

Fonksiyonel Veri Analizi: Bilim Haritalama Tekniği ile Bir İnceleme^a

Burcu Kocarik Gacar^{b,c}, İstem Köymen Keser^d

Özet

Ramsey ve Dalzell (1991) tarafından tanımlanmış olan fonksiyonel veri kavramı ayrıntı noktalarda gözlenen nicel verilerin fonksiyonel veriler haline dönüştürülerek verilerdeki yapının ve ilişkilerin özellikle görsel yaklaşımlardan yararlanılarak çok daha rahat yorumlanmasına yardımcı olan fonksiyonel veri analizi alanının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bilim haritalama tekniği, fonksiyonel veri analizi gibi ilgilenilen bir çalışma alanının literatürdeki gelişimini göz önüne seren keşifsel bir araştırmadır. Böylece yıllar boyutunda yayın türü, yayıncı, yazar, menşei, atıf ve referans bilgisi ve anahtar kelimeleri gibi odak noktaları birlikte sergilenmektedir. Bu çalışmada Web of Science (WoS) veri tabanı örneği ele alınmaktadır. WoS' da yer alan istatistiksel yöntem çalışmalarında fonksiyonel veri analizi ile ilişkili olan 6494 yayın bilim haritalama tekniği ile incelenmiştir. Fonksiyonel veri kavramının ilk ortaya çıktığı zamandan günümüze kadar olan zaman aralığı (1991-2022) dikkate alınmıştır. Son 32 yıllık süreçte fonksiyonel veri ile bağlantılı olarak kullanılan çeşitli analiz yöntemlerinin geliştirildiği görülmüştür. Özellikle 2018 yılı itibari ile makine öğrenmesi tekniklerinin fonksiyonel veriye uygulanmasının literatürde incelenmekte olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan karar ağaçları da fonksiyonel veri ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Fonksiyonel Veri
Bilimsel Haritalama
WoS Veri Tabanı

Makale Hakkında

Geliş Tarihi: 06.02.2023
Yayın Tarihi: 24.06.2023
Doi: 10.18026/cbayarsos.1248419

Functional Data Analysis: A Review with Science Mapping Technique

Abstract

The concept of functional data, defined by Ramsey and Dalzell (1991), has led to the emergence of the field of functional data analysis, which helps to interpret the structure and relations in the data much more easily, especially by using visual approaches, by transforming the quantitative data observed at discrete points into functional data. The science mapping technique is exploratory research that reveals the development of a field of interest, such as functional data analysis, in the literature. Thus, focal points such as publication type, publisher, author, origin, citation and reference information and keywords can be displayed together over the years. In this study, the Web of Science (WoS) database example is discussed. In the statistical method studies in WoS, 6494 publications related to functional data analysis were examined with the science mapping technique. In the last 32 years, it has been seen that various analysis methods used in connection with functional data have been developed. It has been determined that the application of machine learning techniques to functional data is being examined in the literature, especially as of 2018. In addition, decision trees, one of the supervised machine learning methods, are associated with functional data.

Keywords

Functional Data
Science Mapping
WoS Database

About Article

Received: 06.02.2023
Published: 24.06.2023
Doi: 10.18026/cbayarsos.1248419

^a Bu çalışma Burcu Kocarik Gacar'ın Doç. Dr. İstem Köymen Keser danışmanlığında hazırlanmakta olan doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

^b İletişim Yazarı: burcu.kocarikgacar@deu.edu.tr

^c Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, ORCID: 0000-0001-5944-4456

^d Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-2123-188X

Giriş

Çok sayıda bilimsel çalışmanın konuya ilgi duyan araştırmacılar tarafından okunması olası olmayabilir. Bu çalışmalar arasında klasik olarak değerlendirilenler olabileceği gibi henüz atıf almamış çalışmalar da bulunabilir. Mevcut bilgi birikimi karşısında akılcı seçimler yapabilmek için yayınların istatistiksel olarak incelendiği bibliyometrik değerlendirmelere başvurmak gerekir. En kısa yoldan en çok ayrıntıya ulaşmayı sağlayan teknik, bibliyometrik analizdir. Bibliyometrik analiz bilimsel çalışmaların geleceği hakkında bilimsel iletişime ışık tutmaktadır. Geleneksel bibliyometrik incelemeler artık günümüzde yerini görsel bilim haritalama tekniğini kullanan yazılımlara bırakmaktadır. Bu teknik ile araştırmacıların konu hakkındaki tüm yayınları okuyabilmesi mümkün değilken yazılımlar aracılığıyla ilgili konunun literatür derlemesini sunan görsel etkili çalışmalar elde edilebilmektedir.

Bilim haritalama yapan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanımı en kolay yazılımlardan biri olan ve kolaylıkla indirilebilen VOSviewer (Visualization of Similarities/Benzerliklerin görselleştirilmesi, www.vosviewer.com) yazılımı kullanılmaktadır. Bilim haritalama tekniği görsel haritalama (visual mapping) tekniğini kullanan bir yaklaşımdır. Gözlemleri benzerliklerine göre kümeleyerek kümeleri de farklı renklerle birbirinden ayıran bir sınıflandırma çalışmasıdır. Görsel analizler analitik olarak muhakeme edebilme ve karar verme (decision making) süreci ile sonuçlanmaktadır. Görselleştirmelerin yorumu genel olarak şu şekilde yapılmaktadır: düğümlerin (dairelerin) ve etiketlerinin büyüklüğü oluşma sayısını, renk kümeleri, kaç renk olduğu ise kaç sınıfa ayrıldığını göstermektedir. Düğümler arasındaki yakınlık benzerliği ve ilişkiyi, uzaklık ise farklılığı ortaya koymaktadır. (van Eck & Waltman, 2010; Khalil & Crawford, 2015; Kurutkan & Orhan, 2018).

Fonksiyonel veri analizi konusunu bibliyometrik ya da bilim haritalama tekniği ile inceleyen bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu araştırma fonksiyonel veri analizi konusunda araştırma yapmak isteyen araştırmacılar için bahsedilen boşluğu doldurmak amacı ile yapılmıştır. Fonksiyonel veri analizi terimi ilk kez Ramsay ve Dalzell (1991) tarafından kullanılmış, ardından birçok çalışmada yer almıştır. Bu sebeple bu çalışma kapsamında analize 1991'den günümüze yer alan yayınlar (makale, bildiri, kitap bölümü) dahil edilmiştir. Bilim dünyası tarafından kabul gören temel kaynaklardan biri Web of Science uluslararası veri tabanı olduğu için buradaki çalışmalar derlenmiştir.

Dizinde "fonksiyonel veri" veya "fonksiyonel veri analizi (FVA)" sözcük dizimi ile tarama yapılmıştır. Yayının topiği (başlık, özet, anahtar kelimeler) içerisinde bu sözcükler geçiyorsa filtrelenmiştir. Literatürde fonksiyonel verilerin kullanıldığı çok sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Elde edilen yaklaşık 4 yüz bin çalışmadan istatistiksel yöntemler ile ilgili olanları tekrar filtrelenmiştir. Nihai olarak 6494 yayına ulaşılmıştır. Bu yayınlar gözlem birimi olarak kabul edilmiş ve künyelerinde bulunan bilgiler (yayın adı, yazar adı, yayın yılı, yayıncı, ülke, atıf ilişkisi ve atıf sayısı, kaynakça, vb.) veri olarak derlenmiştir. Bu çalışma bir literatür araştırması niteliğinde olup literatür bilgisi bilim haritalama incelemesi kapsamında analiz sonuçları içerisinde sunulmaktadır. Analiz sonucunda yanıt beklenen araştırma soruları ise aşağıda verilmiştir.

- Fonksiyonel veri analizi konusunun yıllara göre yayın sayıları nasıl değişmektedir?
- Fonksiyonel veri analizi konusunun yayın içerikleri nelerden oluşmaktadır?

- Fonksiyonel veri analizi konusunda yayın yapan araştırmacıların üniversitelerinin dağılımı nasıl olmaktadır?
- Fonksiyonel veri analizi konusuna sağladıkları katkı bakımından ülkelerin durumu nedir?
- Fonksiyonel veri analizi konusunda hangi yazarlar daha fazla katkı sağlamış, hangileri daha fazla atıf almıştır?
- Fonksiyonel veri analizi konusunda yayınlar hangi yayıncılar (dergi) tarafından yayınlanmaktadır?

