

# Türkiye'deki İllerin Partikül Madde (PM<sub>10</sub>) Miktarının Değerlendirilmesi ve R Programlama Dili ile Görselleştirilmesi

İbrahim Edibali Atalay<sup>1</sup>, Serdar Neslihanoglu<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Meşelik Yerleşkesi, 26480, Eskişehir.

## Özet

Hava kirliliği konusunda etkin bir madde olan partikül madde (PM<sub>10</sub>) miktarı Türkiye'deki verilerinin etkin bir şekilde anlaşılabilir olması için son yıllardaki teknolojik gelişmelerinde katkısıyla birlikte araştırmacılara ileri düzeyde animasyon temelli veri görselleştirmelerin yapılabilmesini amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda R programlama dilindeki "ggplot2" paketi temelli olarak Türkiye haritasının simülasyonlarının animasyonları ilk olarak bu çalışmada oluşturulmuştur. Bu kapsamda, 2014-2018 yılları arasındaki yıllık frekansa sahip Türkiye'nin iller ve ilçeler bazında PM<sub>10</sub> miktarı verileri tercih edilmiş ve animasyonları oluşturulmuştur. Animasyon görselleştirmeleri incelendiğinde Türkiye geneli iller bazında PM<sub>10</sub> miktarlarının, incelenen yılın Türkiye ortalamasına yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Türkiye ortalaması üzerinde ölçüm değerleri bulunan illerin PM<sub>10</sub> miktarlarının yıllara göre azalmasına rağmen Türkiye ortalaması üzerindeki ölçüm değerlerinin devam ettiği gözükülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak insan sağlığı ve çevreyi tehdit eden risklerden birisi olan partikül madde kirliliğinin temiz hava eylem planı oluşturularak sürekli ölçüm ve değerlendirmeler yapılarak önlemlerin alınmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada geliştirilen ileri düzey animasyon görselleştirmelerinin farklı frekanslardaki animasyonları ile daha etkin anlaşılabilir olması sağlanarak araştırmacılara veri görselleştirme alanında farklı bir bakış açısı sunulmuştur.

## Anahtar Sözcükler

Animasyon, Veri Görselleştirme, Partikül Madde, R Programlama Dili, Türkiye

## Visualization with R Programming Language of the Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) Quantities in Cities of Turkey

### Abstract

With the contribution of recent technological developments, it is aimed to provide researchers with advanced animation based data visualizations for an active pollutant, particulate matter (PM<sub>10</sub>), in air pollution in an effective manner for the amount of data to be understood in Turkey. For this purpose, for the first time in this research, the R programming language "ggplot2" animation of a simulation package based on Turkey map is generated. In this context, the annual frequency of PM<sub>10</sub> based on provinces and cities in Turkey between the years 2014-2018 is preferred and animation data is provided. When the animation visualization of Turkey is tested on the basis of PM<sub>10</sub> in the culture, it is found to have values similar to the average of those examined in Turkey. As a result of this situation, it has become necessary to take action by developing a clean air action plan for particulate matter pollution, which is one of the threats to human health and the environment. A new perspective in the field of data visualization has been introduced to the researchers by ensuring that the advanced animation visualizations developed in this study can be understood more effectively with animations at different frequencies.

### Keywords

Animation, Data Visualization, Particulate Matter, R Programming Language, Turkey

## 1. Giriş

Günümüzdeki bilimsel veri görselleştirme yöntem ve teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; araştırmacıların araştırmalar sonucunda elde edilen verilerin daha etkin anlaşılabilir olması için farklı programlama dilleri yardımıyla oluşturulan grafik, tablo, çizelge, şekil, harita vb. gibi temel veri görselleştirme yöntemlerini kullandığı görülmektedir. Bilişim teknolojisinin ilerlemesiyle araştırmalarda tercih edilen temel veri görselleştirme yöntemleri farklı bir boyut kazanarak simülasyon, animasyon vb. yöntemler tercih edilmeye başlanmıştır (Friendly 2008; Atalay 2020). Türkiye'de yapılan bilimsel veri görselleştirme çalışmalarında farklı bilim alanlarında yapılan veri görselleştirme çalışmaları olmasına karşın istatistiksel yöntem, teknik ve yeni geliştirilen programlama dillerinin veri görselleştirme alanında etkili olarak kullanılmadığı görülmektedir.

