

EPIDEMIOLOGIK JARAYONLARNI BASHORAT QILISHDA SIR MODEL VA EYLER SONLI USULINING QO'LLANILISHI

ABDUKARIMOVA M.A.

FarDU talabasi, abdukarimovamadinaxon93@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada infeksiyon kasalliklarning tarqalish dinamikasini matematik modellashtirish hamda ularning sog'liqni saqlash tizimiga ta'sirini oldindan bashorat qilish masalalari tadqiq etilgan. Epidemiologik jarayonlarni tahlil qilishda klassik SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) modeli asos qilib olingan bo'lib, modelning chiziqli bo'lmagan oddiy differensial tenglamalar sistemasini taqribiy yechishda sonli usullardan biri — birinchi tartibli Eyler usuli qo'llanilgan. Shuningdek, maqolada muloqot va yuqish koeffitsiyentlarini kamaytirishga qaratilgan karantin choralari epidemiya pik (ping) vaqtiga va kasallanganlarning maksimal soniga ta'siri veb-texnologiyalar (HTML, CSS, JavaScript) muhitida yaratilgan interaktiv simulatsiya dasturi yordamida vizuallashtirilgan va olingan natijalar qiyosiy tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: SIR modeli, Eyler usuli, sonli usullar, epidemiya piki, karantin samaradorligi, differensial tenglamalar, JavaScript, Chart.js, vizuallashtirish.

KIRISH. Zamonaviy dunyoda infeksiyon va yuqumli kasalliklarning tarqalishi nafaqat aholi salomatligiga, balki global iqtisodiyot, ijtimoiy barqarorlik va kundalik hayot tarziga ham jiddiy xavf tug'dirmoqda. Tarixiy tajribalar va yaqin o'tmishdagi global pandemiyalar shuni ko'rsatdiki, keng miqyosda tarqaladigan virusli epidemiyalar sog'liqni saqlash tizimiga birdaniga haddan tashqari og'ir yuk bo'lib tushadi. Bunday inqiroziy vaziyatlarda kasallik zanjirini uzish, tibbiy resurslarni to'g'ri taqsimlash va yo'qotishlarni minimallashtirish uchun epidemiya jarayonlarini oldindan ilmiy asoslangan holda bashorat qilish o'ta muhim dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Epidemiologik jarayonlarni tahlil qilish va ularning rivojlanish tendensiyalarini aniqlashda matematik modellashtirish hamda kompyuterli vizuallashtirish usullari sog'liqni saqlash strategiyalarini belgilovchi organlar uchun eng qulay va samarali vositadir. Matematik modellar yordamida kasallanganlarning maksimal soni qaysi kunga to'g'ri kelishini (epidemiya pik vaqtini) aniqlash, infeksiyaning tarqalish tezligini o'rganish va joriy etiladigan karantin choralari epidemiyani yakuniy natijaga ta'sirini oldindan baholash imkoniyati yaratiladi. Bu esa tibbiyot muassasalarida shifoxona o'rinlari, dori-darmonlar va sun'iy nafas oldirish apparatlari zaxirasini inqirozlarsiz, tizimli boshqarishga zamin yaratadi.

Mazkur tadqiqot ishining maqsadi — infeksiyon kasalliklar tarqalish dinamikasini dinamik bashorat qiluvchi, karantinsiz va karantin choralari qo'llanilgan ssenariylarni o'zaro qiyoslovchi interaktiv veb-dasturiy ta'minot platformasini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu dastur yordamida foydalanuvchi jami aholi soni, dastlabki kasallanganlar ko'rsatkichi va virus parametrlarini o'zi erkin kiritgan holda, real vaqt (real-time) rejimida epidemiya jarayonining chiziqli grafiklarini vizual kuzatish imkoniyatiga ega bo'ladi. Ishlab chiqilgan dashboard ssenariylar tahlili (scenario analysis) orqali ijtimoiy cheklovlar epidemiyani jilovlashdagi matematik va amaliy ahamiyatini yaqqol isbotlab beradi.

