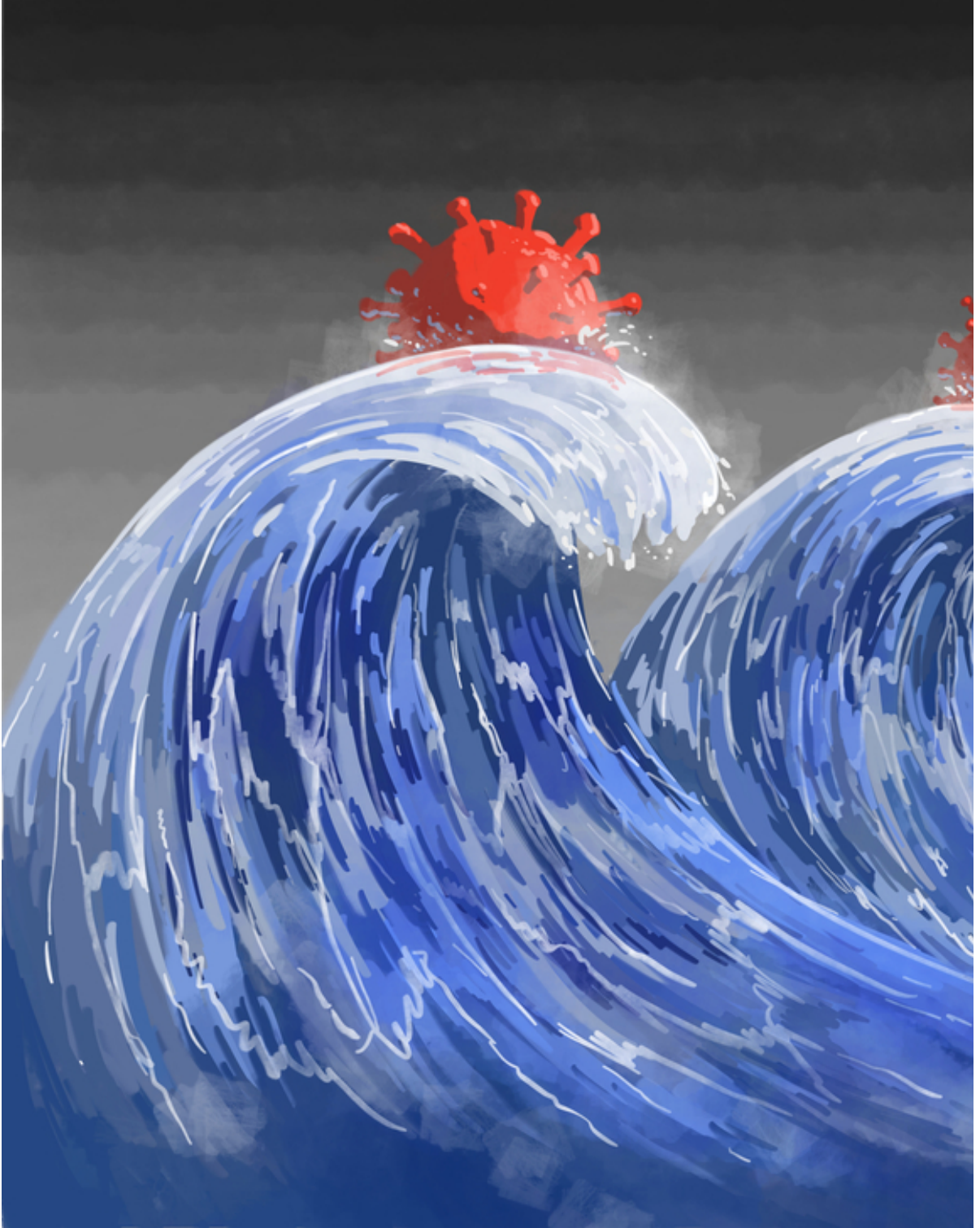


Türkiye'de COVID-19 salgını normalleşme süreci ve dalgalanmalar

Yazar **Özgür Ertunç** , **M. Pınar Mengüç** ve **Reyhan Diz-Küçükkaya** - 30 Mayıs 2020

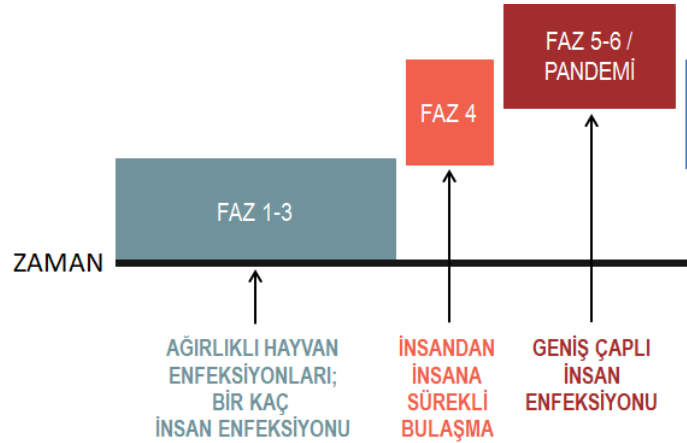


Shutterstock

Bu yazı araştırmanın ilk sonuçlarını aktarmaktadır. Araştırma henüz bili geçmemiştir. Türkiye'de normalleşme sürecinde Covid-19 salgınına karşı senaryolara göre ikinci bir salgın dalgasının ne zaman ve ne büyüklükte olduğu veya hastalığını bildirmediği için resmi kayıtlara geçmemiş hasta doğruluğu artacaktır. Kestirimler Türkiye için toplam sayılar üzerinden kalkması ile artacak bulaşıklık da beklenen ikinci dalgayı büyütebilir. Ayrıca da toplumun edindiği korunma alışkanlıkları tedbirlerin kalkmasında ve ölüm sayılarında 1 Haziran öncesinde sürmekte olan azalma 1 Haziran olabilir.

