

النمذجة الرياضية لانتشار وباء Covid-19 مع تأثير الحجر الصحي و التباعد الاجتماعي و تنفيذ المحاكاة باستخدام الحاسب

د. محمد خير عبدالله محمد

(قسم الميكاترونكس ، جامعة المنارة)

(البريد الإلكتروني: mohamad.kheir@manara.edu.sy)

المخلص

يعاني العالم من أزمة كبيرة بسبب انتشار وباء Covid-19 ، حيث هناك عشرات الملايين من الإصابات و ملايين الضحايا ، و لا تزال الأرقام في تصاعد مستمر ، كما تسبب الإغلاق الجزئي و الكلي بأزمات اقتصادية حادة في الكثير من دول العالم . إن النمذجة الرياضية و المحاكاة الحاسوبية واحدة من أهم أدوات مواجهة الوباء ، و التي اتضحت الحاجة الكبيرة لها في هذه المحنة العالمية لقدرتها على إعطاء تقديرات مهمة حول التنبؤ بانتشار الوباء ، و بالتالي رسم الخطط اللازمة لمواجهته . في هذا البحث تم تطوير نموذج رياضي لانتشار وباء Covid-19 في منطقة افتراضية و ذلك بالاستفادة من نموذج S-I-R الخاص بالتنبؤ بانتشار الأوبئة ، حيث تم الوصول إلى نموذج رياضي لحساب تغير عدد المصابين بالوباء يأخذ بعين الاعتبار نسبة و سرعة الحجر الصحي المطبق على المصابين بالمرض ، و هي صيغة رياضية تفاضلية لا خطية ، تم حلها بطريقة عددية مبرمجة باستخدام Matlab/Simulink ، ثم تم إجراء عمليات محاكاة حاسوبية لمعرفة تأثير بعض المتغيرات الهامة في النموذج الرياضي على سلوك انتشار الوباء ، و هو ما يساعد على رسم استراتيجيات مسبقة استعداداً لمواجهته ، و كبح انتشاره ، و تجنب الخسائر الناجمة عنه إلى أقل حد ممكن .

كلمات مفتاحية : Covid-19 ، النمذجة الرياضية ، المحاكاة الحاسوبية ، نموذج S-I-R ، طريقة عددية ، Matlab/Simulink

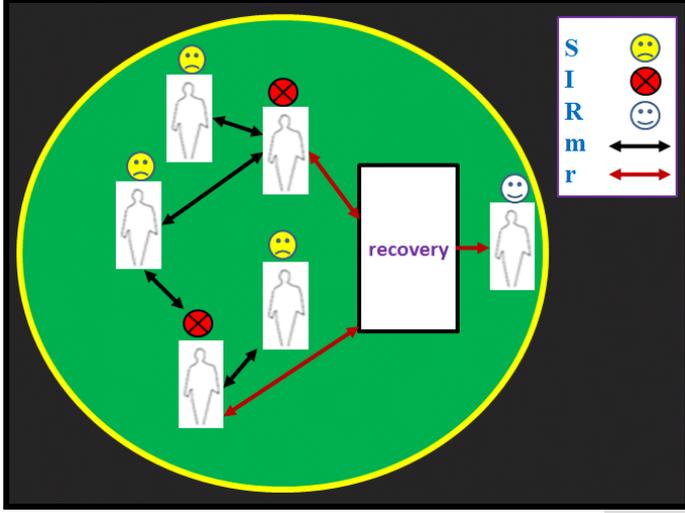
1. مقدمة

تزايدت مع تفشي الوباء يمكن للمرض أن يتسبب بالتهاب الرئة أو صعوبة التنفس مسبباً الوفاة في حالات أقل . و لأن النمذجة الرياضية هي منهجية تحويل المشكلة الواقعية إلى صياغة رياضية ، و ذلك عبر تسلسل خطوات منظمة كما هو موضح في الشكل 1 ، ليتم بعدها التعامل مع المشكلة رياضياً ، ثم بعد ذلك يجري تفسير النتائج على أرض الواقع لقياس مدى قدرتها على حل المشكلة المطروحة ، كان لفهم آلية انتشار الوباء بمساعدة النمذجة الرياضية دوراً حيوياً في وضع الخطط اللازمة للتصدي له .

في نهاية عام 2019 قامت الصين بإبلاغ منظمة الصحة العالمية بتفشي وباء في مدينة ووهان ، وهي سابع أكبر مدينة في الصين ، بسبب حالة التهاب رئوي حاد ، حيث تم تحديد نوع الفيروس على أنه فيروس كورونا جديد ، وهو يرتبط بفيروس متلازمة الشرق الأوسط التنفسية المعروفة باسم سارس ، وبعد تحديد تسلسل الجينات أعطي الاسم Covid-19 [1] . مرض Covid-19 هو مرض معد ، و ينتقل بسرعة ، و هو التحدي الأكبر الذي يواجهه العالم في التعامل مع كبح انتشاره . يسبب هذا المرض مجموعة من الأعراض ، أهمها الحمى والسعال وضيق التنفس ، و لكن في الحالات الشديدة التي

معرضون للإصابة-مصابون-متعافون (أي كانوا مرضى و تعافوا)

التفاعل بين هذه المجموعات موضح بالشكل 2 .



الشكل 2 . تمثيل توضيحي للتفاعل بين مكونات

نموذج S-I-R

هذا التفاعل يحكمه متغيران أساسيان يمثلان آلية التحول بين هذه المجموعات , و هما :

$m [1/time]$: معدل تحول المعرضين للإصابة إلى مصابين خلال فترة زمنية معينة .