Günümüzde 1997 yılında ilk olarak Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından tasarlanan *R* programlama dili ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması sebebiyle kullanıcılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Ihaka ve Gentleman 1996). *R* programlama dilinin istatistiksel hesaplama teknikleri ve grafiksel yöntemler konularındaki işlevselliğinin hızla artmakta olduğunu ve *R* programlama dilinin veri görselleştirme alanında günümüzde sıklıkla kullanıldığı Neslihançoğlu (2019) tarafından belirtilmiştir. 17 Kasım 2020 itibarıyla *R* programlama dilinde 16599 *R* kütüphanesi bulunmaktadır (URL-1 2020). Türkiye'de *R* programlama diliyle yapılan veri görselleştirme çalışmalarına bakıldığında ise Cansız (2019); parçalı dairesel veri görselleştirme yöntemini iki boyutlu düzlemlerde noktasal olarak uygulanabileceğini çalışmada incelemiş ve “*ggplot2*” paketini kullanılarak noktasal tabanlı parçalı dairesel veri görselleştirmesini uygulamıştır. Çelik (2019); rüzgâr enerjisi ile elektrik üretilmesi için, *R* programlama dilini kullanarak, Bandırma ili ve çevresinde rüzgâr enerjisinin hızı ve yönünü baz alarak analiz etmeye uygun hale getirdiği verileri harita üzerinde görselleştirmiştir. Araştırmadaki Grafik ve şekiller için “*ggplot2*” paketini kullanmıştır. Bu çalışmada, özellikle güçlü kodlama yapısı ve raporlarda gösterdiği ayrıntılı analizler ile *R* programlama dilinin rahatlıkla kullanılabilirliğini gözlemlemiştir.

Bilimsel veri görselleştirme yöntemleri farklı bilim dallarındaki araştırmalar ile bütünleştirilerek çevre ve insanlık için ortaya çıkabilecek sorunlara çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda, günümüzde çevre ve insanlık için en büyük tehditlerden birisinin hava kirliliği olduğu söylenebilir. Pan vd. (2007), solunum yolları hastaları ve buna bağlı ölümlerin en önemli faktörü olarak hava kirliliğini ifade etmektedir. Hava kirliliği, maruz kalan kişiler üzerinde ölümcül etkilere neden olduğu araştırmalar da görülmüştür. Araştırmalar sonucunda hava kirliliğine, kısa süreli maruz kalındığında akut bronşit, miyokardiyal damar tıkanıklığı, astım atakları, ani ölümler ve farklı sağlık sorunlarına yol açtığı, bunlara ek olarak uzun süreli maruz kalınması durumunda ise akciğer fonksiyonlarında azalma, akciğer hastalıkları ve kansere sebep olabileceği belirlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2021), insan sağlığını etkileyen en güçlü olan kirleticileri; partikül madde (PM<sub>10</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) olarak belirtmiştir. Ek olarak, Amerika Çevre Koruma Ajansı (URL-2 2020) tarafından PM<sub>10</sub> hava kirleticisinin insan sağlığı için en büyük riski oluşturan kirletici olduğu belirtilmiştir. Hava kirliliğine sebep olan bu kirleticiler konusundaki literatürde ülkemiz ile ilgili araştırmalar da mevcuttur. Örneğin, Bayram vd. (2006), hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin özellikle endüstriyel tesislerden, konutlardaki ısınma amaçlı yakıt tüketiminden ve motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanmakta olduğunu vurgulamıştır. Toros ve Bağış (2017), insan sağlığı ve ekosistem için en ciddi tehditlerden birisinin, artan nüfusa bağlı olarak hava kirleticilerinin artması sebebiyle hava kalitesindeki bozulma olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun iyileştirilmesi için öncelikli olarak kirletici miktarlarının belirlenmesi ve araştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. İnandı vd. (2018), hava kalitesini insan sağlığını belirleyen en önemli etkenlerden birisi olarak tanımlamışlardır. Ayrıca günümüzde dünya nüfusunun %92'sinin hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde yaşadığını ve hava kirliliğinin dünyadaki ölüm nedenleri arasında 4. sırada yer aldığını vurgulamışlardır. Yılmaz (2018), rüzgâr hızının hava kirliliğinin azalmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Vural (2021); şehirlerdeki hava kirliliğinin artmasında en önemli beşeri unsurlar olarak; yaşayan nüfus miktarı, konutlarda ve sanayide kullanılan yakıt türü ve kalitesi, sanayiye bağlı işletme sayısı ve araç sayısı olarak belirtmiştir. Altunok ve Eskiocak (2020), PM<sub>10</sub> hava da asılı kalan katı ve sıvı haldeki organik ve inorganik parçacıkların bir karışımı olarak tanımlamışlar ve sıklıkla üst solunum yolları ile insan vücuduna yerleştiğini belirtmişlerdir. Teker (2020), PM<sub>10</sub> kirliliğinin insan sağlığı ve çevreyi tehdit eden risklerden birisi olarak tanımlamıştır. Ayrıca, PM<sub>10</sub> kirliliğinin en önemli kaynaklarından olan evsel ısınma, endüstriyel faaliyetler ve ulaşım kaynaklarına yönelik çalışmalara hız ve öncelik verilmesinin kritik önemini vurgulamıştır.

