

Coğrafi Bilgi Sistemleri-mekânsal epidemiyoloji çerçevesinde SARS CoV-2 (COVID-19)

SARS CoV-2 (COVID-19) in the framework of Geographic Information System spatial epidemiology

Ömer Barış İnce, Murat Şevik, Ahmet Sait

Gönderilme tarihi: 02.01.2021

Kabul tarihi: 03.03.2021

Öz

Dünyayı etkisi altına alan şiddetli akut solunum yolu sendromu coronavirusu 2 (SARS-CoV-2) salgını, pek çok ülkede ölümcül sonuçlara neden olan önemli bir halk sağlığı sorunudur. Pandemiye yol açacak hastalık yayılımlarının erken dönemde tespit edilebilmesi hastalık kontrol ve eradikasyonunun önemli bir bileşenidir. Hastalık verilerinin ve mekânsal analiz yöntemlerinin birlikte kullanılması, daha etkili hastalık kontrolü ve çözüm stratejileri geliştirmek için büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu derlemede coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) epidemiyolojideki uygulamalarını ve salgın hastalıkların kontrolü ve eradikasyonundaki ilişkisini değerlendirmek için özde COVID-19'u içeren literatüre dayalı bir inceleme yapılmıştır. Epidemiyoloji alanındaki araştırmalarda, araştırılan hastalık verilerinin nasıl bir dağılım ve kümelenme gösterdiği, kısa, orta ve uzun vadede yapılacak kontrol ve eradikasyon müdahalelerini planlama açısından CBS temelli analizler ve modeller giderek önem kazanmaktadır. COVID-19'un kontrol ve eradikasyonunda yaşanan zorluklar, güçlü bulaşıcılık özelliği, uzun bir kuluçka dönemi, nüfus akış ve hareketliliği ve diğer faktörlerle birleştiğinde, hastalığın yayılmasını kontrol etmek ve önlemek için bilimsel ve teknolojik desteğe gereksinim duyulmaktadır. Bu derlemenin amacı, CBS temelli araçların gelişimini anlamak ve COVID-19 pandemisi yönetiminde CBS kullanımı hakkında güncel bilgiler vermektir.

Anahtar kelime: COVID-19, SARS CoV-2, CBS, mekânsal epidemiyoloji.

İnce ÖB, Şevik M, Sait A. Coğrafi Bilgi Sistemleri-mekânsal epidemiyoloji çerçevesinde SARS CoV-2 (COVID-19). Pam Tıp Derg 2021;14:934-943.

Abstract

Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) pandemic which has affected all over the world is a major public health concern that causes fatal consequences in many countries. The early detection of disease spread that will cause a pandemic is an important component of disease control and eradication. The combination of disease data and spatial analysis methods provides a great opportunity to develop solution strategies for more effective disease control. In this review, to evaluate the practices of geographic information system (GIS) in epidemiology and its relation in the control and eradication of pandemic, a literature-based review which includes COVID-19 in particular has been made. GIS-based analyses and models are of increasing importance in the epidemiological studies; in terms of how the researched disease data show distribution and clustering, and planning control and eradication interventions in the short, medium, and long terms. Scientific and technological supports are requirement to control and avoid the spread of the disease when the challenges in the control and eradication of COVID-19, features of strong contagiousness, a long incubation period, population flow, and mobility combined with other factors. The aim of this review is to understand the development of GIS-based tools and to provide up-to-date information about the use of GIS in COVID-19 pandemic management.

Key words: COVID-19, SARS CoV-2, GIS, spatial epidemiology.

Ince OB, Sevik M, Sait A. SARS CoV-2 (COVID-19) in the framework of GIS-spatial epidemiology. Pam Med J 2021;14:934-943.

Ömer Barış İnce, Dr. Pamukkale Üniversitesi Hayvan Islahı ve Genetik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kınıklı Yerleşkesi Pamukkale/Denizli, Türkiye, e-posta: obince@pau.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8302-9607>) (Sorumlu Yazar)

Murat Şevik, Doç. Dr. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, 42310, Ereğli, Konya, Türkiye, e-posta: murat.sevik@erbakan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9604-3341>)

Ahmet Sait, Dr. Pendik Veteriner Kontrol Enstitüsü Müdürlüğü, Viral Teşhis Laboratuvarı, 34890, İstanbul, Türkiye, e-posta: ahmet.sait@tarimorman.gov.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7658-8793>)

Giriş

Coronavirüsler genel bakış

Coronavirüs'ler (CoV), insan, çiftlik hayvanları, kuşlar, yarasa, fare ve birçok vahşi hayvan türünde solunum, sindirim, karaciğer ve merkezi sinir sistemi enfeksiyonlarına neden olmaktadır. CoV'lar, *Nidovirales* takımının, *Cornidovirineae* alt takımının *Coronaviridae* ailesinde yer alan yaklaşık 30 kb. genom büyüklüğüne sahip zarflı, segmentsiz ve pozitif polariteli RNA viruslarıdır. *Coronaviridae* familyası genetik ve serolojik özelliklerine göre 4 genusa sahiptir; *Alphacoronavirus*, *Betacoronavirus*, *Gammacoronavirus* ve *Deltacoronavirus*. İnsanları enfekte eden koronavirüsler *Alphacoronavirus* (Human coronavirus 229E ve NL63) veya *Betacoronavirus* (Human coronavirus HKU1 (HKU1) Human coronavirus OC43 (OC43), *Severe Acute Respiratory Syndrome* (SARS-CoV), *Middle East respiratory syndrome coronavirus* (MERS-CoV) ve *Severe Acute Respiratory Syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2)) genuslarında yer almaktadırlar [1, 2]. CoV'lar hücre sitoplazmasında çoğalırlar. CoV'un konakçıda enfeksiyon oluşturabilmesinde ve doku tropizminde ana etken virus spike (S) proteini S1 bölgesindeki reseptör bağlanma bölgesi ile hücre yüzey reseptörü arasındaki ilişkidir. Alphacoronaviruslarının çoğunun hücre reseptörü aminopeptidaz N ve MERS-CoV'un dipeptidil peptidaz-4 iken SARS-CoV ve SARS-CoV-2 konak hücre yüzey reseptörü olarak anjiyotensin dönüştürücü enzim 2 (ACE-2)'i kullanmaktadır [3-5]. Doğal enfeksiyonlarda CoV'a karşı spesifik nötralizan antikorların çoğu S proteinin N terminal kısmında bulunan epitoplara yönelik olarak oluşmaktadır. Hücrel immun yanıt, özellikle S ve nükleokapsid (N) proteinlerine karşı gelişmektedir. CoV'ların yapısal proteinlerinin yanı sıra, genomun farklı bölgelerinden kodlanan farklı sayılarda yapısal olmayan proteinleri de bulunmaktadır. CoV'lar, 56°C sıcaklıkta 30 dakika da inaktive olabilmektedirler ve dietil eter, %75 etanol, klor, perasetik asit, kloroform ve diğer yağ çözücüler gibi birçok dezenfektana karşı duyarlıdırlar [6].

