

Амсилаи SEIR-HCD

Дар ин амсила аҳоли ба 7 гуруҳ тақсим мешавад:

S - шахсони солим (аз забони англисӣ susceptible)

E – одамони давраи инкубатсионӣ (аз забони англисии exposed)

I – сироятшудагон (аз забони англисӣ infected)

R - солимгаштагон (аз забони англисӣ removed)

H – дар беморхона бистарӣ шудагон (аз забони англисӣ hospitalized)

C - онҳое, ки дар ҳолати вазнин қарор доранд ва пайваст кардани ИВЛ-ро талаб мекунад (аз забони англисӣ critical)

D – ғавтидагон (аз забони англисӣ death)

Интихоби вариантҳои моделҳои дар асоси SEIR тасодуфӣ нест, зеро бемории моделиронидашудаи COVID-19 давраи ниҳонии хеле тӯлонӣ (5-14 рӯз) дорад, ки дар давоми он дар интиқолдиҳандагон яъне дар одамони давраи инкубатсионии нишонаҳои ин беморӣ зоҳир намешаванд, балки сироят меёбанд.

Амсилаи SEIR-HCD-ро бо 7 муодилаҳои дифференсиалии зерин ифода кардан мумкин аст.

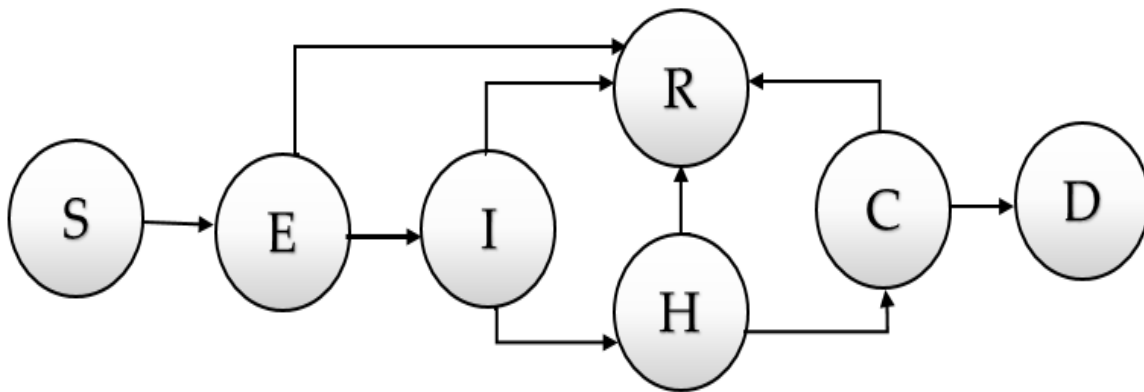
$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{5 - a(t - \tau)}{5} \left(\frac{\alpha_I S(t) I(t)}{N(t)} + \frac{\alpha_E S(t) E(t)}{N(t)} \right) + \gamma R(t) \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{5 - a(t - \tau)}{5} \left(\frac{\alpha_I S(t) I(t)}{N(t)} + \frac{\alpha_E S(t) E(t)}{N(t)} \right) - (\kappa + \rho) E(t) \\ \frac{dI}{dt} &= \kappa E(t) - (\beta + \nu) I(t) \\ \frac{dR}{dt} &= \beta I(t) + \rho E(t) - \gamma R(t) + \varepsilon_{HR} H(t) \\ \frac{dH}{dt} &= \nu I(t) + \varepsilon_{CH} C(t) - (\varepsilon_{HC} + \varepsilon_{HR}) H(t) \\ \frac{dC}{dt} &= \varepsilon_{HC} H(t) - (\varepsilon_{CH} + \mu) C(t) \\ \frac{dD}{dt} &= \mu C(t)\end{aligned}\tag{1}$$

Шартҳои аввала барои ин муодилаҳои диференсиалӣ чунин аст:

$$S(t_0) = S_0, E(t_0) = E_0, I(t_0) = I_0, R(t_0) = R_0, H(t_0) = H_0, C(t_0) = C_0, D(t_0) = D_0 \quad (2)$$

Дар ҳолати додашуда аҳоли дар лаҳзаи вақти t ба N баробар мешавад. $S(t) + E(t) + I(t) + R(t) + H(t) + C(t) + D(t) = \text{constant} = N$

Сохтори умумии амсилаи SEIR-HCD чунин мебошад:



Гузaronидани масъалаи баракс

Фарз мекунем, ки ба мо дар бораи 3 функсия дар муайяни вақт маълум аст.

$$E(t_k) = 0.42f_k, I(t_k) = 0.58f_k, \Delta D(t_k) = g_k, t_k \in (t_0, T), k = 1, \dots, K, \quad (3)$$

Дар ин ҷо f_k - шумораи ба беморӣ сироятёфтагон дар рузи k мебошад. g_k - шумораи фавтидагон дар рузи k мебошад.