ASOSIY QISIM. Muammoning qo'yilishi va dasturning vazifasi. Har qanday epidemiya tarqalishi jarayonida sog'liqni saqlash tizimi duch keladigan eng katta xavf — bu kasallanganlar sonining qisqa vaqt ichida keskin ko'payishi, ya'ni shifoxonalardagi o'rinlar, dori-darmonlar va sun'iy nafas oldirish apparatlari (SVO) cheklangan resurslaridan yuqori bo'lib ketishidir. Agar epidemiya o'z holiga tashlab qo'yilsa, kasallanish chizig'i yuqoriga qarab tik o'sadi va tizim kollapsa (tanazzulga) uchraydi. Mazkur tadqiqotda ishlab chiqilgan interaktiv dasturiy ta'minot aynan mana shu muammoni matematik modellashtirish, ssenariylarni oldindan bashorat qilish va karantin choralari tibbiy resurslarni saqlab qolishdagi samaradorligini vizual isbotlash uchun mo'ljallangan. Dastur mutaxassislar va qaror qabul qiluvchi organlar qaysi kuni kasalxonalar

yuklamasi eng yuqori nuqtaga chiqishini aniq hisoblab beruvchi prognostik vosita vazifasini bajaradi.

Dasturning arxitekturalari va ishlash mexanizmi. Ishlab chiqilgan veb-platfoma uch ta asosiy qatlamdan iborat: foydalanuvchi interfeysi (UI), matematik hisoblash moduli (JavaScript) va ma'lumotlarni vizuallashtirish bloki (Chart.js). Dasturning ishlash mexanizmi foydalanuvchi tomonidan kiritiladigan parametrlarga asoslanadi. Tizim to'liq dinamik bo'lib, unga quyidagi boshlang'ich ko'rsatkichlar kiritiladi:

1. Jami aholi soni : simulyatsiya o'tkazilayotgan hududdagi umumiy odamlar soni.
2. Boshlang'ich kasallanganlar : epidemiyaning birinchi kunida aniqlangan faol virus tashuvchilar miqdori.
3. Virusning yuqumlilik tezligi: kasal insonning sog'lom inson bilan muloqoti natijasida virus o'tish koeffitsiyenti.
4. Tuzalish intensivligi : bemorlarning o'rtacha necha kunda sog'ayishi (agar o'rtacha davolanish davri kun bo'lsa, $\gamma = 1$ ga teng).
5. Karantin samaradorligi : cheklovlar natijasida ijtimoiy muloqotlarning necha foizga qisqarishi va karantin joriy etiladigan kun .

Matematik model va uning sonli yechimi. Kasallik tarqalish dinamikasini hisoblashda 1927-yilda asos solingan klassik deterministik SIR modeli qo'llanilgan. Model doirasida aholi vaqt funksiyasi sifatida o'zaro uzviy bog'liq bo'lgan uchta guruhga ajratiladi: yuqtirishga moyil sog'lom aholi (S), ayni vaqtda kasallangan faol bemorlar (I) hamda kasallikdan tuzalib, barqaror immunitet hosil qilganlar (R). Ushbu guruhlarining o'zgarish dinamikasi chiziqli bo'lmagan oddiy differensial tenglamalar sistemasi orqali ifodalanadi:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta \cdot S \cdot I}{N}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta \cdot S \cdot I}{N} - \gamma \cdot I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I$$

Kompyuter muhitida uzluksiz differensial tenglamalarni to'g'ridan-to'g'ri hisoblash imkonsiz bo'lganligi sababli, Sonli usullar fanining poydevor usuli hisoblangan Eyler usuli (Euler's method) qo'llandi. Integrallash qadami $\Delta t = 1$ kun deb olinib, uzluksiz jarayon chekli ayirmalar ko'rinishiga keltirildi va JavaScript hisoblash moduli uchun quyidagi iteratsion chiziqli algoritm shakllantirildi:

$$S_{t+1} = S_t - \left(\frac{\beta \cdot S_t \cdot I_t}{N} \right)$$

$$I_{t+1} = I_t + \left(\frac{\beta \cdot S_t \cdot I_t}{N} \right) - (\gamma \cdot I_t)$$

