



Hastalık kapabilecek kişiler (S) hasta bir kişi ile temas ettiklerinde hasta olabiliyorlar (E). Hasta olanlar *pa* olasılıkla asemptomatik (A, hastalık belirtisi göstermeyen) ve *1-pa* olasılıkla semptomatik (Sy, hastalık belirtisi gösteren) hasta oluyor. Asemptomatik hastalar ortalama PA gün sonra bulaşıcı olmaya başlıyor (AI) ve PAI gün sonra iyileşiyor (AR).

Semptom gösterecek hastalar (Sy) PS gün sonra bulaşıcı (SI) oluyor ve bulaşıcı olmaya başladıktan PSI gün sonra semptom göstermeye (SS) başlıyorlar. Semptom gösterenler *pr* olasılığıyla evde tedavi görüyorlar (SR). Evde tedavi görenler ilk semptomları gösterdikten PSC gün sonra karantinaya alınıyor veya evde izole ediliyor (SC) ve PCR gün sonra iyileşiyorlar.

Semptom göstermeye başlayan (SS) hastalar *1-pr* olasılıklar hastanede yatacak hastalar. Bunlar semptom göstermeye başladıktan PSH gün sonra hastaneye yatırılıyor (H). Hastaneye yatanlar *phr* olasılıkla serviste yatıyor (HR) ve PHR gün sonra taburcu ediliyor.

Hastaneye yatanlar *1-phr* olasılıkla yoğun bakım hastası olacak hastalar (HI). Bu hastalar PHI gün serviste yattıktan sonra yoğun bakıma alınıyor (IC). Yoğun bakımdaki bir hasta *pir* olasılıkla PIR gün sonra iyileşiyor ve taburcu oluyor veya *1-pir* olasılıkla PID gün sonra vefat ediyor.

Hastalık bulaşma süreci kişi düzeyinde modelleniyor. Her gün Şekil 1’de tanımlanan konumlardaki kişilerin önce yatay geçiş yapıp yapmayacağı belirleniyor. Örneğin SI konumundaki bir kişi *1/PSI* olasılıkla SS konumuna geçiş yapıyor. E, SS, H veya IC konumuna gelen kişiler de ilgili olasılıklar kullanılarak düşey yöndeki geçişi yapıyorlar. Örneğin SS konumuna gelenler *pr* olasılıkla SR, *1-pr* olasılıkla da SH konumuna geliyor. İyileşen hastaların (AR ve R) ve vefat edenlerin (D) konumu değişmiyor. Bir başka deyişle iyileşen hastaların simülasyon döneminde tekrar hastalanmadığı varsayılıyor.

Covid-19 hastalarının bulaşıcı olmaya başladıktan sonra iyileşene veya karantinaya alınana kadar hastalık bulaştırabileceğini, hastaneye yatan hastaların başkasına hastalık bulaştıramayacağını varsayıyoruz (AI, SI, SR ve SH konumundaki hastalar). Bu hastalar, Şekil 1’de kırmızı ile gösterilen dönemler boyunca (PAI, PSI, PSC ve PSH dönemleri) hastalığı başkalarına bulaştırabiliyor.

Modelde hastaların hangi tip hasta olacağını belirleyen 4 parametre var (*pa*, *pr*, *phr* ve *pir*). Bu parametreler yaşa göre değişiyor. Bir konumdan başka bir konuma geçiş süresini belirleyen parametre sayısı da 11 (PA, PAI, PS, PSI, PSC, PCR, PSH, PHR, PHI, PIR ve PID). Bu parametrelerin bir kısmı Covid-19’un yayılması dinamiğinde belirleyici öneme sahip (özellikle bulaşıcı dönemi belirleyen PAI, PSI, PSC ve PSH parametreleri). Bazı parametrelerin Covid-19 yayılma dinamiğine bir etkisi yok (örneğin PCR, PHR, PIR, PHI ve PID parametreleri). Bu parametreler Covid-19’un sağlık sistemine yükünü belirleme açısından önemliler.

