

Türkiye’de COVID-19 Vaka Sayılarının Poisson Regresyon ile Tahmini ve Alınan Önlemlerin İnsidans Hızı Tahminlerine Etkisi

Predicting COVID-19 Cases in Turkey with Poisson Regression and the Effect of Preventions on Incidence Rate Ratio Estimation

• Bahar TAŞDELEN^a, • Didem DERİCİ YILDIRIM^a

^aMersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim ABD, Mersin, TÜRKİYE

ÖZET Amaç: Bu çalışmanın amacı, COVID-19 pandemisinin Türkiye’de yayılım sürecinin ilk 60 gününü sık aralıklarla Poisson regresyon ile modelleyerek, kestirim zamanının tahminler üzerine etkisini incelemek, alınan önlemler ve yapılan test sayısının vaka sayısı üzerine etkisini değerlendirmektir. **Gereç ve Yöntemler:** Bu çalışmada, Türkiye’ye ait 10 Mart-8 Mayıs 2020 tarih aralığındaki günlük vaka sayılarından yararlanılmıştır. Günlük vaka sayıları, Poisson regresyon yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Modelde, günlük vaka sayısı bağımlı değişken, gün zaman serisi değişkeni ve günlük test sayısı kovaryant değişken olarak alınmıştır. Salgının yayılımını önlemeye yönelik alınan önlemlerin günlük vaka sayısı üzerine etkileri, insidans hızı oranı (IRR) ve %95 güven aralığı (GA) ile değerlendirilmiştir. **Bulgular:** Salgının ilk 10 gününde vaka sayılarındaki varyasyon düşük olduğundan, gerçek verilere oldukça yakın tahminler elde edilmiştir. Ancak 10 günden sonra verilerdeki varyasyon giderek arttığından, tahminlerin gerçek değerlerden uzaklaştığı görülmüştür. Günlük vaka sayısının 30-40 gün periyodunda pik yaptığı ve pik noktasından sonra günlük vaka sayılarının başlangıçtaki artış hızıyla simetrik olarak azalmaya başladığı gözlenmiştir. Bu periyottan itibaren verilerdeki tutarlılık tahminlere de yansdığından, 40-50 günlük verilerle yapılan geleceğe yönelik tahminlerin önceki periyotlara oranla gerçeğe daha yakın olduğu belirlenmiştir. Önlemler ve alındıkları günler genel olarak değerlendirildiğinde, vaka sayısındaki en önemli azalmanın, okullarda yüz yüze eğitime ara verilmesi, kamu kurumlarında kronik hastalığı olan ve 65 yaş üstü bireylere idari izin [IRR=0,783, %95 GA (0,635-0,966)] ile kuaför ve güzellik salonlarının kapatılması ile sağlandığı tespit edilmiştir [IRR=0,618, %95 GA (0,612-0,623)]. **Sonuç:** Bu çalışmada yapılan ülke geneline ait istatistiksel modellemelerin, bölge bölge ve hatta il il yapılmasının, bu tip salgıların kontrol altına alınmasında etkin rol oynayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: COVID-19; Poisson regresyon modeli; insidans; tahmin

ABSTRACT Objective: The aim of this study is to model the spread process of COVID-19 in Turkey within the first 60 days via frequent poisson regression, investigate prediction time effect on estimations and evaluate effects of preventions and number of tests on the number of cases. **Material and Methods:** In this study, daily case numbers between March 10 and May 8 of Turkey were used to analyze. Daily case numbers were modelt with poisson regression. In the model, dependent variable was daily event number, day was the time-series variable and daily test number was determined as covariate variable. Incidence rate ratio (IRR) and 95% confidence intervals (CIs) were used to evaluate the effects of the preventions on the number of cases per day. **Results:** The estimations were very close to real data because of low variation in first 10 days of pandemy. However, it was seen that the estimates diverged from the real values, since the variation in the data gradually increased after 10 days. It was observed that the number of daily cases peaked in the 30-40 day period and after the peak point, the number of daily cases started to decrease symmetrically with the initial increase rate. It has been determined that the estimates of 40-50 days data were closer to real than the previous periods because of the consistency in the data of this period. The preventations and the days they are taken were evaluated in general. The interruption of face-to-face education in schools, administrative leave for individuals over 65 years old with chronic disease in public institutions [IRR=0.783, 95% CI (0.635-0.966)] and the closure of hairdressers and beauty salons [IRR=0.618, 95% CI (0.612-0.623)] provided the most important decrease of case numbers in all preventions. **Conclusion:** It is thought that the statistical modeling of country-wide, regionally and even provincially will play an effective role in controlling such epidemics.

Keywords: COVID-19; Poisson regression model; incidence; prediction

Correspondence: Bahar TAŞDELEN
Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim ABD, Mersin, TÜRKİYE/TURKEY
E-mail: bahartasdelen@gmail.com



Peer review under responsibility of Turkiye Klinikleri Journal of Biostatistics.

