



Entropi Ekseninde Orman Yangınları Fenomeni Üzerine Bir İnceleme

Muhammed ÇETİN*^{ORCID}

Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Bursa, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

Örgütsel entropi
Orman yangınları
Yangın ekolojisi
Çevresel davranış
Bilgi entropisi

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.04.2024
Kabul: 20.05.2024
Yayınlanma: 29.06.2024



Özet

Termodinamik yasaları doğa bilimlerinin en önemli ve en radikal yasalarıdır. Bu yasalar sosyal bilimler ve doğa bilimlerindeki birçok disiplinde epistemolojik ve ontolojik değişimlere yol açmıştır. Bu değişimin yaygın yansımalarından olan termodinamiğin ikinci yasası entropiye maruz kalma durumu her iki bilim sistemlerini de yakından etkilemiştir. Entropi, doğa bilimlerinde evrendeki belirsizliklerin belirlenmesini ifade etmektedir. Bu çerçevede termodinamik prensiplere dayalı olarak matematiksel ve fiziksel modüller bağlamında entropik bileşenlerle ilişki içerisinde olan orman yangınları fenomeni örgütsel entropi doğrultusunda amaç, yapı, ekolojik ilişki-etkileşim-bilgi entropisi üzerinden örgütsel düzeyde incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma kavramsal ve kuramsal çerçevede karma yöntemler eşliğinde yürütülmüştür. Metodolojik bağlamda termodinamik yasaları ve entropi yasaları kullanılarak orman yangınları davranışları anlaşılmasına çalışılan bu araştırmada ekolojik ilişkileri göz önüne alındığında orman yangınlarının hem ısı üreten orman tabakasının yanmasının kimyasal-fiziksel yönünü hem de yerel meteorolojik tahminleri dikkate alan karmaşık ve büyük ölçekli bir konumda olduğu biyosistemsel bir tipoloji uygunluğu görülmektedir. Bu durumun yanı sıra felsefik ve teorik çerçevede ele alınan termodinamik ve entropi değişkenleri bir biyofiziksel unsur olan orman ekosistemi ve onun parçası olan orman yangınları ile tamamlayıcılık, genişletme, veri çeşitlenmesi ve geliştirme tipolojilere uygunluk göstermektedir. Bu uygunluk araştırmada üçgenleme (triangulation) bakış açısıyla gösterilerek anlamsal boyutta yangın-organizasyon kümeleri davranışları çerçevesinde zenginleştirilmiştir. Söz konusu zenginleştirilme sürecinde de tercih edilen entropi modülleri bilgi entropisi ekseninde derinleştirilmiştir. Böylece termodinamik yasalar ve entropi düzeylerindeki olay ve olasılıkların bilgi kazancı ortaya koyularak kök niteliği taşıyan ekolojik fenomenler aksiyonları açıklanmıştır. Elde edilen teorik ve ampirik bulgularda ise entropi ve termodinamik yasaları kullanılarak orman yangınları davranış boyutlarının örgütsel bütünlükte bilgi teorisi aracılığıyla incelenebileceği tespit edilmiştir.

A Study on the Forest Fire Phenomenon on the Axis of Organizational Entropy

Keywords

Organizational entropy
Forest fire
Fire ecology
Environmental behavior
Information entropy

Research Article

Received: 02.04.2024
Accepted: 20.05.2024
Published: 29.06.2024

Abstract

The laws of thermodynamics are the most important and radical laws in the natural sciences. These laws have led to epistemological and ontological changes in many disciplines of the social and natural sciences. The exposure to entropy, the second law of thermodynamics, which is one of the common reflections of this change, has closely affected both scientific systems. Entropy refers to the determination of uncertainties in the universe in the natural sciences. In this framework, the phenomenon of forest fires, which is related to entropic components in the context of mathematical and physical modules based on thermodynamic principles, has tried to be studied at the organizational level through purpose, structure, ecological relationship-interaction-information entropy in line with organizational entropy. The study was conducted with mixed methods in a conceptual and theoretical framework. In this research, which tries to understand the behavior of forest fires by using the laws of thermodynamics and entropy in the methodological context, it is seen that forest fires are in a complex and large-scale position that takes into account both the chemical-physical aspect of the combustion of the heat-producing forest layer and local meteorological forecasts, considering their ecological relationships and the suitability of a biosystemic typology. In addition to this situation, the thermodynamic and entropy variables discussed in the philosophical and theoretical framework show complementarity, extension, data diversification and development typologies with the forest ecosystem, which is a biophysical element, and forest fires, which are its part. This compatibility is shown in the research from a

triangulation perspective and enriched in the semantic dimension within the framework of fire-organization cluster behaviors. This compatibility has been tried to be shown in the research from a triangulation perspective and enriched in the semantic dimension within the framework of fire-organization clusters, fire-ecological relationship-interaction behaviors. In this enrichment process, the preferred entropy modules were deepened on the axis of information entropy. Thus, the information gain of events and probabilities at the level of thermodynamic laws and entropy was tried to be revealed and the axioms of ecological phenomena, which are the root, were explained. In the theoretical and empirical results obtained, it was determined that the behavioral dimensions of forest fires can be studied through information theory in organizational integrity by using entropy and thermodynamic laws.

1. Giriş

Eddington (1929) entropinin sürekli arttığını ifade eden termodinamiğin ikinci kanununu doğa kanunları arasında üstün bir konumda tanımlamaktadır. Bu konumda araştırmacı tarafından evren-denkleme ikileminde Maxwell denklemleri göz önüne bulundurulmak suretiyle şu şekilde bir subjektif görüş dile getirilmiştir: “Eğer birisi size evrene ilişkin favori teorisinin Maxwell denklemleriyle çelişki içerdiğini öne sürerse, o zaman Maxwell denklem sistemi için durum daha da kötüleşebilir. Eğer mevcut gözlemler ile çelişirse, bu deney incelemeleri yapanların bazen bazı şeyleri dikkatsizce yaptığını gösterir.

Ama eğer teorisinin termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olduğu anlaşılırsa size hiçbir umut veremem; derin bir aşağılanma içinde yıkılmaktan başka bir çare yoktur” (Demirel, 2023). Diğer bir deyişle Maxwell denklemleri ve termodinamiğin ikinci yasası arasındaki ilişkisellik şu şekilde yorumlanabilir: Maxwell denklemleri elektromanyetizma alanında temel bir rol oynar, termodinamiğin ikinci yasası ise ısı ve enerjinin doğasını belirler. İkisi arasındaki ilişkiyi basitçe açıklamak gerekirse: Maxwell denklemleri, elektromanyetizmanın temel yasalarını ifade eder. Bu denklemler, elektrik alanı, manyetik alanı, elektrik yüklerin hareketini ve elektromanyetik dalgaların yayılmasını açıklar. Termodinamiğin ikinci yasası ise ısı transferi ve enerji dönüşümleri ile ilgilidir. Bu yasa, doğal olarak ısı enerjisinin tek yönlü olarak daha soğuk bir ortamdan daha sıcak bir ortama geçtiğini, ancak tersinin doğru olmadığını belirtir.

İkilinin bağlantısı ise şu şekilde açıklanabilir: Elektromanyetizma, ısı ve enerji transferi ile de ilişkilidir. Elektromanyetik dalgalar, enerjiyi taşıyan ışık ve diğer elektromanyetik radyasyon formlarını oluşturur. Termodinamiğin ikinci yasası, bu elektromanyetik enerjinin nasıl yayıldığını ve dönüştürüldüğünü belirler. Örneğin, bir ısı kaynağından yayılan elektromanyetik radyasyonun, sıcak bir ortamdan daha soğuk bir ortama doğru hareket etmesi termodinamiğin ikinci yasasına uygun bir şekilde enerji akışı sağlar. Bu ilişki, enerjinin farklı formlarının birbirine nasıl dönüştürüldüğünü ve taşıdığını anlamamıza yardımcı olur.

Burada Eddington'un zamana şekil veren ve fiziksel dünya görüşünün tipik bir yansıması anlatılmaya çalışılmıştır. Diğer bir deyişle, doğa bilimlerinde, bir durumun entropisi, o durumdaki basit rassallığın ya da karmaşıklığın (*shuffledness*) derecesinin bir ölçüsüdür. Doğal sistemlerde düzenliliğin azalması ve karmaşıklığın artması eğilimi esastır (Shannon & Weaver, 1948). Ekolojik sistemde her şey bütünü oluşturan ve basit homojen ya da heterojen değişkenlere ayrılma eğilimindedir (Erbaş, 2010).

Bu eğilim termodinamiğin ikinci yasası olarak karşımıza çıkan entropinin artış yasasıdır ve tersinmez bir süreçtir. Bilgi için ileri sürülen doğal koşullar benzersiz bir formda niceliksel boyutta termodinamikteki entropiye karşılık gelmektedir. Bu nicelik, mesajları biçimlendirme sürecinde belirli aşamalara gelmesi olasılıkları ve bu aşamalarda bir sonraki aşamada belirli sembollerin seçilme olasılıkları ekseninde yorumlanmaktadır.

Bilim, tez ve anti-tezlerden meydana gelen sentezlerle birikimli olarak ilerleme gösteren ve ortaya koyduğu teorilere metodik bir şüphe ile yaklaşan bir disiplindir. Fakat Einstein (1879-1955) yanı sıra (Whittaker, 1955) yukarıda görüşlerine yer verilen Eddington (1929) gibi birden fazla bilim insanı belirli bir zaman diliminde genellikle doğa yasasının entropi ile çelişmeyeceğini dile getirmişlerdir (Demirel, 2023). Başka bir ifadeyle, determinizme açıklanabilecek günlük ve gözlemlenebilir olgular, nesnelere sebep olduğu farklı türde değil, olduğu gibi olduğu sorularını sormak, çağdaşlarına ve kendinden sonraki filozof ve bilim insanlarına bugün kullandığımız neredeyse tüm günlük teknolojilere olanak tanıyan doğa yasalarını keşfetme ve anlama konusunda ilham vermiştir (Jolley, 2019). Bunlardan birisi de termodinamiğin ikinci yasasını (entropi) ilk kez öne süren Nicholas Leonard Sadi Carnot (1824)'tur.

Entropi, pek çok kavram ve teoriler gibi çıkış noktası doğa bilimlerine dayalı bir kanunun derin köklerini temsil etmektedir. Zira entropi her şeyin düzenden düzensizliğe doğru bir akıda olduğunu konu alan bir temele sahip olmuştur. Bu kapsamda içinde bulunduğumuz yüzyılda da görüldüğü üzere yaşamın her alanında ekolojik bir değere sahip ormanlar, temel yaşam için gerekli olan temiz hava, içilebilir su kaynakları, barınma ve yiyecek gibi hayati yaşam kaynağı çekirdeğini oluşturmaktadır. Fakat doğal ve beşeri nedenlerle meydana gelen orman yangınları bir afet boyutuna dönerek düzenin olduğu ekosistemde bölgesel ve küresel düzeyde çevresel tahribatlara yol açarak belirsizlikler dolu bir modernite ortamında çevresel soruna neden olmaktadır (Kumar & Kumar, 2022; Gürpınar vd., 2023; Kala, 2023; Yıldırım vd., 2023; Vigna vd., 2024). Bu çevresel sorunlar da günümüzde iç içe geçen ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel sorunların yarattığı sürdürülemezlik sorunsalına yol açmaktadır. Buradan hareketle çalışmada şu sorulara cevap aranmıştır:

1.Entropinin-termodinamik sistemler ile ilişkisi nasıldır? sorunsalında denge durumu ve entropi, enerji dönüşümleri ve entropi, sistemler arasındaki ilişkiler ve entropi, düzensizlik ve karmaşıklıkla ilişkili entropi ölçüleri düzeyinde davranışlar incelenerek fiziksel bir temel oluşturulmuştur.