$r [1/time]$: معدل تحول المصابين إلى متعافين خلال نفس الفترة الزمنية .

حيث :

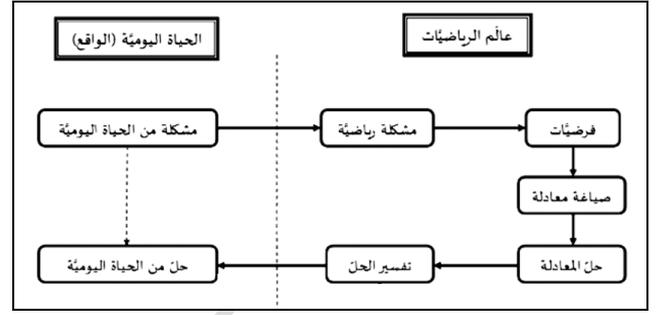
$I [individual]$: عدد المصابين خلال نفس الفترة الزمنية .

$S [individual]$: عدد المعرضين للإصابة خلال نفس الفترة الزمنية .

$R [individual]$: عدد المتعافين خلال نفس الفترة الزمنية .

إن معدل تحول المعرضين للإصابة إلى مصابين m خلال فترة زمنية معينة يتوقف على :

a : احتمال اتصال الأشخاص في بؤرة المرض مع بعضهم في فترة زمنية معينة , أي النسبة المئوية لمتوسط الوقت الذي



الشكل 1 . خطوات النمذجة الرياضية

تعود أولى المحاولات لتصميم النماذج الرياضية للأوبئة إلى عام 1927 من قبل Kermack و McKendrick . أغلب النماذج الرياضية للأوبئة تستند إلى المعادلات التفاضلية العادية ، و هي نظم قطعية (حتمية) ، لكن من الممكن إدخال عنصر الاحتمالية إلى تلك النماذج و جعلها نظماً احتمالية ، و هي بالمناسبة أكثر واقعية ، و لكن أكثر تعقيداً و أقل مرونة في التحليل و التنبؤ .

تستخدم نماذج الأوبئة في التنبؤ بكيفية انتشار الوباء ، مثل عدد الأشخاص المصابين و فترة الوباء ، و هي تتيح فهم الحالات المختلفة التي تؤثر على الوباء و الإجراءات الأكثر فعالية للحد من انتشاره .

II. إدخال نسبة و سرعة الحجر الصحي على

نموذج S-I-R

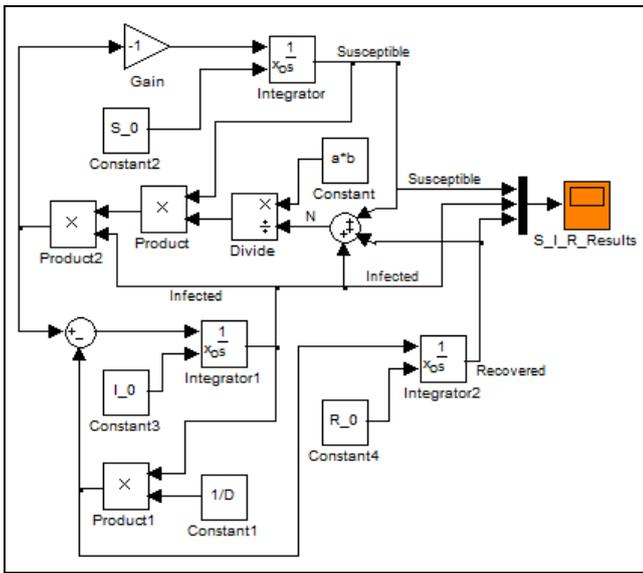
في النمذجة الرياضية للأوبئة يتم تقسيم العينة السكانية المدروسة إلى عدة عينات فرعية ، يمتلك الأشخاص في كل عينة فرعية خصائص متشابهة .

في هذا النموذج يتم التعامل مع العينة السكانية التي يظهر فيها الوباء كما لو أنها مكونة من اجتماع ثلاث مجموعات بشرية تتفاعل باستمرار مع بعضها ، و يسمى النموذج اختصاراً بالأحرف الأولى لثلاث كلمات تمثل مسميات تلك المجموعات ، هي :

Susceptible –Infectious –Recovered

أي على التوالي:

و هو الشكل العام لنموذج S-I-R [2] و هو عبارة عن جملة ثلاث معادلات تفاضلية عادية لا خطية ، لا تملك حل تحليلي نهائي . يمكن حل هذه المعادلات بالطرق العددية باستخدام Simulink كما هو موضح في الشكل 3. و هو أداة محاكاة حاسوبية متقدمة ضمن برمجية Matlab . تستطيع هذه الأداة تحويل أي ظاهرة ديناميكية إلى لغة مخططات صندوقية Block Diagrams بالاعتماد على النموذج الرياضي لتلك الظاهرة .