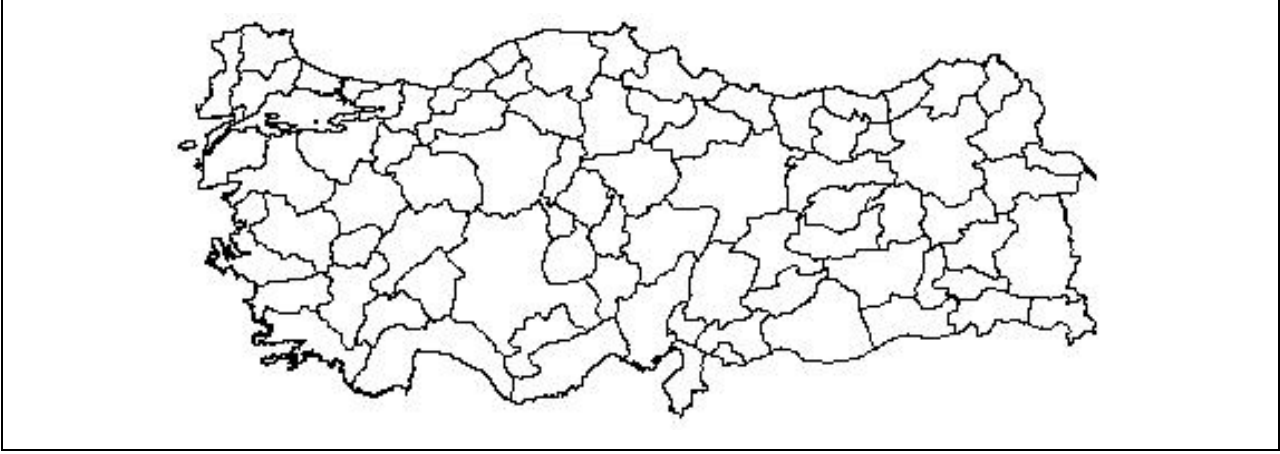
Ülkemizde, hava kalitesi limit değerlerinin aşılması için gerekli önemleri belirlemek ve hava kirliliği konusunda kamuoyunu bilgilendirmek amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB 2013), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi 09.09.2013 tarihinde yayınlanmıştır. Bu genelgede, insan sağlığının korunması için bu araştırmanın temel konusu olan PM<sub>10</sub> için yıllık limit değerleri 2014 yılı için 60 µg/m<sup>3</sup>, 2015 yılı için 56 µg/m<sup>3</sup>, 2016 yılı için 52 µg/m<sup>3</sup>, 2017 yılı için 48 µg/m<sup>3</sup>, 2018 yılı için 44 µg/m<sup>3</sup> olarak tanımlanmıştır (ÇŞB 2013).

Bu araştırmanın temel amacı ileri düzey veri görselleştirme yöntemlerinden birisi olan animasyon ile Türkiye PM<sub>10</sub> verilerinin daha etkin bir şekilde anlaşılabilir olmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda animasyon görselleştirmeleri yapılırken *R* programlama dilindeki “*ggplot2*” kütüphanesi tercih edilmiştir. Araştırma verisi olarak Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sunulan Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 2019 hava kalitesi bülteninden (ÇŞB 2019) elde edilen 2014 ile 2018 yılları arası PM<sub>10</sub> ortalamaları kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, bilimsel veri görselleştirmesi için temel olarak *R* programlama dilindeki “*ggplot2*” ve “*gganimate*” kütüphaneleri kullanılmıştır. Buradaki, *R* programlama dili ile ilgili detaylar öncelikli olarak Atalay (2020)'den alınmıştır. *R* programlama dili kullanılarak oluşturulan animasyon ve simülasyon kodları Ek 1'de yer almaktadır.