2.Entropinin etimolojik çerçevesi ile termodinamik yasalar ile bağlantısı nasıldır? hipotezinde homojenlik ve heterojenlik kalıplarında tanımlayıcı, betimsel ve açıklayıcı

koroljilerden hareketle termodinamik davranışlar ortaya koyulmuştur.

3.Entropi doğa bilimlerinin teorik ve ampirik çerçevesini nasıl şekillendirmiştir? Sorusu ele alındığında evrendeki sistemsel işleyiş prensipleri doğrultusunda madde-enerji dönüşümünde meydana gelen enerji değişimleri, artış-azalış frekansları bilgi teorisi (Shannon vb.) bileşeninde işlenmiştir.

4.Entropinin yeryüzü ekolojisi ile bağlantısı nasıldır? bölümünde karmaşık sistemler teorisi temelinde ekosistem direnci-istikrarı, organizma yapısı-enerji akışı işlenmiştir.

5.Doğal peyzajın bir biyofiziksel parçası olan orman yangınlarının entropik davranış sınırları, yanma süreçleri ve ekosistem hassaslığı nasıldır? ilişkileri göz önüne alındığında entropik davranış sınırları kök niteliğinde yanma-enerji kimyasal reaksiyonları şeklinde incelenmiştir.

6.Örgütsel entropinin homojen ve heterojen sistemik yapısı ile orman yangınları davranışları arasında nasıl bir ilişki vardır? Sorunsalında ise yanma süreçleri-yayıma paternleri ele alınarak yangın davranışlarının statik ve dinamik organizasyonu ortaya koyulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kavramsal ve kuramsal çerçevede, karma yöntemler kullanılarak yürütülmüştür. Çünkü epistemolojik ve ontolojik düzeyde termodinamik yasaları ve entropi mekanizmasının sistemik düşüncesi ile ekosistemsel bütünlükte özelde orman ekosistemi ve bu organizasyonun doğal bir parçası olan orman yangınlarının davranış biçimlerinin örgütsel ve bilgi entropisi karmaşık bir ilişkisel ağ görünümü sunmaktadır. Ayrıca ekosistemik yabancılaşma ve artan entropi düzeyleri, orman yangınlarının davranış biçimlerini paraekolojik bir perspektifle incelenmesini gerektirmektedir. Çalışmada paraekolojik-sistemik düşünce, ekolojik sistemlerin karmaşıklığını anlamak için kullanılan bir yaklaşımı ifade etmek amacıyla kullanılmıştır.

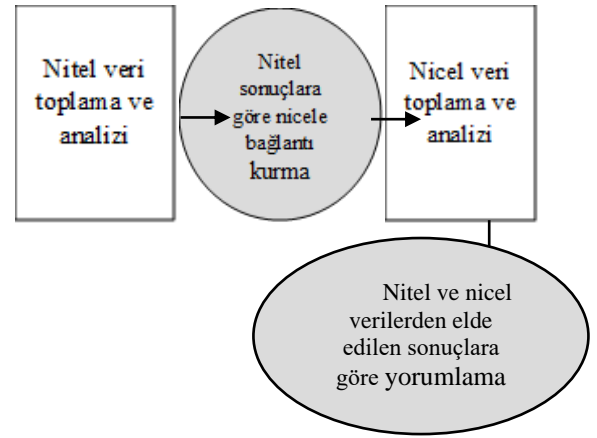
Bu düşünce tarzı, doğal sistemlerin parçaları arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin nasıl karmaşık bir bütün oluşturduğunu vurgulamaktadır. Bu sayede paraekolojik-sistemik düşünce, orman yangınlarını sadece tek bir olay olarak değil, ekonomik bir bağlamda ele almamızı kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda paraekolojik-sistemik düşünce, ekosistemleri farklı ölçeklerde incelememizi teşvik eder ve orman yangınlarının nedenleri ve etkileri, yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde ele alınabilir.

Temel çerçevede bu yaklaşım, yangınların sadece bir bölgedeki bitki örtüsü üzerindeki etkilerini değil, aynı zamanda daha geniş ekosistemik etkilerini de göz önünde bulundurduğunu belirtir. Araştırma deseni ise süreç içerisinde gelişen bir keşfedici sıralı (nitel/nicel) karma yöntemler deseni olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Bu karma yöntem deseni tipolojisi nitel veri toplama analiziyle bir konuyu keşfetme amacıyla başlar ve nitel bulgular ikinci, nicel veri toplama ve analizleri aşamalarının geliştirilmesinde yardımcı olmaktadır (Creswell & Plano Clark, 2018; Toraman, 2021).

Bu desenden hareketle ilk olarak entropinin etimolojik çerçevesi çizilerek termodinamik dönüşüm içeriği sistematik bir şekilde sunulmuştur. İkinci aşamada termodinamik yasalar ve entropi ilişkiselliği göz önüne alınarak pozitivist paradigma eşdeğerinde termodinamik yasalar açıklanmıştır. Üçüncü aşamada ise doğa

bilimlerinde entropi etkileşimi orman yangınları kaynaklı ekolojik kriz ve sürdürülemezliği sistemik bir düşüncede aktarılmıştır.

Dördüncü aşamada ekolojik süreçleri referans alan bütüncül organizmalar olarak ormanlar ve orman ekosistemindeki sistemik düşüncüyü meydana getiren ekosistem anlayışı ele alınmıştır. Bu ekosistem anlayışı R makine öğrenmesinde mekânsal ekolojiye dayalı örnekler eşliğinde incelenmiştir. Beşinci aşamada ise örgütsel entropi ve orman yangınları arasındaki homojen ve heterojenlik yapısı tümevarımsal hipotezler eşliğinde bilişsel yakınlık bağlamında boyutlandırılarak çalışma sonuçlandırılmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın keşfedici sıralı (nitel/nicel) karma yöntemler deseni (Plano Clark & Ivankov, 2016; Creswell & Plano Clark, 2018'den uyarlanmıştır).

2.1. Entropinin etimolojik dönüşüm içeriği

Eski Yunancada “trope” “dönüş” anlamına gelen entropinin etimolojik kökeni Yunanca’ya dayanan “dönüşüm” içeriğine bağlı olarak açıklanmaktadır (Nişanyan, 2023). “En” ise önüne geldiği kelime gruplarına de/-da anlamını veren bir ek özelliği taşımaktadır. Enerjinin Yunan köklerinden türediği ortaya koyulduğunda “iş içeriği” anlamı entropi “dönüşüm içeriği” kalıplarında kullanıldığı görülmektedir (Meisel, 2016). Diğer bir deyişle entropi ısı ya da iş transferi aracılığıyla değişebilir bir niceliğin göstergesidir. Bu gösterge kuantitatif bir yeryüzü görünümünde (bir bölgenin veya alanın sayısal verilere dayalı olarak analiz edilmesi ve karakterize edilmesi) mekânsal örüntüde heterojenlik eşdeğerinde dinamik bir yorumlama sunmaktadır (Vranken vd., 2015).

Modern anlamda entropinin mekanik ve fizik perspektifinde bilimsel bir kavram olarak yerleştiği yüzyıl ise 19.yy. ortalarıdır (Erbaş, 2010). Bu yüzyılda Alman fizikçi ve matematikçi Rudolf Emanuel Cluasius tarafından termodinamikte kullanılmış bir kavram olarak entropi açıklanmıştır. Termodinamik yasaları enerjinin fiziki sistemler ilişkiselliğinde, ısı veya iş transferi aracılığıyla değişebilir olduğunu sunan entropi adında bir niceliğin var olduğu kabul eder. Üçüncü bir sistemle aynı ısı morfolojisinde olan iki farklı öz niteliğe sahip sistemler aynı ısı sınıfındaki aksiyomları, termodinamiğin sıfırıncı yasası olarak adlandırılır.

Termodinamiğin birinci yasası ise enerjinin korunumu yasası olarak bilinmektedir. Buna göre evrendeki net enerji sabit olup enerji ne yoktan var edilebilir ne de yok edilebilir.

İstatistiksel bir yasa olan termodinamiğin ikinci yasası ile ilgili gerçekleştirilen bütün tanımlamalar akının (bir miktarın akış hızı) yüksek bir seviyeden alçak bir seviyeye doğru akacağı ile eş anlamlıdır (Davie, 2019).

Diğer bir deyişle evrendeki birçok şeyin olasılığı daha az olan bir olgudan, olasılığı yüksek olan bir duruma doğru sürekli bir artış içindedir. Bu durum bütün kapalı kutu sistemleri için geçerlidir (Kalender, 2021). İkinci yasadaki olasılık artışın ölçüsü ortaya çıkan entropiye dayalı bulunabilme ihtimali ile tanımlanabilir.

Entropi bu bağlamda doğa bilimleri içerisindeki yaygın denge konseptinde karşımıza çıkan doğrusal dinamikler ve karmaşıklıktan doğan jeomorfolojik dinamiklere dayalı kuantum fiziği için de bir sınır öneren, geçmişten geleceğe bir zaman pusulası özelliği taşımaktadır (Çetin & Özkaya, 2021; Çetin, 2023). Clausius (1879) fiziksel bir sistemin difüzyona uğrayan enerji miktarının onun entropisi ile olduğunu dile getirmektedir. Hidrolojik süreçlerin önemli bir parçası olan yağış oluşum süreçlerinde karşımıza çıkan faz geçişlerdeki (suyun donmaya bağlı olarak buza, buzun da yoğunlaşmaya bağlı olarak sıvıya dönüşmesi) entropi değeri soğurulan ve salınan enerjiye bağlı olarak normal atmosfer koşullarında değişiklik gösterebilmektedir. Özellikle de sıvı-katıya doğru faz geçişlerinde buz kararlı, su yarı kararlı, su buharı yarı kararlı bir ilişkide entropi değişimini 0'a yaklaştırmaktadır. Fakat örneğin yanan bir turbalık sahadaki karbonun yayılması tersinmez bir süreç bağlamında ısının yayılması ile birlikte artan ve pik potansiyel entropi enerji miktarını maksimum değere ulaştırabilir.

Bir fiziksel sistem maksimum entropi eşğine ulaştığında denge formuna bürünür. Denge halinde bir sistem örgüsü yapısal bütünlükte düzensiz hale gelebilir. Örneğin holosen drenaj havzalarında meydana gelen iklimsel zorlamalar, buzul morfolojisinde gözlemlenen hacimsel küçülmeler denge dışı farklılıklar oluşturabilir (Church & Ryder, 1972). Entropi işte burada negatif olan bir düzen meydana getirir ve bunun sonucunda da negentropi (Swanson vd., 1997) düzeyinde devam edebilir.

