطي ساحلي، مما يجعل الوصلات بينها تأخذ نفس الشكل نسبياً، وضم هذا المجتمع ١٣.٥% من عقد الشبكة العالمية، كما استأثر هذا المجتمع بنسبة ١٣.٨٥% من حجم الحركة الجوية، وكذا جاء في الترتيب الثالث من حيث عدد الإصابات بفيروس كورونا المستجد بنسبة ٦% تقريباً.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- تشكل مطارات أفريقيا (جنوب الصحراء) مع القرن الأفريقي ودول شبه الجزيرة العربية والشام مجتمعا داخليا آخر في شبكة النقل الجوي العالمية، حيث ضمت ٩.٣% من المطارات، وتقل هنا العقد المحورية بالنسبة للشبكة الدولية ولكن تزيد بالنسبة للشبكة المحلية الداخلية لهذا المجتمع، وقد جاء هذا الإقليم في الترتيب الخامس من حيث حجم الحركة الجوية، في حين احتل الترتيب السادس من حيث عدد الإصابات.
 - مثلت أمريكا الجنوبية مجتمعا محليا يستأثر بنسبة ٩% من عقد الشبكة، كما مثلت منطقة شرق استراليا وجزر المحيط الهادي المقابلة لها أيضاً مجتمعا محليا آخر، كذلك جاء مجتمع الصين والكورييتين كمجتمع شبكي يتسم بارتفاع درجة العقد نتيجة زيادة اتصالها بالمجتمعات المحيطة وهذه السمة تعبر عن أهمية هذا المجتمع في الشبكة الداخلية كمحطات وصول أو محطات انطلاق للرحلات. كما أنها تمثل في الوقت نفسه محطات محورية داخلية نتيجة زيادة اتصالاتها بغيرها من عقد المجتمع الشبكي التي تنتمي إليه. أما منطقة وسط وشمال آسيا فقد مثلت أيضا مجتمعا مستقلا داخل الشبكة العالمية وهي مجتمع طرفي تقل فيه العقد المحورية العالمية، أما مجتمعات ألاسكا، وكندا، وجرينلاند، والنرويج فجاءت كمجتمعات صغيرة نسبيا نتيجة تطرفها، وتتسم المطارات هنا بالموقع الطرفي في الشبكة الدولية مما جعلها بدايات ونهايات للرحلات وتقل فيها العقد المحورية أو تكاد تنعدم.
 - يتبين من الجدول أيضا وجود علاقة ارتباط طردية قوية بين نصيب كل مجتمع من حجم الركاب ونصيبه من الإصابات بكوفيد-١٩ به وقد بلغ معامل ارتباط بيرسون ٠.٨٩، أي كلما زادت حركة النقل الجوي من وإلى
- (أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

المجتمع زادت احتمالية تفشي الوباء به. ويتوافق ذلك مع ما توصلت إليه دراسة (لاو، وآخرون ٢٠٢٠)^(٢٥) حيث اثبتت وجود علاقة بين حركة الركاب بكل دولة وحجم الإصابات بها ($R^2=0.98$)، وإن كان الاختلاف في القيمة ناتج عن تطبيقهم على دول العالم وليس مجتمعات الشبكة.

أ- قوة الاتصال بين مجتمعات الشبكة:

تمثل شبكة النقل عموماً شرايين تضمن بقاء نظام النقل وتكفل نشاطه وحركته، وبعد تحديد المجتمعات الداخلية للشبكة فإنه لا بد من تحديد درجة الترابط والاتصال فيما بينها، ويمكن ذلك من خلال عمل مصفوفة الاتصال/التجاوز adjacency Matrix للأقاليم أو مجتمعات الشبكة جدول (٣) ومن خلال حساب عدد الوصلات الرابطة بين كل مجتمع والمجتمعات الأخرى في الشبكة يتبين أن :

- لا يوجد ترابط كامل بين كافة مجتمعات الشبكة، حيث يتبين أن هناك مجتمعات ترتبط بمجتمعين أو ثلاثة أو أكثر من ذلك، لكن لا يتحقق الترابط الكامل لأي مجتمع مع كافة مجتمعات الشبكة. كذلك فإن قوة الارتباط متمثلة في عدد الوصلات تتفاوت لتصل إلى وصلة واحدة كما هي الحال في الاتصال بين مجتمع شمال ووسط آسيا وساحل شمال النرويج، بينما يبلغ الاتصال أقصاه بين مجتمع الولايات المتحدة وأمريكا الوسطى ومجتمع أوروبا وشمال افريقيا (٤٢٧ وصلة).
- يستأثر مجتمع أوروبا وشمال أفريقيا بأقوى اتصال بمجتمعات الشبكة، حيث يمتلك ٣٣.٧% من وصلات الشبكة سواء كان شبكة ربط داخلية بين دول الإقليم، أم شبكات ربط خارجية بينه وبين الأقاليم الأخرى، ويرتبط بشكل أكبر بمجتمعات الولايات المتحدة وشمال ووسط آسيا، وأفريقيا والشرق (أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

الأوسط، وجنوب شرق آسيا وجزر المحيط الهندي. ورغم أن هذا يمثل ميزة لهذا المجتمع إلا أنه يزيد احتمالية تأثره بالأوبئة التي يمكن أن تنفث في أحد أجزاء الشبكة.

جدول (٣) مصفوفة الاتصال بين مجتمعات شبكة النقل الجوي العالمية

الرمز	الإقليم	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	الإجم الي
A	أمريكا الجنوبية	١٤ ٢٩					٦٣			٣				١٦ ٧٣
B	كندا		٣ ٦ ٧			٤٥	١							٤١ ٣
C	أفريقيا والشرق الأوسط	٥		١٦ ٦٠	٢٦ ٨	٤٠	٢٨٨		١٤	١		٩		٢٢ ٨٥
D	جنوب شرق آسيا والهندي	٤		٢٧ ٢	٣٢ ١٤	١١ ٩	٢٧٤		١١ ٤	٩٧				٤٥ ٠٤
E	الولايات المتحدة وأمريكا الوسطى	١٦ ٩	٤ ٥	٤٢	١٢ ١	٧٨ ١٣	٤٢٧	١ ٦	٢٥	٢١			٣٠	٨٧ ٠٩
F	أوروبا وشمال أفريقيا	٦٣	١	٢٨ ٧	٢٧ ١	٤٢ ٥	١١٢ ٠٤	٥	٣٣ ٠		٢ ٥	٤٥		١٢ ٦٥ ٨
G	الاسكا					١٧	٥ ١ ٢	٥						٥٣ ٤
H	شمال ووسط آسيا			١٤	١١ ٠	٢٦	٣٣٠		١٣ ٠٧		١		٤٤	١٨ ٣٢
I	استراليا وجزر الهادي	٣		١	٩٧	١٩				٩٩ ٤				١١ ٢٥
J	النرويج						٢٥		١		١ ١			١٢ ٧
K	جرينلاند					٢						١ ٣ ٢		١٣ ٤
L	الصين والكوريتين			١٠	٤٠ ٩	٣٠	٤٥		٤٤	١١			٣٠ ٥٢	٣٦ ٠١
	الإجمالي	١٦ ٧٣	٤ ١ ٣	٢٢ ٩١	٤٤ ٩٤	٨٧ ٠٣	١٢٦ ٦٤	٥ ٣ ٣	١٨ ٣٥	١١ ٢٧	١ ٢ ٧	٣ ٤	٣٠ ٠١	٣٧ ٥٩ ٥

المصدر: الباحث اعتمادا على برامج Gephi 0.9.2, ArcGIS 10.8, Microsoft

Excel 13

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- جاء مجتمع الولايات المتحدة وأمريكا الوسطى في الترتيب الثاني من حيث قوة الاتصال، حيث يستأثر بنسبة ٢٣.٢% من جملة وصلات الشبكة سواء للربط الداخلي أو الخارجي، ويرتبط بشكل أكبر بمجتمعات أمريكا الجنوبية، أوروبا وشمال أفريقيا، وأفريقيا والشرق الأوسط، وتجعل هذه الميزة من هذا المجتمع مستقبلاً وموزعاً جيداً للأوبئة التي تنفشى وتنتقل عبر أجزاء الشبكة.
- احتل مجتمع جنوب شرق آسيا وجزر المحيط الهندي الترتيب الثالث من حيث عدد روابط الاتصال حيث بلغ نصيبه ١٢% من جملة الوصلات، ويرتبط بشكل كبير بإقليم الصين والكوريتين (٤١٠ وصلة) ومجتمع أوروبا، ومجتمع الشرق الأوسط وأفريقيا. ولهذا فإن هذا المجتمع يعد أيضاً مسئولاً مع الصين عن سرعة انتشار الفيروس إلى العالم لأن إجراءات حظر السفر التي اتخذتها الدول كانت مع الصين فقط وليس مع المجتمعات المحيطة الأكثر اتصالاً بالصين.
- جاء مجتمع الصين والكوريتين في الترتيب الرابع من حيث قوة الاتصال حيث بلغ نصيبه ٩.٦% من جملة روابط الاتصال، وارتبط خارجياً بشكل أقوى مع مجتمعات جنوب شرق آسيا وجزر المحيط الهندي، وأوروبا وشمال أفريقيا، وشمال ووسط آسيا.
- جاءت أقاليم أفريقيا والشرق الأوسط، وشمال ووسط آسيا، وأمريكا الجنوبية، وأستراليا ضمن المجتمعات متوسطة الاتصال بمجتمعات الشبكة الأخرى، ويمثل مجتمع أفريقيا أكثرهم اتصالاً بالمجتمعات الأخرى، ولكن مجتمع شمال ووسط آسيا هو أقواهم اتصالاً.

ب- معامل التأثير الوبائي: **Epidemiological Impact coefficient**

تنقل شبكة النقل الجوي العالمية الثقافة والعولمة والأشخاص والبضائع، كما تنتقل عبرها الفيروسات والأوبئة أيضاً، ولإظهار دور الاتصال الشبكي بين المجتمعات الداخلية للشبكة في انتشار فيروس كورونا المستجد يمكن الاعتماد على معامل التأثير الوبائي. وقد أمكن استخدام مصفوفة الاتصال جدول (٣) لبناء مصفوفة التأثير/التأثر الوبائي (الاتصال الموزون)، واستخراج معامل التأثير/التأثر الوبائي بين أقاليم الشبكة وتتبع تتطور هذه العلاقة خلال الشهر الأربعة (يناير ٢٠٢٠ - أبريل ٢٠٢٠).