Received: 22 Jun 2020 **Received in revised form:** 11 Sep 2020 **Accepted:** 14 Sep 2020 **Available online:** 21 Dec 2020

2146-8877 / Copyright © 2020 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Tüm dünyayı olumsuz etkileyen COVID-19 pandemisi, ilk vakanın görüldüğü 10 Mart 2020 tarihinden bu yana ülkemizi de etkisi altına almıştır. Salgının etkilerini en aza indirmek ve kontrol altına alabilmek amacıyla ilk günlerden itibaren çok sayıda önlem alınmıştır. Bununla birlikte, salgının farklı bölgelerdeki yayılım hızının ve bulaştırıcılık oranının erken kestirimi, alınan önlemleri değerlendirmede büyük önem arz etmektedir.

Salgın devam ederken sık aralıklarla yapılan tahminler, gözle görülür veriler elde etmeye ve planlama yapmaya yardımcı olmaktadır.¹ Salgın sırasında vaka sayılarında görülen ani artış/azalışları ve bunların gelecek tahminler üzerine etkisini modellemek ancak belirli periyotlarla yapılan modelleme ile mümkündür. Salgın süreci dinamik bir süreçtir. Sürece sürekli yeni önlemlerin eklenmesi veya alınan önlemlerden bazılarının kaldırılması söz konusu olmaktadır. Bunların sürece etkisini sık aralıklarla incelemek, salgının ekonomik ve sosyal boyutunu da kontrol altına almak açısından önemli olmaktadır.

Aynı zamanda, salgının kontrol altına alınma zamanını kestirmek ve gelecek hasta sayısını tahmin etmek için en doğru zamanı belirlemek de sağlık hizmetlerini planlamak açısından gereklidir. Bu süreçte vaka sayılarındaki zamansal değişimi kestirmek için Poisson regresyon modeli, en sık tercih edilen zaman serisi regresyon yöntemidir.²

Bu çalışmanın birincil amacı, COVID-19 pandemisinin Türkiye’de yayılım sürecinin ilk 60 gününü sık aralıklarla modelleyerek, kestirim zamanının tahminler üzerine etkisini incelemektir. Çalışmanın ikincil amacı ise alınan önlemlerin günlük vaka sayılarına etkilerini değerlendirmek ve her modelleme zamanında yapılan gelecek vaka sayısı tahminlerinin gerçek veriye yakınlığını incelemektir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, Türkiye’ye ait 10 Mart 2020-8 Mayıs 2020 tarih aralığındaki günlük vaka sayılarından yararlanılmıştır. Günlük vaka sayılarının, yapılan test sayısına bağlı olarak değişeceği göz önünde bulundurularak, günlük test sayısı kovaryant değişken olarak alınmıştır. Modellemelerde ilgili zaman periyotlarında alınan önlemlerin de vaka sayıları üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Türkiye’de ilk vakanın görüldüğü 10 Mart 2020 tarihini takiben ilk 10 günlük zaman diliminde: **I**) Spor müsabakalarının seyircisiz oynanması, sosyal etkinliklerin ve bilimsel toplantıların iptal edilmesi, **II**) Okullarda yüz yüze eğitime ara verilmesi, kamu kurumlarında kronik hastalığı olan ve 65 yaş üstü bireylere idari izin, **III**) Kafe, restoran ve kıraathanelerin kapatılması hızla alınan önlemlerin başında gelmiştir.

Daha sonra alınan bu önlemlere: **IV**) Tüm spor müsabakalarının iptal edilmesi, toplu ibadet yapılması, **V**) Kuaför ve güzellik salonlarının kapatılması, **VI**) Kamuya evden çalışma veya esnek çalışma uygulanması, 65 yaş üstü ve kronik hastalığı olanlara dışarı çıkma kısıtlaması, **VII**) Yurt dışı uçuşların durdurulması, **VIII**) Yurt içi yolculuğun izne tabi olması, **IX**) 20 yaş altına sokağa çıkma yasağı, büyükşehirlere giriş-çıkış kısıtlaması, maske takma zorunluluğu gibi yeni tedbirler eklenmiştir. Bu önlemlere ilave-ten, ilk 30 günün ardından, salgının yayılışı üzerinde mevsimin olumsuz etkisini önlemek amacıyla büyükşehirlerde ve hava kirliliğinin yoğun olduğu bir ilimizde hafta sonları sokağa çıkma kısıtlaması uygulanmaya başlanmıştır.

MODELLEME ADIMLARI

Günlük vaka sayılarının modellenmesinde, her periyottaki toplam vaka sayısına göre ağırlıklandırılmış Poisson regresyon modeli kullanılmıştır. Bununla birlikte farklı zamanlarda yapılan modelleme ile tahmin zamanının ve belirli zaman periyotlarında alınan önlemlerin tahminlerin doğruluğu üzerine etkisi değerlendirilmiştir ([Tablo 1](#)).

TABLO 1. Modelleme zamanına göre etkisi değerlendirilen önlem paketleri (X).