Clausius (1879)'un entropi tanımlamasına göre, iş için enerji sarf edildiğinde, enerjinin bir kısmı entropiye dönüşerek kaybolabilmektedir. Enerjinin evrensel genel entropiyi geri dönülemez biçimde artma eğiliminde olduğu günümüz dünyasında ilgili bilim paydaşları tarafından ortak bir kabul olarak görülür. “Isı ölümü” şeklindeki bazı terimsel kullanımlar, molekül bağlarının maksimum tek yönlü dağılıma eriştiği ve bunun sonucunda faydaya dönük enerji içermediği ön görülen ilerlemenin nihai çıktısını tanımlamak da tercih edilmektedir (Triulzi, 2018). Clausius'a göre entropinin orijinal tanımı termodinamiğe bağlıdır. Clausius, entropinin bir fonksiyon olarak iki olağan durumu istediğimiz şekilde birbirlerine bağlayarak entropi ranji (fark) hesaplanabileceğini vurgulamıştır. Entropinin (dönüşüm) eksenli mevcut tanım sınıflarına “Clausius entropisi” adı verilmektedir. Bu istatistiksel-mekanik bağlamdan ziyade termodinamik bir konfigürasyondur. Entropinin bir sistem örgütün ısıtılma veya soğumaya bağlı olarak üretildiği daha sonra ortadan kaldırıldığı anlayışı ise Clausius ve paydaşları tarafından ifade edilmektedir.

Boltzmann'ın uygulamalarına göre ise sistemler bir düzensizliğe bağlı olarak azalma eğiliminde olan istatistiksel olarak net sonuçlara ulaşılması çok zor olan bir

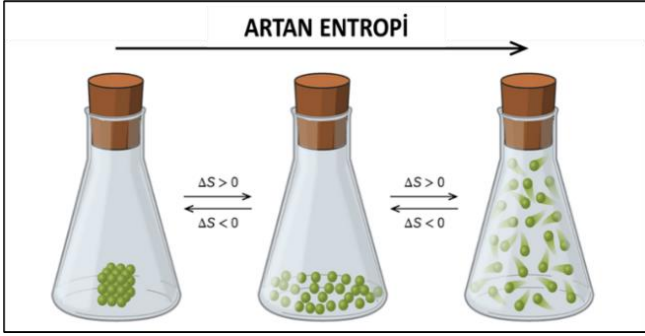
özellik taşımaktadır (Triulzi, 2018; Demirel, 2023). Temel bir fizik yasasına istatistiğe dayalı bir yorum kazandıran kişi de Boltzman'dır.

İkinci yasanın gerektirdiği bu değişimler istatistiksel olarak tanımlandığında, bir sistemin basit rassal bir dağılıma geçişi olasılıksal olarak nispeten daha yüksek olabilmektedir. Boltzmann (1866)'nın buraya kadar ifade ettiği termodinamik süreç, enerjinin dağılımının olasılık ile ilişkilendirilmesine dayanmaktadır. Daha açık bir örnekle sert ağaçlardan oluşan yangın kırıcılar ve bariyerlerin varlığında kanopi orman yangınlarını göz önüne aldığımızda radyasyon zayıflamasına bağlı olarak ormanın pirolizi (Marzaeva, 2019) yoğunlaşmış fazın hacim fraksiyonlarına bağlı olarak türbülanslı bir akış ortamı oluşturmaktadır. Söz konusu türbülanslı akışa bağlı olarak da gaz şekilleri ve piroliz ürünlerinin aynı fraksiyonda olması imkânsız değil fakat gerçekleştirilme olasılığı imkansızla yakın derecede düşüktür. Aynı zamanda gün boyunca genellikle yerel zeminin ısınmasını kolaylaştıran anabatik akışlar, vadi ve ova üzerlerinde alçalarak bir termodinamik sıcaklık farkı oluşturur.

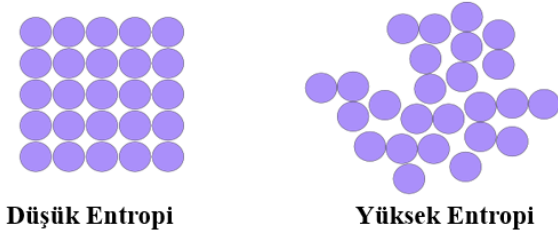
Bu durum, yamaç boyunca yükselen termal bir dolaşım yaratır ve özellikle toprak nemi eksikliği olan hidroklimatolojik türbülanslı ortamlarda orman yangınlarına neden olabilir. Ayrıca, havanın nemli olduğu durumlarda, anabatik akış yamacın tepesinde anabatik bulutlar bile oluşturabilir (Atkinson, 1981). Boltzmann sabitesine dair daha önceki örnekte verilen fraksiyonlar ısı-oksijen-radyasyon üçleminde incelendiğinde orman yangınlarını modellemenin fiziksel ve matematik formülizasyonu göstermesi bakımından da çözümleyici bir metot olduğu görülmektedir.

Görüldüğü üzere, orman yangınları gibi karmaşık sistemler, ekosistem bütünlüğünde kendi kendini organize eden kritiklik (SOC) yaklaşımları çerçevesinde incelenmektedir (Malamud & Turcotte, 1999). Bu çalışmalar, stokastik karmaşık olguların sunumlarıyla çalışmada da desteklenmiştir. Genel bir organizasyonda, bu yaklaşımların rehberliğinde entropi tanımını kavramsal ve kuramsal açıdan ele almak gerekirse, Clausius'un termodinamik metodolojisine göre bir sistemin birim sıcaklık başına nasıl faydalı eyleme dönüşebileceğini ifade eden ısı enerjisinin bir ölçüsüdür. Başka bir deyişle, entropi, bir sistemin ısı enerjisinin bir kısmının nasıl kullanılabilir bir forma dönüştürülebileceğini gösteren bir termodinamik kavramdır.

Enerji kaybının 0>olması durumunda ise fazla enerji verilmeden işlem geriye döndürülemezdir. Boltzmann'ın istatistiksel ve matematiksel yaklaşımına göre ise bir sistemin düzen göstermemesi sürekli (*constant*) halde bulunma olasılığından hemen hemen neredeyse karşılaştırma yapılmayacak boyutta daha yüksektir. Her iki yaklaşımın özü ana konseptte sistemin kendiliğinden eski forma dönmemesini ve düzensizliğe doğru bir ilerleme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle entropi düzensizliğin ölçüsüdür (Şekil 2; Şekil 3).



Şekil 2. İzole (kapalı, madde ve enerji alışverişi olmayan) bir termodinamik sistemin entropisi zamanla artış eğilimindedir.

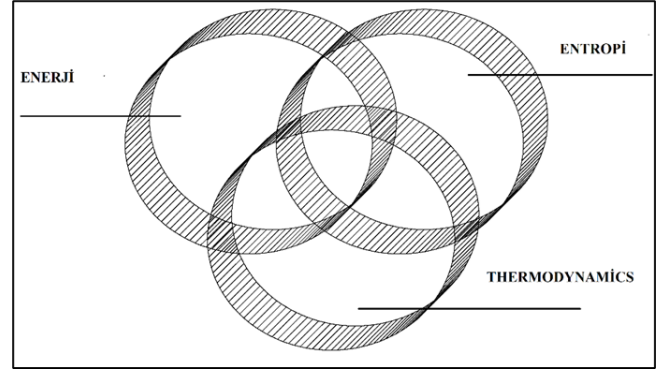


Şekil 3. Bir sistemde düzensizlik arttıkça entropi düzeyi artış gösterir.

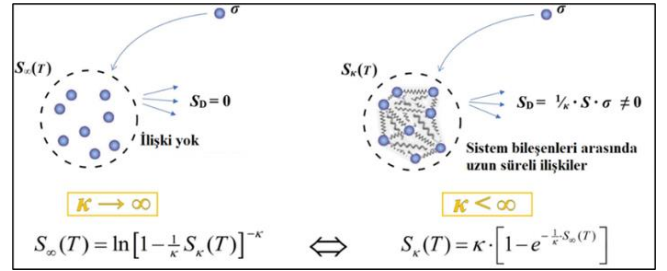
2.2. Termodinamik yasaları ve entropi

Swanson ve ark. (1997)'da belirttiği üzere fiziksel sistemler madde, enerji ve bilgi ünitelerinden meydana gelmektedir. Bu kapsamda doğa bilimleri fizik, madde, enerji ve entropiye dayalı ölçümlere bağlı olarak oldukça kesin ilişkiler ortaya koyma gücüne sahiptir. Bu ilişkiler ağırları tipik bir örnek Einstein'ın $E=mc^2$ denklemi enerji ve kütle arasındaki ilişkiyi temsil etmesi bakımından yorumlanabilir. Termodinamik üzerine literatür incelendiğinde beş temel durum değişkeni dikkat çekmektedir: Basınç, sıcaklık, hacim, enerji, entropi (Boltzmann, 1866; Maxwell, 1878; Planck, 1901). Bu değişkenler arasındaki ilişki ağırları herhangi birinin değerinin bilinmesinin ardından diğer iki değişkenin de değerinin hesaplanabileceğini göstermektedir. Özetle madde, enerji ve entropi logaritmik ölçümleri arasında kesin korelasyon bulunmaktadır (Miller, 1978).

Termodinamik, Eski Yunanca 'da ısı ve güç anlamına gelen "therme" ve "dynamis" sözcüklerinden alır (Çengel vd., 2011). Burada ısı "hareket halinde enerji", güç ise "döngüsel bir devinim" şeklinde tanımlanabilir. Bu sayede termodinamiğin esasen enerjinin döngüsel bir devinimi ele aldığı söylenebilir. Şekil 4'te ise termodinamik yasalarının enerji ve entropi arasındaki kavramsal davranış sınırları gösterilmeye çalışılmıştır. Termodinamik yasaları ve entropi ilişkisi oldukça değişken bir modülde de olabilmektedir. Bu değişimin yaygın yansımalarından birisi de entropi eksikleridir (Şekil 5). Diğer bir deyişle entropi kusuru, iki veya daha fazla alt sistem bir araya getirildiğinde, bileşenleri arasındaki ek korelasyonlar yoluyla bir sistemde indüklenen düzenin neden olduğu entropi değişimini ölçmekte olup bu kusur, nükleer parçacık sistemleri bir araya getirildiğinde ortaya çıkan kütle kusuruna yakından benzemektedir (Livadiotis & McComas, 2023).



Şekil 4. Termodinamik, enerji ve entropi arasındaki ilişkiler (Dinçer & Çengel, 2001, s.117'den yeniden düzenlenerek).



Şekil 5. Bağımsız bileşenlerden (her biri σ entropisine sahip) oluşan bir sistemin entropisi S_∞ ile bu bileşenler arasında korelasyonlar geliştiren sistemin entropisi S_κ arasındaki ilişkinin şeması. Ek korelasyon içermeyen bileşenlerin bir araya gelmesi BG entropisinin termal formülasyonuna, $S_\infty(T)$, yani $\kappa \rightarrow \infty$ için, (solda) yol açarken, ek korelasyonların gelişmesi kappa entropisinin termal formülasyonuna, $S_\kappa(T)$, yani korelasyonların bir ölçüsünü sağlayan κ 'nın sonlu bir değeri için, yol açar. Bu ikisinden herhangi birinin formülasyonunun bilinmesi diğerine yol açar (Livadiotis & McComas, 2023, s.7'den yeniden düzenlenerek).