Fonksiyonel Veri Analizi

İstatistiksel analiz yöntemleri ilgilenilen örnekteki gözlemlerden toplanan verileri analiz ederek ilgili popülasyon hakkında tahminlerde bulunmayı hedefler. Bir doğru ya da düzlem üzerindeki noktalar için gözlenen yoğunluklar ortaya çıktığında artık gözlenen noktalardan değil, gözlenen eğrilerden veya gözlenen fonksiyonlardan bahsetmek daha uygun olmaktadır. Gözlem noktalarının sayısı arttıkça, gerçekte kesikli olarak gözlenen verilerin arka planda bulunan sürekli reel bir fonksiyondan örneklendiği varsayılabilir. Buradan hareketle eğrisel veriye “fonksiyonel veri” adı verilmektedir. Böylece yeni bir veri anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşıma göre gözlemler, çeşitli fonksiyonlardan oluşmaktadır (Ramsey, 1982; Keser, 2007). Başka bir ifadeyle, veriler mevcut bir fonksiyondan üretilmektedir. Veriler artık bu fonksiyonların etkisini yansıtmaktadır. O halde fonksiyonel veri, tek bir gözlem olmamakla birlikte sürekli bir ortamda birlikte ele alındığında tek bir eğri olarak düşünülmesi gereken bir ölçümler grubu olarak nitelendirilebilir. Fonksiyonel veri eğrisinin niteliği ile ilgili daha az varsayıma ve kısıta ihtiyaç duyulur. Bu durum fonksiyonel veri ile veri analizi felsefesinin varsayımsal kurallarındaki köklü değişikliği ifade etmektedir (Henderson; 2006). Bahsedilen sürekli ortamla genellikle zaman olarak karşılaşılmakta, ayrıca uzaysal konum, frekans ve ağırlık gibi başka sürekli boyutlar da söz konusu olabilmektedir. Hatta birden fazla ortamı beraber içerecek şekilde çok boyutlu özellikler de gösterebilmektedir (Levitin vd., 2007). Bu durumda fonksiyonel veri olarak yüzeyler ile ilgilenilir. Büyük miktardaki veriyi tarama, toplama ve depolama kapasitesiyle ilgili ilerlemelerin eşliğinde uygulamalı istatistikle ilgilenen çoğu alanda fonksiyonel veriler ölçülerek kaydedilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle büyük veri setleri fonksiyonel veri formunda elde edilebilmektedir.

Fonksiyonel Verilerin Modellenmesi

Ham verilere fonksiyonel dönüşüm yapılmadan kimi zaman klasik çok değişkenli istatistiksel yöntemler uygulanabilse de bu yöntemler fonksiyonların içerebileceği zengin bilgileri ortaya çıkarma konusunda yetersiz kalabilmektedir. FVA yöntemleri fonksiyonların içerdeği bilgileri ve bu fonksiyonların çeşitli mertebelerden türevlerinde bulunan ek bilgileri ortaya koyabilen yöntemlerdir (Levitin vd., 2007; Ramsay vd., 2009). Başka bir ifadeyle FVA yöntemleri fonksiyonel veri yapılarının incelenmesi amacıyla fonksiyonları girdi olarak alan veri analiz yöntemleridir.

Çok değişkenli istatistiksel tekniklerin hemen hemen tümünün fonksiyonel karşılığı geliştirilmiştir. Ham halde bulunan veri işlenebilmek için öncelikle fonksiyonel veriye dönüşümü sağlanır. Bu işlem, interpolasyon veya baz fonksiyon (basis function) yaklaşımları ve ardından çeşitli tahmin yöntemlerini içeren bir dönüştürme sürecini kapsayabilir. Bu süreçte veri de ölçüm hatası bulunmamahtaysa interpolasyon yöntemiyle; ölçüm hatası bulunmamahtaysa çeşitli baz fonksiyonlardan veriye uygun olanının kullanılmasıyla veri düzgünleştirme işlemi uygulanarak fonksiyonel dönüşüm sağlanır. Bundan sonra orijinal

veriler arkada bırakılıp yeni elde edilen fonksiyonel veri eğrileriyle analize devam edilir. İlgili veri analiz yöntemine de “fonksiyonel veri analizi” ifadesi eklenir. Klasik istatistiksel analizlere denk olarak açıklayıcı ve kestirici modelleme fonksiyonel analizinde de yer almaktadır. Özetlemek gerekirse FVA çok değişkenli analizle birlikte düzgünleştirmeyi, pürüzlü ceza yöntemi gibi parametrik olmayan regresyon yöntemlerini kullanmayı gerektirebilen ve Hilbert uzayları gibi uzaylarda gerçekleşen bir fonksiyonel analizler bütünüdür. FVA, eğrilerin sürekliliği üzerinde durarak, verileri çok değişkenli analizde olduğu gibi vektör olarak ele almak yerine, fonksiyonel olarak modellemektedir (Clarkson vd., 2005; Gündüz, 2012). Bununla birlikte klasik çok değişkenli yöntemlerde olduğu gibi fonksiyonel verilere dönüşüm sürecinde de matrisler cebirinden sıklıkla yararlanılmaktadır.

FVA’da ilk adımın verilerin fonksiyonel biçime dönüştürülmesi ile elde edilen fonksiyonlara fonksiyonel veri nesnelere veya objeleri veya eğrileri denilebilmektedir. Bu aşamada veriler, interpolate yöntemleriyle (interpolation) veya düzgünleştirme (smoothing) yöntemleriyle dönüştürülürler. Veriler interpolate edilerek veya düzgünleştirilerek fonksiyonel veri şekline dönüştürülmüş olur (Ramsey & Silverman, 1997). İnterpolasyon veya düzgünleştirme eylemi baz fonksiyon yaklaşımlarından veriye uygun olanın seçilerek uygulanması ile gerçekleştirilir. Sıklıkla karşılaşılan baz fonksiyon olan B-Splaynlar fonksiyonel gösterim konusunda özellikle periyodik olmayan veriler için uygulamada en elverişli ve en sık kullanılan baz fonksiyonlardır. Özellikle kübik B-Splaynlar aracılığıyla oluşturulan fonksiyonların birinci ve ikinci türevleri de sürekli fonksiyonlar olduğundan fonksiyonel yapıyı ortaya koymada ve fonksiyonlar ve türev fonksiyonları arasındaki ilişkiyi incelemede sıklıkla tercih edilmektedir. Ardından elde edilen baz açılımının katsayıları en küçük kareler, pürüzlü ceza yöntemi veya ağırlıklandırılmış biçimleri gibi uygun yöntemlerle tahminlenir. Böylece elde edilen eğrinin orijinal veriye uyumunu sağlamak amaçlanır. En küçük kareler yönteminde artık kareler toplamını en küçükleyerek verilerin eğriye uyumunu amaçlanırken aynı zamanda baz fonksiyonlar ve pürüzlü ceza yaklaşımında kullanılan düzgünleştirme parametresi yardımıyla verilerin eğriye uyumu ve eğrinin pürüzlülüğü arasında bir denge sağlamak da hedeflenir.

Fonksiyonel veriler elde edildikten sonra aşağıda belirtilen amaçlar doğrultusunda klasik istatistiksel yöntemlerin karşılığı olan fonksiyonel temel bileşenler analizi, fonksiyonel kümeleme analizi, fonksiyonel doğrusal regresyon analizi, fonksiyonel karar ağaçları gibi uygun yöntemler kullanılır.

Matematiksel altyapısından bahsedilmiş olan FVA’nın amaçları,

- Sonraki analizlere temel oluşturmak amacıyla verileri ifade etmek ve uygun şekilde dönüştürmek,
- Çeşitli özelliklerin açıkça ifade edilebilmesi için verileri özet gösterimlerle sunmak; gerek duyulduğu takdirde ortalama ve varyans-kovaryans fonksiyonları gibi tanımlayıcı fonksiyonları elde etmek ve fonksiyonun ilgilenilen dereceden türevlerinin gösterimlerini elde etme yoluyla daha fazla açıklayıcı bilgiye ulaşmak,
- Veriler arasında ve modelde bulunan değişkenliği ve değişkenliğin kaynaklarını açıklamak,
- Ölçülen verileri tek bir fonksiyon halinde düşünmek ve belli değişimler temelinde bazı veri setlerini karşılaştırmak,
- Bağımsız girdi değişkeni bilgisinden yola çıkarak bağımlı çıktı değişkenindeki değişimi açıklamak,

- Fonksiyonlar ve türev fonksiyonları arasındaki ilişkileri modellemek şeklinde özetlenebilir (Ramsey & Silverman, 1997).