Modelleme zamanı	Önlem paketleri								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
10. gün	X	X	X						
15. gün	X	X	X	X	X				
20. gün	X	X	X	X	X	X			
25. gün	X	X	X	X	X	X	X	X	
30. gün	X	X	X	X	X	X	X	X	X

POISSON REGRESYON MODELİ

Bu çalışmada, ilgilenilen değişken COVID-19 tanısı almış olan vaka sayılarıdır. Vaka sayılarındaki zamansal değişimi kestirmek için Poisson regresyon modeli en sık tercih edilen zaman serisi regresyon yöntemidir.² Zaman içinde görülen vaka sayıları çoğu kez Poisson dağılımında beklenenden fazla olabilir ve aşırı yayılım (overdispersion) gösterebilir. Diğer bir ifadeyle, gözlenen vaka sayısı tahmin edilen vaka sayısından büyük olduğu durumda aşırı yayılımdan söz edilmektedir. Bu tip durumlarda vaka sayısını modellemek için kullanılan modeller quasi-Poisson ve negatif binom regresyon modelidir.^{2,3} Bağımlı değişkenin varyansının, ortalamasından büyük olduğu durumlarda aşırı yayılımdan şüphelenilmektedir. Bu durum, tahminlerin standart hatalarının olduğundan daha düşük çıkmasına ve parametrelerin yanlış yorumlanmasına neden olmaktadır.

Poisson insidans hızı μ_t ($Y_t \sim \text{Poisson}(\mu_t)$) olmak üzere, bu çalışmada kullanılan Poisson regresyon modeli;

$$\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_1 x_t + \sum_p \alpha_p z_{p,t}$$

dir. Burada, Y_t : t. zamandaki günlük vaka sayısını, x_t : günlük test sayısını, $z_{p,t}$: p. önlem paketinin t. zamandaki değerini (1: var, 0: yok) ve ($\beta_0, \beta_1, \alpha_p$) regresyon katsayılarını ifade etmektedir. Uzun dönemli trendi modellerken mevsimsel varyasyona ait düzeltme terimi de modele eklenmektedir.⁴

Poisson regresyon modelinde elde edilen katsayı tahminleri gelecek vaka sayısını tahmin etmek için kullanılırken, insidans hızı oranları [$\text{IRR}_1 = \exp(\beta_1)$, $\text{IRR}_p = \exp(\alpha_p)$] ve güven aralıkları da modeldeki her bir değişkenin günlük vaka sayısına etkisini yorumlamak için kullanılmıştır. IRR tahminleri, modeldeki diğer parametreler sabit iken, ilgili değişkendeki 1 birim artışa karşılık günlük vaka sayısındaki değişim hızını ifade etmektedir.

Modelin uyum iyiliğini değerlendirmek için Pseudo R^2 değeri kullanılmıştır. Örnek genişliğinin küçük olduğu ve kovaryant sayısının çok fazla olduğu durumlarda, R^2 değerindeki yanlılığı düzeltmek için tercih edilen Pseudo R^2 0-1 aralığında değerler almakta ve 1'e yaklaştıkça uyumun mükemmel olduğu belirtilmektedir.^{5,6} Poisson regresyon modellemeleri, STATA MP11 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR

MODELLEME VE TAHMİN SONUÇLARI

Çalışmanın birincil amacı olan, COVID-19 pandemisinin, Türkiye'de yayılım sürecinin ilk 60 gününü sık aralıklarla modelleyerek, kestirim zamanının tahminler üzerine etkisini incelemek için, [Tablo 1](#)'de belirtilen 8 farklı zamanda modelleme yapılmıştır.