Günümüzün en önemli sorunu olan COVID-19 salgınının yayılımının önceden tahmin ülkelerin hem de organizasyonların hızlı ve etkin bir şekilde önlem alabilmesi için öngörüsü sayesinde, devlet kurumları, şirketler ve toplum salgına etkin ve hızlı bir şekilde sağlayabilir. İçinde bulunduğumuz COVID-19 salgınında da, toplumsal yaşamın sağlıklı ve etkin planlanması, salgın süresince lojistik ihtiyaçların giderilmesi, kamu ve özel kurumlarda yapıyor ve önlemler tartışılıyor (örneğin, [Imperial College COVID-19 Response Prevention-A.B.D.](#)).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) pandemi tanımına göre (Şekil 1) Mayıs sonu itibarıyla Brezilya, Amerika, Hindistan ve Rusya gibi ülkeler ise 6. fazda bulunuyor (bkz. [CC](#) salgın dünyada eş zamanlı yayılmıyor ve benzer şiddette yaşanmıyor.



Şekil 1 Pandemi fazlarının tanımı [1]

6. fazdan sonra erken normalleşme, yurtdışından gelen bulaştırıcı hastalar ve virüsün yayılması [3]. Dalgaların arasında aylar olabileceği biliniyor [1]. İçinde bulunduğumuz normalleşme süreci şu an için acil bir konu. Bu yazıda detaylarını anlatacağımız çalışma, normalleşme sürecini göstermek ve önlemleri tartışmak için yapıldı. Aynı zamanda, bu çalışma yaygın bulaşıcı hastalıkların yayılımını ve etkin bir yol ve yön stratejisi hazırlamaları için kurgulandı.

Aşağıda detaylarını görebileceğiniz analizde iki senaryo düşünülüyor. Birinci senaryo veya Ağustos başında girildiği takdirde olacaklar tahmin ediliyor. **Simülasyonlar oluşacağını fakat Haziran'ın normalleşme için hala erken olduğunu göstermektedir. Bugüne kadar farklı ülkelerde geciken önlemlerin bilançosunu az çok koyuyor.**

İkinci senaryoda ise Haziran'da normalleşme sürecine girildiği düşünülüyor. Normal seviyeye ulaştığında sert önlemlerin 1 hafta, 2 hafta ve 3 hafta gecikmesi **önlem almada 1 haftadan fazla gecikilirse, Mart ayında başlayan salgında gösteriyor.**