$\Delta D(t_k) = D(t_k) - D(t_{k-1})$, K микдори рузҳо дар омор. Дар ин амсила мо фарз мекунем, ки 42%-и аз санҷиш гузатагон аломатҳо нишон намедиханд.

Тағйирёбандаҳои наъмалум: $q = (\alpha_E, \alpha_I, \kappa, \beta, \nu, \varepsilon_{CH}, \mu, E_0) \in \mathbf{R}^8$

Масъалаи баръакси (1)-(3) аз муайян кардани вектори параметрҳои q аз ченакҳои иловагӣ (3) иборат аст.

Масъалаи баръакс аз он иборат аст ки ба минимум майл кардани функсияи мақсад мебошад.

$$J(q) = \sum_{k=1}^K [(c_k^{\text{test}} E(t_k; q) - 0.42f_k)^2 + (c_k^{\text{test}} I(t_k; q) - 0.58f_k)^2 + (\Delta D(t_k; q) - g_k)^2] \quad (4)$$

Дар ин ҷо $c_k^{\text{test}} \in [0,1]$ таносуби шумораи санҷишҳо нисбат ба андозаи аҳолии солим дар рӯзи k .

Функционалӣ (4) бо чунин мушоҳида асос ёфтааст: ба ҳисоби миёна тақрибан 42% аз санҷиш гузаштагон аломатҳо нишон намедиханд (гурӯҳи $E(t)$), ки дар натиҷа шумораи умумии ҳолатҳои ошкоршуда ба 42% мутаносиб аст ҳамин тавр 58%-и аз санҷиш гузаштагон бо коэффисенти c_k^{test} симптоматикӣ ё аломатҳо нишон медиханд. Азбаски шахсоне, ки ба гурӯҳи $D(t)$ гузаштанд, бо мурури замон дар ин гуруҳ мемонанд, тағирот дар ин гурӯҳ ҳамчун

$D(t_k) - D(t_{k-1})$ ҳисоб карда мешавад.

Тавсифи параметрҳои модел:

Аломат	Шарҳ	Маҳдудиятҳо
$a(t)$	Индекси худидоракунӣ	(0, 5)
τ	Давраи инкубатсионӣ	2 рӯз
α_I	Параметри сироят байни аҳолии сироятёфта ва солим, ки бо сирояти вирус ва омилҳои иҷтимоӣ алоқаманданд	(0, 1)
α_E	Сатҳи сироят байни аҳолии бенишона ва солим ($\alpha_E \gg \alpha_I$)	(0, 1)
κ	Басомади пайдоиши аломатҳо дар ҳолатҳои кушод, ки ба гузариш аз гуруҳи бе нишона ба гуруҳи сироятёфта оварда мерасонад	(0, 1)
ρ	Сатҳи барқароркунии ҳолатҳои муайяншуда (ҳолатҳое, ки муайян карда шудаанд, вале бе ягон нишона барқарор мешаванд)	0

β	Сатҳи барқароркунии ҳолатҳои сироятёфта	(0, 1)
γ	Сатҳи аз нав сироятёбӣ. Ин параметр мутақобилаи сатҳи иммунитети вирус мебошад (0 – иммунитети устувор, 0,001 – эҳтимолияти сирояти дубора)	0
ν	Сатҳи ҳолатҳои дар беморхонаҳо бистарӣ шудани бемории вазнин	(0, 1)
ϵ_{HR}	Эҳтимоли барқароршавӣ дар шахсони вазнин	0.225
ϵ_{HC}	Ҷоизи ҳолатҳои бистарӣ дар беморхонаҳо, ки дар ҳолати вазнин қарор доранд ва пайвастшавии ИВЛ талаб мекунад	0.025
ϵ_{CH}	Эҳтимоли хомӯш шудани ИВЛ дарои беморон	(0, 1)
μ	Коэффиенти фавт бо сабаби COVID-19	(10^{-4} , 10^{-1})
E_0	Миқдори ибтидоии одамони давраи инкубатсинӣ	(1, 800)