Zaman içinde otomatik olarak ve online süreçte veri toplama olanakları araştırmacılar tarafından ulaşılabilir hale geldiğinden dolayı fonksiyonel gözlemler uygulamalı bilimlerde daha sık görülmektedir. Bununla birlikte veri analizini fonksiyonel açıdan ele almanın kullanışlı sebepleri ise,

- Sonlu sayıda gözlem olsa dahi, bazı modelleme problemlerinin fonksiyonel durumlarda incelenmesi daha uygun olarak gerçekleşebilir. Ayrıca FVA'nın diğer bir avantajı bağımlı değişkenler üzerinde parametrik varsayımlar gerektirmemesidir,
- Bir analizin amacı doğal olarak fonksiyonel olabilir ve bu esas, fonksiyonu, fonksiyonun türevlerini veya diğer fonksiyonların değerlerini tahmin etmek için sonlu veriler kullanıldığında da geçerli olmaktadır,
- Çok değişkenli veriler söz konusu olduğunda fonksiyonel işlemler sonucunda ortaya çıkan düzgünlük (pürüzsüzlük) gibi özelliklerin dikkate alınması analizlerde önemli çıkarımların elde edilmesini sağlayabilir,
- FVA sadece fonksiyonların kendilerinin değil fonksiyonların türevlerinin arasındaki ilişkilerin de incelenmesine imkan verir, şeklinde sıralanabilir (Ramsay & Dalzell, 1991; Keser, 2010).

Bilim Haritalama Tekniği

Bilim haritasındaki analiz birimi, bilimsel uzmanlıktan oluşan entelektüel katkı birikiminin yansımasıdır. Bu yansımanın oluşturduğu alanın kapsamı, temel araştırma programı ile ilgili değerli bileşenleri içerir.

Bir bilim haritalandırma çalışması, karakteristik olarak, bilimsel literatürden oluşan bir yapı, bir dizi bilimsel ve görsel analitik araçlar, metriklerden oluşur. Aynı zamanda önemli yapıları ve eğilimleri vurgulayabilecek göstergeler ve araştırmalara rehberlik edebilecek bilimsel değişim teorileri gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Haritalama çalışmasının temel amacı, entelektüel yapıların ortaya çıkarılması ve dinamik kalıpların yorumlanmasıdır. Görselleştirme teknikleri, grafik (graph visualization) ya da ağ (network visualization) anlamında kullanılmaktadır. (Kurutkan & Orhan, 2018).

Bilim haritalama ya da bibliyometrik haritalama tekniği, bibliyometrinin önemli değerlendirme alanlarından biridir (Cobo vd., 2011). Süreç, veri tabanlarından derlenen yayın künyelerine ait veri kümelerinin elde edilmesi ile başlar. Verilerin atıf yapılarına bağlı olarak oluşan ağ yapılarının ağığa çıkarılması ve görselleştirilerek haritalandırılması ile devam eder. Bulguların uzman kişiler tarafından değerlendirilmesi ile sonlanır. Analiz çıktılarının haritalama şeklinde sunulması avantajına sahip olduğu için bu yöntem sıklıkla tercih edilmektedir.

Bibliyometri (Bibliometrics)

Bibliyometri önceleri istatistiksel bibliyografi olarak kullanılan, Pritchard'ın çalışmalarının ardından istatistiksel tekniklerin bilgi yayılım araçlarına (makale, kitap, dergi, vb.) uygulanabilmesi yöntemi anlamında tanımlanabilen bir kavram olarak var olmuştur (Gürsakał, 2017). Bibliyometri, yunanca kitap (biblion-book) ile ölçüm bilimi (metron-metric) kelimelerinden oluşmaktadır. Tanımdan hareketle bibliyometrinin bilimsel dergilerin,

makalelerin, kitapların ve araştırma kurum ve kuruluşlarının bilimsel etkilerini belirlemeye yarayan bir ölçüm birimi olduğu söylenebilir. O halde bibliyometri, bilimsel çalışmaların disiplin, konu, yazar, yayın bilgisi, atıf yapısı ve kaynaklar, kurum, ülke gibi verilerini istatistiksel olarak analiz etmektedir. Bibliyometri betimleyici ve değerlendirici bibliyometri olarak yorumlanabilmektedir (Pritchard, 1969; Sengupta 1992; Basaglia, 2014). Bibliyometrik analizler ise nicel bir araştırma tekniği olup keşfedici veya tanımlayıcı çalışmalar olarak değerlendirilmektedir.

Bibliyometrik analizlerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bibliyometrik bir inceleme geleneksel sayma yöntemleriyle yapıldığı takdirde çok fazla zaman ve işgücü gerektirir. Çokça kaynak bulunması ve bu veri kaynaklarındaki kapsam ve içerik farklılıkları analiz sonuçlarının farklı olmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca çoğu bibliyometrik analizler erişim ve hızlı tarama engelinden dolayı temel kaynak olan kitapları kapsamamaktadır. Bu yanlarına rağmen bibliyometrik analiz, bilim arenasında boy gösterecek olan araştırmacılara en kolay yoldan en çok atıf alan çalışma ve konu üzerinde en verimli olan yazarları, çalıştığı konuda en çok hangi dergileri takip etmesi gerektiği, en çok hangi kurum veya ülke ile işbirliği yapması gerektiği konusunda bilgi verici bir yol haritası sunmaktadır. (Kurutkan & Orhan, 2018).

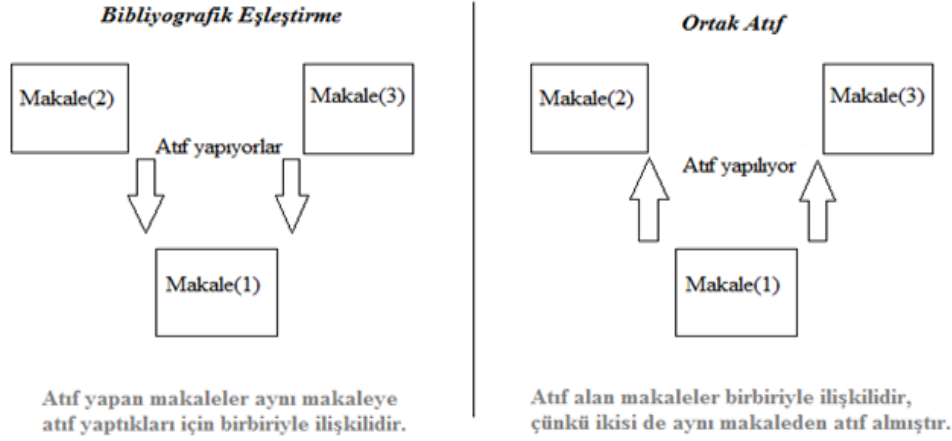
Bilimetre (scientometris), bibliyometriden (bilimsel yayınların ve dağılımlarının değerlendirmesi) yararlanarak bilim dallarının çözümlenmesine odaklanır. Bilim sosyolojisi ve bilimin örgütlenmesi konularında yani bilim dallarının analizinde bilimetreten yararlanır (Björneborn, 2004). Bibliyometrik analiz ile yayınların niceliksel değerleri (sayısal çokluğu) vasıtasıyla niteliksel değerlerine ulaşılabilecek çok sayıda unsur değerlendirilmektedir. Bu manada, bibliyometrik analiz sayesinde hem herhangi bir konudaki/alandaki en etkili yayınlar ile araştırmacıları belirlenirken çıktılar arası etkileşim ve iş birliği şekil üzerinde görülebilmektedir (Kocarık, 2018). Bir konudaki yayınlar betimleyici bibliyometri, değerlendirici bibliyometri ve atıf analizi üzere üç yolla analiz edilebilir. Betimsel bibliyometri ilgili literatürün yazar, konu, yayın yılı, ülke, dil gibi bileşenlere göre dağılımlarını elde etmeyi sağlar. Bu sayede tanımlayıcı istatistikler belirlenebilmektedir. Tanımlayıcı istatistikler de bilimsel verimliliğin değerlendirilmesinde yardımcı olmaktadır. Bibliyometrik yasalar, bu dağılımlar üzerine önsel bilgiler verip öngöründe bulunur. Ayrıca bibliyometrik haritalandırma yöntemiyle bulgular görseller halinde sunulabilmektedir (Doğan, 2017). Değerlendirici bibliyometri yazarlar, yayınlar ve ülkeleri arasındaki ilişkileri, birbirinden etkilenme ve atıf verme gibi eylemleri belirlemeyi sağlar. Atıfların istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle atıf analizi yapılır.