ويقصد الباحث -إجرائياً- بمصطلح التأثير/التأثر الوبائي؛ معامل تأثير كل مجتمع في كافة مجتمعات الشبكة وبائياً، وذلك من خلال حجم الارتباط بينه وبين كل مجتمع من مجتمعات الشبكة موزوناً بالأهمية النسبية لهذا المجتمع وبائياً، (نصيبه من إجمالي الإصابات خلال الشهر). وبناء على هذا التعريف فإن معامل التأثير الوبائي سيكون هو نفسه حجم الإصابات داخل المجتمع، أي أن نصيب مجتمع ما من الإصابات يمثل قوة تأثير هذا المجتمع في مجتمعات الشبكة الأخرى، وقد تم بناء مصفوفة للحصول على هذا المعامل الذي تم حسابه من خلال المعادلة التالية^(٢٦):

$$Eic_{ij} = \left(\frac{e_{ij}}{\sum e_{ig}} \right) * \left(\frac{In_i}{\sum Ing} \right)$$

معامل التأثير الوبائي (EIC) بين المجتمع i و j =

(عدد الوصلات بين i و j... g / إجمالي الوصلات بين i وباقي مجتمعات الشبكة g) x عدد

الإصابات في المجتمع i / إجمالي الإصابات في مجتمعات الشبكة (g)

وفي نظرنا للشبكات المعقدة بشكل خاص، وشبكة النقل بشكل عام كنظام حيوي حي تتحرك الأشياء عبره وخلالها، فإن تحليل الترابط بين الأقاليم في شبكة النقل الجوي وانتشار الفيروس خلال الشهر الأربعة الأولى من خلال مصفوفة التأثير

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

والتأثر الوبائي ملحق (١) يمكن تتبع تطور دور الاتصال بين مجتمعات الشبكة في انتقال الفيروس في كل شهر على حدة على النحو التالي:

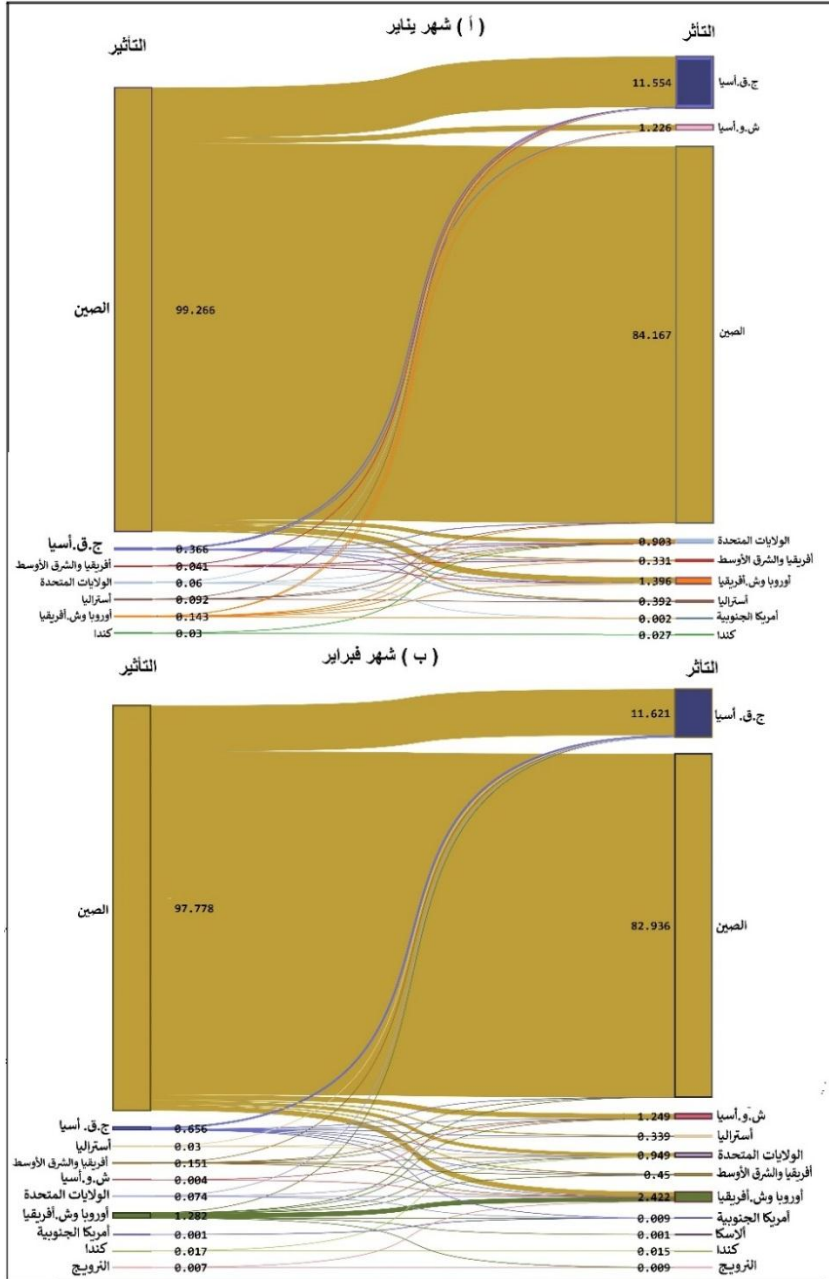
- **خلال شهر يناير ٢٠٢٠** : يتبين أن مجتمع الصين والكوريتين هو المجتمع الأعلى تأثيراً في تفشي الوباء خلال شهري يناير وفبراير عام ٢٠٢٠، وذلك لكونه بؤرة الوباء (الصين) مما يعني أنه سيؤثر بشكل حاد في كافة المجتمعات المرتبطة به من خلال انتقال حالات حاملة للفيروس عبر شبكة النقل الجوي الرابطة بين المجتمع والمجتمعات الأخرى، مع الأخذ في الاعتبار أن هذا التأثير يزداد كلما زادت عدد الوصلات الرابطة بين المجتمع والمجتمعات الأخرى في الشبكة. وقد بلغ معامل تأثير مجتمع الصين في كافة مجتمعات الشبكة ٩٩.٢٦٥، وقد كان تأثير الصين شديداً على مجتمع جنوب شرق آسيا وجزر المحيط الهادي، حيث بلغ معامل تأثير الصين في هذا المجتمع ١١.٢٧ وذلك نتيجة قوة الترابط الشبكي بينهما، وكذا أثر مجتمع الصين خلال هذا الشهر بشكل متوسط في مجتمع أوروبا وشمال أفريقيا بقوة تأثير بلغت ١.٢٤، وبنفس القدر تقريباً أثر في مجتمع شمال ووسط آسيا (١.٢١) وكان التأثير متوسطاً نسبياً في مجتمع الولايات المتحدة الأمريكية وأمريكا الوسطى بقوة تأثير بلغت ٠.٨٣، في حين كان التأثير ضعيف نوعاً ما في كل من مجتمع شرق أستراليا وجزر المحيط الهادي (٠.٣٠)، ومجتمع أفريقيا والشرق الأوسط (٠.٢٨). وجليد بالذكر أن التأثير الداخلي لمجتمع الصين كان الأشد (انتقال الفيروس عبر الشبكة الداخلية للمجتمع) حيث بلغ معامل التأثير ٨٤.١ نتيجة زيادة تعقد شبكة النقل الجوي الصينية الداخلية مما أدى لتفشي الوباء داخل الصين بسرعة كبيرة.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

أما معامل التأثير الوبائي لمجتمعات الشبكة خلال شهر يناير، فيبدو واضحاً أن الصين هي الأعلى تأثيراً بمعامل تأثر بلغ ٨٤.١٧، وهذا التأثير جاء من الترابط الشبكي الداخلي لمجتمع الصين نفسه حيث يرتبط بعدد ٣٠٥٢ وصلة ليحتل بذلك رابع مجتمع من حيث قوة الترابط الشبكي الداخلي إضافة لكونه بؤرة الوباء في بداية الموجة الأولى.

وباستثناء إقليم جرينلاند، فقد تأثرت كافة مجتمعات الشبكة وبأثنا خلال الشهر الأول من الجائحة، ولكن بشكل متفاوت حسب ارتباطها بالمجتمعات الأشد عرضة للتأثر بالصين، وقد كان التأثير أعلى بالنسبة للمجتمعات المجاورة للصين جغرافياً والمتمثلة في إقليم جنوب شرق آسيا وإقليم شمال ووسط آسيا، فقد بلغ معامل التأثير ١١.٥٥ للأول وهو معامل تأثر كبير نسبياً، وكان التأثير متوسطاً للثاني حيث بلغ المعامل ١.٢٣ كما تأثر مجتمع أوروبا وشمال أفريقيا بشكل متوسط حيث بلغ معامل تأثره ١.٤، ورغم البعد الجغرافي بينه وبين الصين إلا أنه يرتبط بها شبكياً بشكل متوسط، ويرتبط مع إقليم جنوب شرق آسيا وإقليم شمال ووسط آسيا بشكل كبير، مما يزيد من معامل تأثره وبأثناً. شكل (٢-أ).

شكل (٢) الدرجة النسبية لمعامل التأثير والتأثر الوياني بين مجتمعات شبكة النقل الجوي العالمية خلال شهري يناير، فبراير ٢٠٢٠



المصدر: الباحث، اعتمادا على ملحق (١) وأداة SnakyMatic.

أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا (...). د. أحمد يونس.

● شهر فبراير ٢٠٢٠ : لم يختلف الوضع كثيرا عما كان عليه في شهر يناير، حيث بقي مجتمع الصين الأكثر تأثراً في انتشار الوباء عبر الشبكة، كما ظل مجتمع جنوب شرق آسيا هو الأشد تأثراً، ولكن تجدر الإشارة إلى أنه خلال هذا الشهر بدأت تنمو بؤر وبائية جديدة تتمثل في مجتمع أوروبا وشمال أفريقيا، حيث بلغ معامل التأثير الوبائي لهذا الإقليم ١.٢٨ وكذلك إقليم جنوب شرق آسيا بمعامل تأثير بلغ ٠.٦٥٥، كما تجدر الإشارة إلى أن كافة أقاليم الشبكة أصبحت ذات تأثير وبائي ماعدا جرينلاند وألاسكا، في حين أصبح الجميع متأثراً وبائياً. شكل (٢-ب).

● شهر مارس ٢٠٢٠ : تحول الوضع تماما خلال هذا الشهر، حيث أصبحت البؤر الوبائية الناشئة خلال الشهر الماضي بؤرا رئيسة والعكس، وبالنسبة لمعامل التأثير الوبائي يمكن ملاحظة التالي:

- جاء مجتمع أوروبا بأعلى معامل تأثير وبائي بين مجتمعات الشبكة، حيث بلغ معامل التأثير ٥٢.٨ وقد أثر داخلياً بشكل رئيس في دول هذا المجتمع، في حين أثر خارجياً وبشكل واضح في مجتمع الولايات المتحدة الأمريكية وأمريكا الوسطى بمعامل تأثير بلغ ١.٧٧، وفي مجتمع شمال ووسط آسيا بمعامل تأثير بلغ ١.٣٨ وفي جنوب شرق آسيا وجزر المحيط الهندي بمعامل تأثير بلغ ١.٣٠ وفي مجتمع أفريقيا والشرق الأوسط بمعامل تأثير بلغ ١.٢، وأثر بشكل ضعيف في باقي مجتمعات الشبكة ماعدا مجتمع شرق أستراليا وجزر المحيط الهادي.