Termodinamiğin üçüncü yasası mutlak 0 derecesi ile ilgilidir. Bu yasa hiçbir maddenin mutlak sıfır (0 Kelvin) sıcaklığına kadar soğutulamayacağını göstermektedir. Mutlak sıfır noktası, maddenin moleküllerinde olabildiğince hareketin kısıtlı olduğu ve hatta hareketin görülmediği anlamına gelir. Tablo 1'de termodinamik ilkelerin matematiksel ve fiziksel başlıca dayanakları gösterilmeye çalışılmıştır.

Tablo 1. Bazı termodinamik ilkelerin matematiksel ve fiziksel ifadesi.

Termodinamik ilke	Matematiksel ve fiziksel formüller	Açıklama
Birinci Yasaya Göre Enerjinin Korunumu	$\Delta U = Q - W$	Bir sistemdeki iç enerjinin değişimi, sisteme giren veya sistemden çıkan ısı ve işle ilgilidir. ΔU iç enerjinin değişimi, Q sisteme giren ısı ve W sisteme yapılan işi temsil eder. Bu formül, enerjinin korunumunu ifade eder.
İkinci Yasaya Göre Entropi Artışı	$\Delta S \geq Q/T$	Bir sistemin entropisinin artması, sisteme verilen ısıya ve sistemdeki sıcaklık değişimine

		bağlıdır. ΔS entropi değişimi, Qrev sistemdeki tersinir işleme alınan ısı ve T sistemdeki sıcaklık temsil eder. Bu formül, entropinin artışı ifade eder.
Termodinamik Dengenin İlkesi	$dt dS=0$	Bir sistemdeki entropinin zamanla değişiminin sifra eşitlenmesi, sistemin termodinamik dengede olduğunu gösterir. $dt dS$ entropi değişiminin zaman türevidir. Bu formül, termodinamik denge ilkesini ifade eder.

3. Bulgular

Entropiye dayalı değişimlerin örnek bir uygulaması kapsamında Shannon entropisi hesaplaması seçilerek R makine öğrenmesinde (data_iris) veri setinde library(tidyverse), library(ggplot), library(MASS), library(broom) paketleri kullanarak İris'in verilerinin yalnızca Setosa türlerini içeren bir alt kümesi incelenmiştir. Daha sonra Shannon entropi'nin formülü kullanılarak tür özelliğinin saflık derecesine bakılmıştır. H0 hipotezine göre sadece Setosa bulunduğu için için İris türleri hakkında %100 bilgiye sahip olunduğu göz önüne alındığında entropi alt sınırı düzeyine bakılmıştır. Sonuçta beklediği gibi entropinin gerçekten de 0 olduğu tespit edilmiştir. Bu da bu kümenin içeriği hakkında tam bilgiye sahip olduğumuzu göstermektedir.

Bu nedenle, tüm veriler dahil edildiğinde daha yüksek bir entropi beklenebilir. Farklı İris türlerini temsil eden farklı renkteki toplarla dolu bir kova kümesi oluşturulduğunda, kovadan rastgele hangi renkte top (hangi tür) çekileceği konusunda daha az bilgiye sahip bilgiler elde edilebilir. Bunu görmek için entropi fonksiyonu tekrar kullanılabilir. Entropi sonucuna bakıldığında, şimdi 0 olmayan bir entropi görülmektedir. $> \text{entropy}(\text{iris}\$Species)$ için entropi sonucu [1] 1.584963'dir. Burada her birinin çekilme olasılığı eşit olan 3 tür sınıfı ile Shannon entropisinin tanımlandığına dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Söz konusu İris veri seti incelendiğinde 3 İris türü içinde santimetre cinsinden ölçümler bulunmaktadır (Tablo 2). Şekil 6'da ise Shannon entropisi adımlarına yer verilmiştir. Şekil 7'de ise İris veri setinin $> \text{plot}(\text{iris}\$Species)$ komutu ile run edilmiş olasılıksal saçılımları görülmektedir.

Tablo 2. İris veri setinde seçili 3 iris türü (Setosa, Versicolor, Virginica) için (sn) cinsinden çanak, taç yaprak ölçümleri.

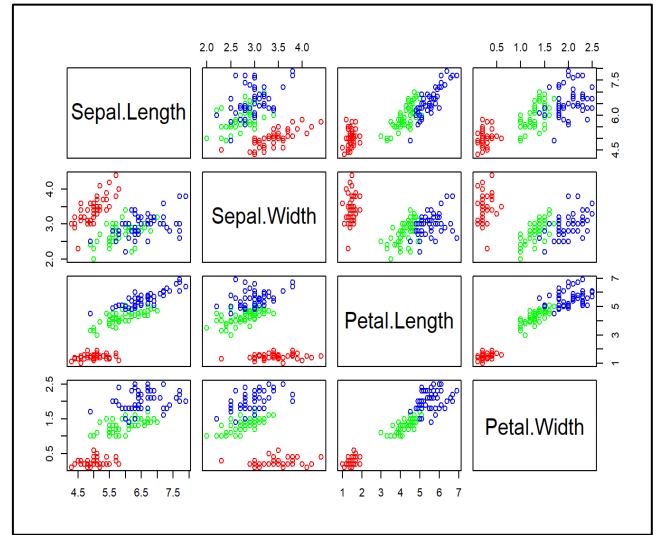
Çanak yaprak uzunluğu	Çanak yaprak genişliği	Taç yaprak uzunluğu	Taç yaprak genişliği	Türler
1	5.1	3.5	1.4	İris
2	4.9	3.0	1.4	İris
3	4.7	3.2	1.3	İris
4	4.6	3.1	1.5	İris
5	5.0	3.6	1.4	İris
6	5.4	3.9	1.7	İris

```

38 library(grid)
39 library(gridExtra)
40 # change the presentation of decimal numbers to 4 and avoid scientific notation
41 options(prompt="> ", digits=4, scipen=999)
42
43
44 library(tidyverse)
45 library(ggplot)
46 library(MASS)
47 library(broom)
48 setosa_subset <- iris[iris$Species=="setosa",]
49 #compute Shannon entropy
50 entropy <- function(target) {
51   freq <- table(target)/length(target)
52   # vectorize
53   vec <- as.data.frame(freq[,2])
54   #drop 0 to avoid sub resulting from log?
55   vec<-vec[vec>0]
56   #compute entropy
57   sum(vec * log(vec))
58 }
59 entropy(setosa_subset$Species)
60 plot(iris)
61 head(iris)
6111 [Top Level]

```

Şekil 6. İris veri setinin R script arayüzündeki Shannon entropisi işlem adımları.



Şekil 7. Mevcut İris (süsen) türlerinin çanak yaprak uzunluğu ve genişliği, taç yaprak uzunluğu ve genişliğine göre olasılıksal saçılımları (Anderson, 1935 İris veri setlerinden oluşturulmuştur).

3.1. Doğa bilimleri destekli mekânsal ekoloji paralelinde entropi uygulamaları

Gelişen teknolojiyle beraber verinin işlenmiş formu olan bilgi veri setleri "büyük veri" adı altında küresel hacime sahip depolama alanları sayesinde kolaylıkla modellenebilmektedir (Çetin & Meydan, 2020). Büyük veri kavramı adı altında artan çeşitlilik (variety), daha büyük hacim (volum) ve daha fazla hız (velocity) içeren veri setleri kaydedilme ve yayılma sıklığı göz önüne alındığında bilgisayar teknolojisine dayalı hesaplama ortamlarında makine öğrenmesi (machine learning) ve veri bilimi kabiliyetleri paralelinde karar verme, sonuç çıkarma ve genelleme becerilerinde artışlar izlenmiştir (Jiang vd., 2021; Nandi & Pal, 2021).

Ekonomik, etkin, hız ve iş modelleri kullanımı incelendiğinde son yıllarda doğa bilimine dayalı modellerde hiper-parametre ve optimizasyonu özellikleri gösterim gücü nedeniyle makine öğrenme algoritmalarının son zamanlarda tercih edildiği görülmektedir (Aghalarova & Bozkurt Keser, 2022).

Bu algoritmaların yaygın kullanım sahalarından birisi de hiç şüphesiz orman yönetimi ve ekolojisine dayalı karmaşık sistemlerdir (Betinger vd., 2016). Orman ekosistemini oluşturan birçok ekolojik ve sosyolojik ilişkiler (topografik ve iklimik koşullardaki değişimler, yanma süreçleri ve yangın davranışı organizasyon bağları, yangın davranışı ve hidroklimatolojik ortam şartları, sediment taşınım süreçleri vb.) bu minvalde başlıca denetim mekanizmaları olarak karşımıza çıkmaktadır (Swanson, 1981; Scott vd., 1998; Neary vd., 2003; Bryant vd., 2005; Çelik, 2023; Türkes & Tolunay, 2023; Yıldız, 2023).

Bu kavramlar içerisinde yangın ekolojisi, yangın rejimi, yangın şiddeti, yangın sıklığı, yangın derinliği vb. davranış biçimleri hassas ekolojik restorasyon kurulumunda önem taşıyan başlıca terimlerden (Kavgacı vd., 2023). Değinen bu kavramlar içerisinde yangın davranış biçimleri orman ekosistemleri ve yangın ekolojisinin ayrılmaz parçalarından birisi olarak büyük veri teknolojisi kullanımına dayanmaktadır. CBS ve UA teknolojileri ile zamansal ve mekânsal ölçekte kullanılan verilerin çarpıcı şekilde artan hız ve verimlilikte toplanması sonucu çok büyük veriler ortaya çıkmakta ve yangın ekolojisi ve yangın davranış biçimlerinin günümüz veri teknolojisi teknikleriyle modernizasyonu söz konusu olmaktadır.

Makine öğrenmesi bu bağlamda bu teknoloji ve tekniklerinden en yaygın olarak kullanılanları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada R, S programlama diline dayan R programlama dilinin veri analizi ve görselleştirilmesi yapılan paketlerinden yararlanılmıştır. Çünkü:

- ✓ R programı açık kaynak kodludur ve literatürle paralel olarak genişlemektedir.
- ✓ R programı çok kapsamlı bir istatistiksel veri analiz kaynağı sunmaktadır. Bu durum ise R programında yapılamayacak bir istatistiksel yöntemin muhtemelen henüz geliştirilmediği anlamına gelmektedir.
- ✓ R programlama dili çok güçlü veri görselleştirme sağlar.
- ✓ R programında CSV, SPSS, SAS, STATA gibi farklı kaynaklardan hızlı ve kolay veri aktarımı sağlanabilmektedir.
- ✓ R programlama diliyle dinamik bir raporlama oluşturulabilir.

Tablo 3'te ise R programlama dilinde yapılacak işlemlerin çoğunda tercih edilen aritmetik operatörlere yer verilmiştir. Böylece mod alma ve tam bölüm operatörlerinin daha detaylı bir şekilde açıklanması amaçlanmıştır.

Tablo 3. R programlama da kullanılan başlıca aritmetik operatörler.

Operatör	Açıklama
+	Toplama
-	Çıkarma
*	Çarpma
/	Bölme
%>%	Mod alma
%/%	Tam bölüm

Çalışmanın bu bölümünde R ekosistemini tanımlayan, çalışmada kullanılan başlıca R paketlerinin isimleri ve çalışmada nasıl kullanıldığı üzerine açıklayıcı bilgilendirmelere yer verilmiştir. R programlama dilinin daha önceki bölümlerde de dile getirildiği üzere açık

kaynak kodlu olması ve CRAN adı verilen kapsayıcı nitelikteki ağ sisteminden çok sayıdaki paket (packages) kısımlarını içermesi gelişmiş bir pencere görünümü oluşturmaktadır.