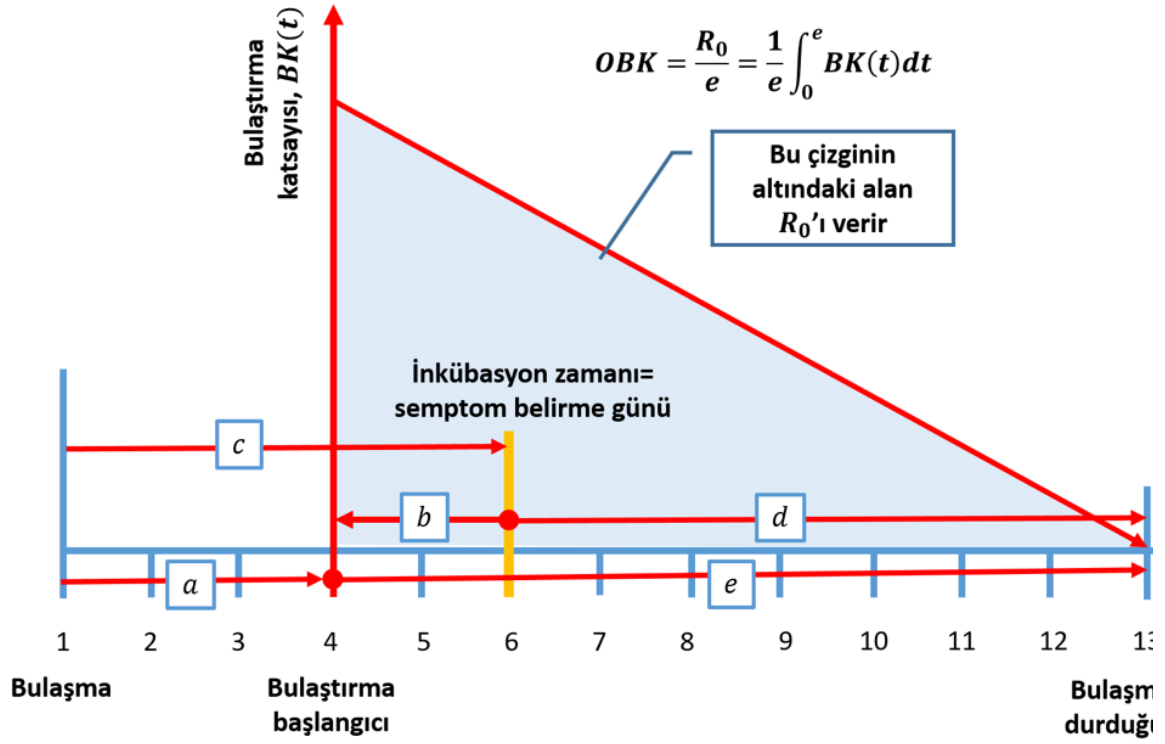
Yöntem

Türkiye'deki salgının şimdiki halini (şimdiki görü) ve içinde bulunduğumuz normalleşme sürecini tanımlayan **SEIR (Susceptible Exposed Infective Removed)** [4][5][6] türevi bir salgın modeli ama bulaştırıcı olmayan (**Exposed**), bulaştıran (**Infective**), iyileşen ve vefat eden izin veriyor.

Bu sisteme eklenen ek denklemlerle, hastaneye gelenler, toplam tespit edilenler, bulaştırıcı olarak hesaplanıyor. Şimdilik 9 türevsel denklemden oluşan modelde salgının gelişimini öngörebiliyoruz. Sağlık sisteminin tanı, karantina ve filyasyon potansiyeli.

Bu modelin doğru çalışabilmesi için, hastalığın seyrine dair bazı bilgiler gerekli ve Modelin ihtiyaç duyduğu, en önemli parametrelerin bir kısmı hastalığın seyrine dayalı olarak oluyorlar. Ancak ilk semptomların ortaya çıkması için, bundan sonra b -gün bir zaman aralığında inkübasyon (kuluçka) süresi c olarak tanımlanıyor [6]. Hasta b süresi ne kadar uzun hastalığı yayabiliyor. Zaten bu salgının bu kadar yayılmasındaki en önemli etkenle gün kadar bulaştırıcı olmaya devam ediyor. Ancak zamanla bulaştırıcılığı azalıyor. bulaştırıcı oluyor.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan [7][8][9] belirlenen bu parametreler Şekil 2'de gösteriliyor. Sağlık sisteminin tanı ve tedavi protokollerine bağlı. Sağlık Bakanlığı'nın verilerinden elde edilen verilerden ortasından itibaren yaklaşık $2,5 \pm 0,8$ (%95 güven aralığı) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2 Bir hasta için, hastalığın seyri ile ilgili karakteristik zamanlar ve önerilen doğrusal bulaştırma katsayısı. Kullanılan değerler için değişik kaynaklar kullanılmıştır [8][9][10]. Simülasyonda kullandığımız bu değerler ort değerlerdir.

$BK(t)$, bulaşıcılığın devam ettiği e gün sonunda 0'a iniyor. $BK(t)$ burada görüldüğü olan kişinin bir günde ortalama kaç kişiye bulaştırdığını gösteren ortalama bulaştırma sürecinde sıkça duyduğumuz ve bir kişinin hastalığı boyunca ortalama kaç kişiye bulaştırdığını gösteren reproduction number- R_0) [10] ve e 'yi bilmemiz yeterli.

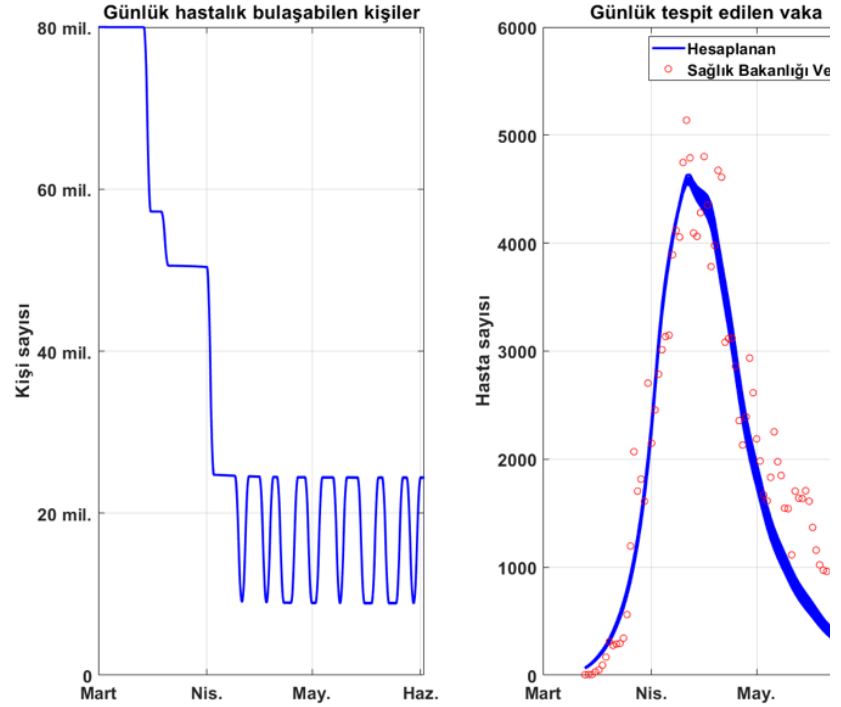
Bulaşmayı en fazla etkileyen faktörler ve simülasyon tabanlı yapılan optimizasyon