- نمت أيضاً مجتمعات الولايات المتحدة الأمريكية وأمريكا الوسطى كبؤرة وباء جديدة داخل الشبكة، حيث بلغ معامل تأثيرها الوبائي ٢٠.١، أثرت بشكل أساسي في مجتمعها الداخلي، في حين أثرت في كل المجتمعات

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

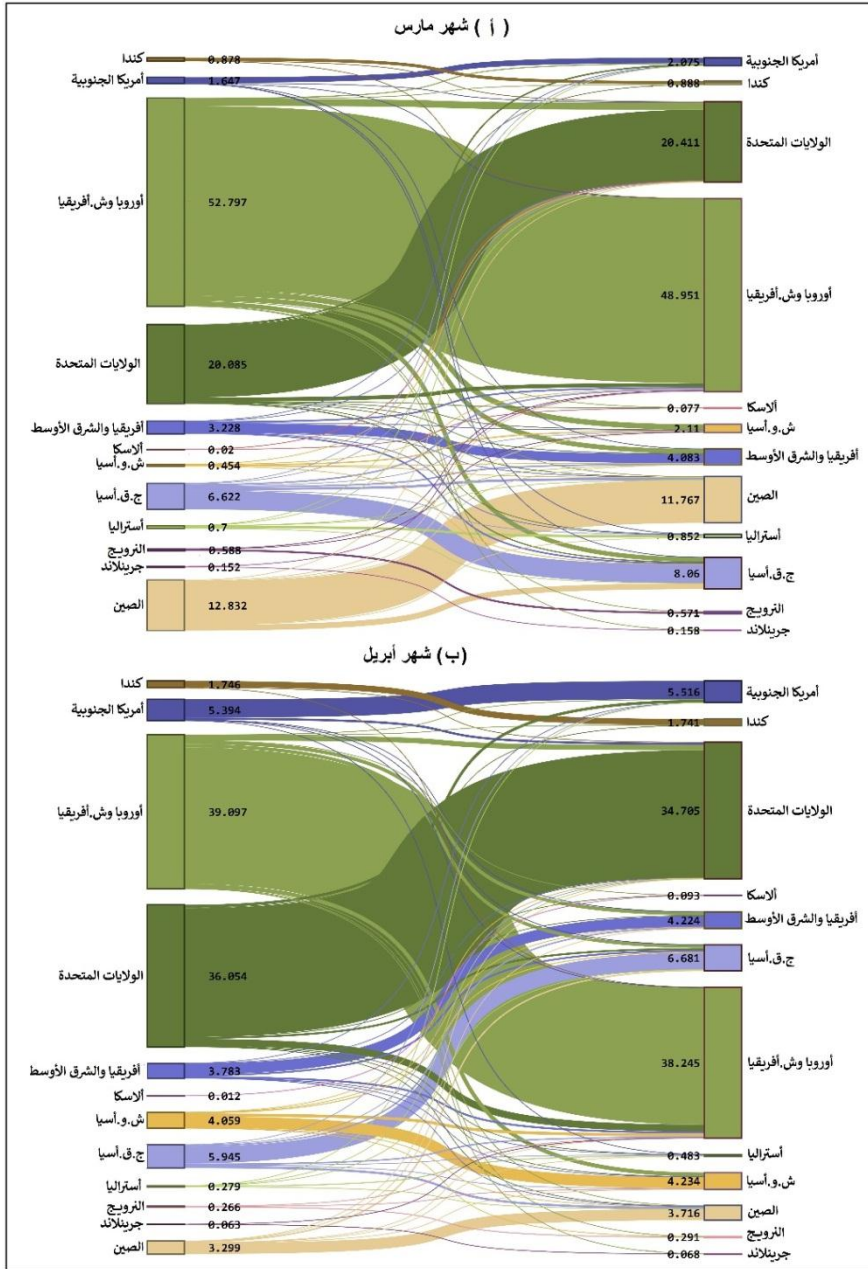
الشبكية الأخرى بشكل متفاوت (ماعدنا النرويج وجرينلاند) واشتد التأثير نسبيا على مجتمعات أوروبا وجنوب شرق آسيا وكندا. شكل (٣-أ).

- بدأت مجتمعات أخرى تنمو وبائيا لتمثل بؤر ناشئة، فيبدو أن معامل التأثير الوبائي لمجتمع جنوب شرق آسيا (٨.١) ومجتمع أفريقيا والشرق الأوسط (٤.١) ومجتمع أمريكا الجنوبية (٢.١) ومجتمع شمال ووسط آسيا (٢.١) بدأ يرتفع مقارنة بالوضع خلال الشهر الماضي. في حين بدأ مجتمع الصين يتراجع بشكل جزري سواء في معامل التأثير أم في معامل التأثير. وهذه المجتمعات الناشئة وبائيا تأثرت بشكل واضح بمجتمعات أوروبا وشمال أفريقيا، والولايات المتحدة الأمريكية وأمريكا الوسطى، بالإضافة لتأثرها المستمر بمجتمع الصين.

• شهر أبريل ٢٠٢٠ : يلاحظ من معامل التأثير الوبائي خلال هذا الشهر ما يلي:

- ارتفع تأثير مجتمع الولايات المتحدة كبؤرة وبائية داخل الشبكة، وبدأ ينازع مجتمع أوروبا على الصدارة فجاء الأول بمعامل تأثير بلغ ٣٦.١ في حين جاء الثاني بمعامل تأثير بلغ ٣٩.١، وعلى ذلك فإن هذين المجتمعين مثلا بؤرتي التفشي الرئيسيتين منذ شهر مارس ٢٠٢٠، كما زاد شأن مجتمعي جنوب شرق آسيا وأمريكا الجنوبية من حيث معامل التأثير، فكلاهما يرتبط بشكل جيد مع المجتمعين السابقين. الجدير بالذكر أن مجتمعي الولايات المتحدة وأوروبا يمكن اعتبارهما المسؤولين الرئيسيين عن تفشي الوباء بعد انتشاره خارج مجتمع الصين، حيث أن هذين المجتمعين يرتبطان معاً بكافة مجتمعات الشبكة الأخرى،

شكل (٣) الدرجة النسبية لحركة التأثير والتأثر الوبائي بين مجتمعات شبكة النقل الجوي العالمية خلال شهري مارس، أبريل ٢٠٢٠



المصدر: الباحث، اعتمادا على ملحق (١).

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

فالأول يرتبط بكافة المجتمعات الأخرى ماعدا مجتمعي النرويج وجرينلاند، في حين يرتبط الثاني بكافة الأقاليم ماعدا مجتمع شرق استراليا والمحيط الهادي.

- ويتبين أيضا من الشكل (٣-ب) أن هناك بؤر ناشئة تنمو بشكل واضح، وسيزداد نموها متأثرة بالمجتمعات الموبوءة التي ترتبط بها، وهذه البؤر تتمثل في مجتمع جنوب شرق آسيا الذي بلغ معامل تأثيره (٦.٧) ومجتمع أمريكا الجنوبية الذي بلغ معامل تأثيره (٥.٥) ومجتمعي شمال ووسط آسيا (٤.٢٣) وأفريقيا والشرق الأوسط (٤.٢٢).

٢- مؤشر مركزية الدرجة **Degree Centrality**: وهي مقياس المركزية المعتمد على درجة العقدة، ويقصد بدرجة العقدة Node Degree عدد الوصلات المتصلة بها في الشبكة، وهي هنا يقصد بها عدد الطرق الجوية Airways التي تربط المطار بغيره من المطارات بشكل مباشر.^(٢٧) وتطور هذا المؤشر على يد العديد من الباحثين ومنهم نيمينين ١٩٧٤^(٢٨)، وفريمان ١٩٧٨ ووفقا لهما فإن مؤشر مركزية العقدة (i) المعتمد على درجتها Centrality index based on node degree يساوي مجموع عدد الوصلات التي تتصل بها بشكل مباشر في الشبكة، وكلما كان العدد كبيرا، كلما كانت العقدة أكثر مركزية، وباستخدام مصفوفة الجوار Adjacency matrix يتم حساب درجة المركزية من خلال المعادلة التالية^(٢٩):

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

حيث $a_{ij} = 1$ اذا كانت العقدة متصلة بعقدة أخرى بوصلة مباشرة، وتساوي صفر في حالة العكس

ومن خلال حساب الدرجة التراكمية للعقد بكل دولة Cumulative Degree يمكننا الحصول على ترتيب لدول العالم وفقا لهذه الدرجة لتحديد الدول الأعلى من حيث عدد الوصلات منها وإليها وداخلها في شبكة النقل الجوي، جدول (٤).

- يشير الجدول (٤) إلى مجموعة من النقاط الهامة التي يمكن عرضها كما يلي:
- تمثل أمريكا الدولة الأكثر اتصالاً في شبكة النقل الجوي حيث تتصل داخليا وتترابط بالعالم الخارجي بأكثر من ١٣ ألف وصلة. يعود ذلك إلى الأهمية التي يمثلها النقل الجوي لهذه الدولة كدولة عظمى تتربط داخليا وخارجيا من خلال شبكة النقل الجوي، كما يعني ذلك أنها ستكون الدولة الأكثر تأثرا فيما إذا حدث تفشي لوباء ما داخل الدول التي ترتبط بها، كما انها ستكون الأقل سيطرة على اتصالها بالعالم الخارجي نتيجة ضخامة الشبكة التي تربطها بالعالم.
 - تأتي الصين كثاني أكبر دولة من حيث اتصالها بالعالم واتصال العالم بها، حيث الأهمية التي تشغلها الصين على خريطة السكان والقوى الاقتصادية العالمية، مما يجعلها منشأ ومقصد للرحلات الجوية العالمية، ويضعها ذلك أيضا في دائرة الخطر فيما إذا تفشى وباء ما في أحد المناطق التي تتصل

بها، والخطر هو نفسه على الدول المرتبطة بالصين إذا ما مثلت الأخيرة بؤرة لوباء ما.