Bu kapsamda çalışmada tercih edilen, verilerin görselleştirilmesinde kullanılan başlıca paketlere Tablo 4'te yer verilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada veri analiz ve görselleştirilmesinde kullanılan başlıca R paketleri ve kullanım özellikleri.

Paket adı	Kullanımı
library(tidyverse)	Veri bilimi tasarımı
library(ggplot)	Veri görselleştirilmesi
library(mass)	Veri görselleştirilmesi
library(tmap)	Veri haritalanması
library(DplyR)	Veri düzenleme
library(ReadR)	Veri dosya okuması
library(lubridate)	Veri aritmetik analiz ve yapılandırması
library(sp)	Mekansal veri sınıflama
library(tmaptools)	Haritalama
library(grid)	Koordinatlama

Maddesel bütünlükte doğal sistemin en küçük yapı taşı olan atomlar bir araya gelerek maddeleri oluşturur. Böylece doğa kurallarına göre işleyen bir sistem enerjisi gelişir. Örneğin sistemik organizasyonun veya düzensizliğin nitel veya nicel yönlerini ölçmek, sistem modellerinin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu tarz modeller, Hegel'in doğa çözümlenmelerinden hareketle bir sistem içerisinde birbirleriyle ve çevreye doğrudan veya dolaylı olarak bağlantılı sistemlerin geliştirilebilmesine imkân tanımaktadır (Bilgin, 2022).

Sistemik düşüncenin bir dönüm noktası, Tobler (1970)'in evrendeki her şeyin kesintisiz bir şekilde ilişki içinde olduğunu ve etkileşim halinde olduğunu tanımlamasıyla belirginleşmiştir. Bu görüş, Newton'un mesafe-ilişki doktrine bir anti tez paradigmasında olarak yakın mesafede olan nesnelerin daha güçlü ilişkiler geliştirdiğini savunmaktadır. Tobler'in yapmış olduğu ve oluşturmuş olduğu sistem inşasının bugün somut örneklerini mekânsal analizde yaygınlıkla kullanılan küresel otokorelasyon (Geary C, Moran I) ve yerel otokorelasyon (Getis-Ord ve Anselin Yerel Moran I) istatistiklerinde doğrulamaktayız. Bilindiği üzere mekânda desen (pattern) arayışı coğrafya, şehir ve bölge planlama, kentsel tasarım başta olmak üzere pek çok mekânsal bilim dalında önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

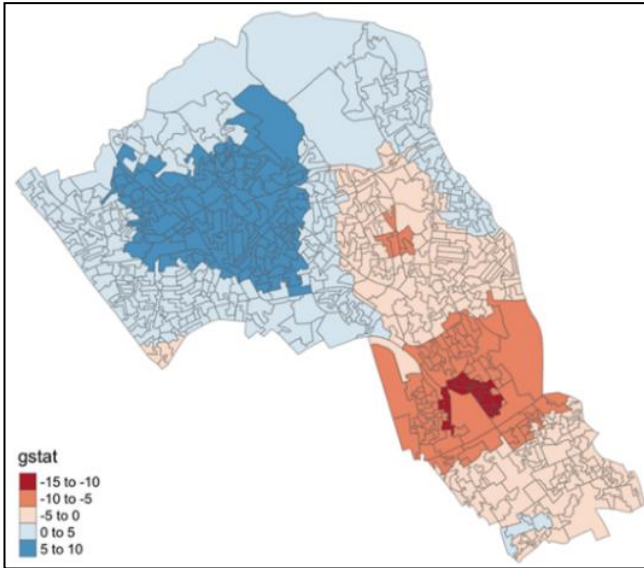
Özellikle de ekolojik bütünlükte var olan fenomenlerin (iklim, topografya ve yüzey şekilleri, jeolojik yapı, flora ve

fauna, hidrografik ortam şartları, antropojenik kaynaklı arazi değişimi ve kullanımları vb.) işleyişinde statik ve dinamik bir yapı görünümü arz eden desenlerin ölçülmesinde mekansal otokorelasyon çalışmaları mekansal istatistiğe dayalı çalışmalarda önemli bir konumda yer alır (Çubukçu, 2015).

1950’den günümüze değin gerek kuadrat analizinde gerekse en yakın komşuluk analizlerinde Ripley’in K fonksiyon testinde de görüldüğü üzere kümelenme çerçevesinde dağınık/tekdüze/rastlantısal dağılımlar incelenme konusu olmuştur. İlk defa 1950’de ortaya atılan “mekansal otokorelasyon” kavramı en basit haliyle mekâna dayalı her gözlemin ya da noktanın bir değişken değeri ile ifade edilebildiği ortamlarda gözlemler arası bir ilişkiyi ortaya koyar. Bu çalışmada mekansal otokorelasyon türlerinden Getis-Ord G^* istatistiğine dayalı R programlama dilinde mekansal kümelenme konumuna dayanan R CRAN paketlerinden birisi olan, sistemik düşüncenin mekânsal ilişki ağlarıyla olan sağlamlılığını test etmek adına R makine öğrenmesinde Mendez (2020)’nin mekânsal analiz çözümlerinden hareketle library (tidyverse)-library (ggplot2)- library (sp)-library (spdep)- library (tmap), library (tmtools), library (grid), library (gridextra) kütüphaneleri destekli Getis-Ord* mekânsal analiz uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Getis-Ord* istatistiği için kullanılan eşitlik Formül 1’de verilmiştir. Aynı zamanda Tablo 5’te de Getis-Ord* G_i istatistiği güven düzeyi, p- değerleri, z-puanlarına yer verilmiştir. Görüldüğü üzere güven aralığı %95 olup z-istatistiği sonuçları kümelenmenin olduğunu göstermektedir.

(1)

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X}\sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n\sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}}$$



Şekil 8. Getis-Ord*istatistiğine dayalı seçili lokasyon.

Camden (Londra) kasabesindeki suç oranlarının konumlanma düzeyleri. Burada G_i istatistiği bir Z-skoru olarak temsil edilir. Daha yüksek değerler daha yoğun bir kümelenmeyi temsil eder ve hot spot (sıcak nokta) ile temsil

edilir ve negatif ilişkinin arttığı kümelenmeler de cold spot (soğuk nokta) olarak temsil edilir.

Tablo 5. Getis-Ord G_i istatistiği güven düzeyleri, p değerleri ve z puanı değerleri.

Güven düzeyi	p-değerleri	z-puanları
% 95	< 0.05	< -1.65 ya da > +1.65

Doğal sistemleri incelemek için çok sayıda ampirik, kavramsal ve fiziksel temelde modellemeler tasarlanmıştır. Bu modellemeler genel olarak yeryüzü ekolojisi (*landscape ecology*), mekânsal ekoloji (*spatial ecology*) somut temellerine dayalı bir dizi bilgi ölçümlerini de test etmektedir. Petrucci & Harwood (1993) termodinamiğin ikinci yasasında entropi de artışlara işaret etmektedir. Bu bağlamda entropinin doğasını konu alan çalışmalarda açık sistemler, kapalı sistemler ve izole sistemler kavramları adı altında enerji giriş koridorları oluşturulmuştur. İzole sistemlere dış kaynaktan herhangi bir madde ve enerji girişi olmamaktadır. Kapalı sistemlerde ise enerji giriş bağlantıları vardır ama madde girişi yoktur. Açık sistemlere bakılacak olduğunda hem enerji hem de madde alışverişine bir uygunluk göze çarpmaktadır (Smith & Smith, 1996). Bu sistemler içerisinde entropiye dayalı nicel ve nitel ölçümlerde nispeten kapalı olan sistem bileşeni basit rassallığa dayalı fiziksel seviyelerdir. Diğer bir yandan dengeden uzak sabit bir konumda tutulan etken ve süreçler biyolojik seviyede bilgi süreçlerinde farkındalık yaratmaktadır.

Örneğin doğal bir sürecin parçası olan orman yangınları, ekosistem tabanlı ekolojik tepkilerde bu kapsamda mikro ölçekli fenomenen geniş peyzaj desenleri ve süreçlerine kadar zamansal ve mekânsal ölçekte biyofiziksel bir görünüm sağlamaktadır (Güney vd., 2023). Bu nedenle doğal sistemler, kurallar çerçevesinde birçok çevresel değişkene (iklim, topografya ve yüzey ilişkileri, toprak örtüsü vb.) bir düzen meydana getirerek bir entropi kümesi oluştururlar. Norgard (1984)’ün kültürel ekolojik etkileşiminden hareketle doğal sistemdeki süksesyon (sıralı değişim) (Çakır vd., 2007) ile birlikte flora ve faunaya dayalı yetiştirme ortamı potansiyel dinamikleri ile doğal riskler ve tehlikelere bağlı olarak süregelen bildirim sürecinin evrimsel gelişimin yadsınamaz parçaları olduğu söylenebilir. Bu evrimsel gelişimin sonuçları zaman zaman maksimum entropiye ulaşırken zaman zaman da negentropik bir sürecin işaretleri olmuşlardır. Örneğin ekosistemik yabancılaşma, doğal ekosistemlerdeki fonksiyonel bozulmalar (Ör. Atmosferik kaynaklı orman yangını şiddetinde artışlar, katstrofik ekolojik yıkımlar vb.) paraekolojik dönüşümün habercileri olmuşlardır (Dindaroğlu, 2021). Bahse konu olan bu örneklemeler negentropiye giden yolda bir araç olan sosyal entropiye de kaynaklık etmiştir.

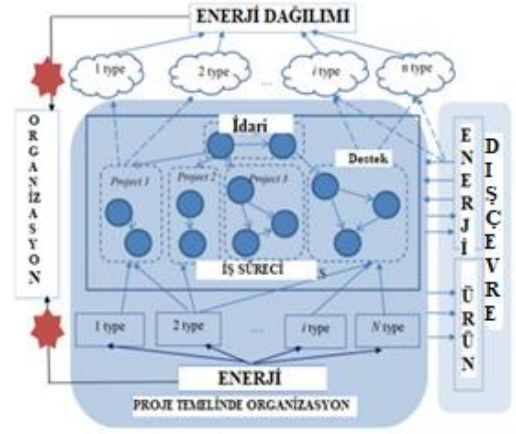
3.2. Örgütsel Entropi Sistemleri ile Orman Yangınları Davranışları Arasındaki İlişkiler

Organizasyonlar, içerdikleri anlamla birlikte, kolektif bir amacı takip eden sosyal yapılar olarak tanımlanabilir. Bu yapılar, içinde buldukları topluluğu koordine etme ve bu topluluğun uyumlu işleyişini yönlendirme amacıyla kontrol

eden bir otokontrol mekanizmasına sahiptir. Başka bir ifadeyle, organizasyonlar (örgütler), etkileşim halinde oldukları çevresel ortama gömülü, birbirleriyle ilişkili yakınlık ve benzerlik ilişkileri taşıyan yapılanmalardır. Bu birleşim özü, "sistem teorisi" olarak adlandırılan bir çerçevede incelenir. Bu teoriye göre, her bir değişkenin davranışı bütünün davranışını etkiler ve her bir unsur, bütünün davranışını etkileme sürecinde diğer değişkenlerden veya unsurlardan en az birine bağlıdır. Bu bağlamda, kurumsal bir bağlam oluşturulur. Karmaşık sistemler, sistemdeki karmaşıklığa ve kaosa bağlı olarak ortaya çıkan doğrusal olmayan, dinamik bir denge ve eşitsizliklerle etkileşim içinde olan bileşenlerdir.