Yarasa CoV'ları mutasyon geçirmeleri ve rekombinasyon özellikleri sayesinde insanları enfekte edebilmektedir. CoV'lar genel olarak insanlar için ölümcül olmayan patojenler olarak kabul edilir ve temelde soğuk algınlığının

yaklaşık %15'ine neden olur. İnsan coronavirus HKU1, NL63, 229E ve OC43 suşları insanlarda hafif solunum yolu enfeksiyonları neden olmaktadır [4]. Bununla birlikte, bu zamana kadar insanlar için ölümcül olabilen CoV'larıyla üçüncü kez karşılaşmış bulunmaktadır. İlk karşılaşma 2003'te Çin'de ortaya çıkan SARS-CoV enfeksiyonudur. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından 2003 yılında bildirilen 8000'in üzerinde SARS-CoV tanısı konulmuş hasta bulunmaktadır [7]. İkinci karşılaşma, 2012'de Suudi Arabistan'da mortalitesi yüksek (%35) ve kısa süre sonra birçok ülkeye yayılan MERS-CoV salgını olarak ortaya çıkmış ve yaklaşık 26 ülkeyi etkisi altına alarak 700'ün üzerinde insanın ölümüne sebep olmuştur [8]. 2019 yılı sonunda ortaya çıkan son salgın ilk kez Çin'in Wuhan eyaletinde ortaya çıkmıştır. Yerel bir Çin sağlık kuruluşunda pnömone semptomları gösteren bir kişide tespit edilen etken, yeni coronavirus 2019 (nCoV-2019) olarak adlandırılmıştır [5]. Uluslararası Virus Taksonomisi Komitesi'nin Coronavirus Çalışma Grubu tarafından, 11 Şubat 2020'de virusun adı SARS-CoV-2 olarak belirlenmiştir [2]. DSÖ, virusun neden olduğu hastalığı tanımlamak için Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) terimini kullanmıştır. Son dönemdeki araştırmalar, SARS-CoV-2'nin, genetik dizisinin diğer CoV'lere benzerlik oranına (yarasa SARS ilişkili coronavirus RaTG13 suşu ile benzerlik %96,2) dayanarak, virusun muhtemelen yarasalardan köken aldığını ileri sürmektedir [5]. COVID-19, insanlarda klinik tablo olarak ateş, öksürük, nefes darlığı gibi solunum yolu ve gastrointestinal hastalık belirtilerine neden olabilmektedir [3, 5]. Dünyayı etkisi altına alan, bu salgının kontrol altına alınması amacıyla karantina önlemlerine ilaveten kişisel hijyen ve sosyal mesafenin korunması ve kişisel koruyucu ekipman kullanımı ana kural olarak benimsenmiştir [6, 9-11].

Mekânsal epidemiyoloji

Epidemiyolojide Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) genel olarak; hastalıkların ve vakaların tespit edilmesi, izlenmesi, dağılımı, riskli alanların ve risk altındaki popülasyonun belirlenmesi, hastalık verilerinin çevresel özellikler arasındaki mekân-zaman ilişkilerinin kurulması, coğrafi koşulların etkilerinin araştırılması ve yetkili otoriteye kontrol stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla yaygın olarak

kullanılmaktadır. Mekânsal epidemiyoloji, geçtiğimiz on yılda önemli bir faaliyet alanı haline gelmiştir [12]. Hastalık prevalans araştırmalarında küresel konumlandırma sistemlerinin artan kullanımı, sağlık haritalaması gibi faktörlerin yönlendirmesiyle, mekânsal olarak epidemiyolojik veriler artık daha yaygın hale gelmektedir. Ayrıca mekânsal epidemiyoloji, sağlık verilerinin haritalanması, uydulardan epidemiyolojik olarak ilgili değişkenlerin artan kullanılabilirliği ve istatistiksel yöntemlerin sürekli geliştirilmesiyle hızla büyüyen bir alan olmaya devam etmektedir. Dr. John Snow 1854'de Londra kolera salgını epidemiyolojik vakalarını haritalaması ile mekânsal epidemiyolojinin temelini atmıştır. Dr. Snow Londra'da kolera sonuçlu ölümlerin mekânsal dağılımını yaparak kirli su kaynakları ile ölümler arasındaki ilişkiyi analiz etmeye çalışmıştır [13].

Hastalıkların analizi, çevreyle olan ilişkisi, hastalık kümelerinin nerelerde yoğunlaştığını, karar vericilerin kontrol ve eradikasyon planlamaları hazırlamalarında kaynakların etkin kullanımı, salgın vakalarının yayılımı, kontrol stratejilerinin değerlendirilmesinde mekânsal epidemiyolojinin rolü büyüktür [14, 15]. CBS'nin epidemiyolojide kullanılmasıyla birlikte hastalık haritalaması gündeme gelmiştir. Hastalık haritaları, hastalığa müdahale stratejisinde öncelikli konumlarının zamanla olan ilişkisini göz önünde bulundurarak nokta, çizgi ve alansal olarak hazırlanabilmektedir [16, 17].