- Bulaşabilen kişi sayısı (yani henüz hasta olmamış ve hastalanabilecek bireyler- ortamlarının geçici kapatılması gibi önlemlerle ciddi bir şekilde azaltılabilir. Şu uygulanıyor. Simülasyonda da bu önlemleri dikkate alıyoruz.
- İkinci önemli faktör, salgının başındaki bulaştıran sayısı . Bu bilinmeyen parametre.
- Üçüncü faktör R_0 . Bu sayı bilinmeyen bir faktör olup, halkın bilgilendirilmesi ve kişi uygun yaşam biçimlerinin benimsenmesiyle azalacağı öngörülebilir. Diğer bir de $R_0(t)$ yerine bir (lojistik) fonksiyon kullanıyoruz, optimizasyon bu fonksiyondaki etkisi bu parametreler ile değil, bulaşabilen hasta sayısının (S) hesabında doğru düzenlemeler birbirinden ayrıldı. Böylelikle zamana bağlı olarak azalan $R_0(t)$ d $R_0(t)$ değerini daha da düşürüyor.
- Hastalığı geçirmekte olan fakat tespit edilmeyen hasta oranı (asemptomatik hasta faktör. Bu da simülasyonun tahmin ettiği son parametre.

Bilinmeyen parametrelerin bulunması için bir global optimizasyon algoritması olan Bakanlığının yayınladığı tespit edilen vaka ve vefat [sayılarına](#), simülasyonu [en do](#)

ile bir Pareto kümesi olarak tespit ettik. Pareto kümesi, aslında birçok olası çözüm

Şekil 3'te yukarıda anlattığımız modeli Sağlık Bakanlığı verileriyle karşılaştırıyoruz ve hesaplarda kullanılan bulaştırabilen birey sayısı grafiği var. Orta ve sağ panelde Pareto kümesindeki parametreler kullanılarak bulunan çözümler görülüyor.



Şekil 3 Oluşturulan model ile hesaplanan ve Sağlık Bakanlığı verilerinin karşılaştırılması. Önce Türkiye nüfusuna yakınen önlemlerle kademeli olarak düşürülmesiyle dalgalanmalar var. **Orta panel:** Günlük tespit edilen vaka sayısını gösteriyor. Orta ve sağ panellerde olası birçok çözüm görülüyor bu olası çözümler uyumlu.

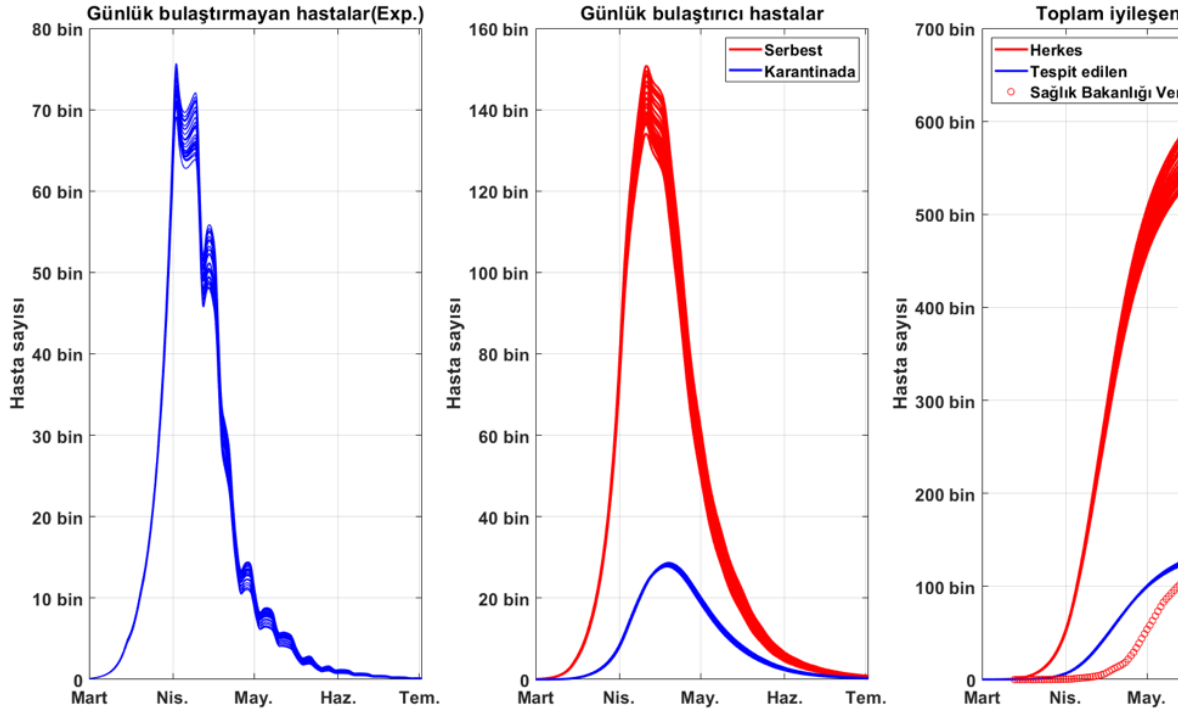
Oluşturulan modele göre bu çözümlerin herhangi biri olası bir çözüm. Orta ve sağ panelde karşılaştırdığımızda bazı çözümlerin vefat sayılarını daha iyi hesapladığını, bazı çözümlerin hesaplayabildiğini görüyoruz. Çözümlerde görülen dalgalanma, uygulanan sokağa