Bu bileşenlerin doğa bilimlerindeki örneğini ekosistemlerde görmekteyiz. Çünkü ekosistemler, karmaşık sistemler olarak gelişen bileşenlerden oluşan, düzen ve kaos arasındaki geçişte uyarlanabilirlik ve istikrarı birleştiren, kendi kendini organize eden, düzenleyen ve sürdüren, açık termodinamik ağlardır. Söz konusu termodinamik ağ bağlantıları ekolojik süksesiyona dayalı MaxEnt prensipleri (MEPP) ile tamamlayıcılık sergiler (Meysman & Bruers, 2007; Ludovisi, 2012; Aoki, 2018). MEPP'ler, ekosistem gelişiminde hiyerarşik, trofodinamik (besin zincirleri ve enerji transferi) ilişkilerini belirler. Bunun yanı sıra, hidrolojik ve mekânsal organizasyon ile ilgili olaylarda da önemli bir rol oynarlar (Skene, 2013). Burada örgütlenme, mikro ve makro sistemlerin farklı açılardan ele alınmasıyla çeşitli yorumlara neden olabilir. Ancak bu çalışmada hedeflenenler arasında termodinamiğin ikinci yasasının makro sistemlerdeki enerji akışı ve bilişsel ilişkiler olduğundan dolayı burada öncelikle örgütsel entropiye temel bir çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda örgütsel entropi için şu üç öge önem taşımaktadır: Mantıksal olarak bağlantılı bilgi, yapısallık ve enerjidir (Alla vd., 2020) (Şekil 9).

Şekil 9 incelendiğinde proje odaklı organizasyonda ana ve geliştirme iş süreçleri projelerle yapılandırıldığından her proje, her organizasyon entropisinin dinamiklerini etkiler. Böylece her proje bilgi entropisini, enerji entropisini ve yapısal entropiyi oluşturur. Projenin genel organizasyonun entropisine (her bir tür için) "entropi katkısının" projenin önemli bir özelliği olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca bir organizasyonu tam anlamıyla termodinamikte termodinamik kategorilerin mekanik aktarımı olan bir sistem olarak düşünmek imkansızdır. Çünkü bunlar doğası gereği tamamen farklı sistemlerdir diyebiliriz. Aynı zamanda eyleme dökülen bir iş süreci geri döndürülemez şekilde işlemektedir. Entropinin akışları düzensizliğe ya da homojenden heterojen bir yapıya doğru devinimdedir. Dolayısıyla örgütsel entropinin üretken unsurlarının düzensizliğini yorumlayabilmek için bu entropiyi meydana getiren ilişki ve etkileşime dayalı birleşimi her zaman göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



Şekil 9. Örgütsel entropi işleyiş mekanizmaları (Alla vd., 2020, s.7'den yeniden düzenlenerek).

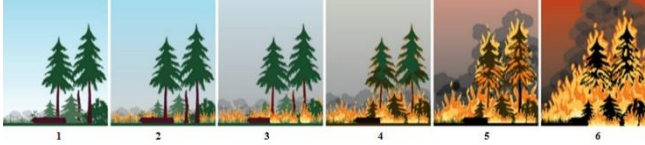
Örgütsel entropinin mikro ve makro sistemlerdeki enerji akışıyla olan ilişkilerini belirlemek için örgüt tanımlanmasında var olan amaç (örgütler bir amacı gerçekleştirmek için var olurlar) ölçeğini ele almakta fayda vardır.

Modern örgütlenmeyi kabaşık olarak karakterize eden şey, bir hedefin varlığı ve hedefe ulaşma ihtimalini pik düzeye çıkaracak gayretlerin bir şekilde düzenlenmesinden geçer. Organizasyonda merkezden çevreye doğru gerçekleşen büyümeler organizasyon ağının şekillenmesine katkıda bulunmaktadır. Böylece bir alt sistem diğer alt sistemler arasındaki ilişki matrisi yorumlanabilir. Bu ağ matrisi onun dahil olduğu daha büyük bir organizasyon kümesini içermektedir. Özetle organizasyonun merkezden çevreye, çevreden merkeze doğru etkileşiminde maksimum örtüşmeyi sağlayacak hedefler ortaya koyulabildiğinde entropiye karşı koyulabilir.

Örgütsel entropi ilişkileri ile orman yangınları davranış biçimleri arasındaki ilişkiye bakıldığında ise şu şekilde bir yorumlama yapılabilir: Ormanlar, bir ekosistemin termodinamik peyzaj ürünleridir. Dolayısıyla orman ekosistemi ilerleyişinde biyotik (canlı) ve abiyotik (cansız) faktörlerden meydana gelen ekosistem bozulmaları, enerji akışı kesintileri, eşitsizlik ve dengesizliklerin görülmesi ekosistemi oluşturan bu değişkenler arasındaki kişisel ve grupsal etkileşimi sekteye uğratmaktadır. Bu bozulmanın yaygın etkisi orman yangınları davranış biçimlerinde de görülebilmektedir. Yangın, organizasyon kümelerindeki her bir üyeyi örneğin bitkileri tekil veya çoğul etkide etkileyebildiği gibi geniş peyzaj desenlerini ve süreçlerini mikro ve makro ölçekte değişime uğratmaktadır (Cochrane vd., 2009). Özellikle doğal organizasyonda (ekosistemlerde) yangınlar flora/fauna dağılımını ve vejetasyon yapısını şekillendirici bir etki unsurudur (Bond & Keeley, 2005).

Bu tarz yeni yaklaşımlar organizasyon içinde organizasyonu kontrol eden klasik iklim ve toprak görüşlerinden farklılık göstermektedir. Bu görüşe göre, bitki fizyolojisi ve morfolojisindeki özelliklerin ortaya çıkışında yangın önemli bir değiştirici organizasyon üyesidir. Örneğin, yangın sonrası vejetatif eksende yeniden filizlenme, yangına duyarlı mevcut tüm organizasyonların alt kümelerinde (Ör. habitat) tüm çift çenek yapısındaki bitki soy gruplarında karşılaşılan bir özelliktir (Güney vd., 2023). Yanma süreçleri ve ekosistemin zarar görmesi

bağlamında değerlendirildiğinde söz konusu fenomen sonrasında organizasyonda görülen bozulmanın verdiği zararın derecesi (yanma derinliği) de yangın davranışının doğal sistem içerisindeki madde, atmosferik ortam koşulları, topografya – yüzey şekilleri değişkenlik göstermektedir. Bu davranışları tanımlayabilmek için Kanada'nın batı bölgesindeki eyaletlerden birisi olan B. Columbia eyaleti Orman Bakanlığı, bir dizi ölçekte 1-6 arasında bir sıralama ölçeği önermektedir (Government of British Columbia, 2024), (Şekil 10).



Şekil 10. Bir orman yangınının yangın davranış biçimleri (Government of British Columbia, 2024).

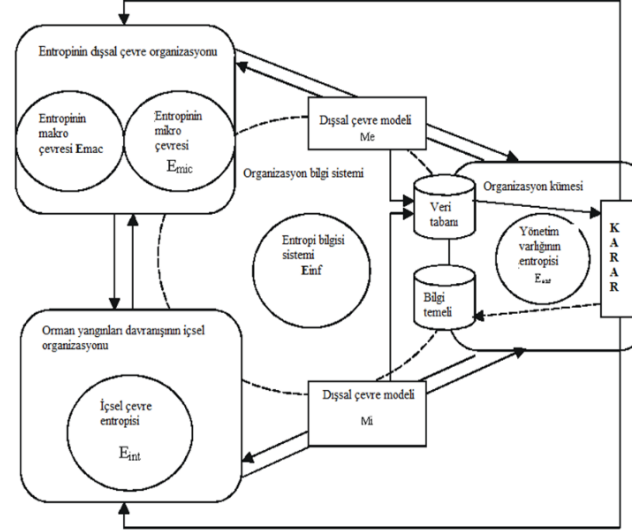
Şekil 10'daki ölçeğe göre;

1. Bu tarz yangın gelişimi toprak yangınları şeklinde gerçekleşip, yavaş ve çoğunlukla çok fazla duman gözlemlenmeyen yangınlardır.
2. Düşük şiddet oranında meydana gelen örtü yangınlarıdır. Genellikle sürünme şeklinde olup yavaş ilerler. Bu yüzden düzensiz ve süreksizdirler.
3. Orta şiddetli örtü yangınlarıdır. Düzenli ve orta derecede hızlı ilerleme gösterirler. İlerleme esnasında bazen dikey yönde alevlenme parlamaları gösterebilirler.
4. Yüksek şiddetli örtü yangını ve pasif tepeler yangını şeklindedir. Yayılma kanadı ve oranı yüksektir. Bazı ağaç tepelerine yakın kısa dikey kaynaklı alev parlamaları ile kendini gösterir.
5. Son derece şiddetli örtü yangını ve aktif tepeler yangınları örnekleridir. Organize bir formda ilerleyen tepeler yangını cephelerini oluşturur. Yer yer tepeler kaymalarını takiben tepeler zorlanmasına da neden olurlar. Yakın ya da orta mesafeli nokta yangınlarına zemin hazırlarlar.
6. Aşırı ya da agresif aktif tepeler yangınlarını temsil eder. Ortamdaki yangın yakıtı toplu bir şekilde yanma eğilimindedir. Uzun mesafeli nokta yangınları oluştururlar. Konveksiyon sütunları ve türbülans kanalları görülür. Büyük bir cephede yoğun duman akışları meydana gelir.

Şekil 11'de örgütsel entropi ve orman yangınları davranışının bilgi entropisini temsil eden kavramsal ve kuramsal bir akış şeması oluşturulmuştur. Buna göre; entropinin makro çevresi (iklim değişikliği – entropi, biyoçeşitlilik- entropi, doğal afetler – entropi, urbasyon - entropi) bir sistemin entropi artışlarını temsil ederken, entropinin mikro çevresi ise daha küçük ölçekli sistemler ve bireysel organizmalar tarafından oluşturulur. Bunlar; habitat çeşitliliği, besin kaynakları, popülasyon yoğunluğu, habitat stresi şeklinde konumlandırılabilir. Bu mikro çevresel değişkenler, bir organizmanın veya küçük bir ekosistemin karmaşıklığını ve düzensizliğini etkileyebilir ve dolayısıyla entropi ile ilişkilendirilebilir. Organizmaların yaşam çevresindeki bu faktörlerle etkileşimi, entropi seviyelerini belirlerken önemli bir rol oynayabilir.

Entropinin dışsal çevre modeli orman yangınları davranışının dışsal çevre bağları, yangınların çevresel etkileri ve yangınların neden olduğu düzenlilik veya karmaşıklık seviyelerini etkileyen faktörleri (iklim değişikliği, bitki paterni ve yakıt unsurları, topografya ve

arazi deseni, antropojenik müdahale, yangın yönetimi ve müdahale stratejileri) ile karmaşık ilişki içindedir.



Şekil 11. Örgütsel entropi bağlamında orman yangınları davranışlarının bilgi entropisi ilişkileri (Markina & Dyachkov, 2014'ten uyarlanmıştır).