Mekânsal epidemiyolojinin ilgilendiği diğer konu ise kümelenme analizleridir. Kümelenme analizleri hastalık etkeninin nerelerde kümelenildiğini tespit etmesi, oluşan kümelenmenin istatistikî açıdan anlamlı olup olmadığını göstermesi açısından önem arz etmektedir. Ek olarak kümelenme analizi hastalıkla mücadele stratejilerinin belirlenmesinde, kontrol ve eradikasyona ayrılan bütçenin etkin kullanılmasında, gözlenen-beklenen vaka sayıları arasındaki ilişkilerde önemli bir rol üstlenmektedir [18, 19]. Salgınlar genellikle vakaların mekânsal yayılma derecesi ile karakterize edildiğinden, mekân-zamansal sürveyans algoritmaları ülke bazlı geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemi yazılımlarına genel bir bakış

CBS, bilimsel bilgiler yoluyla salgının hafifletilmesine yardımcı olmak, diğer değişkenlerle mekânsal korelasyonlar bulmak ve iletim dinamiklerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, CBS salgın tespit algoritmalarını değerlendirmek için gerçekçi vaka dağılımları üretebilen, farklı lokasyonlara kolayca uyarlanabilen ve farklı alta yatan popülasyon dağılımlarını temsil eden hastalık salgınlarını simüle eden bir teknoloji içermektedir. Simüle edilmiş salgın verileri, halk sağlığı sürveyansına yönelik algoritmaları değerlendirmek için kullanılabilir. Değerlendirme genel olarak, algoritmadan türetilmiş salgın göstergeleri ile salgınların belirli zaman ve mekandaki konumlarını gösteren önceden belirlenmiş kriterleri karşılaştırarak gerçekleştirilir. Günümüzde hastalık vakalarının zamansal-mekânsal analizlerinde CBS yazılımı olarak QGIS™, GeoDa™, SaTScan™, ArcGIS™ ve R programı vb. yazılımlar kullanılmaktadır. Hastalık kümelenmeleri ise mekân-zaman permutasyon modeli (STPM) analiziyle tespit edilmektedir. Hastalık verilerinin zamansal-mekânsal analizleri, verilerin mekânsal değişimi ve verilerin konum ilişkisinin inceleme temeline dayanmaktadır. Zaman olarak, her yıl için cinsiyet, yaş gruplarına göre yıllık insidans, hastalık vakaları için yıl bazlı veriler iklim verileriyle ilişkilendirilmektedir. Daha sonra vakaların zamansal desenleri ve görülme sıklığı analiz edilmektedir. Yıl ve yıl içindeki ay için iklimsel veriler (yağış-sıcaklık-bağıl nem) arasındaki ilişki analiz edilmektedir. Ayrıca hastalık vakalarının, zaman serileriyle analizi ve uygun modelin tespit edilerek ileriki yıllara ait vaka sayısı tahmininin yapılması öngörülmektedir. Bu amaçla Moran I, Geary Oranı, Global G İstatistiği, sıcak bölge analizleri (hot spot), Knox indeks, mantel indeks ve lokal mekânsal otokorelasyon (LISA) testi hesaplamaları kullanılmaktadır. Analizlerin anlamlılık düzeyi için dağılım desenlerini tespit etmede, dağılımın çalışma alanında nerelerde yoğunlaştığının bulunması için Kuadrat analizi, Point pattern analizi ve Kernel fonksiyonundan, olaylar arasındaki mekânsal bağımlılığın saptanmasında ise en yakın komşu mesafesi (nearest neighbor analysis) ve K-fonksiyonu ve konumsal ağırlık matrislerinden yararlanılmaktadır.

Quantum geographic information system (QGIS™)

QGIS™, verilerin depolanması, analizi, görselleştirilmesinde kullanılan ve mekânsal analizler yapmaya imkân veren açık kaynak kodlu bir programdır [20]. Hastalık risk haritaları, sınırları belirlenmiş ve birbirleriyle örtüşmeyen mekân üzerinden riskin mekânsal dağılımında hazırlanmaktadır. Ayrıca hangi konumların risk teşkil edebileceği de bu haritalar üzerinden yorumlanabilmektedir. Epidemiyolojide hastalıkların dağılım haritaları önem arz etmektedir. Bir bölgede meydana gelen hastalık sayısı, bazen riski tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Bu çerçevede, hastalık riskine ilişkin bir öngöründe bulunmak için gözlemlenen vaka sayısı ile beklenen vaka sayısı ilişkilendirilerek çıkarım yapılması gerekmektedir. İstatistiksel değişkenlerin ölçümü ile ilişkili olarak mekânların renklendirildiği ve desenlediği salgın hastalık mortalite, morbidite ve vaka-ölüm hızı haritaları, hastalık dağılımı haritaları ve standartlaştırılmış ölüm oranı (SMR) haritaları QGIS™ de hazırlanabilmektedir. SaTScan™ da elde edilen kümeler QGIS™ de görüntülenmektedir.

GeoDa™

Salgın verilerinin mekânsal otokorelasyon temelindeki analizlerinde GeoDa™ programı kullanılmaktadır. Programda verilerin haritalarla görselleştirilmesi, mekânsal otokorelasyon, regresyon hesaplaması ve tahminleri yapılmaktadır [21]. Kümelenmelerde mekânsal ağırlık matrisi oluşturularak persentil haritası kullanılmaktadır. Çalışmalarda hastalığın mekânsal dağılımdaki oranlarda persentil haritasına bakılmaktadır. Diğer taraftan Kuadrat analizi verinin düzenli olarak şekillendirilmiş bölgelerdeki mekânsal dağılımının incelenmesinde kullanılmaktadır. Burada amaç; matematiksel bir formülle dağılımın nasıl olduğunu hesaplamaktır [22].

SaTScan™ -mekân-zaman permutasyon modeli (STPM)

SaTScan, mekânsal veya mekân-zaman hastalık kümelerini tespit etmek, hastalığın coğrafi dağılımını yapmak ve istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını görmek, hastalığın uzaya, zamana ya da uzaya ve zamana rastgele dağılım gösterip göstermediğini ve hastalık kümelenmelerinin istatistiksel olarak

anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [23].

Yazılımın tarama istatistikleri, mekânsal-zamansal olgu kümelerini tespit etmek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu, zaman içinde ve / veya alanda hastalık verisini kademeli olarak tarayarak, her bir konumdaki pencerede gözlenen ve beklenen gözlemlerin sayısını dairesel pencerede göstermektedir. Çalışma alanı içerisinde farklı boyutlarda tarama pencereleri oluşturulmaktadır. Sonuçta her pencereye ait gözlenen-beklenen vaka sayıları, kümeleri oluşmakta, olasılıkları ve analiz sonucunda vaka sayıları ve p değeri hesaplanmaktadır. Yazılımla, verilerin özelliklerine göre normal-sürekli, ayrık Poisson, Bernoulli modelleri de uygulanabilmektedir [23, 24].