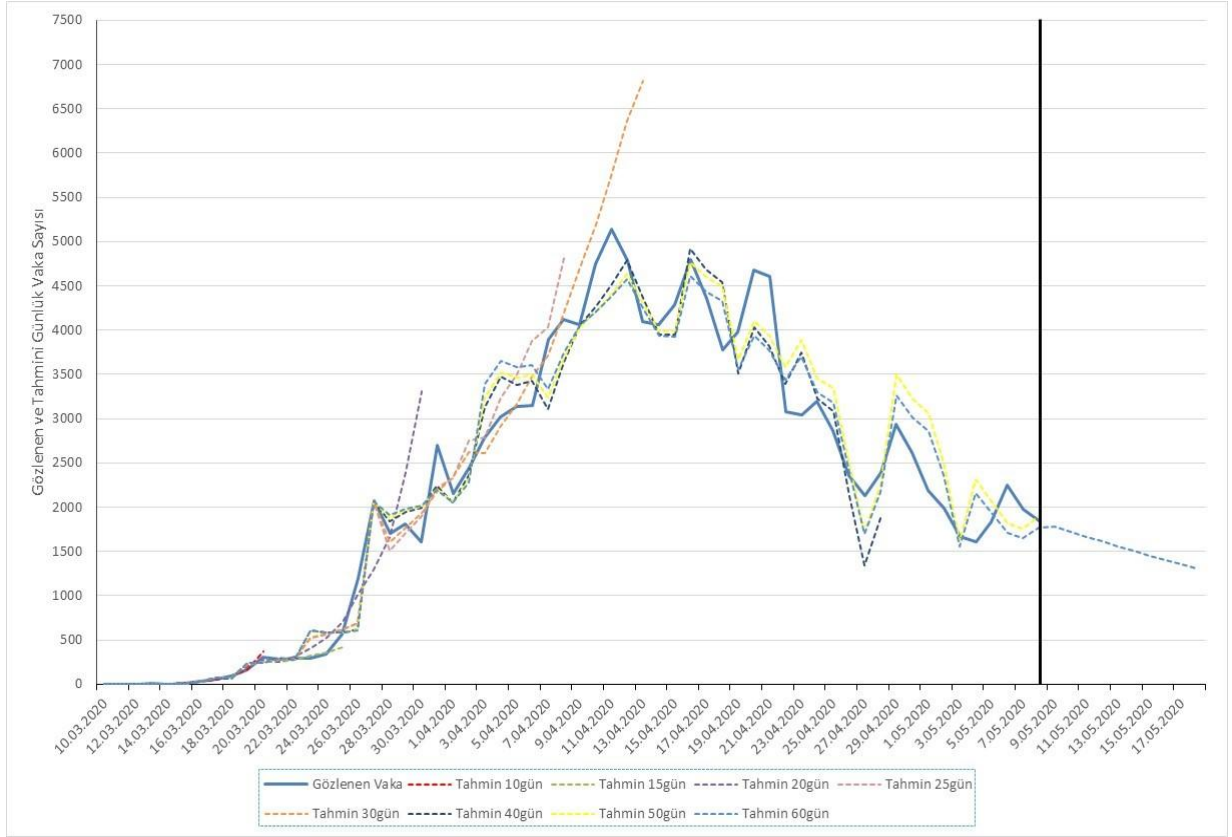
Salgının ilk 10 gününde vaka sayılarındaki varyasyon düşük olduğundan tahminler de gerçek verilere oldukça yakın bulunmuştur. Ancak 10 günden sonra verilerdeki varyasyon giderek arttığından tahminler gerçekten uzaklaşmaya başlamıştır. Bununla birlikte ilk 10-20 günün verisi ile geleceğe yönelik en fazla bir tahmin yapılabilirdiği görülmüştür. Salgının ilk 25 ve 30 günlük verisi ile yapılan tahminlerin ise gerçekten çok fazla uzaklaşmadığı ve geleceğe yönelik 5 tahmin yapılabilirdiği görülmüştür. İlk 30 gün için tahminler [Tablo 2](#)'de verilmiştir.

TABLO 2. Türkiye'de COVID-19 salgın sürecinin ilk 30 gününde farklı günlerde tekrarlanan modelleme sonucunda tahmin edilen günlük vaka sayıları ve ileriye dönük vaka sayılarının kestirimi*.

Tarih	Gözlenen günlük vaka sayısı	Tahmin edilen vaka sayısı (*Gelecek tahmini vaka sayısı)				
		10 gün	15 gün	20 gün	25 gün	30 gün
10.3.2020	1	0	2	2	3	2
11.3.2020	0	0	2	2	3	3
12.3.2020	0	1	3	2	3	3
13.3.2020	4	3	3	4	3	3
14.3.2020	1	5	4	4	3	3
15.3.2020	12	9	4	5	3	4
16.3.2020	29	29	29	29	29	29
17.3.2020	51	53	69	67	71	70
18.3.2020	93	89	75	77	73	74
19.3.2020	168	170	222	200	227	228
20.3.2020	311	366*	257	279	252	251
21.3.2020	277		246	258	277	273
22.3.2020	289		274	308	289	293
23.3.2020	293		319	403	520	522
24.3.2020	343		363	520	561	567
25.3.2020	561		417*	702	617	620
26.3.2020	1.196			1.006	695	685
27.3.2020	2.069			1.297	2.069	2.069
28.3.2020	1.704			1.661	1.514	1.597
29.3.2020	1.815			2.392	1.711	1.766
30.3.2020	1.610			3.308*	1.900	1.939
31.3.2020	2.704				2.223	2.174
1.4.2020	2.148				2.330	2.333
2.4.2020	2.456				2.756	2.627
3.4.2020	2.786				2.789	2.611
4.4.2020	3.013				3.238*	2.917
5.4.2020	3.135				3.504*	3.170
6.4.2020	3.148				3.873*	3.474
7.4.2020	3.892				4.028*	3.717
8.4.2020	4.117				4.819*	4.203
9.4.2020	4.056					4.702*
10.4.2020	4.747					5.197*
11.4.2020	5.138					5.744*
12.4.2020	4.789					6.363*
13.4.2020	4.093					6.815*

*: Koyu ve italik yazılan rakamlar ilgili zaman noktasında yapılan modellemeye ait ileriye dönük tahminlerdir.

Günlük vaka sayısının 30-40 gün periyodunda pik yaptığı ve pik noktasından sonra günlük vaka sayılarının başlangıçtaki artış hızıyla simetrik olarak azalmaya başladığı görülmektedir. Bu periyottan itibaren verilerdeki tutarlılık tahminlere de yansımış ve 40-50 günlük verilerle yapılan geleceğe yönelik tahminlerin önceki periyotlara oranla gerçeğe daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 1). Benzer şekilde 60 günlük veri ile 61-70. günlere ait günlük vaka sayıları tahmin edilmiştir (Tablo 3). Gelecek vaka tahminlerinin tamamı tüm önlemlerin devam edeceği varsayımıyla yapılmıştır.