Bu kapsamda termodinamik etkilerin örgütsel entropi ve orman yangınları üzerindeki etkilerini konu alan örnekler için Tablo 7 incelendiğinde karmaşık sistemlerdeki doğal ve yapay süreçler arasındaki benzerlikleri ve etkileşimleri yorumlanabilir.

Orman yangınları davranış biçimleri ve entropi ilişkisini mekansal düzeyde somutlaştırma adına Cortez & Morais (2007) Portekiz örneğinde 2000-2003 yılları arasında meydana gelen meteorolojik değerlendirmelere dayalı orman yangınları riski tespitine dayalı veri setinden hareketle R programlama dilinde çoklu doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Çünkü söz konusu yangın organizasyon kümesi ile yanan alanlar arasındaki ilişkiyi "alan (area)" seviyesinde kolaylıkla tahmin edebilmek mümkündür. Tablo 6'da çalışmada kullanılan başlıca değişkenler ve özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 6. Veri seti değişkenleri ve özellikleri.

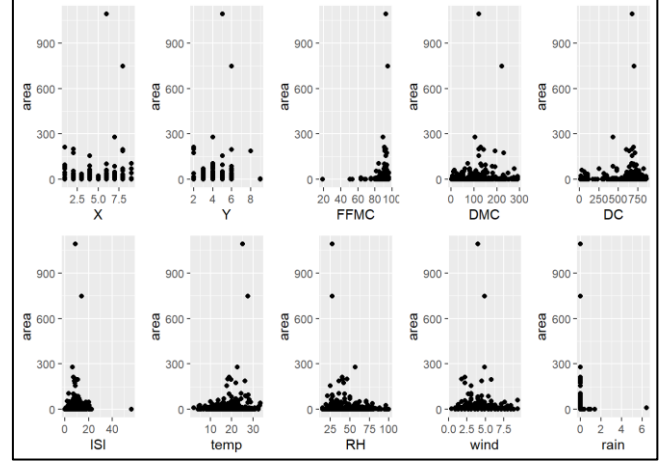
Değişken tanım	
X	Montesinho park haritası içinde x eksenli uzamsal koordinatı
Y	Montesinho park haritası içinde y eksenli uzamsal koordinatı
month	aylar
day	günler
FFMC	FWI sisteminden Toprak Nem Yakıt Nem Kodu (FFMC) derecelendirmesi
DMC	FWI sisteminden Duff Nem Kodu (DMC) derecelendirmesi
DC	FWI sisteminden alınan Kuraklık Kodu (DC)
ISI	FWI sisteminden İlk Yayılma Endeksi (ISI) derecelendirmesi
temp	Celsius derece cinsinden sıcaklık
RH	% cinsinden bağıl nem
wind	km/saat cinsinden rüzgar hızı
rain	mm/m2 cinsinden dış yağmur
area	ormanın yanmış alanı (hektar olarak)

Çoklu doğrusal regresyon için CSV. veri formatında R script ara yüzüne aktarılan data (forest fires) veri setinde library(tidyverse), library(ggplot), library(MASS), library(broom) paketleri yüklenerek veri manipülasyon işlemleri yapılmıştır. Bu aşamada veri ön işleme, eksik ve aykırı gözlem tespiti, doğrusal regresyon modelinin kurulumu gerçekleştirilmiş son aşamada da varsayımların kontrol edilmesi süreci takip edilmiştir.

Tablo 7. Termodinamik etkilerin örgütsel entropi ve orman yangınları üzerindeki etkileri.

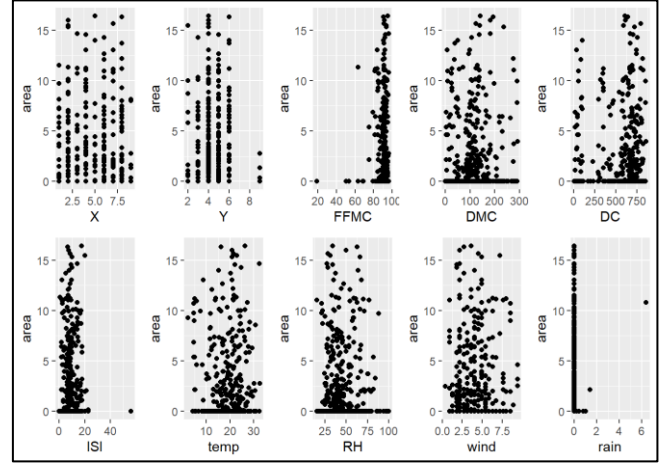
Termodinamik ilke	Örgütsel entropi etkisi	Orman yangınları üzerindeki etkisi
Birinci Yasaya Göre Enerjinin Korunumu	Organizasyonlar sürekli enerji girdileri alır ve çeşitli faaliyetlerde kullanır. Bu süreç, organizasyon düzenliliğini sağlar.	Orman yangınları, bitki materyali ve biyolojik malzemelerin yanmasıyla enerjiyi serbest bırakır. Bu enerji, çevreye ısı ve ışık olarak yayılır
Entropi Artışı	Organizasyonlar zamanla düzensizlik, karmaşıklık ve belirsizlik seviyelerini artırır. Bu durum, örgütsel entropinin artmasına neden olur.	Orman yangınları, çevredeki düzeni ve dengeyi bozar ve çevredeki entropiyi artırır.
Termodinamik Dengenin İlkesi	Organizasyonlar zamanla bir denge veya uyum seviyesine ulaşabilir. Bu noktada, örgütsel entropi sabitlenebilir veya azalabilir.	Bir organizasyon, belirli bir denge veya uyum seviyesine ulaştığında, entropi seviyesi sabitlenebilir veya azalabilir. Örneğin, bir şirket, belirli bir pazar payına veya operasyonel verimliliğe ulaştığında, iş süreçleri daha stabil hale gelir ve entropi seviyesi azalabilir. Orman yangınları, ekosistemdeki doğal süreçlerden biri olarak, zamanla bir dengeye ulaşabilir ve çevredeki entropi seviyesinde dalgalanmalara neden olabilir

Şekil 12’de çoklu doğrusal regresyona tabi tutulan veri setindeki aykırı değerler kontrol edilmiş ve bu aykırı değerler çıkarılmadan önce ve çıkarıldıktan sonra grafiğe geçirilmiştir. Değişkenler, aykırı değerler çıkarılmadan önce alan değişkenine karşı çizilmiştir.



Şekil 12. Uç değerlerin çıkarılmasından önceki dağılım düzenleri.

Şekil 13’te ise uç değer çıkarılmasındaki sonraki dağılım düzenleri saçılım grafikleri verilmiştir.

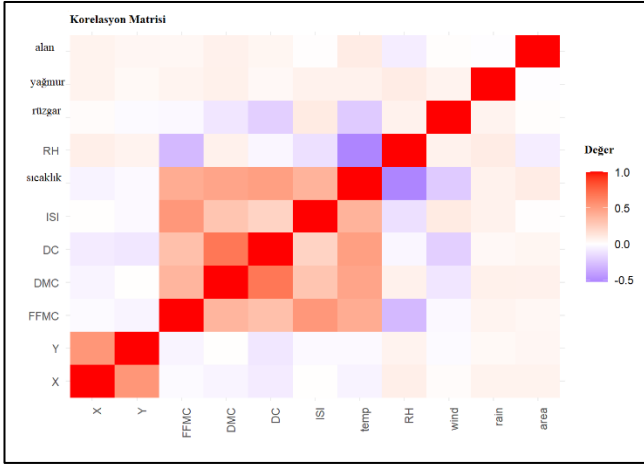


Şekil 13. Uç değer çıkarımı sonrasında değişken dağılımları.

Çizimlerde x eksen değişkenlerden birini (örneğin X, Y, FFMC vb.) y eksenine ise alan değişkenini temsil etmektedir. Her nokta veri kümesindeki bir gözlemi temsil etmektedir. Aykırı değerler çıkarılmadan önce, grafikler gözlemlerin geri kalanından uzakta olan ve aykırı değer olması muhtemel birkaç nokta olduğunu göstermektedir. Aykırı değerler çıkarıldıktan sonra, y ekseninin aralığı azalmıştır ve kalan gözlemler x ekseninde gösterilen değişkenlerle daha tutarlı bir ilişki yansıtmaktadır.

Daha sonra verileri eğitim ve test kümelerine ayırma işlemlerine geçilmiştir. Bu işlemin kodu, tekrarlanabilirlik için bir konum belirlenmesi ve ardından *sample()* işlevini kullanarak veri kümesini eğitim ve test kümelerine rastgele bölmeyi takip etmesiyle devam etmiştir. Eğitim kümesi verilerin %70’ini, test kümesi ise kalan %30’unu içermektedir. Nihai aşamada iki veya daha fazla değişkenin birbiriyle ilişkili olma veya birlikte değişme derecesini gösteren bir korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Matris değeri -1 ile +1 arasında değişmektedir. -1 mükemmel negatif korelasyonu (yani, bir değişken arttığında diğer değişken azalır), +1 mükemmel pozitif korelasyonu (yani bir değişken arttığında diğer değişken artar) ve 0 değişkenler arasında korelasyon olmadığını gösterir. Korelasyon matris sonuçları incelendiğinde FFMC/DMC/DC ile sıcaklık koşulları arasında model doğruluğunun sabit kaldığı görülmektedir. Yani

korelasyonda %100 bir ilişkisel bağlantı bulmak güçtür. Bu sonuçtan hareketle yangın organizasyonunun kendi değişkenleri içerisindeki farklılıklardan kaynaklı olarak bir belirsizlik taşıdığını söyleyebilmek mümkündür.



Şekil 14. Değişkenler arasındaki korelasyon ilişkilerini temsil eden ısı haritası

Tablo 6'da verilen yangın riski mekanizmasını denetleyen bazı nümerik değişkenlerin gruplama, sınıflandırma yöntemlerine dayalı R programlama dilinde *boxplot ()* fonksiyonu kullanılarak oluşturulan Şekil 15'teki boxplot (kutu grafiği) incelendiğinde 6 değişkenin boxplot grafikleri gösterilmektedir. Bu değişkenler şunlardır:

Sıcaklık: Hava sıcaklığı, orman yangını riskini etkileyen önemli bir faktördür. Sıcaklık arttıkça, orman yangını riski de artar.

RH: Bağıl nem, havadaki nem miktarını ifade eder. Nem arttıkça, orman yangını riski azalır.

Ws: Rüzgâr hızı, orman yangınının yayılmasını etkileyen bir faktördür. Rüzgâr hızı arttıkça, orman yangını daha hızlı yayılır.

Yağış: Yağmur miktarı, orman yangını riski üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yağış arttıkça, orman yangını riski azalır.

FFMC: Fine Fuel Moisture Code, ince yakıtların nemini ifade eder. İnce yakıtlar, orman yangını başladığında ilk alev alan yakıtlardır. FFMC değeri arttıkça, ince yakıtların nemi azalır ve orman yangını riski artar.