Mekân-zaman permutasyon modelinin avantajı konum-zaman verisine göre çalışmasıdır. Vakaların Poisson dağılımı varsayımından her küme Monte Carlo hipotez yöntemiyle istatistiksel anlamlılığı test etmektedir. Risk altında bulunan nüfus veya kontrol grubunun olmadığı kümelerin oluşturulmasında yine STPM kullanılmaktadır. Model yıllara ilişkin verilerden retrospektif veya her dönem için yapılan periyodik taramalar içinde kullanılmaktadır. Bu çerçevede hastalık salgınlarının ileriye dönük tahmin etmeye yönelik algoritma çalıştırmaktadır [23-25].

ArcGIS™

ArcGIS, coğrafi bilgi verilerinin derlenerek işlenmesine, haritaların oluşturulmasına, görselleştirilmesine, analiz edilmesine ve kütüphanesindeki mekânsal bilgileri kullanma araçları içeren, sağlık, tarım ve bölgesel planlama gibi birçok alanda kullanıma olanak tanıyan yazılım programıdır. Çevresel Sistemleri Araştırma Enstitüsü (Environmental Systems Research Institute (ESRI)) tarafından tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Vektörel ve grafik türündeki coğrafi verilerin bilgisayar ortamında işlenerek ve depolanması sayesinde bir araya getirilerek araştırma kapsamında istenilen şekilde bilgilerin sayısallaştırılarak görselleştirilmesi ve analizi sağlanır. Vektör ve raster tarzı verileri analiz etmek ve anlamak için ihtiyaç duyulan araçları, haritaları ve demografik verileri sağlar. ArcGIS, haritalar oluşturmasına

ve düzenlenmesine verilerinizi haritalara eklemesine, coğrafi verilerin analiz edilmesine ve kurumsal veri kaynaklarına bağlanmayı kolaylaştıran birçok yeni ve gelişmiş özellik sunmaktadır [26].

R programı

R (<https://www.r-project.org>), çok detaylı istatistiki (doğrusal ve doğrusal olmayan) modelleme, klasik istatistik testleri, zaman serileri analizi, sınıflandırma, kümeleme) ve grafik çizim teknikleri sunan bilgisayar programı ve program dilidir. R açık kaynak kodlu olduğundan çalışma ekibi (R Core Team) tarafından sürekli geliştirilmektedir. Analizlerde R programında kullanılan algoritmalarda temel kurulumun yanında ek paketler ile birlikte kullanıcılara kolaylık sağlanmaktadır. Kullanıcılara, matrislerde hesaplamalar yapabilme imkânı vermektedir. Programlama dillerine hâkim kod yazan kullanıcılar R programında da aynı kodları yazabilme imkânı bulmaktadırlar. R programı, C ve Java gibi birçok programlama dili ile uyumlu çalışabilmektedir. R, verilerin işlenmesi, hesaplanması ve analizlerinde özet çıktı verebilmekte ve program, veri tabanında ileriki çalışmalar için sonuçları saklamaktadır. Program kullanıcıları kod bilmemelerine karşın R paketlerini kullanarak analizlerini gerçekleştirebilmektedir. Ancak ilgili paketin istatistiksel teorilerin varsayım ve algoritma mantalitesinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü model veya hipotez oluştururken konuya ilişkin kavram ve formüllerin anlaşılması açısından faydalı olacaktır [27].

“spacetime” paketi

R “spacetime” paketi farklı mekânsal-zamansal veri türleri için tasarlanmış bölüm ve yöntemleri açıklar ve bunları analiz etmek için örnekler sağlar. Paket “sp”den gelen mekânsal veriler için ve “xts” paketinden gelen zaman serisi verileri için sınıflar ve yöntemler üzerine inşa edilir. Paketin amacı mekânsal-zamansal verileri için bir dizi yararlı sunumu kapsamak ve bunların tahmin edilmesinden (mekânsal ve/veya zamansal), bir araya getirilmesinden veya alt kümelenmesinden elde edilen sonuçları kapsamaktır. Paket, hangi analiz ve görselleştirme yöntemlerinin

yararlı ve uygulanabilir olduğunu bulmaktadır. Paket yardımı ile hedef parametre (bağımlı-bağımsız değişkeni) seçildikten sonra işlemlere başlayarak oluşturulmak istenen kümeleme, sınıflandırma ve analizleri yapılabilmektedir [28].

“gstat” paketi

R “gstat” paketi mekânsal-zamansal jeostatistiksel modelleme ve enterpolasyon, tahmin, simülasyon ve mekânsal verileri tanımlama, içe/dışa aktarma ve görselleştirme işlevi görmektedir. Paket ile çeşitli mekânsal-zamansal kovaryans modeller (metrik-toplam metrik modeller) gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, paket koordinat polinomlarının veya kullanıcı tanımlı temel fonksiyonların doğrusal bir fonksiyonu olarak modellenen eğilimler ve bağımlı/bağımsız jeostatistiksel modeller ile çok değişkenli doğrusal modelleri uygulama imkânı sunmaktadır [29].

COVID-19 ile ilişkili CBS çalışmalarına genel bakış

Mekânsal epidemiyoloji çerçevesinde SARS CoV-2 enfeksiyonu ile ilgili olarak gerçekleştirilen güncel çalışmalar ve elde edilen verilerin hastalık kontrolüyle ilgili önerileri bu bölümde incelenmiştir. COVID-19’a ilişkin CBS ile ilgili analizler dünya geneli ve ülke, il, bölge, eyalet seviyelerinde haritalandırılmıştır [30-32].