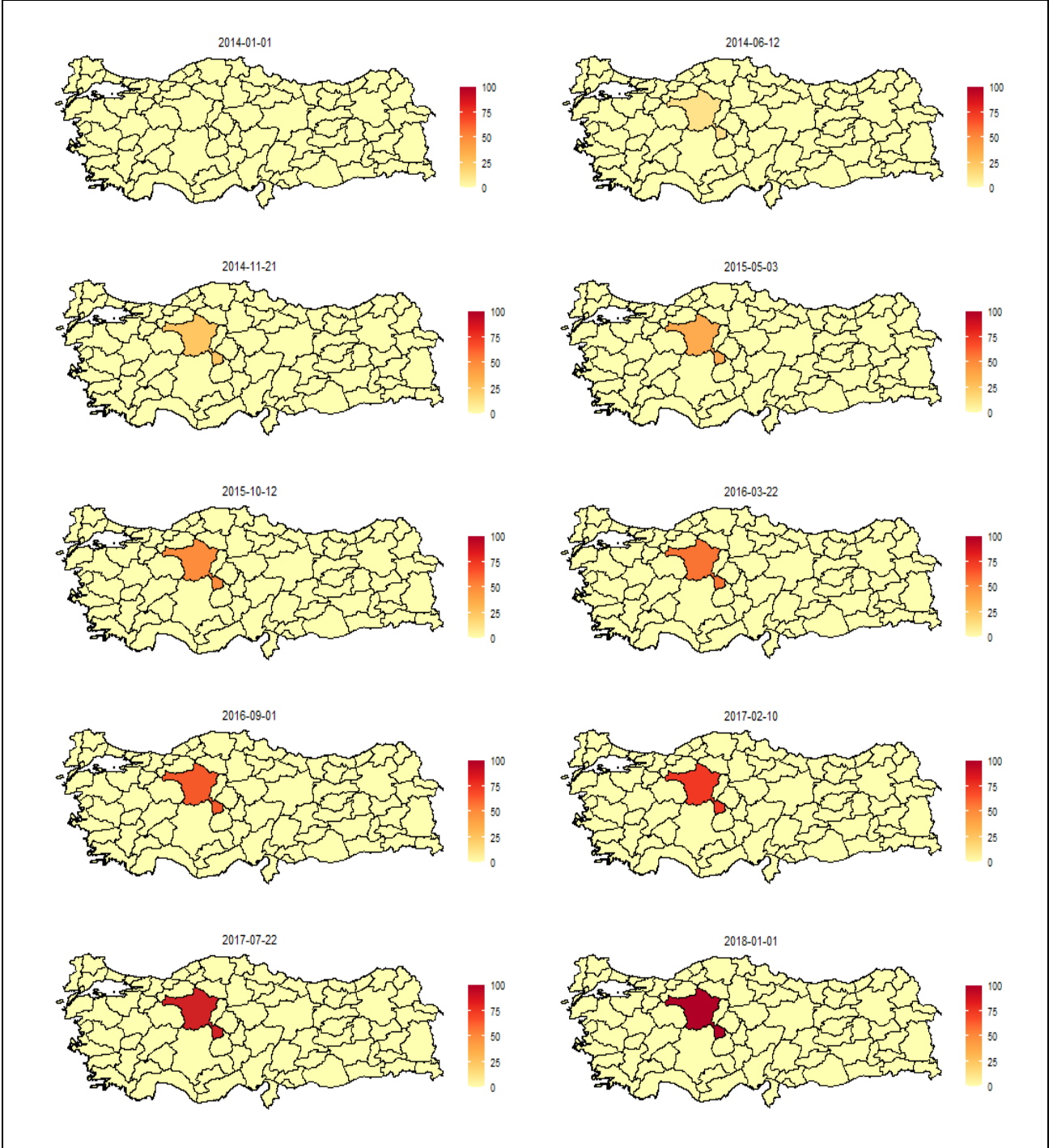
Ek 1'deki kodlar incelendiğinde; “library” komutu ile kullanılması tercih edilen kütüphaneler (*data.table*, *dplyr*, *gganimate*, *ggplot2*, *plyr*, *sp*, *transformr*) aktif edilerek tanıtılmıştır. Kullanılacak harita bilgileri model, veri ve alt kısımları “attr”, “coords”, “ldply”, “polgons”, “fortify”, “cbind” fonksiyonları yardımıyla “saferFortify.SPDF” değişkeni kullanılarak tanıtılmıştır. Animasyon ile harita üzerinde yapılacak görselleştirme çalışması için harita bilgilerine Küresel İdari Alanlar Veritabanı (Database of Global Administrative Areas - GADM) resmi internet sitesinden harita bilgilerine ulaşılmıştır (URL-3 2019). Bu siteden R programlama dilinde “sp” paketi ile Türkiye'nin il sınırlarına ait harita koordinat bilgilerine ulaşılmıştır. Tanıtılan haritayı “plot(turkey)” komutu ve haritanın çiziminde kullanılan model ve bölge olarak tanıtılan fonksiyonları ise “view(turkey)” komutu ile Şekil 1'deki Türkiye haritası çıktısı elde edilmiştir.