جدول (٤) الدول الأعلى من حيث الدرجة التراكمية والاصابات في العالم

م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	الدرجة الإجمالية (٠٠٠)	عدد الإصابات (٠٠٠)	م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	الدرجة الإجمالية (٠٠٠)	عدد الإصابات (٠٠٠)
١	أمريكا	٥٥٢	١٣.٢	١٠٠٤.٠	١٦	اليونان	٣٩	٠.٩٨	٢.٦
٢	الصين	١٧٥	٦.٧	٨٤.٤	١٧	النرويج	٤٩	٠.٩٧	٧.٧
٣	بريطانيا	٥٢	٣.١	١٦٥.٢	١٨	الإمارات	٨	٠.٨٠	١١.٩
٤	ألمانيا	٣٢	٢.٨	١٥٩.١	١٩	اندونيسيا	٦٤	٠.٧٩	٩.٨
٥	إسبانيا	٤٠	٢.٧	٢١٢.٩	٢٠	السعودية	٢٦	٠.٧٠	٢١.٤
٦	روسيا	١١٢	٢.٦	١٠٦.٥	٢١	هولندا	٥	٠.٦٧	٣٨.٨
٧	فرنسا	٥٥	٢.٤	١٢٧.١	٢٢	السويد	٣٩	٠.٦٣	٢٠.٣
٨	إيطاليا	٣٦	٢.٤	٢٠٣.٦	٢٣	بولندا	١١	٠.٦١	١٢.٦
٩	كندا	٢٠٥	٢.٣	٥٠.٤	٢٤	البرتغال	١٤	٠.٦٠	٢٤.٥
١٠	البرازيل	١٢٤	١.٧	٧١.٩	٢٥	ماليزيا	٣٢	٠.٥٩	٥.٩
١١	تركيا	٤٤	١.٣	١١٧.٦	٢٦	إيران	٤٢	٠.٥٨	٩٣.٧
١٢	اليابان	٦٢	١.٢	١٤.١	٢٧	تاييلاند	٣٢	٠.٥٧	٣.٠
١٣	الهند	٧١	١.٢	٣٣.١	٢٨	سويسرا	٥	٠.٥١	٢٩.٣
١٤	أستراليا	١٠٩	١.١	٦.٧	٢٩	كوريا الجنوبية	١٥	٠.٤٨	١٠.٨
١٥	المكسيك	٥٧	١.١	١٦.٨	٣٠	بلجيكا	٥	٠.٤٨	٤٧.٩

المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامجي Gephi 0.9.2 , ArcGIS 10.8

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- احتلت الدول الأوروبية النسبة الأكبر من الدول الثلاثين الأعلى من حيث الدرجة التراكمية للعقد، حيث جاءت بريطانيا وألمانيا وإسبانيا وفرنسا وإيطاليا وتركيا واليونان والنرويج وهولندا والسويد وبولندا والبرتغال وسويسرا وبلجيكا بعدد (١٤) دولة من الدول الثلاثين، ونظرا لأهمية هذه الدول كدول ذات اقتصاديات متقدمة كما أن أغلبها دول سياحية تحتل مراكز متقدمة بين مناطق المقاصد السياحية كفرنسا وإيطاليا وبولندا فإن اتصالها بالعالم الخارجي يعد ضرورة لخدمة اقتصادها ونموها.
 - جاءت دول أسيوية أخرى غير الصين ضمن مجموعة الثلاثين، ومنها روسيا، اليابان، الهند، اندونيسيا، الإمارات، ماليزيا، إيران، السعودية، تايلاند، كوريا الجنوبية.
 - مثلت البرازيل الدولة الأعلى اتصالا بالعالم في أمريكا الجنوبية بشكل عام، وفي أمريكا اللاتينية بعد المكسيك، وهذا يعني أن البرازيل تمثل دولة محورية في شبكة النقل الجوي العالمي.
- ويتضح من معامل الارتباط شكل (٤-أ) أن هناك علاقة طردية قوية جداً بين الدرجة التراكمية للدولة وعدد الإصابات بها، حيث يبلغ معامل الارتباط $(R^2) ٠.٨٤$ عند مستوى معنوية (٠.٠٠١) ويرجع ذلك إلى أن انتشار الوباء عبر الشبكة يعتمد على مدى اتصال العقد ببعضها، وهذه الأخيرة تتوقف على عدد الوصلات التي تربط كل عقدة بغيرها من العقد، ويتضح من الدول الثلاثين الأعلى من حيث الدرجة أنها استأثرت بنسبة ٩١% من عدد إصابات (كوفيد-١٩) خلال شهر أبريل ٢٠٢٠.

٣- درجة مركزية البينية (Centrality Betweenness (C_B): يقيس مؤشر درجة المركزية المعتمد على درجة بينية العقدة دور العقدة كوسيط داخل الشبكة، وهي تشير إلى مركزية العقدة اعتماداً على مجموع أطوال المسارات الأقصر الواصلة بين العقد وبعضها مروراً بالعقدة المقصودة^(٣٠). وتحسب درجة البينية من خلال المعادلة التالية^(٣١):

$$C_B(i) = \sum_{j < k}^n a_{ijk}(i) / a_{jk}$$

حيث $g_{jk}(i)$ هي عدد المسارات الأقصر من العقدة j إلى العقدة k مروراً بالعقدة (i) - أما g_{jk} فتعبر عن عدد المسارات بين العقدتين $i-k$.

وبحساب مؤشر البينية التراكمي لدول العالم، امكن ترتيب دول العالم طبقاً لهذا المؤشر ويعرض الجدول (٥) الدول الثلاثين الأعلى من حيث مؤشر درجة البينية.

ووفقاً للجدول (٥) يتبين أن الدول الثلاثين الأعلى من حيث البينية تمثل محطات عبور أو وصول أو انطلاق للرحلات الجوية، مما يجعلها هي الأكثر عرضة لتقشي الأوبئة المنقولة عبر الشبكة، ويتبين من الجدول أن دول أمريكا وكندا وكولومبيا والبرازيل وبنما هي الأعلى من حيث البينية في الأمريكتين، في حين جاءت دول فرنسا وبريطانيا وألمانيا وإسبانيا، وهولندا، والدنمارك، والنرويج، السويد، وتركيا هي الأعلى في القارة الأوروبية، كما جاءت دول الصين وروسيا واليابان، وكوريا الجنوبية، والهند، وسنغافورة، وتايلاند، وماليزيا، وإندونيسيا، والفلبين وأستراليا، من الدول الأعلى بينية في آسيا وأستراليا، وجاءت دول الإمارات والسعودية كأعلى دول الشرق الأوسط، في حين جاءت جنوب أفريقيا في الترتيب الأول أفريقيا والسادس والعشرين عالمياً.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

ويوضح الشكل (٤-ب) شكل العلاقة بين درجة بينية الدولة وعدد الإصابات بكوفيد-١٩ بها، حيث بلغ معامل الارتباط بيرسون (R^2) ٠.٨٠ عند مستوى معنوية (٠.٠١)، مما يعني أن فرص انتشار العدوى أعلى في الدول التي لها درجة بينية أعلى من غيرها داخل الشبكة، وهذه العلاقة منطقية فدرجة البينية المرتفعة تعني الأهمية المرتفعة للعقدة (الدولة) في الشبكة كونها تمثل نقطة محورية للعبور بين العقد المختلفة في الشبكة، مما يعني أن هذه الدول ستكون معبرا للرحلات الجوية الواردة من المناطق الموبوءة.

جدول (٥) درجة البينية التراكمية لأعلى ٣٠ دولة في شبكة النقل الجوي.

م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	درجة البينية التراكمية (٠٠٠)	عدد الإصابات (٠٠٠)	م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	درجة البينية التراكمية (٠٠٠)	عدد الإصابات (٠٠٠)
١	أمريكا	٥٥٢	٧٧٩٦	١٠٠٤.٠	١٦	اندونيسيا	٦٤	٥٠٠	٩.٨
٢	كندا	٢٠٥	٢٨١٦	٥٠.٤	١٧	الهند	٧١	٤٣٩	٢٣.١
٣	الصين	١٧٥	١٥٠١	٨٤.٤	١٨	تايلاند	٣٢	٣٨٩	٣.٠
٤	استراليا	١٠٩	١٣١٨	٦.٧	١٩	كولومبيا	٤٨	٣٧٢	٥.٩
٥	البرازيل	١٢٤	١٣١٠	٧١.٩	٢٠	النرويج	٤٩	٣٦٧	٧.٧
٦	فرنسا	٥٥	٩٩٠	١٢٧.١	٢١	سنغافورة	١	٣٦٦	١٥.٦
٧	روسيا	١١٢	٩٨٩	١٠٦.٥	٢٢	كوريا الجنوبية	١٥	٣٦٥.٧	١٠.٨
٨	بريطانيا	٥٢	٩٧٢	١٦٥.٢	٢٣	ماليزيا	٣٢	٣٣٢	٥.٩
٩	ألمانيا	٣٢	٩٠٦	١٥٩.١	٢٤	الدانمارك	٨	٣١٨	٩.٠
١٠	الإمارات	٨	٨٢٢	١١.٩	٢٥	جنوب أفريقيا	١٩	٢٩٢	٥.٤
١١	جرينلاند	٢٠	٨٢٦	٠.٠	٢٦	السعودية	٢٦	٢٧٦	٢١.٤
١٢	اليابان	٦٢	٧١٨	١٤.١	٢٧	السويد	٣٩	٢٦٥	٢٠.٣
١٣	تركيا	٤٤	٥٦٧	١١٧.٦	٢٨	بنما	٧	٢٦٢	٦.٢
١٤	إسبانيا	٤٠	٥٤٣	٢١٢.٩	٢٩	الفلبين	٣٧	٢٦٠	٨.٢
١٥	هولندا	٥	٥٠٧	٣٨.٨	٣٠	إيطاليا	٣٦	٢٥٨	٢٠.٣.٦

المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامجي Gephi 0.9.2 , ArcGIS 10.8

أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا... د. أحمد يونس.

٤- درجة مركزية المتجهات الذاتية (EC) Eigenvector Centrality :

يعد مؤشر مركزية الدرجة الذي قدمه فريمان ١٩٧٨ مقياساً بسيطاً، ويعبر فقط عن عدد الوصلات المباشرة التي تربط العقدة بغيرها من العقد دون الاعتبار لأهمية العقد، حيث أن لكل عقدة أهمية ووزن في الشبكة، فمثلاً يجعل الاتصال بالناس المؤثرين الشخص أكثر تأثيراً من اتصاله بالناس غير المؤثرين، ولذا فإن مركزية المتجهات الذاتية (EC) تعطي لكل عقدة درجة مركزية تعتمد على عدد وجودة/أهمية العقد التي ترتبط بها، فاتصال عقدة بعدد كبير من الوصلات والعقد لا يعني أنها العقدة الأعلى مركزية من العقد الأخرى في الشبكة التي قد تكون مرتبطة بعدد أقل من العقد لكنها عقد ذات تأثير عالي في الشبكة (عقد محورية).

وتعتمد فكرة حساب مركزية المتجهات الذاتية على درجة العقدة Node Degree التي تحسب من خلال مصفوفة الجوار، وبعد ذلك يتم عمل مصفوفة جديدة بأوزان العقد، وتحسب رياضياً من خلال المعادلة التالية^(٣٢):

$$x_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j,$$

حيث $\frac{1}{\lambda}$ ثابت. A_{ij} درجة العقدة i (مركزية الدرجة). x_j درجة العقدة j .

وحيث أن لكل عقدة أهميتها في ربط الدولة بغيرها، وقد تكون عقد ما ذات درجة أقل وفق المؤشرات ولكنها الأكثر تأثيراً في نقل العدوى بين المناطق التي تربط بينها فإن حساب الدرجة التراكمية لا يغفل دور أي عقدة وبعيد ترتيب الدول وفق الدرجة الكلية. ويوضح جدول (٦) أعلى ٣٠ دولة من حيث الدرجة التراكمية لدرجة مركزية المتجهات الذاتية.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- أنت الولايات المتحدة الأمريكية كأعلى دولة مركزية في العالم، تلتها الصين مما يعني أن هاتين الدولتين يمثلان محورين عالميين لشبكة النقل الجوي العالمية. ولذا فإنهما سيكونان العقدتين الأكثر تأثيراً في الشبكة في حال تفشي وباء ما بهما، كما حدث في تفشي وباء كورونا.