الشكل 3 . مخطط صندوقي Block Diagram باستخدام Simulink لنموذج S-I-R

إذا رمزنا لنسبة عدد الوفيات من إجمالي المصابين في كل لحظة بالرمز F و التي يمكن الحصول عليها من استقصاء البيانات حول تفشي الوباء في العالم ، و رمزنا لنسبة الحجر الصحي بالرمز FF أي نسبة عدد المصابين الذين يخضعون للحجر الصحي إلى إجمالي عدد المصابين في كل لحظة ، هذا يعني أن أولئك المصابين غير الخاضعين للحجر الصحي سيخرجون من وضعية مصاب بشكل لحظي على شكل قسمين وفق العلاقة التالية :

$$(1 - FF)((1 - F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d})$$

يقضيه الشخص و هو في حالة اتصال مع آخرين خلال فترة زمنية معينة .

n : العدد الوسطي للأشخاص الذي يمكن أن يحتك بهم الشخص خلال نفس الفترة الزمنية .

$\frac{I}{N}$: احتمال أن يكون الاتصال مع أشخاص مصابين ، أي نسبة عدد المصابين إلى العدد الإجمالي للعينة السكانية في بؤرة المرض N ، حيث أن: $N = S + I + R$ ، أي العدد الإجمالي لكل من المعرضين للإصابة و المصابين و المتعافين .

b : احتمال انتقال المرض عند اتصال مريض مع شخص آخر غير مريض، أي النسبة المئوية لحالات الإصابة من كل مئة حالة اتصال بين مريض و غير مريض . أما معدل تحول المصابين إلى متعافين τ يساوي مقلوب الفترة الزمنية للمرض D .

بناءً على ذلك ، يمكن الاستنتاج بأن تغير عدد المعرضين للإصابة خلال فترة زمنية معينة يعطى رياضياً بالعلاقة :

$$\frac{dS}{dt} = -a.n.b. \frac{I}{N} .S$$

و تغير عدد المصابين أصبح يعطى رياضياً بالعلاقة:

$$\frac{dI}{dt} = a.n.b. \frac{I}{N} .S - \frac{I}{D}$$

و تغير عدد المتعافين أصبح يعطى رياضياً بالعلاقة:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{I}{D}$$

حيث:

$\frac{dS}{dt}$ [individual/time] : التغير في عدد المعرضين للإصابة خلال فترة زمنية معينة .

$\frac{dI}{dt}$ [individual/time] : التغير في عدد المصابين خلال نفس الفترة الزمنية .

$\frac{dR}{dt}$ [individual/time] : التغير في عدد المتعافين خلال نفس الفترة الزمنية .

$$FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} \right)$$

و قسم يتمثل للشفاء بشكل لحظي من غير الخاضعين للحجر الصحي ، أي :

$$(1-FF) \cdot (1-F) \cdot \frac{I}{D}$$

هذا يعني أن تغير عدد المتعافين (الذين يتمثلون للشفاء) يعطى رياضياً بالعلاقة :

$$\frac{dR}{dt} = FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} \right) + (1-FF) \cdot (1-F) \cdot \frac{I}{D}$$

ذات الآلية يمكن استخدامها لمعرفة عدد الضحايا وفق هذا النموذج ، حيث أن حالات الوفاة تنقسم إلى قسمين :

قسم لا يتمثل للشفاء بشكل لحظي من الخاضعين للحجر الصحي ، أي :

$$FF \cdot \frac{1}{D_f} \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

و قسم لا يتمثل للشفاء بشكل لحظي من غير الخاضعين للحجر الصحي ، أي :

$$(1-FF) \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

هذا يعني أن تغير عدد حالات الوفاة يعطى رياضياً بالعلاقة :

$$\frac{dD_e}{dt} = FF \cdot \frac{1}{D_f} \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right) + (1-FF) \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

حيث :

D_e : عدد الوفيات بالمرض .

بالاعتماد على التحليل السابق يمكن صياغة النموذج الرياضي التالي الواصف لنموذج S-I-R مع الأخذ بعين الاعتبار كل من نسبة و سرعة الحجر الصحي :

$$\frac{dS}{dt} = -a \cdot n \cdot b \cdot \frac{I}{N} \cdot S$$

$$\frac{dI}{dt} = a \cdot n \cdot b \cdot \frac{I}{N} \cdot S - (1-FF) \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d} \right) - FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

$$\frac{dR}{dt} = FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} \right) + (1-FF) \cdot (1-F) \cdot \frac{I}{D}$$

$$\frac{dD_e}{dt} = FF \cdot \frac{1}{D_f} \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right) + (1-FF) \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

حيث أن قسماً منهم يتمثل للشفاء ، و سيدخل في عداد المتعافين بشكل لحظي ، و هو ما يمثله الحد :

$$(1-FF) \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} \right)$$

و قسم لا يتمثل للشفاء ، و الذي سيدخل في عداد الضحايا بشكل لحظي ، و يخرج من العينة السكانية ، و هو ما يمثله الحد :

$$(1-FF) \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

حيث :

D_d : الفترة الوسطية التي يقضيها المصاب في هذا المرض قبل الوفاة (هذا ينطبق فقط على تلك النسبة من حالات الوفاة) .

أما المصابون الخاضعون للحجر الصحي فسيخرجون من وضعية مصاب بشكل لحظي على شكل قسمين وفق العلاقة التالية :

$$FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

حيث أن قسماً منهم يتمثل للشفاء ، و سيدخل في عداد المتعافين بشكل لحظي ، و هو ما يمثله الحد :

$$FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} \right)$$

و قسم لا يتمثل للشفاء ، و الذي سيدخل في عداد الضحايا بشكل لحظي ، و يخرج من العينة السكانية ، و هو ما يمثله الحد :

$$FF \cdot \frac{1}{D_f} \left(F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

حيث :

D_f : الفترة الوسطية المستغرقة لتطبيق الحجر الصحي .