ŞEKİL 1. Türkiye'de COVID-19 salgını sürecinin ilk 70 gününe ait gerçek ve tahmini günlük vaka sayıları.

TABLO 3. Türkiye'de COVID-19 salgınının 40-60 günlük sürecinde farklı günlerde tekrarlanan modelleme sonucunda tahmin edilen günlük vaka sayıları ve ileriye dönük vaka sayılarının kestirimi*.

Tarih	Gözlenen günlük vaka sayısı	Tahmin edilen vaka sayısı ('Gelecek tahmini vaka sayısı)			Tarih	Gözlenen günlük vaka sayısı	Tahmin edilen vaka sayısı ('Gelecek tahmini vaka sayısı)		
		40 gün	50 gün	60 gün			40 gün	50 gün	60 gün
10.3.2020	1	3	3	3	14.4.2020	4.062	3.954	3.988	3.935
11.3.2020	0	3	3	3	15.4.2020	4.281	3.953	3.996	3.925
12.3.2020	0	3	3	3	16.4.2020	4.801	4.916	4.769	4.615
13.3.2020	4	3	3	3	17.4.2020	4.353	4.684	4.596	4.438
14.3.2020	1	3	3	3	18.4.2020	3.783	4.538	4.489	4.323
15.3.2020	12	3	3	3	19.4.2020	3.977	3.516*	3.668	3.561
16.3.2020	29	29	29	29	20.4.2020	4.674	4.031*	4.102	3.938
17.3.2020	51	76	76	75	21.4.2020	4.611	3.822*	3.938	3.774
18.3.2020	93	68	68	69	22.4.2020	3.083	3.391*	3.585	3.440
19.3.2020	168	236	237	237	23.4.2020	3.046	3.743*	3.887	3.697
20.3.2020	311	243	242	242	24.4.2020	3.192	3.224*	3.456	3.296
21.3.2020	277	296	293	293	25.4.2020	2.861	3.086*	3.343	3.181
22.3.2020	289	270	273	273	26.4.2020	2.357	2.121*	2.479	2.392
23.3.2020	293	604	601	604	27.4.2020	2.131	1.348*	1.726	1.695
24.3.2020	343	585	587	589	28.4.2020	2.392	1.876*	2.255	2.170
25.3.2020	561	587	590	589	29.4.2020	2.936		3.493*	3.259
26.3.2020	1.196	617	615	610	30.4.2020	2.615		3.222*	3.008
27.3.2020	2.069	2.069	2.069	2.069	1.5.2020	2.188		3.063*	2.856
28.3.2020	1.704	1.845	1.879	1.912	2.5.2020	1.983		2.508*	2.357
29.3.2020	1.815	1.947	1.966	1.986	3.5.2020	1.670		1.620*	1.557
30.3.2020	1.610	1.990	2.005	2.014	4.5.2020	1.614		2.312*	2.165
31.3.2020	2.704	2.238	2.207	2.195	5.5.2020	1.832		2.064*	1.938
1.4.2020	2.148	2.058	2.067	2.056	6.5.2020	2.253		1.813*	1.708
2.4.2020	2.456	2.360	2.312	2.274	7.5.2020	1.977		1.761*	1.656
3.4.2020	2.786	3.135	3.241	3.393	8.5.2020	1.848		1.902*	1.772
4.4.2020	3.013	3.471	3.523	3.655	9.5.2020				1.783*
5.4.2020	3.135	3.383	3.459	3.577	10.5.2020				1.723*
6.4.2020	3.148	3.427	3.501	3.602	11.5.2020				1.665*
7.4.2020	3.892	3.106	3.242	3.337	12.5.2020				1.610*
8.4.2020	4.117	3.638	3.687	3.750	13.5.2020				1.556*
9.4.2020	4.056	4.056	4.032	4.061	14.5.2020				1.504*
10.4.2020	4.747	4.272	4.211	4.212	15.5.2020				1.453*
11.4.2020	5.138	4.503	4.401	4.372	16.5.2020				1.405*
12.4.2020	4.789	4.794	4.637	4.572	17.5.2020				1.358*
13.4.2020	4.093	4.365	4.309	4.250	18.5.2020				1.312*

*: Koyu ve italik yazılan rakamlar ilgili zaman noktasında yapılan modellemeye ait ileriye dönük tahminlerdir.

ALINAN HER YENİ ÖNLEMİN SÜRECE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın ikincil amacı olarak, salgının yayılımını önlemeye yönelik alınan her yeni önlemin günlük vaka sayısı üzerine etkisi IRR değerleri ve güven aralıkları ile incelenmiştir. Önlemlerin etkisi araştırılırken salgının kaçınıcı gününde bulunduğu ve günlük yapılan test sayısı, sonucu etkileyeceğinden analiz sırasında dikkate alınmıştır. Salgına dair önlemlerin tümü ilk 30 gün içerisinde alındığından, çalışmada 10, 15, 20, 25 ve 30. Gün sonuçları dikkate alınmıştır. Her bir yeni önlemin uygulanış zamanından öncesine oranla insidans hızındaki artış ve azalışları gösteren IRR değerleri ve güven aralıkları [Tablo 4](#)'te özetlenmiştir.