جدول (٦) أعلى ٣٠ دولة من حيث درجة مركزية المتجهات الذاتية

م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	درجة المركزية التراكمية	عدد الإصابات (٠٠٠)	م	الدولة	عدد العقد المحسوبة (عقدة)	درجة المركزية التراكمية	عدد الإصابات (٠٠٠)
١	أمريكا	٥٥٢	٢٣.٨٩	١٠٠٤.٠	١٦	بولندا	١١	١.٦٢	١٢.٦
٢	الصين	١٧٥	٨.٧١	٨٤.٤	١٧	هولندا	٥	١.٤٦	٣٨.٨
٣	ألمانيا	٣٢	٦.٧٨	١٥٩.١	١٨	البرتغال	١٤	١.٤٤	٢٤.٥
٤	بريطانيا	٥٢	٦.٧٢	١٦٥.٢	١٩	سويسرا	٥	١.٤١	٢٩.٣
٥	إسبانيا	٤٠	٦.٦٢	٢١٢.٩	٢٠	السويد	٣٩	١.٣٤	٢٠.٣
٦	إيطاليا	٣٦	٦.١١	٢٠٣.٦	٢١	الإمارات	٨	١.٣٠	١١.٩
٧	فرنسا	٥٥	٥.٤٤	١٢٧.١	٢٢	البرازيل	١٢٤	١.٢٥	٧١.٩
٨	روسيا	١١٢	٤.٠٦	١٠٦.٥	٢٣	السعودية	٢٦	١.١٥	٢١.٤
٩	تركيا	٤٤	٢.٧٧	١١٧.٦	٢٤	أيرلندا	٧	١.١٣	٢٠.٣
١٠	كندا	٢٠٦	٢.٧٦	٥٠.٤	٢٥	المغرب	١٣	١.١١	٤.٤
١١	اليونان	٣٩	٢.٧٠	٢.٦	٢٦	الدانمارك	٨	١.٠١	٩.٠
١٢	الهند	٧١	١.٨٣	٣٣.١	٢٧	النمسا	٦	١.٠١	١٥.٤
١٣	اليابان	٦٢	١.٨٠	١٤.١	٢٨	بلجيكا	٥	٠.٩٧	٤٧.٩
١٤	المكسيك	٥٧	١.٧٧	١٦.٨	٢٩	كرواتيا	٨	٠.٩٤	٢.١
١٥	النرويج	٤٩	١.٦٩	٧.٧	٣٠	تاييلاند	٣٢	٠.٨٦	٣.٠

المصدر : الباحث، اعتماداً على برنامجي Gephi 0.9.2 , ArcGIS 10.8

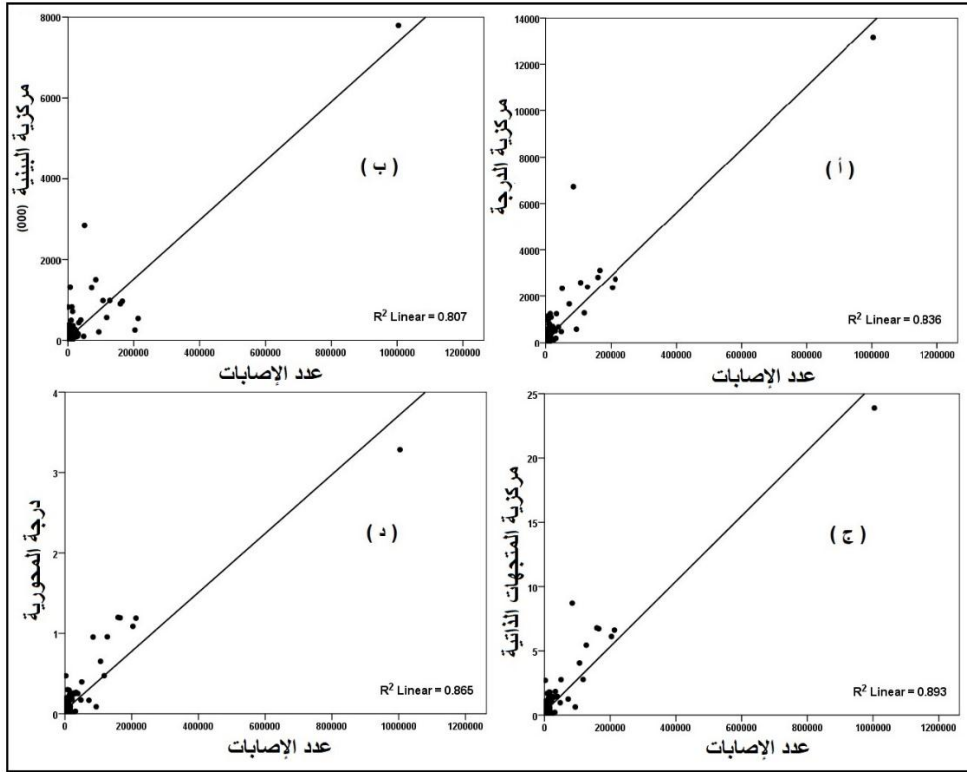
يمكن الخروج بمجموعة من النتائج حول هذا الجدول ومنها:

- أنت ١٨ دولة أوروبية ضمن الدول الثلاثين الأعلى من حيث المركزية كانت أعلاها ألمانيا وبريطانيا وأدناها بلجيكا وكرواتيا. مما يعني أن قارة

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

- أوروبا تقريبا تمثل محورا أساسيا داخل الشبكة. ولهذا فإن الدول الأوروبية تكون أكثر عرضة لاستقبال الأوبئة المنقولة عبر الشبكة.
- تمثلت روسيا والهند واليابان وتايلاند والسعودية والإمارات مع الصين الدول الاسيوية الأعلى من حيث درجة المركزية.

شكل (٤) علاقات الارتباط بين خصائص الشبكة وعدد الإصابات بكوفيد-١٩



المصدر: الباحث التحليل الاحصائي لمعامل ارتباط بيرسون لعدد الإصابات والمؤشرات التراكمية لكل دولة.

- جاءت المغرب ضمن الدول الثلاثين الأعلى من حيث المركزية وهي تمثل المحور hub في نطاق شمال أفريقيا، والجدير بالذكر أن مصر أتت في الترتيب ٣١ بين دول العالم وفق هذا المؤشر. مما يعني أن الدولتين تمثلان محورين رئيسيتين في شبكة النقل الجوي في شمال أفريقيا.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

• شكلت المكسيك والبرازيل دولتين مركزيتين رئيسيتين في أمريكا اللاتينية، ولذا فإنهما سيكونان الأكثر عرضة لتفشي الأوبئة المنقولة عبر الشبكة. وقد وجدت علاقة ارتباط قوية بين درجة مركزية المتجهات الذاتية للدولة وعدد الإصابات بها، حيث بلغ معامل الارتباط (R^2) ٠.٨٩ (عند مستوى معنوية بلغ ٠.٠١) ويعني هذا أن العقد (الدول) الأعلى في المركزية ستكون أكثر فرصة في انتشار العدوى بها، ويتضح ذلك من أن أعلى ثلاثين دولة من حيث درجة المركزية تستأثر بقراءة ٨٥.٤% من الاصابات بكوفيد-١٩ حتى أبريل ٢٠٢٠. شكل (٤-ج).

٥- تحليل درجة المحورية^(٣٣) Hub Score Analysis:

يقصد بمفهوم المحورية وضع العقدة داخل الشبكة، حيث أن درجة المحورية للعقدة تعني أهمية العقدة في اتصالها بالعقد الأخرى، والعقدة المحورية هي العقدة التي ترتبط بأكبر عدد ممكن من العقد داخل الشبكة من خلال وصلات تخرج منها إلى هذه العقد، ويقابل هذا المصطلح مصطلح آخر يعرف ب Authority Score أو درجة السلطة وتعني عدد الوصلات التي تربط العقد الأخرى بهذه العقدة، ويتم حسابها من خلال مصفوفة تكرارية يعاد حسابها وفق أوزان مختلفة، وتتراوح درجة محورية/السلطة للعقد بين (٠-١) وكلما اقتربت الدرجة من الواحد الصحيح دل ذلك على شدة المحورية. وتجد الإشارة إلى أن الدرجة قد تزيد عن (١) في حال حساب الدرجة التراكمية لمجموعة عقد داخل الشبكة كما يوضح جدول (٧).

ويتضح من جدول (٧) مجموعة النقاط الهامة التالية:

• تتقدم الولايات المتحدة الأمريكية دول العالم من حيث درجة المحورية التراكمية لمطاراتها، ويرجع ذلك إلى سببين أولهما ارتفاع عدد المطارات في

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

هذه الدولة حيث يخصصها ٥٥٢ مطارا مدنياً في الشبكة المعتمد عليه في هذه الدراسة، وهي بذلك تحتل الترتيب الأول بين الدول من حيث عدد المطارات، أما الثاني فيتمثل في ارتفاع درجة محورية العديد من مطاراتها حيث تمثل مطارات للترانزيت بين دول أمريكا الشمالية والجنوبية. وبين دول الأمريكتين وباقي دول العالم.

جدول (٧) درجة المحورية التراكمية لدول العالم وعدد الإصابات بكورونا

م	الدولة	درجة المحورية التراكمية	عدد الإصابات (٠٠٠)	م	الدولة	درجة المحورية التراكمية	عدد الإصابات (٠٠٠)
١	أمريكا	٣.٢٨٦	١٠٠٤.٠	١٦	هولندا	٠.٢٥١	٣٨.٨
٢	ألمانيا	١.١٩٨	١٥٩.١	١٧	سويسرا	٠.٢٤٨	٢٩.٣
٣	بريطانيا	١.١٩٣	١٦٥.٢	١٨	المكسيك	٠.٢٤٤	١٦.٨
٤	إسبانيا	١.١٨٨	٢١٢.٩	١٩	السويد	٠.٢٣٧	٢٠.٣
٥	إيطاليا	١.٠٨٧	٢٠٣.٦	٢٠	اليابان	٠.٢٣٦	١٤.١
٦	فرنسا	٠.٩٥٦	١٢٧.١	٢١	الإمارات	٠.٢٠٧	١١.٩
٧	الصين	٠.٩٥٣	٨٤.٤	٢٢	إيرلندا	٠.٢٠١	٢٠.٣
٨	روسيا	٠.٦٥١	١٠٦.٥	٢٣	المغرب	٠.١٩٩	٤.٤
٩	تركيا	٠.٤٧٢	١١٧.٦	٢٤	الدنمارك	٠.١٧٩	٩.٠
١٠	اليونان	٠.٤٧١	٢.٦	٢٥	النمسا	٠.١٧٨	١٥.٤
١١	كندا	٠.٣٩٦	٥٠.٤	٢٦	السعودية	٠.١٧٤	٢١.٤
١٢	النرويج	٠.٢٩٩	٧.٧	٢٧	بلجيكا	٠.١٧٠	٤٧.٩
١٣	بولندا	٠.٢٩٠	١٢.٦	٢٨	كرواتيا	٠.١٦٩	٢.١
١٤	الهند	٠.٢٦٥	٣٣.١	٢٩	البرازيل	٠.١٦٦	٧١.٩
١٥	البرتغال	٠.٢٥٤	٢٤.٥	٣٠	أوكرانيا	٠.١٤٢	١٠.٤

المصدر : الباحث، اعتمادا على برنامجي ArcGIS 10.8 , Gephi 0.9.2

- تمثل دول أوروبا أغلبية الدول الثلاثين الأعلى من حيث درجة المحورية، وهذا يؤكد الدور الذي تلعبه المطارات الأوروبية في خدمة الترانزيت بين شرق العالم وغربه، كما يؤكد مدى أهمية المطارات الأوروبية في شبكة النقل من خلال ارتفاع عدد الخطوط الجوية التي تربط هذه المطارات بأغلب مطارات العالم. وعلى ذلك فقد احتلت ألمانيا الترتيب الأول من

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

حيث المحورية تلتها بريطانيا ثم إسبانيا ثم إيطاليا، ثم فرنسا. فيما جاءت دول أوروبية أخرى في ترتيب متوسط مثل تركيا واليونان والنرويج وبولندا والبرتغال، كما جاءت دول أخرى في ترتيب متأخر بين الدول الثلاثين الأعلى ومنها هولندا، سويسرا، السويد، إيرلندا، الدنمارك، النمسا، بلجيكا، كرواتيا، أوكرانيا.