هذا يعني أن تغير عدد المصابين أصبح يعطى رياضياً بالعلاقة :

$$\frac{dI}{dt} = a \cdot n \cdot b \cdot \frac{I}{N} \cdot S - (1-FF) \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d} \right) - FF \cdot \frac{1}{D_f} \left((1-F) \cdot \frac{I}{D} + F \cdot \frac{I}{D_d} \right)$$

أما الذين يتمثلون للشفاء فهم بذات الآلية عبارة عن قسمين :

قسم يتمثل للشفاء بشكل لحظي من الخاضعين للحجر الصحي ، أي :

المحاكاة ، حيث يمثل المحور الأفقي الزمن بالأيام ، و يمثل المحور العمودي عدد الأشخاص .

آلية التفاعل بين المعادلات السابقة موضحة في الشكل 4 .

III. نتائج المحاكاة

تم تطبيق المحاكاة على عينة سكانية افتراضية مكونة من 1000000 شخص تمثل بؤرة المرض المكتشف ، مع القيم التالية :
 $I_0=1$ أي عدد الإصابات الأولى التي تم اكتشافها عند بدء تطبيق المحاكاة .

$b=0.5$ حيث ينتقل فيروس Covid-19 بمعدل مرتفع ، و هي قيمة لا تزال قيد الاستقصاء الطبي .

$D=14$ أي بفرض أن فترة المرض تستمر وسطياً حوالي 14 يوم ، علماً أن الاستقصاءات الطبية لا تزال تتحرى بدقة فترة المرض الوسطية .

$F=0.1$ أي أن نسبة الوفاة بالمرض هي 0.1 من مجموع من يصاب به ، علماً أن البيانات الواردة حول العالم توضح تفاوت هذه القيمة بين منطقة و أخرى .

$Dd=20$ أي يقضي من يموت بالمرض حوالي 20 يوماً وسطياً قبل الوفاة ، علماً أن الاستقصاءات الطبية لا تزال تتحرى بدقة فترة المرض قبل الوفاة لتلك الحالات التي تنتهي بالوفاة .

فيما يلي نتائج تطبيق المحاكاة لمعرفة تأثير بعض العوامل المهمة في النموذج الرياضي :

A. تأثير تقييد الحركة

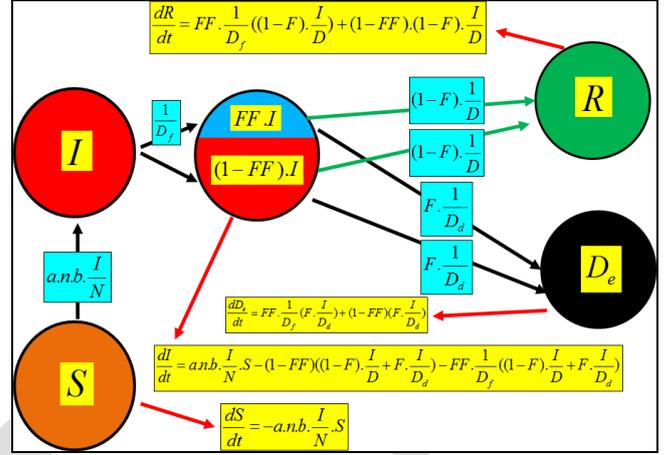
تم تطبيق المحاكاة على حالتين : الأولى $a=0.75$ ، و الثانية $a=0.15$

علماً أنه في الحالتين لدينا :

$n=15$ أي أن الشخص الواحد في العينة السكانية يحتك وسطياً بحوالي 15 شخص خلال يوم كامل .

$FF=0$ أي لا وجود مبدئياً لإجراءات حجر صحي على المصابين .

يظهر الشكل 5 تغير عدد المصابين في الحالتين .



الشكل 4 . مخطط توضيح لنموذج S-I-R المعدل بعد إدخال تأثير الحجر الصحي

النموذج الناتج عبارة عن جملة أربع معادلات تفاضلية عادية لا خطية يمكن حلها بالطرق العددية ، حيث يمكن استخدام الحاسب للوصول إلى الحل و تحليل نتائج المحاكاة .

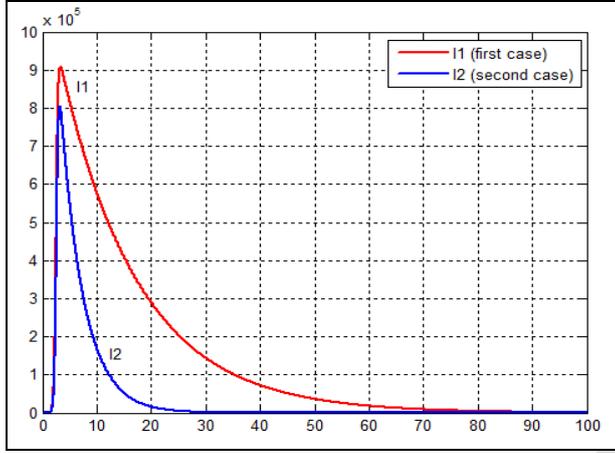
تم استخدام برنامج Matlab لصياغة الطريقة العددية المناسبة لحل هذه المعادلات ، على الشكل التالي :

تم تصميم مصفوفة لكل معادلة من المعادلات الأربع ، تحوي كل منها عمودان ، العمود الأول يمثل الطول اللحظية للمعادلة ، و العمود الثاني يمثل اللحظة الزمنية المقابلة لكل حل ، حيث تم التدرج من اللحظة الصفرية حتى زمن محاكاة t_{sim} يحدده المستخدم و بخطوة زمنية تبلغ 0.01 يوم ، و في كل حلقة برمجة باستخدام حلقة **for** يتم حل المعادلات الأربع ضمن لحظة زمنية صغيرة ، ليتم إضافة حل المعادلة اللحظي كل مرة إلى مجموع الحلول اللحظية السابقة .