Atıf Analizi

Atıf analizi yapılan atıfların sayısal olarak değerlendirilmesi olup atıf dizinleriyle ilgilidir. Atıf analizleri, ilk olarak ISI tarafından geliştirilmiş olup atıf ve bilim endeksleri olarak SCI, SSCI ve A&HCI kullanılmaya başlanmıştır (Osareh, 1996). Atıf analizi bibliyometrinin ilgilendiği önemli bir konudur. Atıf verme belirtilen fikrin dayandığı kaynağı açıklama olup başka bir ifadeyle atıf yapan çalışma ile atıf yapılan çalışma arasında akademik düşünce olarak etkilenme olduğunu ortaya koyar.

Bir atıfın iki farklı yayın tarafından kullanılmasıyla bibliyografik olarak eşleşme oluşur (Şekil 1). Başka bir ifadeyle bir yayına farklı iki kaynaktan atıf yapılması durumudur (Al & Tonta, 2004). Böylece yayınların birbiriyle bağlantı kurmasını sağlayabilecek aradaki ilişki yapılarını

ortaya çıkarabilecek bir etkileşim gelişir. Dolayısıyla iki makalenin kaynakçasında ne kadar benzer künye varsa, bu makalelerin eşleme derecesi o kadardır. Bibliyografik eşleştirmenin tam tersi olan ortak atıf kavramı ise farklı iki yayına tek bir kaynakta atıf verilmesi anlamına gelir (Garfield, 1979). Ortak atıfın derecesi ise iki yayının ortak olarak atıf verilme sıklığı biçimindedir.



Şekil 1. Bibliyografik Eşleştirme ve Ortak Atıf İlişkisi (Al, 2008).

Analiz

Bu kısımda WoS Core Collection veri tabanında fonksiyonel veri analizi konusunun VOSviewer yazılımı ile haritalama tekniği uygulaması yapılmıştır. 5445 makale, 1217 bildiri, 55 kitap bölümü olmak üzere toplamda 6494 tane çalışmaya ulaşılmıştır. Bibliyografik verilerle haritalama yapılırken VOSviewer içeriğinde ortak yazarlık (co-authorship), birlikte bulunma/oluşum (co-occurrence), atıf (citation), bibliyografik eşleştirme (bibliographic-coupling) ve ortak atıf (co-citation) analizleri seçilebilmektedir. Bu araştırma kapsamında ilk olarak anahtar kelime verileri ile birlikte bulunma/oluşum analizi yapılmıştır. Ardından Tablo 1’de detaylandırılan atıf (citation) analizleri sırasıyla yapılmıştır. Bu analizlerle güçlü bağlantıları olan nesnelere (ülkeler, kurumlar, kaynaklar, yazarlar ve dokümanlar) üzerinde haritalandırma yapılmıştır.

Tablo 1. VOSviewer ile yapılan haritalama araçları

Atıf verilerini haritalama

Ülkeler arası

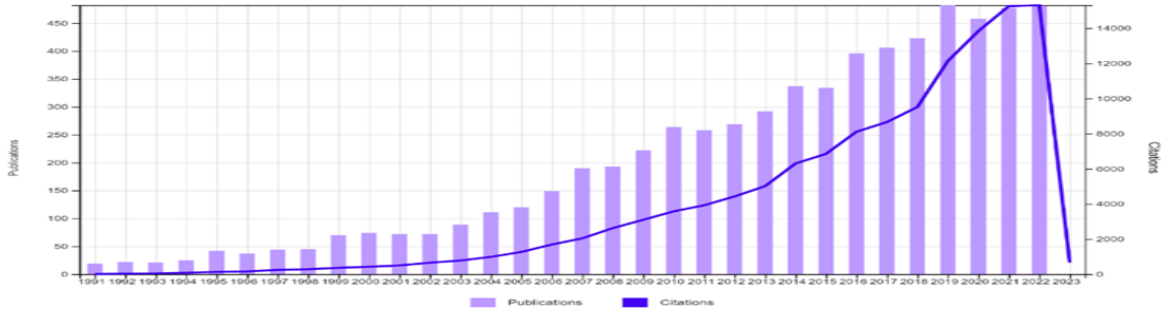
Üniversiteler arası

Kaynaklar arası

Yazarlar arası

Dokümanlar arası

Çalışmaların yıllara göre yayın sayısı ve atıf sayısı grafik gösterimi Şekil 2’de verilmektedir. Fonksiyonel veri analizi üzerine artan bir ivmeye sahip olan araştırma ilgisinin son yıllarda en üst düzeye (senede yaklaşık 480 yayım) çıkmış olduğu görülmektedir. Özellikle 2022 yılında bu konuda en yüksek sayıda atıfa (yaklaşık 15 bin) ulaşılmıştır.



Şekil 2. Yıllar İçinde Yayın Sayısı ve Atıf Sayısı Değişimi

Fonksiyonel veri analizi çalışmalarının sınıflandığı disiplinler Tablo 2’de verilmektedir. Buna göre çalışmaların yarısından fazlasının istatistik alanında (%55 oranında) yapıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra bilgisayar bilimi ve yapay zeka araştırmaları alanıyla yaklaşık %16 çalışma oranı bulunmuştur. Ardından matematiksel araştırmalar başta olmak üzere yine çeşitli bilgisayar bilimi ve bilişim alanları, elektrik elektronik mühendisliği, yöneylem araştırmaları, iktisat, tıp, sosyal bilimler alanlarında çalışılmıştır.

Tablo 2. WoS Kategori Oranları Dağılımı

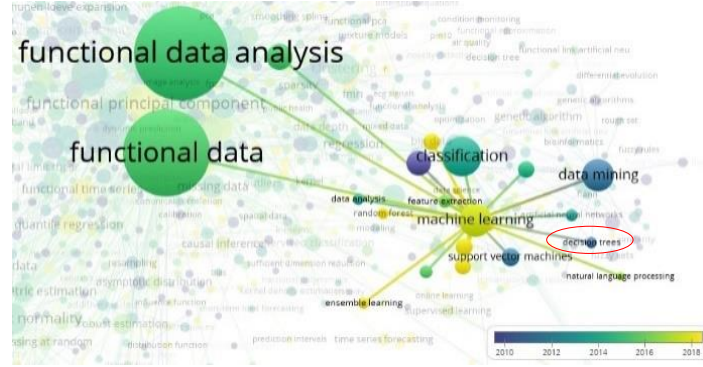
WoS Kategorileri	Oran	WoS Kategorileri	Oran
İstatistik Olasılığı (Statistics Probability)	%55	Uygulamalı Matematik (Mathematics Applied)	%3,5
Bilgisayar Bilimi ve Yapay Zeka (Computer Science Artificial Intelligence)	%15,9	Yöneylem Araştırması Yönetim Bilimi (Operations Research Management Science)	%3,4
Matematiksel Hesaplamalı Biyoloji (Mathematical Computational Biology)	%9,5	İktisat/Ekonomi (Economics)	%3,3
Bilgisayar Bilimi Disiplinlerarası Uygulamalar (Computer Science Interdisciplinary Applications)	%8,2	Tıp Bilişimi (Medical Informatics)	%3
Bilgisayar Bilimi Teorisi Yöntemleri (Computer Science Theory Methods)	%7,6	Sosyal Bilimler Matematiksel Yöntemler (Social Sciences Mathematical Methods)	%2,8
Elektrik Elektronik Mühendisliği (Engineering Electrical Electronic)	%7,2	Otomasyon Kontrol Sistemleri (Automation Control Systems)	%2,7
Bilgisayar Bilimi Bilgi Sistemleri (Computer Science Information Systems)	%6,4	Matematik (Mathematics)	%2,5
Matematik Disiplinlerarası Uygulamalar (Mathematics Interdisciplinary Applications)	%5,8	Çevre Bilimleri (Environmental Sciences)	%1,9

Fonksiyonel veri analizi üzerine yayınlanan yayınların içerdiği anahtar kelimeler için birlikte oluşum analizi uygulandığında Şekil 3’te ve Şekil 4’te verilen haritalar elde edilmiştir. Ayrıca Tablo 3’te anahtar kelimelerin kullanım sıklıkları ve diğer anahtar kelimelerle olan bağlantı kuvvetlerini gösteren birlikte oluşum sayıları verilmiştir. Buna göre Şekil 3’te sarı renkli ve merkezde bulunan kısım oluşum yoğunluğunun fazla olduğu fonksiyonel veri (functional data), fonksiyonel veri analizi (functional data analysis) ve fonksiyonel temel bileşenler (functional principal component) analizi anahtar kelime gruplarını göstermektedir.