Şekil 1: Türkiye haritası

Türkiye'nin il sınırlarına ait harita koordinat bilgilerinin elde edilmesi sonrasında görselleştirme süreci “ggplot2” kütüphanesi yardımıyla “harita” değişkenine yapılacak animasyon için katmanlar halinde bilgiler aktarılmıştır (Wickham 2010). “Bu süreçte renk skalası, zaman süreci vb. gibi estetik özelliklerle birlikte enlem, boylam, gruplar, renk ve renk paleti, oluşacak tema ayarı ve alt başlık ayarlamaları yapılmış ve animasyona hazır hale getirilmiştir. “anim” değişkeni ile animasyon süreci başlatılarak aşağıdaki simülasyonlar elde edilmiştir.

PM<sub>10</sub> verilerinin analiz aşaması öncesinde animasyonların yarattığı farklılığı ve kullanılabilirliği göstermek için Türkiye geneli 2014 ile 2018 yılları arası rastgele üretilen PM<sub>10</sub> verileri kullanarak animasyon simülasyonu Şekil 2'de oluşturulmuştur. Bu aşamada bütün illere “0” değerleri verilmiş ve animasyonun yarattığı farkı gözlemlemek için sadece Ankara ili için “0-25-50-75-100” değerleri tanımlanarak animasyon simülasyonu oluşturulmuş ve soldan sağa doğru takip ederek bakıldığında Ankara ili için PM<sub>10</sub> miktarının arttığı gözükmekte ve oluşturulan bu simülasyon renk geçişleri ve zaman içerisindeki değişiklikleri daha açık olarak göstermektedir. Buradaki animasyon simülasyon görselleri “nframes = 10”, “fps = 1” olarak yapılmış ve ortaya çıkan tarihler ise toplam 10 kare olarak sunulmak istendiği için “gganimate” kütüphanesi yardımıyla renk geçiş işleminde kullanılan “frame\_time” tarafından otomatik oluşturulmuştur. Görsellerin yanında sunulan palet ise renk değerlerini göstermektedir. Bu durum dikkate alınarak Şekil 2'deki animasyon simülasyonu .gif (Grafik değişim biçimi) formatında olduğundan, animasyon simülasyonu içerisinde sadece tercih edilen bazı harita görselleştirmelerine yer verilmiştir.