ينتج في النهاية أربع مصفوفات ، تمثل أعمدها الأولى حلول المعادلات السابقة خلال كامل زمن المحاكاة ، بينما تمثل أعمدها الثانية اللحظات الزمنية المقابلة لتلك الحلول .

يرسم العلاقة بين عمودي المصفوفة الممثلة لعدد المصابين نحصل على الرسم البياني لتغيرات عدد المصابين خلال زمن

من الواضح أن العدد الأعظمي للمصابين انخفض من 900000 تقريباً في الحالة الأولى إلى 800000 تقريباً في الحالة الثانية .



الشكل 6 . تأثير نسبة الحجر الصحي في نموذج S-I-R

و هذا يعود إلى تقليل احتمال نقل العدوى من خلال تحديد عدد من المصابين عن عملية الاحتكاك اليومي في الوسط السكاني لبؤرة المرض من خلال تطبيق الحجر الصحي عليهم ، و هو ما سيقلل عدد المصابين مع الوقت .

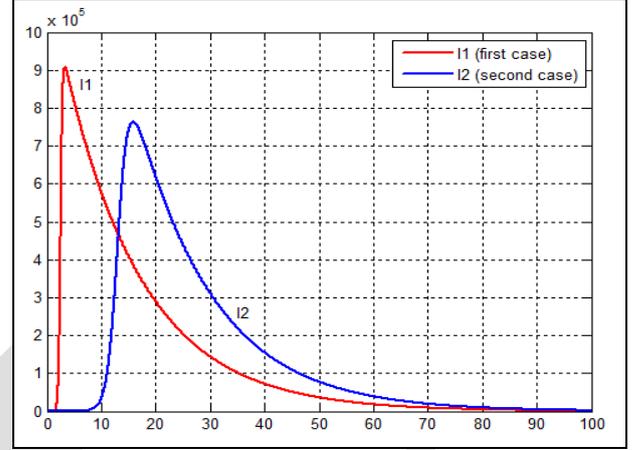
C. تأثير سرعة تطبيق الحجر الصحي

تم تطبيق المحاكاة على حالتين : الأولى $Df=0.3$ ، و الثانية $Df=0.1$ ، دون تغيير على باقي المتغيرات . يظهر الشكل 7 نتائج المحاكاة في الحالتين .

من الواضح أن العدد الأعظمي للمصابين انخفض من 850000 تقريباً في الحالة الأولى إلى 700000 تقريباً في الحالة الثانية .

و هذا يعود أيضاً إلى تقليل احتمال نقل العدوى ، من خلال تحديد عدد من المصابين عن عملية الاحتكاك اليومي في الوسط السكاني لبؤرة المرض ، من خلال تطبيق الحجر الصحي عليهم بسرعة بعد ثبوت إصابتهم بالفيروس ، و ذلك قبل أن تزداد فرصة احتكاكهم مع آخرين .

يمثل المحور الأفقي الزمن بالأيام ، و يمثل المحور العمودي عدد الأشخاص .



الشكل 5 . تأثير تقييد الحركة في نموذج S-I-R

من الواضح أن العدد الأعظمي للمصابين انخفض من 900000 تقريباً في الحالة الأولى إلى 760000 تقريباً في الحالة الثانية .

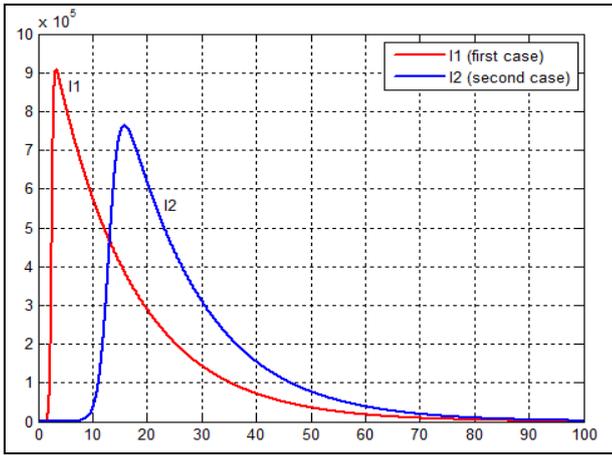
كما تباطأ انتشار المرض ، حيث أن الوصول إلى ذروة المنحني في الحالة الثانية يستغرق وقتاً أطول من الوصول إلى ذروة المنحني في الحالة الأولى .

و هذا يعود إلى تقليل الاحتكاك اليومي بين السكان من خلال تقييد الحركة في بؤرة المرض ، مما يقلل احتمال انتقال العدوى ، و بالتالي سيكون عدد المصابين أقل ، و سيكون انتشار الوباء بشكل أبطأ .