Baker ve ark. [33] SARS-CoV-2 pandemisini simüle etmek için iklime bağlı salgın modeli kullanarak CoV biyolojisine ilişkin üç farklı senaryoyu araştırmışlardır. İlk senaryoda, SARS-CoV-2'nin, influenza gibi iklime aynı duyarlılığa sahip; ikinci ve üçüncü senaryolarda, SARS-CoV-2'nin sırasıyla HCoV-OC43 ve HCoV-HKU1 ile aynı iklim bağımlılığına ve bağışıklık süresine sahip olduğunu varsaymışlardır. İklim bağımlılığının bu üç enfeksiyonla aynı olduğunu varsaymalarına rağmen, simülasyon senaryolarında günlük virus bulaştırma katsayısının (R_0) SARS-CoV-2'nin güncel tahminlerine dayandırmışlardır. Çalışmalarında iklimin, pandemik salgının boyutunda ve zaman ölçeğinde rol aldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca iklim faktörlerinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılması ve kontrol önlemlerinin sonuçlarını

anlamak için önemini vurgulamışlardır. Hava durumu ve iklim tahminlerinin, ilk pandemi aşaması geçtikten sonra ikincil salgınları tahmin etmek için yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir.

Xun ve ark. [34], Amerika Birleşik Devletleri COVID-19 Atlası (<https://geodacenter.github.io/covid/>) oluşturmuşlar ve bu atlasta COVID-19 vaka verilerini ve toplum göstergelerini birbirleriyle ilişkilendirmişlerdir. Atlas, toplumdaki yayılmayı daha iyi anlamak ve planlama çabalarını desteklemek için güncel, doğrulanmış il düzeyinde verilere ve mekânsal analize erişmeye yardımcı olmaktadır. ABD'de, Desjardins ve ark. [35], ilçe düzeyinde mevcut ve yeni ortaya çıkan COVID-19 salgınlarını belirlemek için 22 Ocak ile 27 Mart 2020 arasındaki mevcut veriler ile kümelenmeleri tespit etmek amacıyla mekân-zaman istatistiklerini kullanmışlardır. Çalışmalarında halk sağlığı departmanları ve araştırmacılar için mevcut olan veri setinde mekân-zaman tarama istatistiklerinin kullanılması gerektiğini ve COVID-19'un yüksek riskli alanlarını daha iyi anlamak için mevcut vaka ve hastalık oranı haritalarının mekânsal analizde yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir. Tang ve Wang [36], COVID-19 salgınına izlemek için COVID-19 verilerini kullanarak matematik model geliştirmişler ve modeli ABD'de üç eyalette (California, Michigan, New York) uygulamışlardır. Çalışmada, bir salgının nasıl geliştiğini ve belirli bir zamanda ne kadar büyük bir mekânı kapsayacağını model üzerinden tahmin etmişlerdir.

Lakhani [37], Queensland (Avustralya)'da 65 yaşın üzerindeki nüfusun sağlık hizmetlerine erişimde yaşanan zorlukları ve öncelikli kırsal alanları belirlemek için Epidoros-V2 uzamsal platformunda kullanılmak üzere toplanan verileri kullanarak incelemiştir. Metodoloji olarak, insanların sağlık kuruluşlarına erişim ve kuruluş kapasitelerini, demografik dağılımı da dikkate alan yüzde, sayı, kullanılabilirlik ve kapasite (PNAC) mekânsal yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında, PNAC yönteminin gelecekteki uygulamalarının COVID-19 temelinde kırsal alanda sağlık planlamasına fayda sağlayacağını ve bu yöntemle belirlenen bölgelerdeki sağlık kuruluşlarına erişilebilirlik durumunun COVID-19 planlama ve uygulama stratejileri açısından önem arz ettiğini bildirmiştir.

Dagnino ve ark. [38] Brezilya'da Mart 2020 COVID-19 vaka verilerini kullanarak QGIS platformunda mekânsal analiz ile incelemiştir. Mekânsal analiz platformunda epidemiyolojik veriler belediye sınırları ve nüfus ile ilişkilendirilerek vaka sayısı ve vakaların nerelerde kümelendiğine dair grafikleri, haritaları hazırlayarak doğrulanmış güncel verileri bildirmişlerdir. Rex ve ark. [39], São Paulo Eyaleti (Brezilya) Mayıs 2020 COVID-19 vaka verilerini Kernel yoğunluk tahmini ile incelemiştir. Eyaletteki şehirlerin vaka dağılımlarını yüksek-orta-düşük yoğunluk alanlarını mekânsal analiz ile göstermişlerdir. Bu nedenle, mekânsal analizler virusun yayılmasını anlamak için çok önemli olduğunu ve diğer mekânsal verilerle ilişkisinin kontrol önlemlerine rehberlik etmek için gerekli olabileceğini bildirmişlerdir.

Guan ve ark. [40] Aralık 2019 ve 29 Ocak 2020'ye kadar Çin'de hastanelerde laboratuvarca doğrulanmış COVID-19 vakası olan 1099 hasta hakkındaki verileri, ortalama yaş, cinsiyet, semptomlar ve bunların mekân-zamansal özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, hasta vaka veri setinin mekânsal dağılımı ArcGIS yazılımında ve istatistiksel analizleri R programında gerçekleştirilmiştir. Hastalığın eyalete göre dağılımını, Wuhan'da ikamet eden ve yerleşik olmayanlar arasındaki özelliklerini değerlendiklerinde, Wuhan'da ikamet etmeyenlerin %72,3'ünün Wuhan'da ikamet edenlerle temas kurduğu ve bunların %31,3'ünün şehri ziyaret ettiğini bildirmişlerdir. Zhang ve ark. [41], Çin'de Mart 2020 COVID-19 verileri ile ve Ağustos 2003 SARS verilerinin benzer mekânsal-zamansal özellikler gösterip göstermediğini Moran' I ve LISA gibi mekânsal istatistikleri kullanarak araştırmışlardır. Sonuç olarak, SARS ile karşılaştırıldığında, COVID-19'un daha yüksek bir insidansa sahip olduğunu, daha hızlı ve geniş bir alana yayılım gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca farklı mekân-zamansal kümelenme modellerinin halk sağlığı acil durum hazırlık ve müdahale stratejilerinin yanı sıra Çin'deki CoV'ların bulaşma modelleri ve mekanizmalarındaki farklılıkları yansıtabileceğini bildirmişlerdir.