Bu çözümlerde sağlık sisteminin tespit ettiği her hastanın izole edildiği (karantina) Türkiye'de ağır olmayan hastaların evde kendi imkanları ile izole edilerek tedavisi

Şekil'4 de bu hesaplardan ortaya çıkan günlük bulaşmış ama bulaştırıcı olmayan bireylerin toplam iyileşmiş birey sayıları görülüyor. Hesaplanan iyileşmiş sayıları ve Sağlık Bakanlığı verileri (panel) tedavi süreçlerinin modelde kabul edilen 7-8 günden daha uzun olabileceği

Sağ panelde kırmızı ile gösterilen çözümlerdeki 550 bin ve 650 bin arasında değişen iyileşmiş birey sayısı olarak kabul ediyoruz. **Simülasyon, tespit edilmediği hastaların (olabilecek) hasta sayısını tespit edilen sayının 3,5-4,5 katı arasında olabileceği**

günlük tespit edilmeden dolaşan bulaştırıcı hasta sayısının (Şekil 4-orta panel), tepe noktasında 30 katına ulaşabileceği görülebilir. Bu asemptomatik hasta oranını buz-dağına benzetilir.



Şekil 4 Tüm panellerde modelle hesaplanmış çözümler var. Sol panel: Virüs bulaşmış olan ama bulaştırmayan sayısı (günlük). Orta panel: Virüsü bulaştıranların sayısı (günlük) Sağ panel: İyileşen hasta sayıları (toplam)

Dalgalar

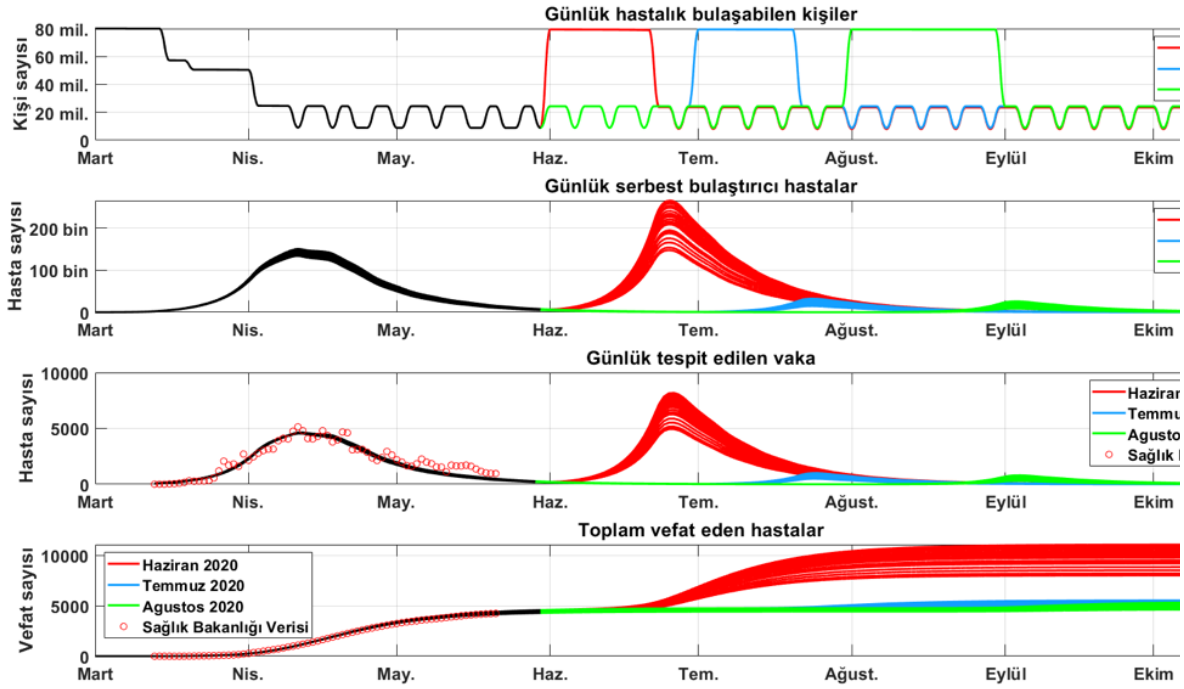
Yukarıda gösterdiğimiz simülasyonlar (Şekil 4), Haziran başında, salgının başladığı serbest bulaştırıcı olduğunu gösteriyor. Bu kişiler, Haziran başında gerçekleşecek olacaklar. Daha önce serbest bulaştırıcı sayısının salgının gidişatı için çok önemli olduğunu da o kadar büyük oluyor. Önlemler daha uzatılırsa serbest bulaştırıcı sayısı düşüyor.