Tablo 3. En Çok Kullanılan Anahtar Kelimeler

Anahtar Kelime	Bağlantı		Anahtar Kelime	Bağlantı		Anahtar Kelime	Bağlantı	
	Sayısı	Kuvveti		Sayısı	Kuvveti		Sayısı	Kuvveti
functional data analysis	820	1839	feature selection	53	76	genetic algorithm	31	39
functional data	713	1596	forecasting	53	85	kernel smoothing	31	84
functional principal component	159	331	measurement error	53	133	profile monitoring	31	66
classification	145	333	b-splines	52	122	support vectormachines	30	52
longitudinal data	124	333	consistency	52	123	fuzzy logic	29	39
nonparametric regression	115	292	model selection	52	116	kernel estimator	29	92
functional regression	108	266	functional time series	49	101	random effects	29	86
asymptotic normality	104	312	censored data	45	126	rate of convergence	28	118
machine learning	101	181	functional linear regression	45	114	lasso	28	70
smoothing	99	332	hypothesis testing	45	123	anomaly detection	27	47
data mining	97	186	penalized splines	45	121	causal inference	27	50
clustering	95	215	regression	45	104	curve registration	27	70
bootstrap	88	231	crossvalidation	43	131	functional central limit theorem	27	50
variable selection	88	196	wavelets	43	121	functional clustering	27	43
time series	82	186	robust estimation	42	107	outlier detection	27	65
dimension reduction	77	218	markov chain monte carlo	40	74	boosting	26	63
kernel hilbert space	64	158	splines	40	103	supervised classification	26	54
prediction	63	163	em algorithm	39	103	support vector machine	26	44
functional linear model	62	156	data depth	38	87	time warping	26	69
robustness	61	118	highdimensionl data	38	73	asymptotic distribution	25	64
survival analysis	59	121	multivariate functional data	38	78	big data	25	45
missing data	57	122	outliers	36	78	anomaly detection	27	47
neural networks	56	88	neural network	35	55	deep learning	24	27
gaussian process	55	125	convergence rate	31	69	decision trees	20	37

Mor renkli düğümler kümesi: Asimtotik normallik (asymptotic normality), sensör verileri (censored data), eğri uyumu (curve fitting), entropy, fonksiyonel veri (functional data), fonksiyonel veri analizi (functional data analysis), parametrik olmayan tahminleme (nonparametric estimation), fonksiyonel değişken (functional variable), çekirdek tahminleme (Kernel estimation), k-en yakın komşuluk yöntemi (knn method), sağlam tahminleme (robust estimation)...

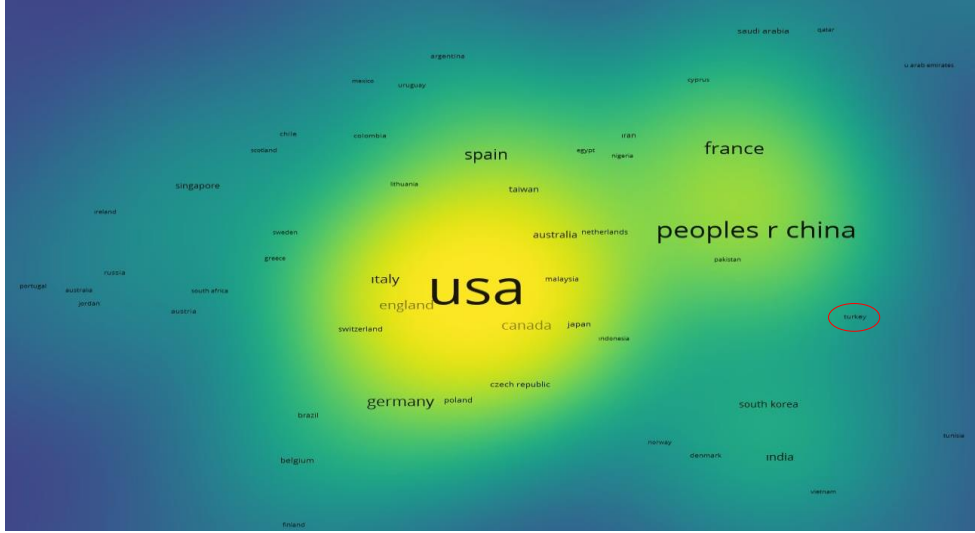


Şekil 5. Fonksiyonel Veri Analizi ile Makine Öğrenmesi Teknikleri Arasındaki Bağlantı

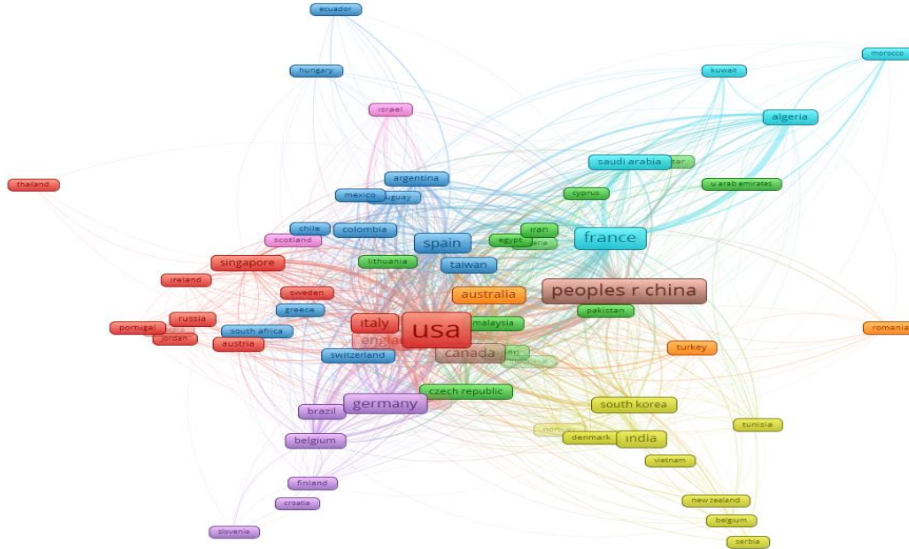
Şekil 5'te verilen haritaya göre sarı renk 2018 yılındaki anahtar kelimeleri göstermek üzere bu yıllara beraber makine öğrenmesi (machine learning), büyük veri (big data), rassal orman (random forest), topluluk öğrenme yöntemleri (ensemble learning), derin öğrenme (deep learning) anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmaların daha önce yapılan fonksiyonel veri ve veri analizi (functional data analysis), veri madenciliği (data mining), örüntü tanıma/işleme (pattern recognition), değişken (özellik) seçimi, destek vektör makineleri (support vector machines), sınıflandırma (classification), karar ağaçları (decision trees) anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmalarla bağlantı kurmakta olduğu görülmektedir. Böylece son yıllarda fonksiyonel verilerle makine öğrenmesi başta olmak üzere makine öğrenmesi tekniklerinden denetimsiz öğrenme tekniği olan fonksiyonel verileri kümeleme ve denetimli öğrenme teknikleri olan fonksiyonel regresyon analizi ile fonksiyonel verileri sınıflandırma çalışmalarının olduğu görülmektedir. Böylece karar verme süreçlerinde regresyon ve sınıflandırma ağaç modellerinin kullanılması ve bu yöntemin fonksiyonel verilerle uygulanmasını temel alan fonksiyonel karar ağaçları uygulamalarının gelişmekte olduğu söylenebilir.