Kucharski ve ark. [42], Ocak ve Şubat 2020 tarihleri arasında Wuhan kentinde COVID-19 vakaları arasında bulaşma hızının nasıl değiştiğini stokastik bulaşma modeli (<https://github.com/adamkucharski/2020-ncov>) ile

incelemişlerdir. Modelde, bireyler dört sınıfa ayrılmıştır: duyarlı, maruz kalmış (ancak henüz bulaşıcı değil), bulaşıcı ve iyileşmiş (bulaşıcı olmayan). Gerçekleştirilen çalışmada bulaşma, geometrik rastgele yürüyüş süreci olarak modellenmiş ve zaman içindeki bulaşma oranını anlamak için sıralı Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Ayrıca, kullanılan modelde vaka gözlem belirsizliğini tespit etmek için yeni semptomatik vakaların Poisson modellemesi kullanılmıştır. Çalışmada, R programı ile analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında seyahat kısıtlamalarından önce Wuhan kentinde R_0 yaklaşık 2,35 iken seyahat kısıtlamaları ile bu oranın 1,05'e düştüğünü tespit etmişler ve seyahat kısıtlamalarının hastalığın kontrolünde etkin olabileceğini bildirmişlerdir.

Tang ve ark. [43], Aralık 2019 ve Şubat 2020 tarihleri arasında Çin'de COVID-19'un merkezi olan Hubei eyaletinde ve Hubei eyaleti dışındaki bölgelerde COVID-19 salgının coğrafi dağılımını ve değişen modellerini mekânsal analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada, haritalar ve mekansal analizlerde ArcGIS yazılımı istatistik analizler R programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, yeni ve kümülatif vakaların eğilimlerini analiz etmek için birleşim noktası regrasyonu uygulanmıştır. Ayrıca, salgın kümelerin varlığını incelemek ve yüksek risk altındaki Hubei dışı alanları tespit etmek için mekânsal otokorelasyon analizi ve sıcak nokta analizlerini kullanmışlardır. Uzamsal otokorelasyon analizinde Moran I indeksi >0 ve $p < 0,05$ ise COVID-19 kümelenmesinin mevcut olduğu değerlendirilmiştir. Mekânsal analiz yöntemi ile Şangay, Pekin, Jining, Çongçing, Guangzhou, Shenzhen, Çangsha, Nanchang, Wenzhou ve Xinyang eyaletlerinin de epidemik sıcak bölgeler olduğunu tespit etmişlerdir. Bu şehirlerin bir kısmının Hubei eyaletine komşu iken bir kısmı metropoliten şehirlerdir (özellikle Çongçing, Shenzhen ve Şangay). Hubei eyaletinde yetkili otoritelerinin, virusun potansiyelini hafife almaları ve yüzlerce vakadan sonra bile tam olarak tepki vermemelerine bağlı olarak hastalığın komşu eyaletlere ve insan hareketleriyle daha büyük şehirlere taşındığını bildirmişlerdir.

Roy ve ark. [44], Ocak ve Mayıs 2020 tarihleri arasında Hindistan'da CBS platformunda ağırlıklı örtüşme analizini kullanarak hastalık risk analizinin mekânsal dağılımı, ARIMA

modelleri kullanarak hastalığın prevalansı ve insidansını araştırmışlardır. Çalışmada, COVID-19 salgınının mekânsal dağılımı, vaka sayısı, nüfus yoğunluğu ve Hindistan'ın 734 ilçesinin bölgesel durumu dikkate alınarak bölge düzeyindeki analizi CBS ile gerçekleştirilmiştir. ARIMA modelinde, ayırıştırma yöntemine dayalı entegrasyon ile otoregresif (AR) model ve hareketli ortalama (MA) yöntemi dahil edilmiştir. Mekansal analizlerini QGIS yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda, Hindistan'ın batısının ve güneyinin COVID-19 için oldukça savunmasız olduğunu bildirmişler ve hastalık mücadele programları kapsamında CBS ve ARIMA analizleri kullanılarak daha etkin stratejiler geliştirilebileceğini bildirmişlerdir.

Orea ve Álvarez [45], matematiksel modelleme çalışması ile 14 Mart 2020 tarihinde İspanya'da gerçekleştirilen karantinanın etkisini araştırmışlardır. Geliştirdikleri modelde, salgının başlangıç tarih ve ilin ilk coronavirus vakasını rapor ettiği tarih parametrelerini kullanarak, R programı ile analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda karantina tedbirinin eyaletler arasında hastalığın yayılmasının engellenmesinde önemli derecede etkili olduğunu, eyaletlerdeki COVID-19 vakalarının ortalama olarak %5,8 azalmasına neden olduğunu ve karantina uygulaması ile potansiyel COVID-19 vakalarının sayısını %79,5 oranında azaltıldığını bildirmişlerdir.

Rossmann ve ark. [46], İsrail'de popülasyondaki semptomların ülke çapında gerçek zamanlı bir görünümünü elde etmek için virusun yayıldığı coğrafi kümelerin erken ve geçici olarak tespit edilmesini amaçlayan bir dakikalık basit bir çevrim içi anket geliştirmişlerdir. Ankette yaş, cinsiyet, coğrafi konum (şehir ve cadde), izolasyon durumu ve sigara içme alışkanlıkları hakkında sorular sorulmuştur. Ayrıca katılımcılardan mevcut literatüre dayanarak, COVID-19 hastalarında yaygın olarak tanımlanan semptomları gösterip göstermedikleri hakkında bilgiler istenmiştir. Elde edilen verilerden, İsrail'deki coğrafi konuma göre katılımcıların semptom oranları analiz edilmiş ve farklı şehirlerden veya coğrafi olarak birbirine yakın olan farklı mahallelerden gelen katılımcılarda bildirilen semptomların oranındaki farklılıkları ortaya konulmuştur. Ayrıca ankette bildirilen semptomların prevalansı ile COVID-19 hastalarında aynı semptomların prevalansı

arasındaki ilişkiyi de analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda doğrulanmış COVID-19 vakalarında olduğu gibi ankete katılan katılımcıların da öksürük gibi hastalıkla ilgili belirtileri yoğun olarak işaretledikleri, ayrıca evde tecrit edilmiş kişilerde, olmayanlara göre daha yüksek bir semptom yüzdesi tespit etmişlerdir. Bu verilerin yüksek coğrafi çözünürlükte hastalık kümelerini tespit etme potansiyelini sahip olduğunu ve hastalığın görüldüğü ülkelerde benzer anket çalışmalarının yapılmasının hastalığın takip edilmesine katkı sağlayacağını bildirmişlerdir.