Modelin ikinci modülü *hastalık bulaşma süreci*. Hastalık altı farklı mekanda bulaşıyor: ev, okul, iş yeri, zorunlu etkinlikler, serbest etkinlikler ve (şehirler arası) seyahat. Bir mekanda bir günde hasta olacak kişi sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanıyor:

$$\text{Denklem 1: } n_{jt} = \frac{\alpha_{jt} \sum_i \omega_{ijt} S_{ijt} \sum_i \omega_{ijt} I_{ijt}}{\sum_i \omega_{ijt}}$$

Bu formülde  $n_{jt}$  mekanında  $t$  gününde hasta olacak kişi sayısını (mekan hane ise hasta olma olasılığı),  $\omega_{ijt}$   $i$  kişinin  $j$  mekanında  $t$  gününde geçirdiği süreyi,  $S_{ijt}$  hasta olabilecek kişiyi ( $i$  kişisi  $j$  mekanında  $t$  gününde S konumunda ise  $S_{ijt} = 1$ , değilse 0),  $I_{ijt}$  hastalık bulaştırabilecek kişiyi ( $i$  kişisi  $j$  mekanında  $t$  gününde PAI, PSI, PSC veya PSH konumunda ise  $I_{ijt} = 1$ , değilse 0) ve  $\alpha_{jt}$  mekanının  $t$  günündeki bulaştırıcılık katsayısını gösteriyor.


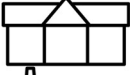



Her gün ve mekan için  $n$  hesaplandıktan sonra, bu mekandaki hastalık kapabilecek  $n$  kişi, bu mekanda geçirdikleri süre ile orantılı bir olasılıkla hasta oluyorlar (S'den E konumuna geçiyorlar).

Mekanların coğrafi kapsamları farklı. “Hane” mekanında  $j$  endeksi haneyi gösteriyor. Okul, zorunlu etkinlikler ve serbest etkinlikler coğrafi bölgeyi (İBBS Düzey 2), iş yeri aynı coğrafi bölge ve sektörde (NACE Rev.2, 2-hane) çalışanları ve şehirler arası seyahat tüm Türkiye’yi kapsıyor. (Modelde yurt dışı seyahatler göz önüne alınmadı.)

Modelde her kişinin günde 16 saat aktif olduğu varsayıldı. Zaman kullanımına göre insanlar 6 gruba ayrıldı: bebek (okula gitmeyen çocuk), okula giden çocuk, çalışmayan kadın, çalışmayan erkek, çalışan kadın ve çalışan erkek. Şekil 2’de bu 6 grubun hafta içi bir günde zaman kullanımı (yüzde olarak) görülüyor.<sup>2</sup> Hafta sonları ve sokağa çıkma yasağı uygulaması için farklı zaman kullanımı değerleri kullanıldı. Şehirler arası seyahat zamanı, iş yeri, zorunlu ve serbest etkinliklerde geçirilen toplam zamanın sabit bir yüzdesi olarak alındı.

Her mekanda hastalık, o mekanı kullananlar arasında yayılıyor. Örneğin “ev” mekanında hastalık sadece o evde yaşayanlar arasında yayılabilirken, “okul” mekanında hastalık öğrenciler ve okulda çalışanlar arasında ve “iş yeri” mekanında o sektör ve bölgede çalışanlar arasında yayılabilir. Zorunlu ve serbest zamanların kullanımı ise belirli sektörlerle ilişkili. Örneğin zorunlu zamanın bir kısmı alışveriş faaliyetini kapsadığı için zorunlu zaman mekanı perakende ticaret sektöründe çalışanları da kapsıyor. Benzer şekilde serbest zamanda konaklama, lokanta, eğlence gibi hizmetler tüketiliyor, bu nedenle serbest etkinlik mekanında hem vaktini bu mekanda geçirenler, hem de bu sektörlerde çalışanlar<sup>3</sup> yer alıyorlar ve bundan dolayı hastalık bu kişiler arasında yayılabilir.

Şekil 2. Mekâna göre zaman kullanımı (hafta içi günler, %)

	Çocuk		Çalışmayan		Çalışan	
	Beb	Okul	K	E	K	E
	80	40	65	55	40	30
	0	30	0	0	0	0
	0	0	0	0	30	45
	5	5	15	15	15	10
	15	25	20	30	15	15

2 Bu oranların belirlenmesinde TÜİK’in *Zaman Kullanımı Anketi* verileri göz önüne alındı.

3 Zorunlu ve serbest etkinliklerle ilgili sektörde çalışanların müşteriler ile ilişki düzeyi de göz önüne alınıyor. Müşteriler ile ilişki düzeyi, meslek bazında O\*Net verileri kullanılarak hesaplandı. O\*Net verileri için bkz. <https://www.onetonline.org/>

Modelin üçüncü modülünde alınan aşağıda belirtilen *tedbirler* modellendi:

- Okulların kapatılması
- 65+ yaş grubunun sokağa çıkma yasağı
- 20- yaş grubunun sokağa çıkma yasağı
- Seyahat kısıtlamaları
- Ülke genelinde sokağa çıkma yasağı
- Ekonomik faaliyetlerin durdurulması

Bu tedbirlerin Covid-19'un yayılmasına etkisi sadece zaman kullanımını üzerinden gerçekleşiyor. Örneğin okullar kapatıldığında öğrencilerin evde ve serbest etkinliklerde geçirdikleri zaman artıyor, Seyahat kısıtlaması da, kısıtlamanın uygulandığı illerde seyahat mekanının çok daha az kullanılmasına yol açıyor.