Atıf analizinde analiz birimi ülkeler olduğunda ülkeler arasında elde edilen yoğunluk ve ağ haritaları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir. Buna göre elde edilen kümeler aşağıda verilmiştir. Ayrıca fonksiyonel veri analizi konusunda en çok yayın yapılan ilk 20 ülke ve bunlar arasında Türkiye'nin yeri Tablo 4'te sunulmuştur. Buna göre yayın sayısı en çok olan ülkeler sırasıyla ABD (USA), Çin (China), Fransa (France) ve İspanya (Spain) iken en çok atıf alan ülkeler sırasıyla ABD (USA), Fransa (France), İngiltere (England) Avustralya (Australia) ve İspanya (Spain) şeklindedir. Turuncu renkli kümede yer alan Türkiye'de Avustralya (Australia) ve Romanya (Romania) ile bağlantılı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Ayrıca diğer kümelenmeler büyüklük sırası ile aşağıda verilmektedir.

Kırmızı renkli düğümler kümesi: Avustralya (Australia), Avusturya (Austria), İngiltere (England), İtalya (Italy), İrlanda (Ireland), Polonya (Poland), Singapur (Singapore), Tayland (Thailand), Amerika Birleşik Devletleri/ABD (USA)...



Şekil 6. Ülkeler Arası Yoğunluk Haritası ve Türkiye'nin Yeri



Şekil 7. Ülkeler Arası Ağ Haritası ve Türkiye'nin Yeri

Yeşil renkli düğümler kümesi: Kıbrıs (Cyprus), Mısır (Egypt), İran (Iran), Japonya (Japan), Malezya (Malaysia), Hollanda (Netherlands), Pakistan, Katar (Qatar), Birleşik Arap Emirlikleri (U Arab Emirates)...

Mavi renkli düğümler kümesi: Arjantin (Argentina), Kolombiya (Colombia), Yunanistan (Greece), Meksika (Mexico), İspanya (Spain), İsviçre (Switzerland), Tayvan (Taiwan)...

Sarı renkli düğümler kümesi: Danimarka (Denmark), Hindistan (India), Güney Kore (South Korea), Sırbistan (Serbia)...

Mor renkli düğümler kümesi: Belçika (Belgium), Brezilya (Brazil), Finlandiya (Finland), Almanya (Germany)...

Turkuaz renkli düğümler kümesi: Fransa (France), Suudi Arabistan (Saudi Arabia)...

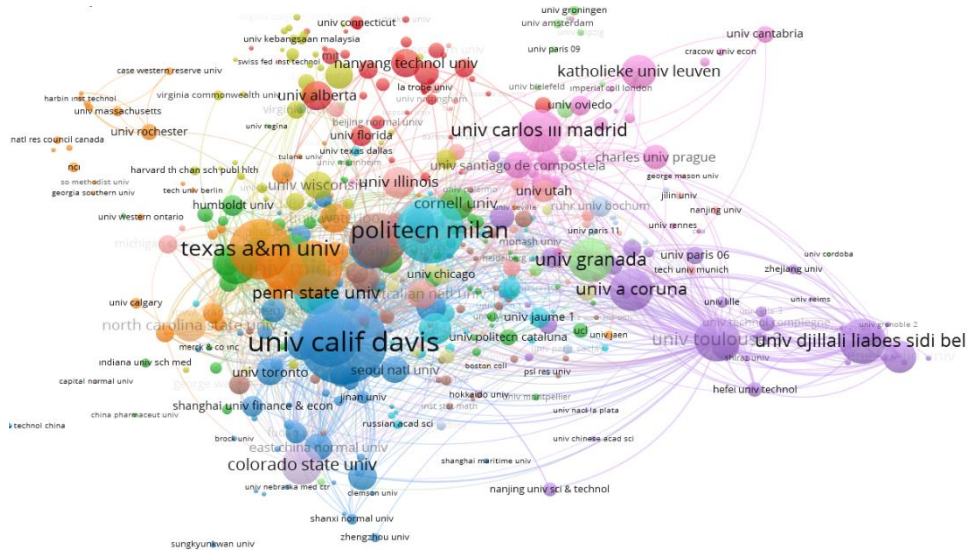
Turuncu renkli düğümler kümesi: Avustralya (Australia), Romanya, Türkiye (Turkey)...

Kahverengi renkli düğümler kümesi: Kanada (Canada), Çin (Peoples R China)...

Tablo 4. Ülkelere Göre Yayınların Dağılımı: En Fazla Atfa Sahip İlk 20 Ülke ve Türkiye

Ülke	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı	Bağlantı Kuvveti
ABD (USA)	2236	64274	19804
Fransa (France)	601	12144	9928
İngiltere (England)	332	11678	3294
Avustralya (Australia)	219	8821	4502
İspanya (Spain)	455	8819	7303
Almanya (Germany)	384	8567	4040
Çin (Peoples R China)	895	8122	7969
Kanada (Canada)	377	5952	4262
İtalya (Italy)	336	5614	3867
Belçika (Belgium)	116	2669	1954
Hindistan (India)	229	2649	544
Singapur (Singapore)	129	2590	1887
Tayvan (Taiwan)	148	2559	1865
Polonya (Poland)	101	2036	678
İsviçre (Switzerland)	80	1513	1061
Japonya (Japan)	115	1421	673
Güney Kore (South Korea)	171	1394	1234
Hollanda (Netherlands)	83	1262	248
Çek Cumhuriyeti (Czech Republic)	96	1151	1134
Arjantin (Argentina)	56	1119	1397
Türkiye (Turkey)	62	695	421

Atıf analizinde analiz birimi üniversiteler veya kuruluşlar olduğunda üniversiteler veya kuruluşlar arasında elde edilen yoğunluk ve ağ haritaları Şekil 8'de verilmektedir. Ayrıca yayın ve atıf sayıları Tablo 5'te sunulmuştur. Buna göre en çok yayına sahip olan sırasıyla California Davis Üniversitesi (Univ Calif Davis) ve Teksas A&M Üniversitesi (Texas A&M Univ) iken en çok atıf alarak önde gelenler sırasıyla California Davis Üniversitesi (Univ Calif Davis), Avustralya Ulusal Üniversitesi (Australian Natl Univ), Stanford Üniversitesi (Stanford Univ), Toulouse III Üniversitesi (Univ Toulouse III), Harvard Üniversitesi (Harvard Univ)'dir.

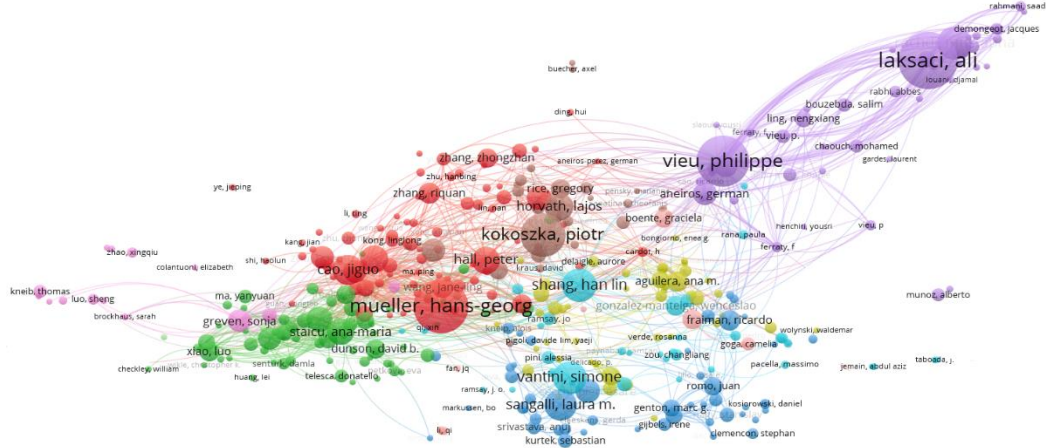
**Şekil 8.** Üniversiteler veya Kuruluşlar Arası Kümelenme Haritası