İlk olarak her tahmin periyodunda oluşturulan modellerin uyum iyiliklerinin $0,709 \leq \text{Pseudo } R^2 \leq 0,907$ olduğu ve dolayısıyla modellerin yorumlanabilir olduğu görülmektedir. İlk 10 günlük veri ile yapılan modellemede test sayısının günlük vaka sayısı üzerine anlamlı etkisi olduğu ($p=0,042$) ve önlem paketlerinden II ve III'ün uygulamaya geçtiği günden sonra, vaka sayılarındaki artış hızında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu ($p<0,05$) görülmekle birlikte, salgın başlangıcında alınan I. önlem için özellikle sosyal etkinliklerin ilk 10 günlük süreçte devam etmesinden kaynaklı her gün vaka sayısının 1,975 kat arttığı ve bu artışın anlamlı ($p=0,007$) olduğu söylenebilir. Önlemlerin etkisi incelenirken salgının 33. günde pik yaptığı ve her geçen gün alınan önlemlere rağmen vaka sayısında logaritmik bir artış yaşandığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumu bir nebze kontrol altında tutabilmek adına IRR değerleri, dikkate alınan günlerdeki toplam vaka sayısına göre ağırlıklandırılmıştır. İlk 15 günlük veri ile yapılan modellemede test sayısının günlük vaka sayısı üzerine etkisinin anlamlı olduğu ($p<0,001$), önlemlerden ise IV ve V'in uygulamaya geçtiği günden itibaren vaka sayılarındaki artış hızının anlamlı ($p<0,001$; $p<0,001$) derecede düştüğü görülmektedir.

Daha sonra 20 günlük veri ile yapılan modellemede test sayısının günlük vaka sayısı üzerine etkisinin anlamlı olduğu ($p<0,001$), VI numaralı önlemin uygulanmaya başlandığı tarihten itibaren vaka sayılarındaki artış hızının anlamlı derecede yükseldiği gözlenmiştir (IRR=2,855; $p<0,001$). Bu durumun bulaştırıcı sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kısıtlama olmayan kişilerin yaş ve hastalık açısından riskli bireylere taşıyıcı olması ile açıklanabilmektedir.

İlk 25 günlük veri ile yapılan modellemede ise sonradan alınan VII ile VIII numaralı önlemlerin uygulamaya geçtiği günden itibaren vaka sayılarındaki artış hızının anlamlı derecede düştüğü ($p<0,001$; $p<0,001$) görülmektedir. İlk 30 günlük süreçte son olarak eklenen IX numaralı önlem ile bu düşüşün devam ettiği görülmektedir (IRR=0,906; $p<0,001$).

Önlemler ve alındıkları günleri genel olarak değerlendirecek olursak, vaka sayısındaki en önemli azalmayı sağlayan önlemler, okullarda yüz yüze eğitime ara verilmesi, kamu kurumlarında kronik hastalığı olan ve 65 yaş üstü bireylere idari izin [IRR=0,783; %95 güven aralığı (0,635-0,966)] ile kuaför ve güzellik salonlarının kapatılmasıdır [IRR=0,618; %95 güven aralığı (0,612-0,623)].

TABLO 4. Türkiye’de COVID-19 salgın sürecinin ilk 30 gününde farklı zamanlarda yapılan modelleme sonuçları.

Modelleme zamanı	Değişken	IRR	p değeri	%95 Güven Aralığı		Pseudo R ²
10. gün	Gün	2,135889	<0,001	1,871943	2,437052	0,828
	Test sayısı	0,999958	0,042	0,999918	0,999998	
	Ö_I	1,975163	0,007	1,201282	3,247586	
	Ö_II	0,783294	0,023	0,634768	0,966574	
	Ö_III	0,845158	0,014	0,739462	0,965962	
15. gün	Gün	1,195519	<0,001	1,192098	1,198950	0,709
	Test sayısı	1,000157	<0,001	1,000154	1,000160	
	Ö_IV	0,893331	<0,001	0,886723	0,899988	
	Ö_V	0,617645	<0,001	0,612512	0,622820	
20. gün	Gün	1,161424	<0,001	1,160785	1,162062	0,829
	Test sayısı	0,999993	<0,001	0,999992	0,999993	
	Ö_VI	2,854741	<0,001	2,848618	2,860876	
25. gün	Gün	1,070380	<0,001	1,070235	1,070524	0,826
	Test sayısı	1,000028	<0,001	1,000028	1,000028	
	Ö_VII	0,933375	<0,001	0,932784	0,933966	
	Ö_VIII	0,895542	<0,001	0,894962	0,896120	
30. gün	Gün	1,103171	<0,001	1,103074	1,103268	0,907
	Test sayısı	0,999999	<0,001	0,999999	0,999999	
	Ö_IX	0,906261	<0,001	0,905991	0,906532	

IRR: İnsidans hızı oranı; Pseudo R²: Uyum iyiliği istatistiği.