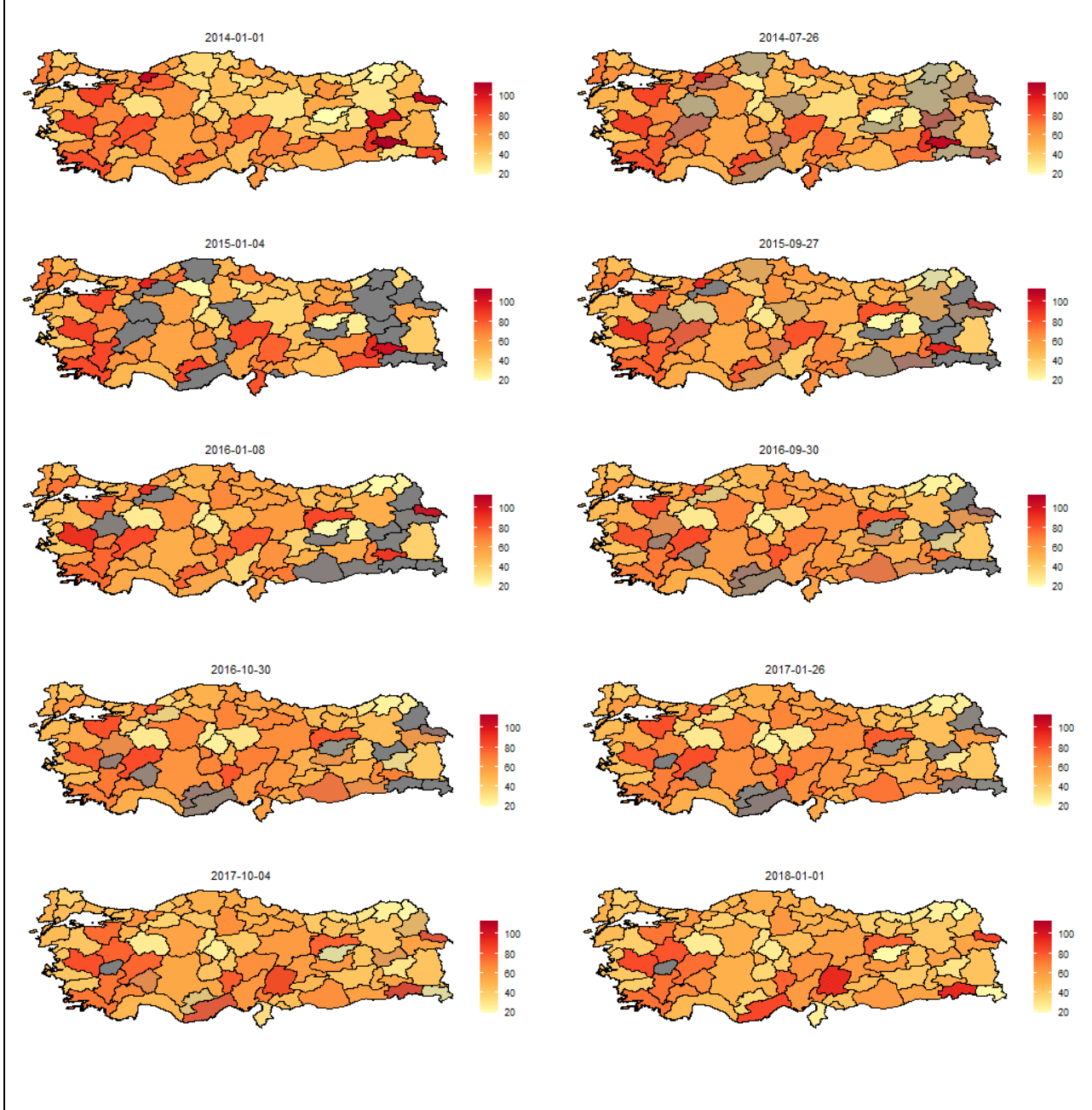


Şekil 2: Türkiye haritası animasyonu simülasyonu

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmada, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sunulan çevresel etki değerlendirmesi, izin ve denetim Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 2019 hava kalitesi bülteninde sunulan 2014 ile 2018 yılları arasında Bakanlığ'na ait 181 adet istasyondan elde edilen PM<sub>10</sub> verileri kullanılmıştır (ÇŞB 2019). Türkiye genelinde bazı illere de birden fazla istasyon verisi bulunduğu için bu araştırmada ildeki istasyon verilerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. İller bazında istasyon ortalamaları alınmasına karşın herhangi bir gözlem değeri bulunmayan il verileri için gözlem değerleri için "na" değeri tanımlanmış ve animasyon görselleştirilmesi yapılmıştır. Araştırma verileri kullanılarak Türkiye haritası simülasyonlarının animasyonları Şekil 3'te oluşturulmuştur. Şekil 3'te boş olan il gözlemleri "na.value = black" komutu ile siyah renk tanımlaması yapılarak ölçüm değeri verilerinin bulunmadığı animasyonda vurgulanmıştır.

Buna ek olarak, oluşturulan animasyon görsellerinde saniyede 10, toplam da 100 adet görselleştirme ile animasyon elde edilmiş, fakat yer kazanımı sebebiyle sadece 10 adet görselleştirmeye yer verilmiştir. Bu durum dikkate alınarak Şekil 3'teki animasyon simülasyonu .gif (Grafik değişim biçimi) formatında olduğundan dolayı, animasyon simülasyonu içerisinde sadece tercih edilen harita görselleştirmelerine Şekil 3'te yer verilmiştir. Şekil 3'teki görsellerin yanında sunulan palet ise  $PM_{10}$  değerlerini göstermektedir.



Şekil 3: Türkiye partikül madde ( $PM_{10}$ ) verisi animasyonu

Şekil 3'teki Türkiye illerinin  $PM_{10}$  verisi animasyon görselleştirmelerine bakıldığında; 2014 yılı için palette sunulan renkler ve değerler dikkate alındığında 36 adet ilin  $PM_{10}$  miktarlarının Türkiye ortalaması üzerinde olduğu anlaşılmakta ve palet renginin en üst sınırı olan (koyu kırmızı) renge sahip 4 il (Iğdır, Muş, Siirt, Düzce) olduğu gözükmektedir. 2015 yılı için Siirt ve Düzce illerinin  $PM_{10}$  miktarının ortalamasının üzerinde olan durumunun devam ederek miktarının bir önceki yıla göre azaldığı ve bir önceki yılda ortalamasının üstünde bir ölçüm değerine sahip olan Muş ve Iğdır illerinde ölçüm yapılmadığı, 2016 yılı için bir önceki yılda ölçüm yapılmadığı gözükürken Iğdır ilinde bu yılda ölçümlerin yapıldığı ve ölçüm değerinin ortalamasının üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. 2017 yılı için Türkiye geneli  $PM_{10}$  miktarının bir önceki yıla benzer seyrettiği gözükmektedir.