● احتلت دول الصين، روسيا، الهند، اليابان ترتيباً متقدماً بين دول العالم من حيث درجة المحورية التراكمية، ويرجع ذلك لأهمية مطارات هذه الدول بالنسبة لمجتمعات الشبكة في منطقة شرق العالم عموماً، وفي منطقة آسيا بشكل خاص، كما يرجع ذلك للأهمية الاقتصادية لهذه الدول كالاقتصاديات متقدمة يزداد اعتمادها على النقل الجوي، وبالتالي ترتبط بدول عديدة من خلال خطوط النقل الجوي.

● تمثل الإمارات العربية المتحدة إحدى الدول الأعلى من حيث المحورية بسبب أهميتها السياحية، وبسبب الاعتماد على مطاراتها في خدمة الترانزيت بين أوروبا وأفريقيا من ناحية وشرق وجنوب شرق وجنوب آسيا وأستراليا من ناحية أخرى. كذلك جاءت المملكة العربية السعودية ضمن الدول الثلاثين الأعلى من حيث المحورية بسبب أهمية مطاراتها وارتباطها بالعديد من المطارات في انحاء العالم لخدمة الانتقال إلى المناطق المقدسة خلال المواسم الدينية، أما المغرب فجاءت أيضاً ضمن الدول الأعلى محورية نظراً لكونها إحدى الدول السياحية الكبرى في شمال أفريقيا، كما تمثل أقصى امتداد لليابس من ناحية الغرب وبالتالي تمثل نقطة ترانزيت مهمة بين شرق العالم وغربه.

وفيما يخص العلاقة بين درجة المحورية وانتشار فيروس كورونا المستجد عبر شبكة النقل الجوي، يتضح من معامل الارتباط بيرسون شكل (٤-د)، أن هناك علاقة طردية قوية بين المتغيرين، حيث (R^2) بلغ ٠.٨٦ (عند مستوى معنوية بلغ ٠.٠٠١) مما يعني أن الدولة الأعلى محورية داخل الشبكة هي الأكثر عرضة لتفشي الوباء، وهذا ما يبدو واضحاً من ارتفاع نصيب الدول الثلاثين الأعلى من حيث الإصابات.

٦- تحليل رتبة الدول في مؤشرات الشبكة:

تظهر التحليلات وجود علاقات ارتباط قوية بين أهمية كل دولة - كعقدة في الشبكة - وأعداد الإصابات بفيروس كورونا المستجد، فبترتيب الدول حسب رتبة كل دولة في كل مؤشر من المؤشرات السابقة، وحساب متوسط هذه الرتب، وتحديد الدول الثلاثين الأعلى من حيث الرتبة جدول (٨)، يتبين أن الدول الأعلى في هذه المؤشرات جاء من بينها البؤر العالمية لتفشي الوباء خلال الموجة الأولى (بين ديسمبر ٢٠١٩ - يوليو ٢٠٢٠) والموجة الثانية التي يعيشها العالم الآن.

جدول (٨) أعلى ٣٠ دولة وفقا لرتبتها وعدد الإصابات بين أبريل وديسمبر ٢٠٢٠

عدد الإصابات		الترتيب	متوسط الرتب	الدولة	عدد الإصابات		الترتيب	متوسط الرتب	الدولة
حتى ديسمبر (٠٠٠)	حتى أبريل (٠٠٠)				حتى ديسمبر (٠٠٠)	حتى أبريل (٠٠٠)			
١١٩٥٠	٩٣٧	١٤	٢١	إيران	١٨٦٤٩٠	١٠٠٤٠	١	١	أمريكا
٥٣٩٠٣	٥٠٤	١٤	٢١	كندا	٧٤٤٨٠٦	٧١٠٩	٢	٥٠٢٥	البرازيل
١٢٠٠٢	١٠٠	١٥	٢٣٠٢٥	تونس	٢١٧٠٣	١٤٠١	٣	٥٠٥	اليابان
١٢٥٧٠٨	١٢٠٦	١٥	٢٣٠٧٥	بولندا	١٣١٩٠	١١٧٠٦	٤	٥٠٧٥	تركيا
٧٠٦٠٨	٩٠٨	١٦	٢٦٠٧٥	إندونيسيا	٣٠٥٠٢	١٠٦٠٥	٥	٦٠٢٥	روسيا
٩٦٠٣	٨٤٠٤	١٧	٢٨	الصين	١٦٤٠٠٩	١٥٩٠١	٦	٧	ألمانيا
١٠٣٠٩	٥٠٩	١٨	٢٨٠٥	ماليزيا	٩٩٤٠٩	٥٠٤	٧	١٤٠٢٥	جنوب أفريقيا
٥٨٠٥	١٥٠٦	١٩	٢٩	سنغافورة	٣٤٨٠٤	١٥٠٤	٨	١٥	النمسا
٧٥٤٠٢	٣٨٠٨	٢٠	٣٠	هولندا	٢٨٠٣	٦٠٧	٨	١٥	أستراليا
٣٦٢٠١	٢١٠٤	٢١	٣٣٠٧٥	السعودية	٢٠٣٨٠٨	٢٠٣٠٦	٩	١٥٠٥	إيطاليا
٤٢٦٠٢	٢٩٠٣	٢٢	٣٤	سويسرا	١٣٧٢٠٢	١٦٠٨	١٠	١٧	المكسيك
٣٤٠١	٤٠٩	٢٣	٣٤٠٢٥	فنلندا	١٨٥٥٠	٢١٢٠٩	١١	١٧٠٥	إسبانيا
٢٠٤٠٩	٢٠١	٢٤	٣٦	كرواتيا	٦٣٨٠٩	٤٧٠٩	١٢	١٨٠٥٠	بلجيكا
١٣٥٠١	٢٠٦	٢٥	٣٨٠٢٥	اليونان	٢٥٠٧٠٥	١٢٧٠١	١٢	١٨٠٥٠	فرنسا
٠٠٨	٠٠١	٢٦	٣٩	يابوا نيوجينيا	٢٢٥٦٠	١٦٥٠٢	١٣	١٨٠٧٥	بريطانيا

المصدر : من إعداد الباحث اعتمادا على:

- جداول (٤، ٥، ٦، ٧). - منظمة الصحة العالمية، التقرير الأسبوعي لحالة وباء كورونا المستجد ٢٠١٩،

تقرير الأسبوع الأخير لشهر ديسمبر ٢٠٢٠، متاح على الرابط

[https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update---29-december-](https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update---29-december-2020)

2020 تم الدخول بتاريخ ٩ فبراير ٢٠٢٠.

يتبين من الجدول (٨) أن العلاقة عكسية بين رتبة الدول وعدد إصابات حيث بلغ معامل الارتباط بيرسون (-٠.٣) (في حين بلغ معامل الارتباط -٠.٤٤ فيما يخص الدول الثلاثين الأعلى) أي تقل الإصابات كلما زادت رتبة الدولة (أي كلما قلت أهمية الدولة كعقدة في الشبكة) وهذا لأن هناك عوامل أخرى مؤثرة في انتشار الوباء وازدياد عدد المصابين مثل العوامل الديموغرافية والبيئية والقدرات الطبية لكل دولة وغيرها من العوامل الأخرى، فإن كان النقل الجوي مسئول عن

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

انتساع الرقعة الجغرافية ل لوباء فإن هذه العوامل مسئولة عن ازدياد عدد الإصابات في العالم واختلافها من مكان لآخر. كذلك يظهر من الجدول أن هذه الدول الأعلى من حيث الرتب قد استأثرت بنسبة ٨٥% من الإصابات خلال الشهور الأربعة الأولى، في حين أن هذه النسبة بلغت ٦٣.٦% في نهاية عام ٢٠٢٠ (بإجمالي إصابات بلغ ٥٠.٤ مليون نسمة تقريباً) وقد جاءت دول الولايات المتحدة وإسبانيا وإيطاليا وبريطانيا كبرر وبائية في نهاية شهر أبريل ٢٠٢٠، (٥٦.٥% من الإصابات) في حين جاءت هي نفسها إضافة إلى البرازيل، روسيا، وفرنسا كبرر وبائية في نهاية عام ٢٠٢٠ وبداية عام ٢٠٢١ (٥٠% من الإصابات).

الخاتمة:

تؤكد الدراسة الحالية أن هناك علاقة ارتباط قوية بين خصائص شبكة النقل الجوي وانتشار فيروس كورونا وانتساع النطاق المكاني للوباء، ولم تقل قوة علاقة الارتباط (R^2) عن ٠.٨، مما يدل على قوة العلاقة، وتتفق هذه النتائج مع دراسة (لاو وآخرون، ٢٠٢٠) مع الأخذ في الاعتبار الفرق بين الدراستين في استخدام الأخيرة للشبكة الموزونة (الشبكة التي تحمل وصلاتها حجم حركة النقل)، ورغم ذلك تتأكد العلاقة أيضا من تحليل البنية المجتمعية للشبكة العالمية للنقل الجوي.

تظهر الدراسة أن انتشار الجائحة وانتساع نطاقها الجغرافي كان عالمياً ممتد إلى النطاق المعمور من الكرة الأرضية، وقد كان الانتشار أكبر في نصف الكرة الشمالي، لعدة أسباب يوضح البحث الحالي أن كثافة شبكة النقل الجوي في النصف الشمالي كان سبباً من أسباب هذا الانتشار المتسارع والكثيف، وخلال

الأشهر الثلاثة الأولى من اكتشاف الوباء في المدينة البورنية (ووهان) انتشر الوباء لكافة دول العالم مما يعني أن الفاصل الزمني كان صغير جداً أمام اتخاذ التدابير اللازمة للتقليل من التفشي، ويتفق ذلك مع دراسة (جريس، إيلز، جلاس، ٢٠٠٣)، لذا فإن نوع التدابير وتحديد النطاق الجغرافي للحجر الصحي للدولة يعد أمراً مهماً في مثل هذه الظروف.