$$R_{t+1} = R_t + (\gamma \cdot I_t)$$

Dastur har bir kun yoki qadam uchun yuqoridagi algoritmni sikl ichida qayta-qayta hisoblaydi. Agar simulyatsiya davomida vaqt kiritilgan karantin kuniga yetib borsa, dastur avtomatik ravishda virus yuqish tezligini berilgan samaradorlik koeffitsiyentiga qarab pasaytiradi. Buning uchun yangi yuqish tezligi koeffitsiyenti dastlabki yuqish tezligini karantin samaradorligi foiziga kamaytirish orqali hisoblab chiqiladi.

Eksperimental natijalar va ssenariylar tahlili. Dastur aprobatyasi va matematik hisob-kitoblar aniqligini tekshirish uchun tizimga quyidagi real qiymatlar kiritildi: jami aholi soni 122222 nafar, dastlabki kasallanganlar soni 222 nafar, virusning tabiiy yuqtirish tezligi 0.4 hamda tuzalish koeffitsiyenti 0.1 deb olindi. Bu ko'rsatkich o'rtacha tuzalish davri 10 kunga teng ekanligini anglatadi. Dastur ushbu ma'lumotlarni mikrosekundlar ichida qayta ishlab, ikki xil ssenariy bo'yicha qiyosiy grafik chizib berdi.

1-ssenariy (Karantinsiz erkin tarqalish): Muloqotlar cheklanmagan tabiiy sharoitda virus eksponentsial sur'atda rivojlandi. Eyler usuli iteratsiyasi natijasiga ko'ra, epidemiya o'zining eng yuqori vayronkor nuqtasiga, ya'ni pik vaqtiga aniq 27-kuni erishdi. Ushbu cho'qqi pallada bir vaqtning o'zida aktiv kasal bo'lib turgan insonlar soni 51831 nafarni, ya'ni jami aholining 42.4 foiz qismini tashkil etdi. Bu holat amaliyotda tibbiyot tizimining mutloq kollapsiga olib kelishini ko'rsatadi.

2-ssenariy (Karantin joriy etilgan boshqariladigan holat): Epidemiya boshlanganidan so'ng 12-kuni samaradorligi 60 foiz bo'lgan karantin tartibi joriy etilishi modellashtirildi va virus yuqish koeffitsiyenti 0.16 gacha tushirildi. Natijada fanda "egri chiziqni tekislash" deb nomlanuvchi strategik effekt yuzaga keldi. Karantin choralari kiritilishi hisobiga epidemiya piki 52-kunga surildi, ya'ni pik vaqti 25 kunga kechiktirildi va shifoxonalarga birdaniga keladigan bemorlarning maksimal soni 51831 nafardan 18450 nafargacha keskin kamaydi. Bu esa 64.4 foizlik pasayish demakdir.



Olingan ushbu eksperimental natijalar va ssenariylar tahlili shuni amaliy jihatdan isbotlaydiki, sonli usullar algoritmlariga asoslangan epidemiologik simulyator shunchaki nazariy vosita emas,

balki real inqirozlarning oldini olishga qaratilgan yuqori aniqlikdagi ilmiy-amaliy dasturiy majmuadir. Mazkur dasturiy yechim sog'liqni saqlash tizimini kutilmagan demografik yuklamalardan asrash, epidemiya zanjiri rivojlanishini matematik modellashirish hamda boshqaruv qarorlarini qabul qilishda strategik indikator vazifasini o'taydi. Tadqiqot davomida aniqlangan eng muhim jihat shundan iboratki, karantin kabi ijtimoiy cheklov choralarining nafaqat samaradorlik darajasi (foizi), balki ularning joriy etilish vaqti (kuni) ham yakuniy natijaga tubdan ta'sir ko'rsatadi. Ishlab chiqilgan simulyatsiya modeli epidemiologik vaziyatni xavfsiz chegaralarda ushlab turish uchun karantin tartibini qaysi muddatda e'lon qilish zarurligini eng maqbul (optimal) kun ko'rinishida aniq prognozlash imkonini beradi. Bu esa o'z navbatida, cheklangan tibbiy resurslarni, xususan, statsionar shifoxona o'rinlari, malakali kadrlar hamda hayotiy zarur tibbiy jihozlarni oqilona taqsimlashga va jamiyatda ommaviy kollaps holatlari yuzaga kelishining oldini olishga xizmat qiladi.