2018 yılı için ise Şırnak, Kahramanmaraş, Mersin illerinin palet üst sınır renk ile gösterilen ortalamanın üzerinde olan PM<sub>10</sub> miktarlarının azaldığı ve diğer illerin ölçüm değerlerinin palette sunulan renklere göre ortalamaya yakın olduğu sonucu elde edilmiştir. Animasyon görselleştirmelerinde sunulan palet renkleri dikkate alındığında Türkiye geneli PM<sub>10</sub> miktarlarının yıllara göre azaldığı oluşturulan animasyon görselleştirmeleri ile daha etkin anlaşılabilir hale getirilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye'deki illerinin PM<sub>10</sub> verilerinin daha etkin anlaşılabilir olması için ücretsiz bir dil ve ortam olan R programlama dilindeki “ggplot2” kütüphanesi temel olarak kullanılarak Türkiye haritası simülasyonlarının animasyonları tasarlanmıştır. Bu kapsamda, animasyonlarda Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sunulan çevresel etki değerlendirmesi, izin ve denetim Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 2019 hava kalitesi bülteninde sunulan 2014 ile 2018 yılları arasında Bakanlığ'na ait 181 adet istasyondan elde edilen PM<sub>10</sub> verileri kullanılmıştır.

Animasyonlar sonucunda Türkiye geneli PM<sub>10</sub> miktarlarının zamanla azalmasına rağmen Türkiye geneli birçok ilde PM<sub>10</sub> miktarının Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (CSB), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesinde belirtilen limit değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada insan sağlığı ve çevreyi tehdit eden risklerden birisi olarak tanımlanan PM<sub>10</sub> kirliliğinin sürekli olarak ölçümler ve değerlendirmeler yapılarak temiz hava eylem planı oluşturulması ve gerekli önlemlerin alınması sonucuna ulaşılmıştır. Bu süreçte, ülke geneli hava kalitesini arttırmak için, konutlarda temiz yakıt kullanımının teşvik edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, hava kirliliği etkisinin ve zararlarının eğitim ve bilinçlendirme konusundaki çalışmaların artırılması, endüstriyel kuruluşların uygun alanlara inşa edilmesinin sağlanması, yapılan emisyonların sınırlandırılması ve denetlenmesi, trafikten kaynaklanan emisyonların sınırlandırılması ve denetlenerek uygun yakıt kullanımının teşvik edilerek hava kalitesinin artırılması sağlanabilir.

Ayrıca, bu çalışmada, R programlama dilinin sağladığı imkanlar kullanılarak zamandan tasarruf edilerek yapılmış hem Türkiye'deki illere göre animasyonlu görselleştirilmesi yapılarak geliştirilen animasyonları ile PM<sub>10</sub> verilerinin daha etkin anlaşılabilir olması sağlanarak araştırmacılara veri görselleştirme alanında farklı bir bakış açısı sunulmuştur. Gelecekteki çalışmalarda bu çalışmanın animasyonları temel alınarak birçok bilim alanında bilimsel veri görselleştirme işlemi yapılabilmesine olanak sağlanmıştır.

#### Kaynaklar

- Altunok A., Eskiocak M., (2020), *Trakya'da partiküler madde kirliliği ve mortalite ilişkisinin değerlendirilmesi*, Türkiye Halk Sağlığı Dergisi, 18(3), 124-132.
- Atalay İ. E., (2020), *R programlama dili ile Türkiye finansal risk verilerinin animasyonları*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Bayram H., Dörtbudak Z., Fişekçi F. E., Kargın M., Bülbül B., (2006), *Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu*, Dicle Tıp Dergisi, 33(2), 105-112.
- Cansız S., (2019), *Parçalı dairesel veri görselleştirme tekniğinin R “ggplot2” paketi ile noktasal tabanlı oluşturulması*, Tasarım Enformatiği, 1(1), 62-66.
- Çelik U., (2019), *R Programlama dilinde rüzgâr haritaları Bandırma örneği*, 2. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu, ss. 342-347.
- ÇŞB, (2013), *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi*, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/eduardosya/GNG2013-37HavaKalitesiDegerl.pdf>, [Erişim 1 Şubat 2021].
- ÇŞB, (2019), *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava kalitesi bülteni*, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bulten-2019-yillik-20200403132705.pdf>, [Erişim 1 Şubat 2021].
- Friendly M., (2008), *A Brief history of data visualization, in handbook of data visualization*, Springer, Berlin, Heidelberg, ss. 15-56.
- İnandı T., Eltaş M. C., Kerman B., (2018), *Türkiye'de havadaki PM10 ve so2 düzeyindeki değişimler, 2005-2015*, Türkiye Klinikleri J Med Sci, 38(3), 209-217.
- Ihaka R., Gentleman R., (1996), *R: A Language for data analysis and graphics*, Journal of computational and graphical statistics, 5(3), 299-314.
- Neslihanoğlu S., (2019), *Veri analizi için R projesi girişimcilik öyküsü*, Girişimcilik Öyküleri' in İçinde (Mert G., Editör), Akademi Titiz Yayınları, İstanbul, ss. 447-452.
- Pan X., Yue W., He K., Tong S., (2007), *Health benefit evaluation of the energy use scenarios in Beijing, China*, Science of the Total Environment, 374, 242-251.
- Teker A.G., (2020), *İzmir ilinde 2009-2018 yılları arasında partikül madde kirliliği*, ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi, 5(2), 216-22.
- Toros H., Bağış S., (2017), *Hava kirlilik modellerinde kullanılacak emisyon envanteri oluşturulması için yaklaşımlar ve İstanbul hava kirliliği dağılımı örneği*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 1-12.
- URL-1, (2020), *R*, <https://cran.r-project.org/web/packages/>, [Erişim 17 Kasım 2020].
- URL-2, (2020), *Amerika Çevre Koruma Ajansı (US-EPA)*, <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>, [Erişim 8 Ocak 2021].
- URL-3, (2019), *GADM*, [https://gadm.org/download\\_country\\_v3.html](https://gadm.org/download_country_v3.html), [Erişim 30 Nisan 2019].
- Vural E., (2021), *Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin CBS kullanarak hava kalitesinin mekânsal değişiminin incelenmesi (2007-2019)*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 124-135.