Tablo 5. Üniversiteler veya Kuruluşlara Göre Yayınların Dağılımı: En Fazla Atfa Sahip İlk 20

Organizasyon	Ülke	Doküman Sayısı	Atıf Sayısı	Bağlantı Kuvveti
California Davis Üniversitesi (Univ Calif Davis)	ABD, Kaliforniya	155	6388	8119
Avustralya Ulusal Üniversitesi (Australian Natl Univ)	Avustralya	44	5453	2464
Stanford Üniversitesi (Stanford Univ)	ABD, Kaliforniya	30	4260	713
Toulouse III Üniversitesi (Univ Toulouse III)	Fransa	70	3900	4886
Harvard Üniversitesi (Harvard Univ)	ABD, Massachusetts	50	3526	491
Kuzey Karolina Üniversitesi (Univ N Carolina)	ABD, Kuzey Karolina	92	3194	2331
Princeton Üniversitesi (Princeton Univ)	ABD, New Jersey	18	2959	341
Teksa A&M Üniversitesi (Texas A&M Univ)	ABD, Teksa	103	2934	3198
Johns Hopkins Üniversitesi Bloomberg Halk Sağlığı Okulu (Johns Hopkins Bloomberg Sch Publ Hlth)	ABD, Maryland	24	2639	797
Michigan Üniversitesi (Univ Michigan)	ABD, Michigan	99	2588	2022
Berkeley Üniversitesi (Univ Calif Berkeley)	ABD, Berkeley	34	2457	630
Kolorado Eyalet Üniversitesi (Colorado State Univ)	ABD, Kolorado	61	2294	3304
Pensilvanya Üniversitesi (Univ Penn)	ABD, Pensilvanya	67	2213	1993
Columbia Üniversitesi (Columbia Univ)	ABD, New York	93	1939	2544
Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)	ABD, Cambridge	22	1672	50
Nanyang Teknoloji Üniversitesi (Nanyang Tech Uni)	Singapur	42	1637	592
IBM (IBM Corp)	ABD, New York	8	1606	66
Günay Kaliforniya Üniversitesi (Univ So Calif)	ABD, Kaliforniya	18	1534	1624
Marmara Üniversitesi (Marmara Univ)	Türkiye	7	8	193
Dokuz Eylül Üniversitesi (Dokuz Eylul Univ)	Türkiye	5	7	117

Atıf analizinde analiz birimi yazarlar olduğunda yazarlar arasında elde edilen yoğunluk ve ağ haritaları Şekil 9’da verilmektedir. Ayrıca yayın ve atıf sayıları Tablo 6’da sunulmuştur. Buna göre en çok yayın veren yazarlar sırasıyla Laksaci, A., Mueller, H.G. ve Vieu, P. iken en çok atıf alan yazarlar Muller, H.G., Vieu, P. ve Ramsay, J.O.’dur.

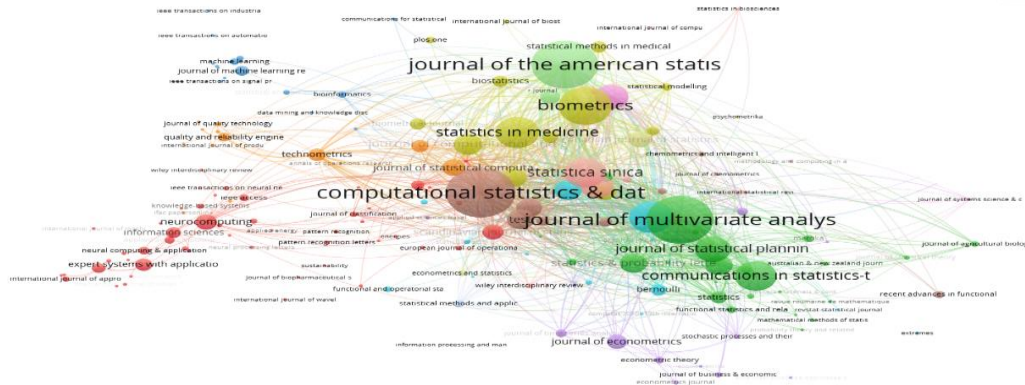
Atıf analizinde analiz birimi dergiler olduğunda dergiler arasında elde edilen yoğunluk ve ağ haritaları Şekil 10’da verilmektedir. Ayrıca yayın ve atıf sayıları Tablo 7’de sunulmuştur. Buna göre bu konuda en çok yayın yapan en aktif dergiler Hesaplamalı İstatistik ve Veri Analizi (Computational Statistics & Data Analysis), Amerikan İstatistik Derneği Dergisi (Journal of The American Statistical Association) ve Çok Değişkenli Analiz Dergisi (Journal of Multivariate Analysis) iken bu konuda yayınladıkları çalışmalarla en çok atıf alan dergiler Amerikan İstatistik Derneği Dergisi (Journal of The American Statistical Association), Hesaplamalı İstatistik ve Veri Analizi (Computational Statistics & Data Analysis) ve İstatistik Yıllıkları (Annals of Statistics)’dır.



Şekil 9. Yazarlar Arası Kümelenme Haritası

Tablo 6. Yazarlara Göre Yayınların Dağılımı: En Fazla Atfa Sahip İlk 20

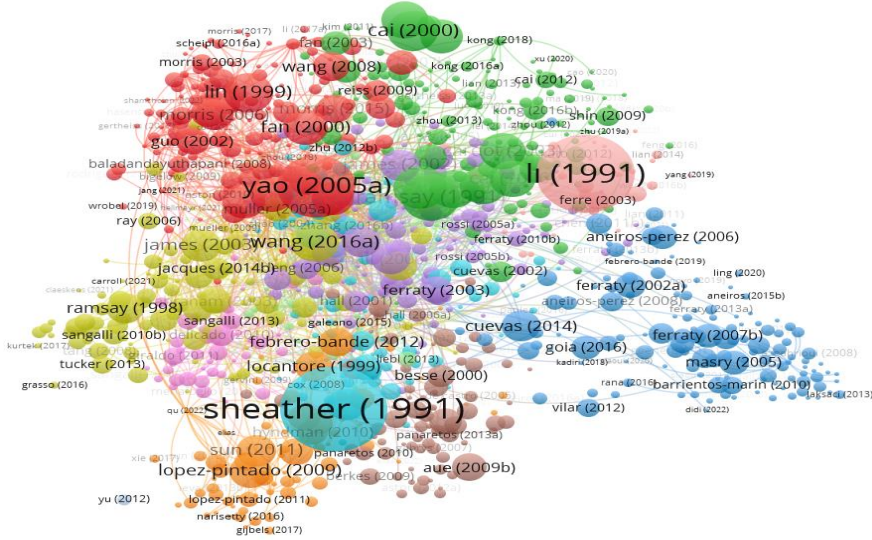
Yazar	Doküman Sayısı	Atıf Sayısı	Bağlantı Kuvveti
Mueller, Hans-Georg	64	1978	2396
Vieu, Philippe	61	1966	3233
Ramsay, J.O.	17	1711	721
Wang, J.I.	8	1639	1666
Hall, Peter	29	1404	1760
Ferraty, F.	9	1244	1323
Wang, Jane-Ling	22	1123	1370
Kokoszka, Piotr	51	1077	1515
James, Gm	6	1060	905
Cardot, H.	9	1056	1093
Fan, J.Q.	5	1024	241
Horvath, Lajos	30	987	1035
Chiou, Jeng-Min	19	930	1102
Sauerbrei, Willi	7	927	11
Carroll, Raymond J.	27	815	1065
Ferraty, Frederic	23	798	1146
Crainiceanu, Ciprian M.	23	792	1469
Yao, Fang	29	791	1083
Laksaci, Ali	70	783	2113