Ö_I) Spor müsabakalarının seyircisiz oynanması, sosyal etkinliklerin ve bilimsel toplantıların iptal edilmesi; Ö_II) Okullarda yüz yüze eğitime ara verilmesi, kamu kurumlarında kronik hastalığı olan ve 65 yaş üstü bireylere idari izin; Ö_III) Kafe, restoran ve kiraathanelerin kapatılması; Ö_IV) Tüm spor müsabakalarının iptal edilmesi, toplu ibadet yapılmaması; Ö_V) Kuaför ve güzellik salonlarının kapatılması; Ö_VI) Kamuya evden çalışma veya esnek çalışma uygulanması, 65 yaş üstü ve kronik hastalığı olanlara dışarı çıkma kısıtlaması; Ö_VII) Yurt dışı uçuşların durdurulması; Ö_VIII) Yurt içi yolculuğun izne tabi olması; Ö_IX) 20 yaş altına sokağa çıkma yasağı, büyükşehirilere giriş-çıkış kısıtlaması, maske takma zorunluluğu.

TARTIŞMA

Salgının kontrol altına alınmasında modelleme önemli bir yere sahiptir. Sayısız modelleme yöntemi olmakla beraber, veriye uygun tahmin yöntemini belirlemek, erken ve doğru tahmin yapmak, yayılma hızını etkileyen faktörleri tespit etmek salgının vereceği zararı en aza indirmek için gereklidir.

Bu süreçte, vaka sayılarının zamansal değişimi söz konusu olduğundan, modellemeler sıklıkla dinamik modeller kullanılarak yapılmaktadır.⁷ Poisson regresyon modelleri, özellikle bu tip epidemiyolojik çalışmalarda, diğer regresyon yöntemlerinden daha çok tercih edilmektedir.⁸

COVID-19 salgınının başlangıcından bu tarihe kadar, pek çok yönünün araştırıldığı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmamızın, dünyada ve Türkiye’de COVID-19 salgınının modellenmesi amacıyla yapılan ve vakaya ait veri (yaş, cinsiyet vb.) içermeyen bilimsel araştırmalarla benzer ve farklı yanlarını tartışabilmek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda Poisson regresyon modelinin ve diğer yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar tespit edilmiştir. Çin, İran, İtalya ve Güney Kore’de bulaş dinamiğini kestirmek amacıyla Poisson otoregresif modelin kullanıldığı çalışma, Japonya’da hava sıcaklığının ve Çin’de Wuhan’dan diğer şehirlere göçün etkisinin değerlendirildiği çalışmalar, dünya genelinde yapılan çalışmalardan bazılarıdır.⁹⁻¹¹

Türkiye’de vaka sayısının 2 katına çıkma sürelerinin dünya ülkeleriyle karşılaştırılmasında Poisson genelleştirilmiş doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır.¹² Ayrıca tüm dünyada ve Türkiye’de biriken COVID-19 vakalarını ve ölümlerini tahmin etmek için zaman serisi modellerinin kullanıldığı çalışmada, gelecek 5 günlük vaka sayılarının tahmin edilebileceği tespit edilmiştir.¹³ Bunun yanı sıra, vaka sayılarının eğri tahmin yaklaşımı ile değerlendirildiği çalışmada, Türkiye’de 27 Mart-18 Nisan tarihleri arasında görülen olguların istatistiksel analizi yapılmıştır.¹⁴ Bu çalışmada da Poisson regresyon modeli hem gözlem aralığında kestirim (prediction) yapmak hem de gelecek vaka sayısını tahmin etmek (forecasting) amacıyla tercih edilmiştir. Yapılan tahminler ilk vakanın görüldüğü 10 Mart tarihinden itibaren elde edilen tüm veriyi içermekle beraber, önlemlerin uygulamaya geçiş tarihlerinden vaka sayılarının ve buna bağlı olarak da tahminlerin büyük ölçüde etkilendiği görülmektedir.

COVID-19, bulaş dinamiğini kestirmek amacıyla Poisson otoregresif modelin kullanıldığı çalışma sonucunda doğru tahmin için en az 15 günlük veriye sahip olmak gerektiği belirtilmiştir.⁹ Çalışmamızda, 10-20 günlük veri ile ancak 1 gün sonrasının gerçeğe yakın tahmin edilebileceği, daha ileriye yönelik tahminler için ise en az 30 günlük veriye ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Poisson regresyon, maruziyet düzeyi ile doz-cevab ilişkisini değerlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır.⁷ Çalışmamızda da buna paralel olarak, günlük test sayısına karşılık vaka sayısındaki değişim incelenmiş ve IRR değeri 1’e çok yakın olmakla birlikte, istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Türkiye’de günlük vaka sayısının 30-40 gün periyodunda pik yaptığı ve pik noktasından önceki periyotlarda yapılan geleceğe yönelik tahminlerin sürekli artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak pik noktasından sonra yapılan geleceğe yönelik tahminlerin gerçeğe yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca 40. günden itibaren gelecek 10 gün için yapılan vaka sayısı tahminlerinin oldukça tutarlı olduğu söylenebilir. En son 8 Mayıs tarihinde 60 günlük veri ile yapılan tahminler tüm önlemlerin devam edeceği varsayımıyla yapılmıştır.