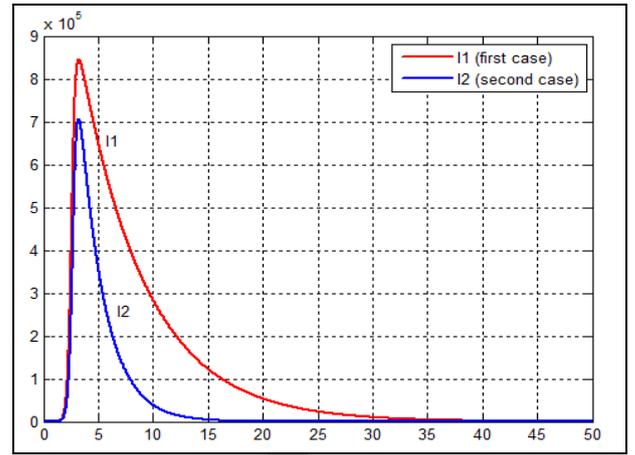
B. تأثير نسبة الحجر الصحي

تم تطبيق المحاكاة على حالتين : الأولى $FF=0$. و الثانية $FF=0.6$ ، $Df=0.2$ ، $a=0.75$ علماً أنه في الحالتين لدينا :

يظهر الشكل 6 نتائج المحاكاة في الحالتين .



الشكل 8 . تأثير التباعد الاجتماعي في نموذج S-I-R



الشكل 7. تأثير سرعة تطبيق الحجر الصحي في نموذج S-I-R

D. تأثير طرق أخرى في التباعد الاجتماعي

تم تطبيق المحاكاة على حالتين : الأولى $n=15$ ، و الثانية $n=3$

و المقصود هنا أنه في الحالة الأولى يلتقي الشخص يومياً بشكل وسطي بحوالي 15 شخصاً ، أي توجد كثافة في الاحتكاك و التجمعات ، حيث هناك 15 حالة اتصال قريب مع أشخاص آخرين ، أما في الحالة الثانية فيلتقي الشخص وسطياً بثلاثة أشخاص خلال كامل اليوم ، و قد يكون ذلك بسبب حالة تباعد اجتماعي طوعي ينفذه السكان في بؤرة المرض كإجراء احترازي منعاً لنقل العدوى .

يظهر الشكل 8 نتائج المحاكاة في الحالتين ، مع ملاحظة أنه لا توجد إجراءات حجر صحي في الحالتين .

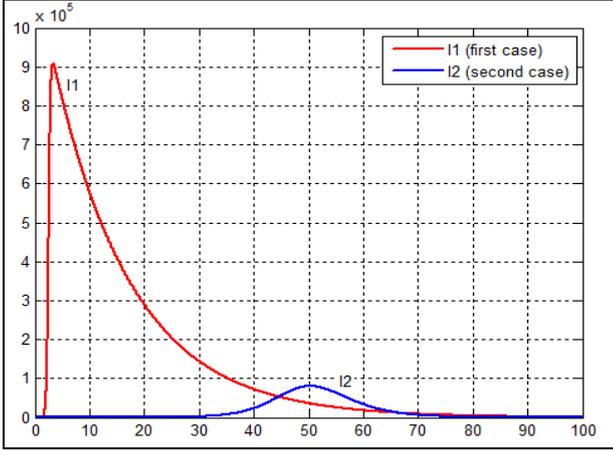
من الواضح أن العدد الأعظمي للمصابين انخفض من 900000 تقريباً في الحالة الأولى إلى 760000 تقريباً في الحالة الثانية .

و كذلك تباطأ انتشار المرض ، حيث أن بلوغ ذروة المنحني الثاني يستغرق وقتاً أطول من بلوغ ذروة المنحني الأول .

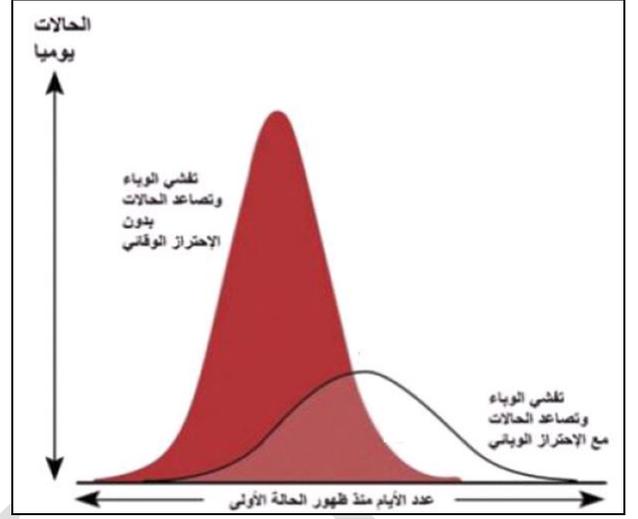
و هذا يعود إلى تقليل احتمال نقل العدوى من خلال تقليل عدد الأشخاص الذي يمكن الاحتكاك بهم ، و ذلك عن طريق منع التجمعات ، و الالتزام بمسافات آمنة تقلل من احتمال نقل العدوى ، و هو ما سيقلل عدد المصابين ، و سيساهم في إبطاء انتشار الوباء .

E. تسطیح منحني الإصابة بالوباء من خلال عدة إجراءات متزامنة

تسطیح منحني الإصابة بالوباء هو تطبيق إجراءات متزامنة تبطئ من انتشاره ، و تقلل الذروة العظمى لعدد المصابين ، كما هو موضح في الشكل 9 . أهمية ذلك تكمن إضافة إلى تقليل عدد المصابين ، و بالتالي عدد الضحايا ، في أن هذا الإجراء يمنع حصول حالة تفشي سريعة مرهقة لموارد السلطات المحلية في بؤرة المرض ، مثل حصول إصابات بأعداد كبيرة تفوق قدرة البنية الصحية في تلك البؤرة على تخديم و علاج هؤلاء المصابين ، و هو ما سيساعد على إبقاء الوضع تحت السيطرة ، لا سيما و أن هذه الإجراءات تسمح بإبطاء انتشار المرض ، مما سيتيح كسب المزيد من الوقت للاستعداد من حيث البنية الطبية و الخدمية ، و البحث عن دواء أو لقاح فعال ضد الوباء .