اتخذت العديد من الدول قرارات اغلاق حدودها ومنع السفر من وإلى الصين كبؤرة وباء، ثم توالى توسيع النطاق فيما بعد الشهور الثلاثة الأولى لظهور الوباء، وفي رأي هذه الدراسة أن هذه الرؤية كانت قاصرة، لذا فإن تحليل البنية المجتمعية لشبكة النقل الجوي يعد أمراً مهماً للدول، حيث يقوم على دراسة المجتمعات الفرعية التي تضمها الشبكة العالمية، وهذا يسمح بتحديد المجتمع البؤري وليس الدولة البورنية للأوبئة، مما يسمح بتوسيع الرؤية أمام متخذي القرار في هذا شأن، ويزيد من جدوى تدابير اغلاق الحدود أمام الحركة الجوية القادمة من مجتمع معين أو الدول الأكثر اتصالاً بهذا المجتمع في الشبكة العالمية.

يتبين أن الولايات المتحدة الأمريكية هي الدولة الأكثر أهمية في شبكة النقل الجوي، ولذا كانت من الدول الأكثر تأثيراً في نقل وانتشار الوباء، حيث احتلت المرتبة الأولى بين الدول في متوسط الرتب، ما يدل على تفوقها في كافة المؤشرات الشبكية، وجاءت أيضاً في مقدمة الدول من حيث عدد الإصابات حيث بلغ نصيبها ٣٢.٥% من الإصابات حتى نهاية أبريل. وتتفق هذه النتيجة مع ما جاء به (تاتيم، روجرس، هاي، ٢٠٠٦) في دراستهم للنقل وأثره في نقل الأوبئة، حيث كان من أهم الخطوط الجوية العشرين الأعلى خطراً في نقل بعوضة النمر الفيروسيّة *Ae. albopictus* وانتشارها ١٣ خطأً تصل بين دول جنوب شرق آسيا والولايات المتحدة.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

أظهرت برمجيات تحليل الشبكات المعتمدة على منهج تحليل الشبكات الاجتماعية كفاءتها في تحليل شبكة النقل الجوي كشبكة معقدة، كما أنها تمتاز ببساطتها وسهولة تطبيقها، لذا وجب التوصية بأن يعير الجغرافيين هذه البرمجيات اهتماماً، ويعملون على تحقيق التكامل بين هذه البرمجيات وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية.

توصي الدراسة بضرورة الاهتمام باستكمال دراسة موضوع نقشي الأوبئة باستخدام التحليل الشبكي لشبكات النقل المختلفة ونمذجة انتشار الأوبئة وكذا التنبؤ بها عربياً ومحلياً، وهنا يمكن توجيه ضرورة أن يكون الاهتمام من قبل فرق بحثية متعددة التخصصات يكون للجغرافي المتخصص في النقل دوراً لا يقل عن غيره من المتخصصين. وأن يتم دراسة الانتشار الداخلي للوباء عبر الشبكات الداخلية للنقل بمختلف أنواعها.

يشكل هذا الموضوع جزءاً من أحد المحاور والاتجاهات البحثية الجديدة نسبياً، وهو اتجاه تطبيقات الشبكات المعقدة في دراسة الأوبئة، ونظراً لأن مدرستنا العربية تعاني نقصاً ملحوظاً في هذا الاتجاه فإن هذا البحث يمثل حلقة من سلسلة أبحاث مستقبلية سيتم إنجازها إن شاء الله.

ملحق (١) مصفوفة التأثير والتأثر الوبائي بين مجتمعات الشبكة

شهر يناير													الرمز
إجمالي التأثير	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	A
١,٠٣٠٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٢٧	١,٠٠٠٠	B
١,٠٤٠٨	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٥	١,٠٠٠٦	١,٠٠٠٤	١,٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	C
١,٣٦٧٢	١,٠٣٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٨	١,٠٠٠٩	١,٠٠٠٠	١,٠٢٢	١,٠٠٠٩	١,٢٦٢	١,٠٢٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	D
١,٠٦١٢	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٥	١,٠٠٠٩	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠١	E
١,١٤٢٨	١,٠٠٠٥	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٤	١,٠٠٠١	١,١٢٦	١,٠٠٠٤	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	F
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	G
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	H
١,٠٩١٨	١,٠٠٠٩	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٦	١,٠٠٠٧٩	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	I
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	J
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	K
٩٩,٢٦٥٥	٨٤,١٣٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٣٠٣	١,٢١٣	١,٠٠٠٠	١,٢٤٠	١,٨٢٧	١١,٣٧٤	١,٢٧٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	L
١٠٠	٨٤,١٦٧	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	١,٣٩٢	١,٢٢٦	١,٠٠٠٠	١,٣٩٧	١,٩٠٢	١١,٥٥	١,٣٣	١,٠٢٧	١,٠٠٠٣	إجمالي التأثير
شهر فبراير													الرمز
إجمالي التأثير	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
١,٠٠٠١٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	A
١,٠١٦٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠١٤	١,٠٠٠٠	B
١,١٥٠٤	١,٠٠٠٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠١٩	١,٠٠٠٢	١,٠١٧٧	١,١٠٩	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	C
١,٦٥٥١	١,٠٥٩٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠١٤	١,٠١٦	١,٠٠٠٠	١,٠٣٩	١,٠١٧	١,٤٦٧٤	١,٠٣٩	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	D
١,٠٧٥٨	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠٠	١,٠٠٣	١,٠٦٨	١,٠٠١١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	E
١,٢٨٢٩	١,٠٠٤٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٢	١,٠٠٠٠	١,٠٣٣	١,٠٠٠٠	١,١٣٥	١,٠٤٣	١,٠٢٧	١,٠٢٩	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٦	F
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	G
١,٠٠٤٧	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	H
١,٠٢٩٦	١,٠٠٠٣	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٢٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٢٦	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	I
١,٠٠٧١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٥	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	J
١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	K
٩٧,٧٧٦٦	٨٢,٨٦٩	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	١,٢٩٨	١,١٩٤	١,٠٠٠٠	١,٢٢١	١,٨١٤	١١,١٠٥	١,٢٧١	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٠	L
١٠٠	٨٢,٩٣٥	١,٠٠٠٠	١,٠٠٠٨	١,٣٣٩	١,٢٤٩	١,٠٠٠٠	١,٤٢٢	١,٩٤٨	١١,٦٢٢	١,٤٥	١,٠١٥	١,٠٠١	إجمالي التأثير
شهر مارس													الرمز
إجمالي التأثير	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
١,٠٤٧	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٣	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٦٢	١,١٦٦	١,٠٠٤	١,٠٠٥	١,٠٠٠	١,٠٤١	A

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

٠.٨٧٨	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٢	٠.٠٩٦	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٧٨	٠.٠٠٠	B
٣.٢٢٦	٠.٠١٣	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠١	٠.٠٠٢	٠.٠٠٠	٠.٤٠٧	٠.٠٥٧	٠.٣٧٩	٢.٣٤	٠.٠٠٠	٠.٠٠٧	C
٦.٦٢٠	٠.٠٠٣	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.١٤	٠.١٧	٠.٠٠٠	٠.٤٠٣	٠.١٧٥	٤.٧٢٤	٠.٤٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٦	D
٢٠.٠٨٥	٠.٠٦٩	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٠٤	٠.٩٨٥	١٨	٠.٢٧٩	٠.١	٠.١٠	٠.٣٩	E
٥٢.٧٩٨	٠.١٨٨	٠.٠١	٠.١٠	٠.٠٠٠	١.٣٨	٠.٠٠٢	٤٦.٧	١.٧٧	١.١٣	١.٢	٠.٠٠٤	٠.٢٦	F
٠.٠٢٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٢	٠.٠	٠.٠٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	G
٠.٤٥٥	٠.٠١١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٣٦	٠.٠٠٠	٠.٠٨	٠.٠٠٦	٠.٠٢٧	٠.٠٠٣	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	H
٠.٦٩٩	٠.٠٠٧	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٦١٨	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠١	٠.٠٦٠	٠.٠٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٢	I
٠.٥٨٧	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٤٧	٠.٠٠٠	٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.١٢	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	J
٠.١٥٢	٠.٠٠٠	٠.١٥	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٢	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	K
١٢.٨٣٢	١.٠٨٨	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٤	٠.١٦	٠.٠٠٠	٠.١٦	٠.١١	١.٤٥٧	٠.٠٤	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	L
١٠٠.٠٠٠	١١.٧٧	٠.١٦	٠.٥٧	٠.٨٥	٢.١١	٠.٠٨	٤٩	٢٠.٤	٨.٠٦	٤.٠٨	٠.٨٩	٢.٠٧	اجمالي التأثير
شهر أبريل													
اجمالي التأثير	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	الرمز
٥.٣٩	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٢٠	٠.٥٥	٠.٠١	٠.٠٢	٠.٠٠٠	٤.٦١	A
١.٧٥	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.١٩	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	١.٥٥	٠.٠٠٠	B
٣.٧٨	٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٢	٠.٠٠٠	٠.٤٨	٠.٠٧	٠.٤٤	٢.٧٥	٠.٠٠٠	٠.٠١	C
٥.٩٥	٠.٥٤	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.١٣	٠.١٥	٠.٠٠٠	٠.٣٦	٠.١٦	٤.٢٤	٠.٣٦	٠.٠٠٠	٠.٠١	D
٣٦.٠٥	٠.١٢	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٩	٠.١٠	٠.٠٧	١.٧٧	٣٢.٣٤	٠.٥٠	٠.١٧	٠.١٩	٠.٧٠	E
٣٩.١٠	٠.١٤	٠.٠١	٠.٠٨	٠.٠٠٠	١.٠٢	٠.٠٢	٣٤.٦١	١.٣١	٠.٨٤	٠.٨٩	٠.٠٠٠	٠.١٩	F
٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	G
٤.٠٦	٠.١٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٢.٩٠	٠.٠٠٠	٠.٧٣	٠.٠٦	٠.٢٤	٠.٠٣	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	H
٠.٢٨	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٢٥	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٢	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	I
٠.٢٧	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٢١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٥	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	J
٠.٠٦	٠.٠٠٠	٠.٠٦	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	K
٣.٣٠	٢.٨٠	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	٠.٠١	٠.٠٤	٠.٠٠٠	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٣٧	٠.٠١	٠.٠٠٠	٠.٠٠٠	L
١٠٠.٠٠٠	٣.٧٢	٠.٠٧	٠.٢٩	٠.٤٨	٤.٢٣	٠.٠٩	٣٨.٣	٣٤.٧	٦.٦٨	٤.٢٢	١.٧٤	٥.٥٢	اجمالي التأثير