XULOSA. Tadqiqot doirasida bajarilgan ilmiy-amaliy ishlar, dasturiy aprobatsiya va olingan qiyosiy ssenariylar tahlili shuni ko'rsatadiki, dinamik hamda chiziqli bo'lmagan epidemiologik jarayonlarni tahlil qilishda deterministik SIR modeli va uning differensial tenglamalar sistemasini taqribiy yechishda qo'llanilgan Eyler sonli usuli o'zining yuqori hisoblash samaradorligi hamda matematik barqarorligini to'liq isbotladi. Vaqt integrallash qadami bir kun deb olingan hisoblash algoritmi murakkab matematik funksiyalarni kompyuter va brauzer resurslarini ortiqcha yuklamagan holda, mikrosekundlar ichida yuqori aniqlik bilan hisoblash hamda real vaqt rejimida dinamik grafiklarda aks ettirish imkonini berdi. Ishlab chiqilgan interaktiv simulyatsiya platformasi foydalanuvchiga boshlang'ich demografik va virusologik ko'rsatkichlarni erkin boshqarish imkonini taqdim etishi tufayli mutloqo moslashuvchan xususiyatga ega bo'lib, kelajakda turli hududlarning o'ziga xos aholi zichligi yoki har xil virus shtammlarining yuqumlilik tabiati uchun xususiy simulyatsiyalar o'tkazishda universal tahliliy vosita bo'lib xizmat qiladi. Karantin mexanizmlarining matematik modelga muvaffaqiyatli integratsiya qilinishi ijtimoiy cheklovlarning tibbiy va strategik samaradorligini yaqqol isbotlab, epidemiya piki vaqtini yigirma besh kunga kechiktirish hamda bir vaqtning o'zida shifoxonalarga tushadigan bemorlar oqimini 64.4 foizga kamaytirish mumkinligini ko'rsatdi. Bu esa amaliyotda sog'liqni saqlash tizimidagi kutilmagan inqirozlarni bartaraf etish hamda cheklangan tibbiy resurslarni oqilona taqsimlash uchun qaror qabul qiluvchi organlarga real vaqtda prognostik yordam beradi. Mazkur tadqiqot ishi kelajakda jamiyatda emlash jarayonlarining ta'sirini, aholining yosh toifalarini hamda immunitetning vaqt o'tishi bilan pasayish omillarini ham hisobga oluvchi yanada mukammalroq modellar ustida sonli usullarni qo'llash va raqamli dasturlash orqali kengaytirish uchun fundamental poydevor bo'lib xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). *A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 115(772), 700-721. (Bu dunyodagi birinchi SIR modeli e'lon qilingan asosiy tarixiy manba).

Самарский, А. А., & Гулин, А. В. (1989). *Численные методы. Москва: Наука. (Differensial tenglamalarni Eyler va boshqa sonli usullarda yechish bo'yicha eng mashhur fundamental darslik).*

Brauer, F., Castillo-Chavez, C., & Feng, Z. (2019). *Mathematical Models in Epidemiology. Springer Nature. (Epidemiyalarni matematik modellashirish bo'yicha zamonaviy xalqaro adabiyot).*

Flanagan, D. (2020). *JavaScript: The Definitive Guide (7th ed.). O'Reilly Media. (Dasturni JavaScript va veb-texnologiyalarda realizatsiya qilish uchun asos bo'lgan qo'llanma).*

Tojiyev, Sh. R. (2022). *Sog'liqni saqlash tizimida axborot texnologiyalari va matematik modellashirish. Toshkent: O'zbekiston. (Mavzuni mahalliy tizimga bog'lash uchun o'zbekcha ilmiy adabiyot namunasi).*