- WHO, (2021), Air pollution, <https://www.who.int/airpollution/ambient/pollutants/en/>, [Erişim 5 Ocak 2021].
- Wickham H., (2010), *A Layered grammar of graphics*, Journal of Computational and Graphical Statistics. 19(1), 3-28.
- Yılmaz B., (2018), *Manisa’da partikül madde (pm10) kirliliğinin değerlendirilmesi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1), 626-633.

**Not:** Bu makale Dr. Öğr. Üyesi Serdar NESLİHANOĞLU danışmanlığında İbrahim Edibali ATALAY tarafından Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İstatistik Bölümünde tamamlanan “R programlama dili ile Türkiye finansal risk verilerinin animasyonları” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

**EKLER***Ek 1: Türkiye haritası animasyon simülasyonu R programlama dili kodları*

```

##R programlama dili kütüphanelerinin tanıtılması

#data.table kütüphanesinin tanıtılması
library(data.table)

#dplyr kütüphanesinin tanıtılması
library(dplyr)

#ganimate kütüphanesinin tanıtılması
library(ganimate)

#ggplot2 kütüphanesinin tanıtılması
library(ggplot2)

#plyr kütüphanesinin tanıtılması
library(plyr)

#sp kütüphanesinin tanıtılması
library(sp)

#transformr kütüphanesinin tanıtılması
library(transformr)

##Harita bilgilerinin tanıtılması için kullanılan fonksiyonlar
saferFortify.SPDF<- function(model, data, region=NULL){
  attr <- as.data.frame(model)
  coords <- ldply(model@polygons,fortify)
  coords<-cbind(coords, ttr[as.character(coords$id),])}

##Türkiye harita bilgilerinin tanıtılması
turkey <- readRDS("TUR_adm1.rds")
turkey <- saferFortify.SPDF(turkey)

##Partikül madde (PM10) miktarı verisinin tanıtılması
veri <- as.data.frame(fread("veri.csv", header = FALSE, sep = ";", encoding = "UTF-8", stringsAsFactors = FALSE))

##Tanıtılan partikül madde (PM10) miktarı verisinin yapılacak görselleştirme için düzenlenmesi
turkey.new <- data.frame()
for (k in 2:ncol(data)) {
  newDataset <- turkey
  newDataset2 <- data.frame(NAME_1 = veri[,1], veri = veri[,k], year = paste(toString(k+2012), "01-01", sep = "-"))
  newDataset <- left_join(newDataset, newDataset2, "NAME_1")
  turkey.new <- rbind(turkey.new, newDataset) }

## Partikül madde (PM10) miktarı verisinin görselleştirilmesi
harita <- ggplot(turkey.new)+
  geom_polygon(aes(long, lat, group=group, fill = as.double(gsub(",", ".", veri))), color = "black", size = 0.15)+
  coord_equal()+
  theme_void()+
  scale_fill_distiller(name = "",palette = "YlOrRd", direction = 1)+
  labs(title = "", subtitle = '{ frame_time }')+
  transition_time(as.Date(year))+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5))

##Görselleştirmenin animasyonlaştırılması
anim <- animate(harita)

#Oluşturulan animasyonun kaydedilmesi
anim_save("ankararanimasyon.gif",animation = anim)

```