Giuliani ve ark. [47], İtalya'da, COVID-19'un mekânsal-zamansal dağılım seviyesini araştırmışlar ve hastalığın uzay-zamansal difüzyonu tahmin etmek için alansal hastalık sayıları için endemik-epidemik zaman serisi karma etkiler genelleştirilmiş doğrusal modeli uygulamışlardır. Günlük enfeksiyon sayısının değişimini, genelleştirilmiş doğrusal mekânsal modelinde önerilen sayım modeli aracılığıyla incelemişlerdir. Modelde, belirli bir günde bir ilde kaydedilen enfeksiyon sayısı, önceki dönemlerde görülen enfeksiyonlara bağlı olarak, negatif binom dağılımı ile gerçekleşmesi olarak ele alınmıştır. Çalışmada, R programı ile analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda bazı illerde uygulanan sıkı kontrol önlemlerinin hastalığın yayılma döngüsünü etkili bir şekilde kırdığına ve yakın alanlara yayılmayı sınırladığına dair veriler elde etmişlerdir. Hastalığın kontrol edilmesi için ulusal seviyede etkili ve homojen kontrol önlemlerinin alınmasının faydalı olacağını bildirmişlerdir.

Sonuç olarak, bu derlemede, CBS ve mekânsal epidemiyoloji hakkında kullanılan bazı yazılımların ana hatları vurgulanmış, genel çerçevede bilgi verilerek özetlenmeye çalışılmıştır. COVID-19'un mekânsal-zamansal analizi ve yayılım dinamiklerini anlamak, hastalığın kontrol ve eradikasyonu için kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, karar vericilerin COVID-19'un kontrol stratejilerinde kaynakların etkin kullanımı için CBS ve mekânsal epidemiyolojinin kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çıkar ilişkisi: Yazarlar çıkar ilişkisi olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

1. Siddell SG, Walker PJ, Lefkowitz EJ, et al. Additional changes to taxonomy ratified in a special vote by the international committee on taxonomy of viruses. *Arch Virol* 2019;164:943-946. <https://doi.org/10.1007/s00705-018-04136-2>
2. Gorbalenya A, Baker S, Baric R, et al. The species severe acute respiratory syndrome related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 2020;5:536-544. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>
3. Nieto Torres JL, DeDiego ML, Verdiá Báguena C, et al. Severe acute respiratory syndrome coronavirus envelope protein ion channel activity promotes virus fitness and pathogenesis. *PLoS Pathogens* 2014;10:e1004077. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004077>
4. Harapan H, Itoh N, Yufika A, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): a literature review. *J Infect Public Health* 2020;13:667-673. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.03.019>
5. Zhou P, Yang XL, Wang XG, et al. Discovery of a novel coronavirus associated with the recent pneumonia outbreak in humans and its potential bat origin. *Nature* 2020;579:270-273. <https://doi.org/10.1101/2020.01.22.914952>
6. Yi Y, Lagniton PNP, Ye S, Li E, Xu RH. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease. *Int J Biol Sci* 2020;16:1753-1766. <https://doi.org/10.7150/ijbs.45134>
7. Luk HK, Li X, Fung J, Lau SKP, Woo PCY. Molecular epidemiology, evolution and phylogeny of SARS coronavirus. *Infect Genet Evol* 2019;71:21-30. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.03.001>
8. Badawi A, Ryoo SG. Prevalence of comorbidities in the Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV): a systematic review and meta-analysis. *Int J Infect Dis* 2016;49:129-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.06.015>
9. De Wit E, van Doremalen N, Falzarano D, Munster VJ. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. *Nat Rev Microbiol* 2016;14:523-534. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.81>
10. Tu YF, Chien CS, Yarmishyn AA, et al. A review of SARS-CoV-2 and the ongoing clinical trials. *Int J Mol Sci* 2020;21:2657. <https://doi.org/10.3390/ijms21072657>
11. Ministry of Health 2019. Covid 19 Information page. Available at: <https://covid19.saglik.gov.tr/>. Accessed December 12, 2020
12. Kirby RS, Delmelle E, Eberth JM. Advances in spatial epidemiology and geographic information systems. *Ann Epidemiol* 2017;27:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.12.001>