İkinci dalga oluşumunu göstermek ve alınacak önlemlerin bu dalga üstüne etkisi da normalleşme sürecine girildiğinde bulaşabilen bireylerin sayısını (başıklık kazanıyoruz, ancak öğrenilmiş hijyen/mesafelenme alışkanlıkları ve okulların kapalı olması (OBK), Mart ayı başındakinin yarısı olduğunu varsayıyoruz.

Senaryo 1: Haziran, Temmuz ve Ağustos'ta normalleşmenin olası sonuçları

Normalleşme stratejilerinin Haziran, Temmuz veya Ağustos ayları başında gerçek normalleşmeden sonra tespit edilen vaka sayısı salgın başladıktan hemen sonraki **hafta gecikmeyle** Nisan ayındaki gibi sokağa çıkma yasağı uygulanacağı öngörü

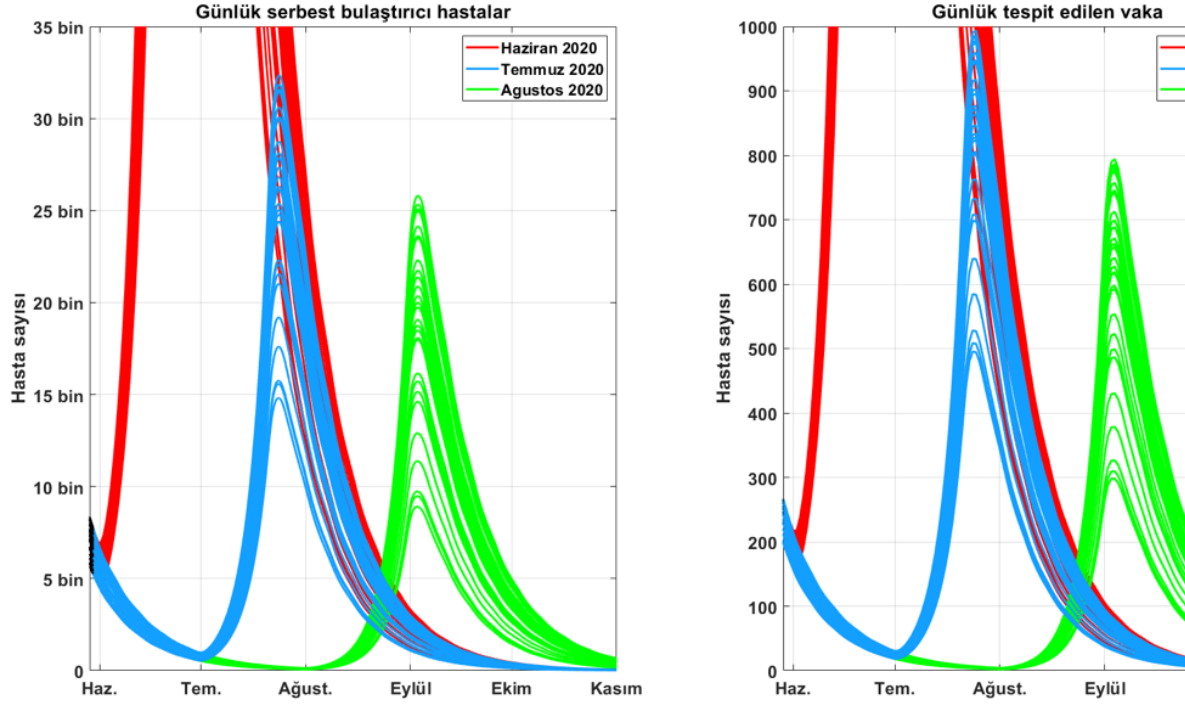
Şekil 5'te görüldüğü gibi Haziran başında gerçekleşecek bir normalleşme, Haziran bir dalgayı oluşturuyor. Devlet, bir hafta gecikme ile Nisan ayındaki gibi yasakları Eylül 2020'yi beklemek gerekeceği görülüyor (Şekil 7'de daha detaylı görülebilir) sayısı 8000-11000 aralığına sığıyor. Oluşan ikinci dalga, başka ülkeler için yapılar



Şekil 5 Haziran, Temmuz ve Ağustos başı başlatılacak normalleşmenin yıl boyunca etkisi. Haziran ve Temmuz sonra, Ağustos için 3 hafta sonra oluşan hasta sayısında artışa istinaden, bir hafta gecikmeyle sokağa çıkma y getirilmiş olduğu düşünülerek hesaplar yapılmıştır. Şimdiye kadar açıklanan veri kırmızı dairelerle gösteriliyor, Mayıs sonuna kadar yapılan (siyah) hesaplamaların verdiği güvenle oluşturuldu.

Eğer normalleşme sürecine Haziran başında değil, Temmuz veya Ağustos ayında devreye sokulursa, sırasıyla Eylül ve Ekim aylarında normalleşme yaşanabilir.