الشكل 10 . تأثير اتخاذ إجراءات متزامنة بغرض تسطيح منحنى الإصابات في نموذج S-I-R



الشكل 9 . تسطيح منحنى الإصابة بالوباء

F. بدائل تقييد الحركة

عند بدء انتشار الوباء حول العالم لم يكن من حل لكسر حلقة انتشاره سوى العزل و التزام الناس منازلهم ما أمكن , و لأجل ذلك اضطرت الكثير من دول العالم إلى فرض إغلاق جزئي أو كلي , و قد أدى ذلك مع مرور الوقت إلى أزمات اقتصادية في العالم بأسره .

مع بدء السماح تدريجياً بعودة العديد من القطاعات إلى العمل سواء في سوريا أو في بعض البلدان التي عانت من الوباء كان لا بد من اللجوء إلى النمذجة و المحاكاة الحاسوبية لتقييم جدوى تطبيق التباعد الآمن للناس في الشارع و وسائل النقل و أماكن العمل , لمعرفة فيما إذا كان سيعطي أثراً قريباً لأثر الحجر المنزلي , ثم تحديد الأثر المتوقع فيما إذا ترافق مع تطبيق حجر صحي على نسبة من المرضى , و هي نسبة يفترض أن تكون أكبر ما يمكن تبعاً لقدرة المؤسسات الصحية على تطبيق إجراءات الحجر الصحي في بؤرة المرض .

تم تطبيق المحاكاة على أربع حالات , حيث القيم في الحالة الأولى كما يلي :

$$n=25 , FF=0 , a=0.75$$

و القيم في الحالة الثانية كما يلي :

$$n=25 , FF=0 , a=0.1$$

و القيم في الحالة الثالثة كما يلي :

تم تطبيق المحاكاة على حالتين , حيث القيم في الحالة الأولى كما يلي :

$$n=15 , FF=0 , a=0.75$$

و القيم في الحالة الثانية كما يلي :

$$n=7 , Df=0.1 , FF=0.6 , a=0.2$$

أي تم اتخاذ سلسلة إجراءات متزامنة مثل تقييد حركة الناس , و رفع نسبة الحجر الصحي , و زيادة سرعة تطبيقه , و تحقيق تباعد اجتماعي في بؤرة المرض .

يظهر الشكل 10 نتائج المحاكاة في الحالتين .

من الواضح أن العدد الأعظمي للمصابين انخفض من 900000 تقريباً في الحالة الأولى إلى أقل من 80000 تقريباً في الحالة الثانية .

و كذلك تباطأ انتشار المرض بشكل كبير , حيث أن بلوغ المنحنى الثاني لذروته بات يستغرق وقتاً أطول بشكل واضح من بلوغ المنحنى الأول لذروته , و هو ما يسمى تسطيح منحنى الوباء , أي تخفيض الذروة المتوقعة للإصابة إلى قيمة أقل و خلال زمن أطول , و هو الفرق الواضح من خلال المحاكاة بين الحالة الأولى و الثانية .

1- تعطي النماذج الرياضية للأوبئة تقييمات أولية حول طبيعة

انتشار الوباء و تحديد المتغيرات المؤثرة عليه .

2- يمكن من خلال النماذج الرياضية و محاكاتها حاسوبياً

تحديد أثر كل متغير على سلوك انتشار الوباء من حيث

أعداد المصابين و سرعة الانتشار .

3- من خلال المحاكاة يتضح الدور المهم لتقييد الحركة و نسبة

الحجر الصحي و سرعة تطبيقه على تقليل عدد المصابين

و إبطاء انتشار الوباء ، علماً أن هذه النتائج تم الحصول

عليها من عينة سكانية افتراضية و بالتالي فإن قيمها هي

فقط استدلالية لاختبار قدرة النماذج المصممة على التعامل

مع هكذا مشكلات مهمة .

4- تساعد هذه النماذج على وضع استراتيجيات استباقية

لمواجهة الوباء من حيث الاستعداد الطبي في المؤسسات

الصحية ، و الاستعداد التنظيمي من حيث تخطيط عملية

ضبط الحركة لمنع انتشار الوباء .

5- تساعد هذه النماذج على تقييم الحل الأفضل من مجموعة

الحلول المتاحة التي توفرها المحاكاة ، و هذا يتعلق

بظروف بؤرة المرض و قدرة السلطات المحلية فيها على

الاستجابة في ضوء الخطط و الموارد المتاحة لديها .

6- إن مفهوم تسطيح منحنى الإصابة بالوباء يتضح جلياً من

خلال المحاكاة الحاسوبية ، و يمكن ضبط محددات هذه

العملية من حيث الذروة و زمن انتشار المرض بتغيير

مختلف البارامترات المهمة في النموذج الرياضي المصمم ،

و هو ما يساعد فعلياً على تقييم التدبير الأفضل الممكن

اتخاذ في بؤرة المرض لتحقيق عملية التسطيح فيما لو

تقرر تطبيق هذا الحل .