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

الهوامش

- (1) Grais, R. F., Ellis, J. H., & Glass, G. E. (2003). Assessing the impact of airline travel on the geographic spread of pandemic influenza. *European journal of epidemiology*, 18(11), 1065-1072.
- (2) Colizza, V., Barrat, A., Barthélemy, M., & Vespignani, A. (2006). The role of the airline transportation network in the prediction and predictability of global epidemics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(7), 2015-2020.
- (3) Tatem, A. J., Rogers, D. J., & Hay, S. I. (2006). Global transport networks and infectious disease spread. *Advances in parasitology*, 62, 293-343.
- (4) Huang, Z., Das, A., Qiu, Y., & Tatem, A. J. (2012). Web-based GIS: the vector-borne disease airline importation risk (VBD-AIR) tool. *International journal of health geographics*, 11(1), 1-14.
- (5) Semenza JC, Sudre B, Miniota J, Rossi M, Hu W, et al. (2014) International Dispersal of Dengue through Air Travel: Importation Risk for Europe. *PLoS Negl Trop Dis* 8(12): e3278.
- (6) Huang, Z., & Tatem, A. J. (2013). Global malaria connectivity through air travel. *Malaria journal*, 12(1), 269.
- (7) Lawyer, G. (2015). Measuring the potential of individual airports for pandemic spread over the world airline network. *BMC infectious diseases*, 16(1), 70.
- (8) Malik, A., & Abdalla, R. (2016). Mapping the impact of air travelers on the pandemic spread of (H1N1) influenza. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 91.
- (9) Brockmann, D. (2017). Global connectivity and the spread of infectious diseases. *Nova Acta Leopoldina NF Nr. 419*, 129–136.
- * يقصد الباحث بمصطلح المسافة الفاعلة المرجحة، بمعنى أنه استخدم حجم حركة النقل بين عقدتين ليعبر بها عن المسافة، بحيث تكون العقدتان الأكثر في حجم تدفق المرور هما أكثر قربا حتى لو كانت المسافة الجغرافية غير ذلك.
- (10) Findlater, A., & Bogoch, I. I. (2018). Human mobility and the global spread of infectious diseases: a focus on air travel. *Trends in parasitology*, 34(9), 772-783.
- (11) Muley, D., Shahin, M., Dias, C., & Abdullah, M. (2020). Role of Transport during Outbreak of Infectious Diseases: Evidence from the Past. *Sustainability*, 12(18), 7367.
- (12) Bogoch, I. I., Watts, A., Thomas-Bachli, A., Huber, C., Kraemer, M. U., & Khan, K. (2020). Potential for global spread of a novel coronavirus from China. *Journal of travel medicine*, 27(2), taaa011.
- (13) Nikolaou, P., & Dimitriou, L. (2020). Identification of critical airports for controlling global infectious disease outbreaks: Stress-tests focusing in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 101819.
- (14) Lau, H., et al (2020). The association between international and domestic air traffic and the coronavirus (COVID-19) outbreak. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 53, 467-472.
- (15) Van den Broeck, W., Giannini, C., Gonçalves, B., Quagiotto, M., Colizza, V., & Vespignani, A. (2011). The GLEaMviz computational tool, a publicly available

software to explore realistic epidemic spreading scenarios at the global scale. BMC infectious diseases, 11(1), 1-14.

(١٦) سعيد عبده (٢٠١٠) جغرافية النقل مغزاها ومرماها، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ص ٦٣.

(١٧) موقع <https://openflights.org/data.html> تم الدخول بتاريخ ١٥-٥-٢٠٢٠.

(١٨) موقع <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-situation-reports>

/2019/situation-reports/ تم الدخول بتاريخ ٢٠-٦-٢٠٢٠.

(19) International Civil Aviation Organization (ICAO) (2019), Air Transport Statistics 2019, available at: https://www.icao.int/annual-report-2019/Documents/ARC_2019_Air%20Transport%20Statistics.pdf , accessed at 18-1-2021.

* راجع تقارير الحالة الأسبوعية لمنظمة الصحة العالمية، خاصة تقارير شهري يناير وفبراير ٢٠٢٠.

(20) Travel Restrictions on China due to COVID-19 A new global tracker mapping the impact of the new coronavirus on movement around the world, available at <https://www.thinkglobalhealth.org/article/travel-restrictions-china-due-covid-19> , accessed in 23.11.2020.

(٢١) موقع BBC الإخباري: فيروس كورونا: الاتحاد الأوروبي يقرر إغلاق حدوده الخارجية لمدة ٣٠ يوماً، متاح على الرابط التالي وتم الدخول بتاريخ ٢٣-١١-٢٠٢٠. <https://www.bbc.com/arabic/world-51914487>

(22) Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. Physical review E, 69(2), 026113.

(23) Alex Fornito, Andrew Zalesky, Edward T. Bullmor (2016) Fundamentals of Brain Network Analysis, Academic Press, P. 303,

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124079083000091>

Retrieved at 5/11/2020.

(24) Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Op.Cit., P.8.

(25) Lau, H. et al (2020). Op.,Cit, P.470.

(٢٦) الباحث.

(27) Barabasi A-L and Oltval ZN (2004) Network's biology: understanding the cell's functional organization. Nature Reviews-Genetics 5, 101-113, P102.

(28) Nieminen, J. (1974). On the centrality in a graph. Scandinavian journal of psychology, 15(1), 332-336.

(29) Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. Social networks, 1(3), 215-239.P 220-221.

(30) Freeman, L. C. (1977) A set of measures of centrality based on betweenness, Sociometry, 35-41. p35.

(31) Song, M. G., & Yeo, G. T. (2017). Analysis of the air transport network characteristics of major airports. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 33(3), 117-125, P120.

(32) Newman, M. E. (2008). The mathematics of networks. The new Palgrave encyclopedia of economics, 2(2008), 2-4

(٢٣) راجع للاستزادة الموقع التالي: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/hubs-and-authorities-1.html> تم الدخول بتاريخ ٢-١٢-٢٠٢٠.

(أثر شبكة النقل الجوي العالمية في انتشار وباء فيروس كورونا...) د. أحمد يونس.

المصادر

١. موقع <https://openflights.org/data.html> تم الدخول بتاريخ ١٥-٥-٢٠٢٠.
٢. موقع <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> تم الدخول بتاريخ ٢٠-٦-٢٠٢٠.
3. International Civil Aviation Organization (ICAO) (2019), Air Transport Statistics 2019, available at; https://www.icao.int/annual-report-2019/Documents/ARC_2019_Air%20Transport%20Statistics.pdf , Retrieved at 18-1-2021.

المراجع:

١. سعيد عبده (٢٠١٠) جغرافية النقل مغزاها وممرهاها، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
1. Alex Fornito, Andrew Zalesky, Edward T. Bullmor (2016) Fundamentals of Brain Network Analysis, Academic Press, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124079083000091> Retrieved at 5/11/2020.
2. Barabasi A-L and Oltval ZN (2004) Network's biology: understanding the cell's functional organization. Nature Reviews-Genetics 5, 101-113.
3. Bogoch, I. I., Watts, A., Thomas-Bachli, A., Huber, C., Kraemer, M. U., & Khan, K. (2020). Potential for global spread of a novel coronavirus from China. Journal of travel medicine, 27(2), taaa011.
4. Brockmann, D. (2017). Global connectivity and the spread of infectious diseases. Nova Acta Leopoldina NF Nr. 419, 129 – 136.
5. Colizza, V., Barrat, A., Barthélemy, M., & Vespignani, A. (2006). The role of the airline transportation network in the prediction and predictability of global epidemics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(7), 2015-2020.
6. Findlater, A., & Bogoch, I. I. (2018). Human mobility and the global spread of infectious diseases: a focus on air travel. Trends in parasitology, 34(9), 772-783.

7. Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35-41.
8. Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239.
9. Grais, R. F., Ellis, J. H., & Glass, G. E. (2003). Assessing the impact of airline travel on the geographic spread of pandemic influenza. *European journal of epidemiology*, 18(11), 1065-1072.
10. Huang, Z., & Tatem, A. J. (2013). Global malaria connectivity through air travel. *Malaria journal*, 12(1), 269.
11. Huang, Z., Das, A., Qiu, Y., & Tatem, A. J. (2012). Web-based GIS: the vector-borne disease airline importation risk (VBD-AIR) tool. *International journal of health geographics*, 11(1), 1-14.
12. International Civil Aviation Organization (ICAO) (2019), Air Transport Statistics 2019, available at; https://www.icao.int/annual-report-2019/Documents/ARC_2019_Air%20Transport%20Statistics.pdf, Retrieved at 18-1-2021.
13. Lau, H., et al (2020). The association between international and domestic air traffic and the coronavirus (COVID-19) outbreak. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 53, 467-472.
14. Lawyer, G. (2015). Measuring the potential of individual airports for pandemic spread over the world airline network. *BMC infectious diseases*, 16(1).
15. Malik, A., & Abdalla, R. (2016). Mapping the impact of air travelers on the pandemic spread of (H1N1) influenza. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2).
16. Muley, D., Shahin, M., Dias, C., & Abdullah, M. (2020). Role of Transport during Outbreak of Infectious Diseases: Evidence from the Past. *Sustainability*, 12(18), 7367.
17. Newman, M. E. (2008). The mathematics of networks. *The new Palgrave encyclopedia of economics*, 2(2008), 2-4
18. Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical review E*, 69(2), 026113.

19. Nieminen, J. (1974). On the centrality in a graph. *Scandinavian journal of psychology*, 15(1), 332-336.
20. Nikolaou, P., & Dimitriou, L. (2020). Identification of critical airports for controlling global infectious disease outbreaks: Stress-tests focusing in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 101819.
21. Semenza JC, Sudre B, Miniota J, Rossi M, Hu W, et al. (2014) International Dispersal of Dengue through Air Travel: Importation Risk for Europe. *PLoS NeglTrop Dis* 8(12): e3278.
22. Song, M. G., & Yeo, G. T. (2017). Analysis of the air transport network characteristics of major airports. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(3), 117-125.
23. Tatem, A. J., Rogers, D. J., & Hay, S. I. (2006). Global transport networks and infectious disease spread. *Advances in parasitology*, 62, 293-343.
24. Travel Restrictions on China due to COVID-19 A new global tracker mapping the impact of the new coronavirus on movement around the world, available at <https://www.thinkglobalhealth.org/article/travel-restrictions-china-due-covid-19> , Retrieved at 23.11.2020.
25. Van den Broeck, W., Gioannini, C., Gonçalves, B., Quaggiotto, M., Colizza, V., & Vespignani, A. (2011). The GLEaMviz computational tool, a publicly available software to explore realistic epidemic spreading scenarios at the global scale. *BMC infectious diseases*, 11(1), 1-14.

The Impact of the Global Air Transport Network on the Spread of Covid-19 Pandemic

Abstract

Air transport is one of the global indispensable modes of transport. It contributes to making the world a small village, and through the air transport network people, goods and cultures are moved. This research deals with the other side of this role, which is the contribution of the global air transport network in the transmission and spreading of coronavirus disease 2019 (COVID-19).

The complex network of air transport was analyzed using social network analysis tools based on complex network theory (Gephi Software). A set of indicators for the network were calculated such as Community structure/Modularity, here, the epidemiological impact coefficient (EIC) was used as an experimental indicator to show the effect of network communities on some epidemiological conditions. Centrality index (degree, betweenness, Eigenvector Centrality) and Hub score were also calculated and converted to cumulative indicators by (Arc GIS 10.8 software).

There were statistical relationships that certainly have the role of the global air transport network in the epidemic spread; a strong correlation was found between the ranking of countries in these indicators and the number of infections with them. The analysis showed how China was the epicenter of the epidemic during January and February

2020, and then the hotspots of spread changed and multiplied later? In addition, how Europe and the United States represented the two hot spots of COVID-19 spread after February 2020?