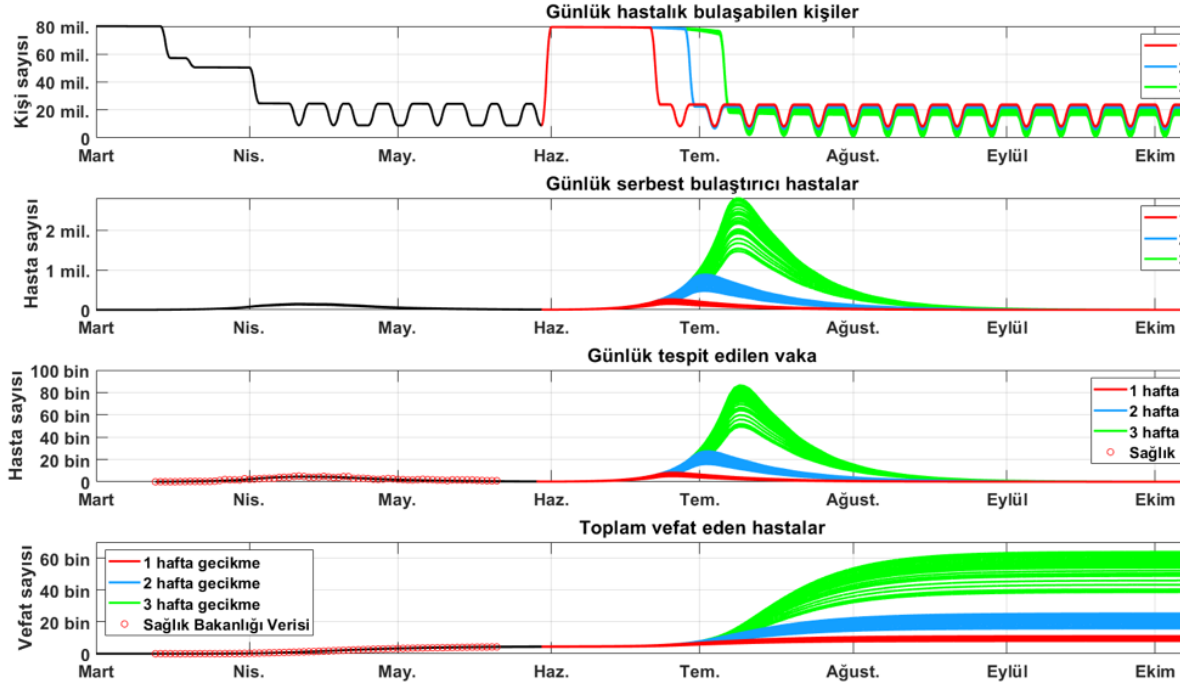
Şekil 6'da, serbest bulaştırıcı ve tespit edilip karantinaya alınan hasta sayılarını gösteriliyor. Görüldüğü gibi asıl sorun, sağlık sisteminin fark edemediği serbest dolaşan ve bulaştırıcı hasta sayısı 20 civarında olduğunda dahi serbest dolaşan ve bulaştırıcı hasta sayısı Haziran'da yapılacak normalleşmenin sonuçlarına hazırlıklı olmamız gerektiğini ve görüntüleyemediği birçok vakaya eş değer olduğunu bilerek yönetsel kararlar ver



Şekil 6 Haziran, Temmuz ve Ağustos başı başlatılacak normalleşme sonrasında ortaya çıkan serbest bulaştırıcı (sol panel) ve tespit edilip karantinaya alınan hasta sayısı (sağ panel). Şekil 6'da verilen grafiğin büyütülmüş I göre, Haziran ve Temmuz için iki hafta sonra, Ağustos için 3 hafta sonra günlük hasta sayısı salgın başladıktan sonraki (Martın ikinci yarısı) seviyeye ulaşılıyor. Simülasyonlar bu değerlere ulaşıldıktan bir hafta sonra sokağa yasakları getirilmiş olduğu düşünülerek yapıldı.

Senaryo 2: Haziran'da normalleşme ve geciken önlemlerin olası sonuçları

Haziran başında yaşanacak bir normalleşme için, tespit edilen günlük vaka sayısı geri geliyor. 15 Haziran'dan sonra bir hafta, iki hafta ve üç hafta gecikmeyle Nisa takdirde Şekil 7'deki sonuçları elde ediyoruz. Simülasyonlar önlem almada 1 hafta büyük boyutlu bir salgının yaşanacağını gösteriyor. Üç hafta gecikme ile getirilecek taşıma potansiyeline sahip. Böyle bir durum toplumda ve ekonomide öngörülemez.



Şekil 7 Haziran başı normalleşmenin yaratacağı dalgaya, 1 hafta (kırmızı), 2 hafta (mavi) ve 3 hafta (yeşil) gı sokağa çıkma yasaklarının getirilmesinin etkisi. Şimdiye kadar açıklanan veri kırmızı dairelerle gösteriliyor, sıır Mayıs sonuna kadar yapılan (siyah) hesaplamaların verdiği güvenle diğer oluşturuldu.

Sonuç ve Tartışma

Her ne kadar tersini istesek de, bu çalışma, takipçi dalgaların kaçınılmaz olduğunu normalleşme sürecine girerken serbest bulaştırıcı hasta sayısının yeni bir dalgayı Türkiye’de değil tüm dünyada bekleniyor.