Bazı ekonomik faaliyetlerin durdurulması da benzer bir etkide bulunuyor. Örneğin lokanta hizmetleri durdurulduğunda, hem bu sektörlerde çalışanların iş yerinde geçirdiği süre çok azalıyor, hem de serbest zamanda lokanta kullanımını azalıyor. Böylece Covid-19'un hem ilgili sektörde çalışanlar arasında hem de bu hizmeti kullananlar arasında yayılması yavaşlatılmış oluyor. Tabii bu faaliyetlere daha az katılım olduğu zaman evde kalma süresi artıyor ve evde Covid-19 hastası varsa, evde hastalığın yayılma olasılığı artıyor.

Bu tedbirlere ek olarak sağlık sistemindeki gelişmeler de Covid-19'un yayılmasını etkiliyor. Sağlık sistemine ilişkin olarak iki önemli etki modellendi. İlk olarak, fiyasyon ve karantina uygulamaları ile Covid-19 semptomları konusunda daha bilgili olunması sonucu semptomların ortaya çıkmasından sonra (evde) izolasyon ve hastaneye başvuru süreleri (PSC ve PSH) kısalıyor. Bunun sonucu olarak hastaların Covid-19'u bulaştırma olasılığı azalıyor.

İkinci olarak, sağlık sisteminin Covid-19'a karşı daha etkili olması sonucu tedavinin daha başarılı olduğunu ve *pr*, *phr* ve *pir* parametre değerlerinin zamanla arttığını varsayıyoruz.

Son olarak, maske takılması, sosyal mesafe ve ellerin yıkanması gibi uygulamalarla bulaşıcılık katsayısının (Denklemlerde  $\alpha$  parametresi) zamanla düşmesi söz konusu.

Modelin son modülü *üretim ve istihdam* ilişkin. Bazı ekonomik faaliyetlerin kısıtlanması sonucu bu sektörlerin üretimi ve bu sektörde çalışanların geliri düşüyor. Bu düşüşler sonucu hem bu sektörler girdi sağlayan sektörlerin hem de tüketimin düşmesi sonucu tüketim malı üreten sektörlerin üretimi düşüyor. Bu etkiler bir bütün olarak değerlendirilip ekonomik faaliyetlerdeki kısıtlamaların sektörel bazda iş gücü talebinde ve dolayısıyla iş yerinde geçen zamanda ne kadar düşüşe yol açtığı üretim ve istihdam modülünde hesaplanıyor. Üretim ve istihdam hesaplarının nasıl yapıldığı konusunda daha önce *Sarkaç*'ta yayımlanan yazıda detaylı bilgi yer alıyor (bkz Taymaz 2020).

Simülasyon sonuçları açısından, modelin başlangıç değerleri ile parametre değerlerinin nasıl belirlendiği önemli. Modelin ilk gününü 200 hasta ile başlatıyoruz ve bu hastaları 20 yaşın

üzerindeki kişilere, 3 Nisan 2020'deki il bazında vaka dağılımına benzer şekilde rasgele dağıtıyoruz.<sup>4</sup>

Türkiye için yeterli veri olmadığı için parametre değerlerinin belirlenmesinde diğer ülkeler için yapılan çalışmaların sonuçları kullanıldı. Daha sonra parametre değerleri 10 Mart-31 Mayıs dönemi gerçekleşen günlük vaka, vefat ve yoğun bakım hasta sayıları kullanılarak kalibre edildi. Yukarıda belirtildiği gibi farklı parametre setlerinin benzer sonuçlar üretmesi mümkün. Bu nedenle simülasyon sonuçları değerlendirilirken, sonuçların parametre değerlerine bağlı olduğu unutulmamalı.

---

4 Simülasyon sonuçlarının (il dağılımını yansıtmak koşuluyla) başlangıç değeri hasta sayısına çok duyarlı olmadığını söyleyebiliriz. 3 Nisan'da il düzeyinde vaka sayıları için bkz. <https://www.karar.com/saglik-bakanligindan-corona-virus-turkiye-haritasi-iste-illere-gore-koronavirus-vefat-ve-vaka-sayisi-1557658>