Pandemi sürecinde kaçınıcı gün olduğu ve o güne kadar yapılan test sayısı da dikkate alınarak alınan önlemlerin incelemesinde ise 5 zaman noktası için her yeni önlemin vaka sayısı üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen değerlere göre alınan önlemlerin neredeyse tümünün vaka sayısındaki düşüşe katkısı olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada yapılan, ülke geneline ait istatistiksel modellemelerin bölge bölge ve hatta il il yapılması bu tip salgınların kontrol altına alınmasında etkin rol oynayacaktır. Salgının başlama zamanının farklı olması, nüfus, sanayileşme ve hareketliliğin farklı olması gibi etkenlere bağlı olarak sonuçlar değişebilmektedir.

Ülkemizde, ilk vakanın görüldüğü tarihten itibaren salgının ilk 2 ayının değerlendirildiği çalışma sonuçlarına göre, alınan önlemlerin insidans hızı tahminleri üzerinde oldukça etkili olduğu ve en düşük insidans hızına sahip iki önlem paketinin, okullarda yüz yüze eğitime ara verilmesi, kamu kurumlarında kronik hastalığı olan ve 65 yaş üstü bireylere idari izin önlemlerinin uygulanmaya başlanması ile kuaför ve güzellik salonlarının kapatılması olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre, özellikle ilk 15 günde alınan önlemlerin pandeminin yayılım hızını önemli derecede etkilediği ve erken önlem alınmanın bu tip salgınlarda büyük öneme sahip olduğu söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan klinik terminolojinin değerlendirilmesinde ve sonuçların klinik yorumunun uygunluğunun değerlendirilmesinde, danışman olarak yapmış olduğu katkılardan dolayı Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Bakteriyojoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fatma Özlem KANDEMİR’e teşekkür ederiz.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Bahar Taşdelen; **Tasarım:** Bahar Taşdelen, Didem Derici Yıldırım; **Denetleme/Danışmanlık:** Bahar Taşdelen; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Bahar Taşdelen, Didem Derici Yıldırım; **Analiz ve/veya Yorum:** Bahar Taşdelen, Didem Derici Yıldırım; **Kaynak Taraması:** Bahar Taşdelen; **Makalenin Yazımı:** Bahar Taşdelen, Didem Derici Yıldırım; **Eleştirel İnceleme:** Bahar Taşdelen, Didem Derici Yıldırım; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Bahar Taşdelen.

REFERENCES

1. Funk S, Camacho A, Kucharski AJ, Eggo RM, Edmunds WJ. Real-time forecasting of infectious disease dynamics with a stochastic semi-mechanistic model. *Epidemics*. 2018;22:56-61. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
2. Imai C, Armstrong B, Chalabi Z, Mangtani P, Hashizume M. Time series regression model for infectious disease and weather. *Environ Res*. 2015;142:319-27. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Pamukcu E, Colak C, Halisdemir N. Modeling of the number of divorce in Turkey using the generalized poisson, quasi-poisson and negative binomial regression. *Turkish Journal of Science & Technology*. 2014;9(1):89-96. [\[Link\]](#)
4. Imai C, Hashizume M. A systematic review of methodology: time series regression analysis for environmental factors and infectious diseases. *Trop Med Health*. 2015;43(1):1-9. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
5. Heinzl H, Mittlböck M. Pseudo R-squared measures for Poisson regression models with over- or underdispersion. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2003;44(1-2):253-71. [\[Crossref\]](#)
6. Mittlböck M. Calculating adjusted R(2) measures for Poisson regression models. *Comput Methods Programs Biomed*. 2002;68(3):205-14. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Viel JF. [Poisson regression in epidemiology]. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 1994;42(1):79-87. [\[PubMed\]](#)
8. Chau AMH, Lo ECM, Wong MCM, Chu CH. Interpreting poisson regression models in dental caries studies. *Caries Res*. 2018;52(4):339-45. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Agosto A, Giudici P. A poisson autoregressive model to understand COVID-19 contagion dynamics. *Risks* 2020;8(77):1-8. [\[Crossref\]](#)
10. Ujjie M, Tsuzuki S, Ohmagari N. Effect of temperature on the infectivity of COVID-19. *Int J Infect Dis*. 2020;95:301-3. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
11. Chen ZL, Zhang Q, Lu Y, Guo ZM, Zhang X, Zhang WJ, et al. Distribution of the COVID-19 epidemic and correlation with population emigration from Wuhan, China. *Chin Med J (Engl)*. 2020;133(9):1044-50. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
12. Ahmadian R, Uncu Y, Ercan İ. Turkey in between European Union Countries in the new coronavirus (COVID-19) outbreak; an examination of the doubling times. *Türkiye Klinikleri J Med Sci*. 2020;40(2):220-7. [\[Crossref\]](#)
13. Koçak M. A comparison of time-series models in predicting COVID-19 cases. *Türkiye Klinikleri J Biostat*. 2020;12(1):89-96. [\[Crossref\]](#)
14. Toluk Ö, Dinçgez Çakmak B, Ercan İ, Uncu Y. Analysis from statistical perspective of 2019 novel coronavirus cases in Turkey: how are the things going on? *Türkiye Klinikleri J Med Sci*. 2020;40(2):228-35. [\[Crossref\]](#)