Sağlık konusunda yaşanacak bu dalgalanmalar, ekonomik dalgalanmaları hemen t vadede ise eğitimde görülmeye başlayabilir. İçinde bulunduğumuz durum, fırtınalı andırıyor. Bu fırtınalı deniz salgının yarattığı küresel belirsizlik ortamı, balıkçı tekni varmak için, sadece sağlıkta değil, tüm ülkenin ve dünyanın işleyişinde olacak de ışığı ile öngörölüp, planlamaların ona göre yapılması sayesinde ulaşılabilir.

Bu çalışmadaki hesaplar, Türkiye’ye özel klinik veriler, filyasyon çalışmalarından v asemptomatik hasta oranları ile desteklendiğinde daha doğru sonuçlar verecektir.

Burada yapılan simülasyonlar sonunda hem yöneticiler hem de toplum için aşağıd

Yöneticiler için bazı sonuçlar

- Haziran başı gerçekleşecek normalleşme ikinci kuvvetli bir dalga oluşturacaktır. kuvvetini azaltacaktır.
- İkinci dalga fark edildiğinde, sokağa çıkma yasaklarının uygulanmasında tereci hayatını kaybetmesine yol açacaktır.
- Kamu ve özel kurumlar, uzun vadeli planlarını olası dalgalanmalara göre yapıları teknolojiler geliştirmeleri gerekmektedir.
- Her ne kadar sokağa çıkma yasakları salgın yönetimindeki en etkin önlem olsa örneklemelerle yapılacak çok sayıda test ile hasta tespiti ve yerel karantina yöre yöntemlerdir.

Toplum için bazı sonuçlar

- Dalgalanmaların kaçınılmaz olduğu bu salgında, hijyen alışkanlıklarımızda reha
- Özellikle kalabalık kapalı alanlarda maske kullanılması şarttır.
- Kapalı ve kalabalık alanlarda zorunlu olmadıkça bulunmamak gerekir.
- El hijyeni için sık sık sabunla el yıkamak ve yanımızda bulundurduğumuz bir de

Normalleşme sürecinde herkesi ilgilendiren sorular

- Normalleşme ile daha sık kullanılmaya başlanacak toplu taşıma nasıl daha güv metro, vapur ve servislerde bulaşma riski nasıl en aza indirilecektir?
- Eylül'de başlaması planlanan okul ve üniversiteler nasıl güvenli hale getirilecek
- Toplu ibadet mekanları nasıl güvenli hale getirilecektir?
- Uzun seyahatlerin yapıldığı şehirlerarası ve uluslararası yolculuklar nasıl güvenli

Özgür Ertunç (Özyeğin Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü)

M. Pinar Mengüç (Bilim Akademisi üyesi, Özyeğin Üniversitesi, Enerji Çevre ve E

Reyhan Diz-Küçükaya (Bilim Akademisi üyesi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakült

Kaynaklar

- [1] World Health Organization. (2009). Pandemic influenza preparedness and res https://www.who.int/influenza/resources/documents/pandemic_guidance_04_20
- [2] Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard t Diseases, 20(5), 533–534. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- [3] Kissler, S. M., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad, Y. H., & Lipsitch, M. (2020). P through the postpandemic period. Science, 5793(February 2019), eabb5793. <http://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.abb5793>
- [4] Peng, L., Yang, W., Zhang, D., Changjing, Z., & Hong, L. (2020). Epidemic ana MedRxiv, February. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.02.16.2002346>
- [5] Prem, K., Liu, Y., Russell, T. W., Kucharski, A. J., Eggo, R. M., Davies, N., Flasc S., Gibbs, H., Rosello, A., Quilty, B. J., Jombart, T., Sun, F., Diamond, C., Gimma, .

control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic Health, 2667(20), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30073-6](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30073-6)

[6] Roda, W. C., Varughese, M. B., Han, D., & Li, M. Y. (2020). Why is it difficult to Disease Modelling, 5(March), 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.001>

[7] European Center for Disease Prevention and Control. (2020). Coronavirus disease update (Issue 8th April). <https://www.ecdc.europa.eu/En/Publications-Data/Rapid-Pandemic-Eighth-Update>

[8] He, X., Lau, E. H. Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y. C., Wong, J. Y. F., Zhang, Q., Zhong, M., Wu, Y., Zhao, L., ... Leung, G. M. (2020). Temporal dynamics Nature Medicine. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

[9] Wölfel, R., Corman, V. M., Guggemos, W., Seilmaier, M., Zange, S., Müller, M., Hoelscher, M., Bleicker, T., Brünink, S., Schneider, J., Ehmann, R., Zwirgmaier, K., assessment of hospitalized patients with COVID-2019. Nature. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2008-3>

[10] Diekmann, O., Heesterbeek, J. A. P., & Metz, J. A. J. (1990). On the definition of models for infectious diseases in heterogeneous populations. Journal of Mathematical Biology, 29(2), 171–213.

[11] Haupt, R. L., & Haupt, S. E. (2004). Practical genetic algorithms (2nd Edition). John Wiley & Sons.

[12] Holland, J. H. (1962). Outline for a logical theory of adaptive systems. Journal of Theoretical Biology, 1(1), 1–40.

[13] Holland, J. H. (1973). Genetic algorithms and the optimal allocation of trials. Journal of Theoretical Biology, 38(1), 15–19.

[14] Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introduction to Artificial Intelligence. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