7- إذا كان التدهور الاقتصادي سيفرض على العالم بأسره

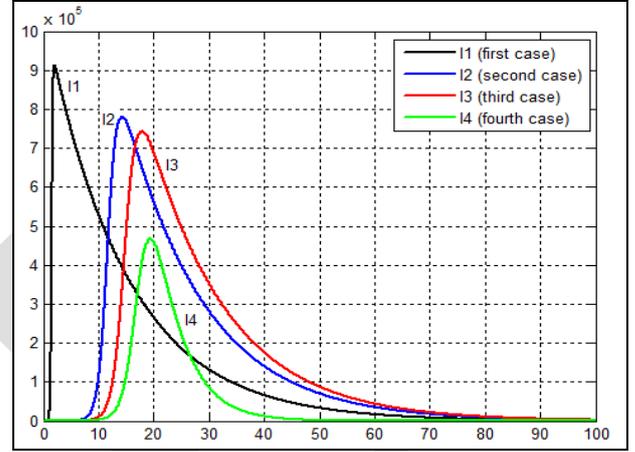
البحث عن حلول أخرى غير الحجر ، فإن هناك إجراءات

$$n=5 , FF=0 , a=0.4$$

و القيم في الحالة الرابعة كما يلي :

$$n=5 , Df=0.2 , FF=0.5 , a=0.4$$

نتائج المحاكاة موضحة في الشكل 11 .



الشكل 11 . تأثير اتخاذ إجراءات متزامنة بغرض تسطيح منحنى

الإصابات في نموذج S-I-R

نلاحظ أن التأثير المراد إحداثه بتخفيض عدد الإصابات و إبطاء انتشار الوباء (حيث أن الوقت اللازم لذروة الإصابات يصبح أطول) من خلال تقييد حركة الناس و تطبيق العزل و البقاء في المنازل يمكن إحداثه بذات المقدار تقريباً مع السماح للناس بالخروج ، لكن مع تباعد اجتماعي آمن في الشارع و أماكن العمل ، علماً أن المقصود بالاحتكاك القريب هو الاحتكاك الذي يسبب نقل المرض ، و هو تقديري ، و لا يزال قيد النقصي عالمياً .

و كما يظهر من الشكل بأن هذا الأثر الإيجابي على تخفيض عدد المصابين و إبطاء انتشار المرض يزداد مع تطبيق حجر صحي على المصابين .

IV. الاستنتاجات

من خلال النماذج الرياضية لانتشار الوباء و عمليات المحاكاة الحاسوبية يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية :

- Vol. 2014, No. 17.03. 2014, p. 1-7. ISSN: 1801-4399.
- [4]. Mohamad, M. (2014). Modelling indoor temperature by combining TRNSYS and MATLAB/SIMULINK, Vol. 2014, No. 26.05. 2014, p. 1-11. ISSN: 1801-4399.
- [5]. Mohamad, M. (2018). Modelling and control of Indoor Temperature using State Space and Transfer Function Models with Matlab/Simulink. Vol. 2018, No. 28.08. 2018, p. 1-10. ISSN: 1801- 4399.
- [6]. Mohamad, M. Mathematical Modeling Applications in Predicting the Spread of Epidemics (Covid 19). *Syrian Computer Society journal*, Vol. 2020, No. 152.
- [7]. Mohamad, M. Mathematical Modeling of the Spread of Covid 19 Epidemic with the Impact of Quarantine and Social Distancing and Simulation using Computer. *Manara University journal*, Vol. 2021, No. 1.
- [8]. Mohamad, M. Numerical Simulation of Prediction Models of Tumors. *Manara University journal*, Vol. 2021, No. 2.
- [9]. Mohamad, M. Simulation and Analysis of the Mathematical Model of Herd Immunity. *Manara University journal*, Vol. 2021, No. 3.
- [10]. Mohamad, M. Simulation and Analysis of the Mathematical Model of the Relationship between Predator and Prey in Biological Systems. *Manara University journal*, Vol. 2021, No. 4.
- [11]. Mohamad, M. Modeling and Simulation of Vehicles Motion with Control using MATLAB/SIMULINK. *Syrian Computer Society journal*, Vol. 2022, No. 161.

أخرى فعالة يمكن اللجوء إليها توضحها النمذجة و المحاكاة الحاسوبية .

8- بالإمكان تطوير النماذج السابقة بمساعدة تقنيات رياضية و حاسوبية ، و ذلك تبعاً لما يرد من بيانات حول الوباء ، و آلية انتشاره حول العالم .

المراجع:

- [1]. Lin Q, Zhao S, Gao D, et al. A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action. *Int J Infect Dis*. 2020;93:211-216. doi:10.1016/j.ijid.2020.02.058
- [2]. Siettos CI, Russo L. Mathematical modeling of infectious disease dynamics. *Virulence*. 2013; 4(4): 295-306.doi:10.4161/viru.24041

منشورات المؤلف:

- [1]. Mohamad, M. (2012). Developing of a Thermal Model for a Residential Room Using Simulink/ MATLAB. p. 157-160.
- [2]. Mohamad, M. (2012). Design a Simplified Model of HVAC System Within a Residential Building by Using MATLAB/ SIMULINK. *The International Building Performance Simulation Association* -p. 93-98.
- [3]. Mohamad, M. WEISMANOVÁ, J. (2014). Modelovanie vetracích systémov s konštantným prietokom vzduchu a systémov riadených skutočnou potrebou v programe MATLAB/ Simulink. TZB-