Şekil 10. Dergiler Arası Kümelenme Haritası

Tablo 7. Dergilere Göre Yayınların Dağılımları: En Fazla Atfa Sahip İlk 10

Kaynak	Doküman Sayısı	Atıf Sayısı	Bağlantı Kuvveti
Amerikan İstatistik Derneği Dergisi (Journal of The American Statistical Association)	198	9286	3767
Hesaplamalı İstatistik ve Veri Analizi (Computational Statistics & Data Analysis)	208	7358	2845
İstatistik Yıllıkları (Annals of Statistics)	119	6397	3091
Kraliyet İstatistik Derneği Dergisi (Journal of The Royal Statistical Society Series B-Statistical)	69	4548	2263
Biyometrika (Biometrika – Oxford Academic)	89	3998	1428
Biyometri (Biometrics -The International Biometric Society)	150	3723	1570
Sinirsel Hesaplama (Neural Computation – MIT Press)	9	3130	17
Çok Değişkenli Analiz Dergisi (Journal of Multivariate Analysis)	198	2697	2969
Tıpta İstatistik (Statistics in Medicine)	119	2550	749
Kraliyet İstatistik Derneği Dergisi Dergisi (Journal of The Royal Statistical Society Series B-Methodological)	8	2545	397



Şekil 11. Dökümanlar Arası Kümelenme Haritası

Tablo 8. Dkmanlara Göre Yayınların Dağılımları: En Fazla Atıfa Sahip İlk 10

Doküman	Atıf Sayısı	Bağlantı Kuvveti
Sheather (1991)	1559	4
Li (1991)	1323	34
Lin (1993)	1066	0
Yao (2005a)	870	281
Pao (1994)	617	4
Ramsay (1991)	508	148
Yao (2005b)	440	190
Cai (2000)	390	5
Lin (1999)	378	5
Wang (2016a)	358	175

Atıf analizinde analiz birimi dökümanlar olduğunda dökümanlar arasında elde edilen yoğunluk ve ağ haritaları Şekil 11’de verilmektedir. Ayrıca yayın ve atıf Sayıları Tablo 8’de sunulmuştur. Buna göre bu konuda en çok alıntı yapılan çalışmalar (ilk yazarlarına göre kısaltılmış haliyle) sırasıyla Sheather (1991), Li (1991), Lin (1993), Yao (2005a), Pao (1994) ve Ramsay (1991)’dir.

Sonuç

Belirli bir araştırma alanındaki yayın sayılarının eğilimi bilimsel çalışmaların gelişimini ve araştırma alanının büyümesini modellemektedir. Bibliyometrik yasalardan biri olan Price yasasına göre bir bilim alanının gelişimi aşamalı bir süreçtir. Bu süreç bilim araştırmacılarının belirli bir alanda henüz araştırma yapmaya başladığı öncü çalışmalar aşaması, halen keşfedilmemiş kısımların bulunmaya çalışıldığı aşama, bilim alanının güçlenmesi ve olgunlaşması aşaması ve son olarak yayın sayısının azaldığı doygunluk aşaması ve bitiş dönemi olarak nitelendirilebilir (de Solla Price, 1963; Dabi vd., 2016). Bu bağlamda fonksiyonel verinin ilk ortaya çıktığı 1991 yılından bu yana son 32 yıllık süreç değerlendirildiğinde fonksiyonel veri analizi uygulamalarının hala yeni alanlarda araştırılmakta olduğu ve yayın sayısının artmakta olduğu görülmüştür. Bu alanda özellikle son senelerde fonksiyonel makine öğrenmesi, fonksiyonel sınıflandırma ve fonksiyonel karar ağacı analizleri ilgi çekmektedir. Ayrıca fonksiyonel veri analizi alanında en çok atıf alan öncü yazarların Muller, H.G., Vieu, P. ve Ramsay, J.O. olduğu görülmüştür. En çok atıf alan dergiler Amerikan İstatistik Derneği Dergisi (Journal of The American Statistical Association) ve Hesaplamalı İstatistik ve Veri Analizi (Computational Statistics & Data Analysis) Dergisi; en çok atıf alan üniversiteler California Davis Üniversitesi (Univ Calif Davis) ve Avustralya Ulusal Üniversitesi (Australian Natl Univ); en çok atıf alan ülkeler ABD ve Fransa’dır.

Kaynakça

- Al, U. ve Tonta, Y. (2004). *Atıf Analizi: Hacettepe Üniversitesi Kütüphanecilik Bölümü Tezlerinde Atıf Yapılan Kaynaklar*. Bilgi Dünyası, 5(1):19-47.
- Al, U. (2008). *Türkiye’nin Bilimsel Yayın Politikası: Atıf Dizinlerine Dayalı Bibliyometrik Bir Yaklaşım*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Basaglia, T. (2014). *What is Bibliometrics and Why We Should Care About It?*, CERN Library.
- Björneborn, L. (2004). *Small-World Link Structures Across An Academic Web Space: A Library and Information Science Approach*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Royal School of Library and Information Science, Copenhagen.
- Clarkson, Douglas B., Fraley, Chris., Gu, Charles C. ve Ramsay, James O. (2015). *S+Functional Data Analysis User’s Guide*, Insightful Co. USA
- Cobo M., López-Herrera, A., Herrera-Viedma, E. ve Herrera F. (2011). Science Mapping Software Tools: Review, Analysis, And Cooperative Study Among Tools. *Journal of The American Society for Information Science And Technology* 62(7) pp.1382-402.
- Dabi, Y., Darrigues, L., Katsahian, S., Azoulay, D., De Antonio, M., & Lazzati, A. (2016). Publication Trends in Bariatric Surgery: A Bibliometric Study. *Obesity Surgery*, 26(11), 2691-2699.
- De Solla Price, D. J. (1963). *Little science, big science*. New York: Columbia University Press.

- Doğan, G. (2017). *Bibliyometri ve Atıf Analizi*. Araştırma Yöntemleri.
- Garfield, E. (1979). *Citation Indexing: Its Theory and Application in Science, Technology and Humanities*. New York: Wiley
- Gündüz, M. (2012). *Fonksiyonel Kanonik Korelasyon Analizi ile İMKB'de İşlem Gören Şirketlerin Kapanış Fiyatları ile İşlem Miktarları Arasındaki İlişkinin Araştırılması*, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi
- Gürsakal, N. (2017). *Büyük Veri*. Genişletilmiş 3. Baskı. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Henderson, B. (2006). Exploring Between Site Differences in Water Quality Trends:A Functional Data Analysis Approach, *Environmetrics*, 17, 65–80.
- Keser, İ. (2007), *Çok Değişkenli İstatistiksel Boyut İndirgeme Yöntemi Olarak Düzgünleştirilmiş Fonksiyonel Ana Bileşenler Analizi Üzerine Bir Araştırma*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Keser, İ. (2010). Ege Bölgesi Yağış Verilerinin Fonksiyonel Veri Analizi ile İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1):40,66.
- Khalil, G. M., & Crawford, C. A. G. (2015). A Bibliometric Analysis of Us-Based Research On The Behavioral Risk Factor Surveillance System. *American Journal of Preventive Medicine*, 48(1), 50-57.
- Kocarı, B. (2018). *Büyük Veri Üzerine Uluslararası Literatürün Bibliyometrik Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul, 2018.
- Kurutkan, M.N. & Orhan, F. (2018). *Bilim Haritalama, Bibliyometrik Analiz, Sağlık Politikası Konusunun Bilim Haritalama Teknikleri ile Analizi*, Doç. Dr. Mehmet Nurullah Kurutkan & Dr. Fatih Orhan, (Ed.), İKSAD Yayınevi.
- Levitin, Daniel J., Nuzzo, Regina J., Vines, Bradley W. ve Ramsay, J. O., (2007). Introduction to Functional Data Analysis, *Canadian Psychology*, 48 (3), 135-155.
- Osareh, F. (1996). Bibliometrics, Citation Analysis and Co-citation Analysis: A Review of Literature I, *Libri*, 46:149-158.
- Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25(4), 348-349.
- Ramsay J.O. (1982). When The Data Are Functions. *Psychometrica*, 47(4).
- Ramsay, J. O., & Dalzell C. (1991). Some Tools For Functional Data Analysis, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 53 (3)
- Ramsay J.O., & Silverman B.W. (1997). *Functional Data Analysis*. Springer –Verlag: New York.
- Ramsay, J. O., Hooker, G., and Graves, S. (2009). *Functional Data Analysis with R and MATLAB*. Springer, New-York.
- Sengupta, I. N. (1992). Bibliometrics, Informetrics, Scientometrics And Librametrics: An Overview. *Libri*, 42(2), 75.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software Survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.