13. Frerichs RR. History, maps and the internet: UCLA's John Snow site. Soc Bulletin Available at: [https://www.ph.ucla.edu/epi/snow/socbulletin34\(2\)3_7_2001.pdf](https://www.ph.ucla.edu/epi/snow/socbulletin34(2)3_7_2001.pdf). Accessed September 10, 2020
14. Carpenter T. The spatial epidemiologic (r)evolution: a look back in time and forward to the future. *Spat Spatiotemporal Epidemiol* 2011;2:119-124. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2011.07.002>
15. Prates MO, Kulldorff M, Assunção RM. Relative risk estimates from spatial and space-time scan statistics: are they biased?. *Stat Med* 2014;33:2634-2644. <https://doi.org/10.1002/sim.6143>
16. Bailey TC. Spatial statistical methods in health. *Cad Saude Publica* 2001;217:1083-1098. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2001000500011>
17. Uluğtekin N, Doğru AÖ. Coğrafi bilgi sistemi ve harita: kartografya, Ege CBS Sempozyumu, 27-29 Nisan 2005, İzmir, Erişim adresi: https://web.itu.edu.tr/~dogruahm/Cografi%20Bilgi%20Sistemi%20Ve%20Harita_Kartografya.pdf. Erişim tarihi 18 Aralık 2020
18. Karabulut E, Alpar R, Özayar E. Hastalıkların yere göre kümelenmesinde kullanılan yöntemler. *İnönü Üni Tıp Fak Der* 2006;13:37-43.
19. Tonini M, Tuia D, Rattle F. Detection of clusters using space-time scan statistics. *Int J of Wildland Fire* 2009;18:830-836. <https://doi.org/10.1071/WF07167>
20. Quantum Geographic Information Systems™ (QGIS). QGIS home page. Available at: <https://www.qgis.org/tr/site/>. Accessed December 07, 2020
21. Anselin L, Nancy LG, Julia K. Rate transformations and smoothing-2006. Technical Report. Urbana, Spatial Analysis Laboratory, Department of Geography, University of Illinois. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/88d8/b02de84f97f556cfe0ef5a91a7df229cf363.pdf>. Accessed May 06, 2020
22. Gayır B, Arslan O. Orman yangınlarının CBS tabanlı konumsal istatistik analizi: 2011-2015 yılları arasında Muğla orman bölge sınırları içerisinde çıkan yangınlar. *Anadolu Orman Araştır Derg* 2018;4:44-60.
23. Kulldorff M. SaTScan™ user guide for version 9.6-2018. Satscan™ Home Page. Available at: https://www.satscan.org/cgi-bin/satscan/register.pl/SaTScan_Users_Guide.pdf?todo=process_userguide_download. Accessed October 11, 2020
24. Suzuki K, Pereira JAC, López R, et al. Descriptive spatial and spatio-temporal analysis of the 2000–2005 canine rabies endemic in Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Acta Trop* 2007;103:157-162. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2007.06.003>
25. Waller LA, Gotway CA. Applied spatial statistics for public health data. New Jersey: John Wiley&Sons Publications, 2004;118-155. Available at: <https://libgen.is/book/index.php?md5=73DFE52B330F23BBBE58C3EDAA2E35C7>. Accessed April 3, 2020
26. ESRI Company. ArcGIS Available at: <https://www.esri.com.tr/tr-tr/urunler/arcgis-for-personal-use>. Accessed May 5, 2020
27. R Core Team. The R project for statistical computing. Available at: <https://www.r-project.org/>. Accessed December 5, 2019
28. Pebesma E. Spacetime: spatio-temporal data in R. *J Stat Softw* 2012;51:11-30. <https://doi.org/10.18637/jss.v051.i07>
29. Pebesma E, Graeler B. Gstat package. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/gstat/gstat.pdf>. Accessed May 15, 2020
30. Rezaei M, Nouri AA, Park GS, Kim DH. Application of geographic information system in monitoring and detecting the COVID-19 outbreak. *Iran J Public Health* 2020;49:114-116. <https://doi.org/10.18502/ijph.v49iS1.3679>
31. Franch Pardo I, Napoletano BM, Rosete Verges F, Billa L. Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Sci Total Environ* 2020;739:140033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140033>
32. Saha A, Gupta K, Patil M, Urvashi. Monitoring and epidemiological trends of coronavirus disease (COVID-19) around the world. *Matrix Sci Med* 2020;4:121-126. Available at: <https://www.matrixscimed.org/text.asp?2020/4/4/121/297630>. Accessed October 12, 2020
33. Baker RE, Yang W, Vecchi GA, Metcalf CE, Grenfell BT. Susceptible supply limits the role of climate in the early SARS-CoV-2 pandemic. *Science* 2020;369:315-319. <https://doi.org/10.1126/science.abc2535>
34. Xun L, Qinyun L, Marynia K, et al. GeoDaCenter/covid: beta 2020 (Version beta). Zenodo. Available at: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4081869>. Accessed September 7, 2020
35. Desjardins MR, Hohla, Delmelle EM. Rapid surveillance of COVID-19 in the United States using a prospective space-time scan statistic: detecting and evaluating emerging clusters. *Appl Geogr* 2020;118:102202. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102202>
36. Tang Y, Wang S. Mathematic modeling of COVID-19 in the United States. *Emerging Microbes Infec* 2020;9:827-829. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1760146>
37. Lakhani A. Introducing the percent, number, availability, and capacity (PNAC) spatial approach to identify priority rural areas requiring targeted health support in light of COVID-19: a commentary and application. *J Rural Health* 2020;37:149-152. <https://doi.org/10.1111/jrh.12436>
38. Dagnino R, Weber EJ, Panitz LM. Monitoramento do Coronavirus (Covid-19) nos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. *SocArXiv* 2020:1-8. <https://doi.org/10.31235/osf.io/3uqn5>

39. Rex FE, Borges CAS, Käfer PS. Spatial analysis of the COVID-19 distribution pattern in São Paulo State, Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva* 2020;25:3377-3384.
40. Guan W, Ni Z, Hu Y, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med* 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>
41. Zhang X, Rao H, Wu Y, Huang Y, Dai H. Comparison of spatiotemporal characteristics of the COVID-19 and SARS outbreaks in mainland China. *BMC Infect Dis* 2020;20:805. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05537-y>
42. Kucharski AJ, Russell TW, Diamond C, et al. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *Lancet Infect Dis* 2020;20:553-558. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30144-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30144-4)
43. Tang T, Huipeng L, Gifty M, et al. The changing pattern of COVID-19 in China: a tempo-geographic analysis of the SARS-CoV-2 epidemic. *Clin Infect Dis* 2020;71:818-824. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa423>
44. Roy S, Bhunia GS, Shit PK. Spatial prediction of COVID-19 epidemic using ARIMA techniques in India. *Model Earth Syst Environ* 2020:1-7. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00890-y>
45. Orea L, Álvarez IC, da Silva CHF. How effective has the Spanish lockdown been to battle COVID-19? A spatial analysis of the coronavirus propagation across provinces. *Documento de Trabajo* 2020;3:1-33.
46. Rossman H, Keshet A, Shilo S, et al. A framework for identifying regional outbreak and spread of COVID-19 from one-minute population-wide surveys. *Nat Med* 2020;26:634-638. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0857-9>
47. Giuliani D, Dickson MM, Espa G, Santi F. Modelling and predicting the spatio-temporal spread of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Italy. 2020. SSRN Electron J <https://doi.org/10.2139/ssrn.3559569>

Yazarların makaleye olan katkıları

Fikir/Kavram: Ö.B.İ. Tasarım: Ö.B.İ., A.S., M.Ş. Kaynak Taraması: Ö.B.İ., A.S., M.Ş. Makalenin Yazımı: Ö.B.İ., M.Ş., A.S. Eleştirel İnceleme ve düzeltme: M.Ş. Ayrıca tüm yazarlar makalenin tamamını tartışmış ve son halini onaylamıştır.