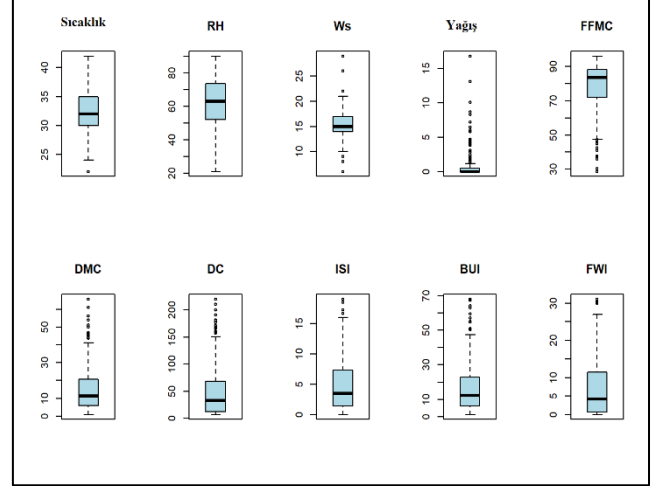
DC: Duffield's Code, ölü organik maddelerin nemini ifade eder. Ölü organik maddeler, orman yangını başladığında yanarak yangını besleyen yakıtlardır. DC değeri arttıkça, ölü organik maddelerin nemi azalır ve orman yangını riski artar.

Sıcaklık ve FFMC değişkenlerinin boxplot grafiklerindeki kutular yukarı doğru uzanmaktadır. Bu, bu değişkenlerin ortalama değerlerinin yüksek olduğunu ve orman yangını riskinin yüksek olduğunu gösterir. Yağış değişkeninin boxplot grafiğinde kutu aşağı doğru uzanmaktadır. Bu, yağış miktarının ortalama değerinin yüksek olduğunu ve orman yangını riskinin düşük olduğunu gösterir.

RH ve Ws değişkenlerinin boxplot grafiklerindeki kutular nispeten simetrik. Bu, bu değişkenlerin değerlerinin veri kümesinde eşit şekilde dağıldığını gösterir. DC değişkeninin boxplot grafiğinde kutu sağa doğru çarpıktır. Bu, DC değerlerinin veri kümesinde sağa doğru

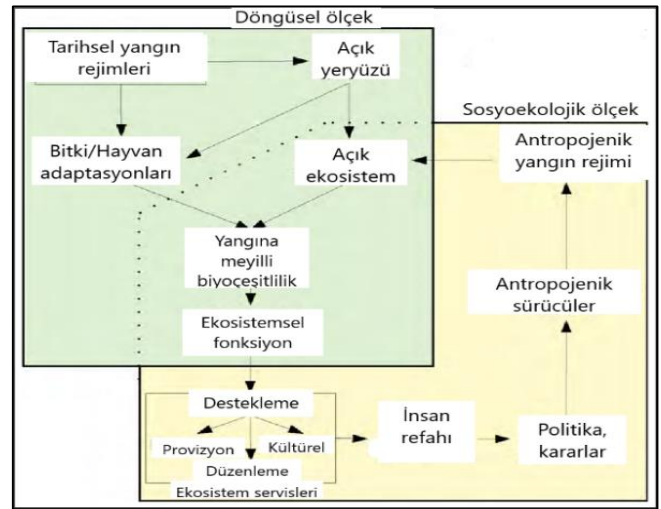
çarpık olduğunu ve yüksek DC değerlerinin daha yaygın olduğunu gösterir. Sonuç olarak görseldeki boxplot grafikleri, sıcaklık, FFMC ve DC değişkenlerinin orman yangını riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Yağış değişkeni ise orman yangını riskinin düşük olduğunu göstermektedir.

RH ve Ws değişkenleri ise orman yangını riskinin değerlendirilmesinde belirleyici bir rol oynamamaktadır.



Şekil 15. Gruplanmış boxplot grafikleri.

Orman yangınları davranışını denetleyen mekanizmalar döngüsel, sosyo-ekolojik ölçek olmak üzere bir SOC (*kendi kendini organize eden kritiklik*) yaklaşımı çerçevesinde kompleks bir dinamik entropi modeli olarak ele alınabilir (Şekil 16).



Şekil 16. Yangın rejimleri ve ekosistem hizmetleri ile ilişkili evrimsel (yeşil kare) ve sosyoekolojik (sarı kare) ölçekte meydana gelen faktörlerin şematik gösterimi. Doğal (tarihi) yangın rejimleri, yangına eğilimli ekosistemlerde belirli adaptasyonları, biyolojik çeşitliliği ve genel işleyişi teşvik edebilecek açık habitatlar yaratır; bunlar diğer tüm hizmetlerin üretimi için gerekli olan destekleyici hizmetlerdir. Kararlar ve politikalar yangın rejimlerini (antropojenik yangın rejimleri) değiştirerek ekosistem işleyişini ve hizmetlerini (sosyoekolojik geri bildirim) modüle edebilir; yani politika kararları ekosistem hizmetlerini korumak (geri bildirim dengelemek) veya sürdürülemez yangın rejimleri oluşturmak (geri bildirim bozulması) arasında geçiş yapabilir. Kararlar ve politikalar aynı zamanda (sağ alt köşe) yangın ve peyzaj yönetimi kararlarını içerir. Fakat yangın rejimleri üzerinde (Keely, 2009) etkileri olan sosyoekonomik değişiklikleri (örneğin

kırsal) terk etmeyi de kapsar (Pausas & Keely, 2019'dan yeniden düzenlenerek).

4. Sonuç ve Tartışma

Doğa bilimlerinde, makro sistemlerdeki karmaşıklık ve belirsizliklerin çözülmesinde entropiye dayalı algoritmalar, ekosistemlerin geleceği hakkında davranışsal öngörüler sunar. Bu çerçevede, entropi, Boltzmann'ın da ifade ettiği gibi, istatistiksel ve mekanik açıdan sistemlerin düzensiz yapılarının düzenli olma olasılıklarına dayalı bir ifadesini temsil eder. Her iki yaklaşım da sistemlerin dengeye ulaşana kadar düzensizlikten düzensizliğe doğru hareket etme eğiliminde olduğunu gösterir. Sistemin dengeye ulaştığı noktada, enerji akışında zamanla sona eren statik gelişmeler meydana gelir (Aristo'ya göre bu süreç hareketle ilişkili olup zamanla) sonlanan bir süreci ifade eder.

Doğa bilimlerin özelde biyo-fiziksel bütünlükte sistem teorisi bakış açısıyla entropi merceğini orman yangınları fenomeni üzerinden anlamaya çalışan bu çalışmada örgütlerin “düzenlerini meydana getiren unsurlar” bağıyla düzensizliğe yol açan olay ve olgulardan hareketle ilgili literatür ile gerekçelendirilmiş hipotezler çıkarılmıştır. Daha sonra karma yöntemler bakış açıları doğrultusunda entropinin bağlı olduğu doğal organizasyon mekansal ölçekte çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ve modern metrik yöntemleri ile desteklenerek test edilmiştir. Elde edilen bulgularda teste tabi tutulan hipotezlerin makro ölçekte örgütsel ve bilgi entropisi ekseninde doğal sistemlerdeki değişimi yorumlama adına öngörü sağlayabileceği göz önüne alınmıştır. Fakat mikro ölçekte sistemi etkileyen değişkenlerin sayılarındaki artışlar ve bu değişkenlerin kendi öz dinamiklerindeki etkileşimin ürünü olan karmaşık ilişkiler doğacağından determinist kaos paradigmaları, kuramları bileşeninde incelenmeleri farklı sonuçlar ortaya koyabilir.

Örgütsel entropi ilişkileri ile orman yangınları davranış biçimleri arasındaki ilişki üzerine kurulu vaka çalışmalarını (*case studies*) çalışmalarda ise orman yangınlarının dinamik desenleri ve entropi organizasyonu kümülatif dağılımları ön plana çıkarken (Lopes & Tenreiro Machado, 2014; Abedi Gheshlaghi, vd., 2021; Gong vd., 2023) türbülanslı çevre ortamlarında meydana gelen homostatik değişimlerin örgütsel entropiye bağlı olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Tejeida-Padilla vd., 2007). Bunun yanı sıra türbülanslı çevrede meydana gelen belirsizlik ve kesinlik arasındaki zonlarda meydana gelen orman yangınları süreçleri bir organizasyon kümesi çevresinde kimi zaman nötrosofik bir ortam oluşturmaktadır (Gafar vd., 2020). Burada nötrosofik ortamdan kastedilen orman yangınları ile bağlantılı yanma süreçleridir. Nötrosofik mantık, belirsizlik, kesinlik ve belirsizlik arasındaki gri bölgeyi ifade etmek için kullanılan bir hibrit modeldir (Abd El Aziz vd., 2017).

Özetle hiperspektral bilgi boyutundaki gelişmelere bağlı olarak teknolojiye bağlı bilgisayarların hesaplama gücünün artması ile makine öğrenmesi (Eker vd., 2023), veri bilimi penceresinde doğa bilimleri özelinde yangın ekolojisi disiplini modern bir bütünlük konuma ulaştırmıştır. Çalışma kapsamında orman yangınlarının oluşturduğu türbülanslı çevre koşulları düzensizlikten düzensizliğe giden entropiye dayalı bir yapısal bütünlükte sınıf dengesizliklerini dikkate alan MaxEnt modeli ile birlikte

yüksek tahmin doğruluğu sağlamaktadır. Dolayısıyla orman yangınları davranışları sistemik bütünlükte heterojen parçalara entegre edilirken en doğru, en etkin çözümlerin ortaya koyulmasını konu alan modelleri tercih etmek gerekmektedir. Bu bağlamda, büyük mega yangınların ekosistem organizasyonu içindeki etkilerini gözlemlemek, yakıt yükü yönetimi ve topografik etkilerin tahmin edilmesi gibi konularda bilgi entropisi, örgütsel entropi ve MaxEnt modeli gibi modern stokastik, determinist metriklerin kullanımı, belirsizliklerin ölçülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bahsedilen model ve yaklaşımlar, özellikle kırsal alanlarda, orman köylerinin yangına karşı dirençliliği konusunda karar vericilere hibrit bir model kullanımı sunabilir. Bu şekilde, kırsal alanlarda yangın dirençliliği farkındalığının artırılmasıyla birlikte yangın yönetimi çalışmalarında daha sürdürülebilir bir ilerleme kaydedilebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Kantitatif ekoloji tarafından TÜBİTAK 2237-A Bilimsel Etkinleri Desteği kapsamında 64.üncüsü yapılan 2023/2 Çağrı dönemi “Arazi Çeşitliliğinin Entropi Temelli Algoritmalar ile Hesaplanması ve Haritalanması” projesinden elde edilen bilgi ve deneyimden hareketle hazırlanmıştır. Ayrıca çalışmanın ampirik ve metodolojik çerçevesine katkıda bulunan hakemlerimize, çalışmanın yazım kısmındaki önemli katkılarından dolayı yazım editörümüze teşekkür ederim.

Araştırmacıların katkı oranı

Muhammed Çetin: Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme, Analiz.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abd El Aziz, MA., Hemdan, AM., Ewees, AA., Elhoseny, M., Shehab, A., Hassanien, AE. & Xiong, S. (2017, June 27-30). *Prediction of biochar yield using adaptive neuro-fuzzy inference system with particle swarm optimization* [Conference presentation]. Accra, Ghana. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/7983001/proceeding>
- Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B., Blaschke, T., Lakes, T. & Tajbar, S. (2021). Forest fire susceptibility modeling using hybrid approaches. *Transactions in GIS*, 25(1), 311-333. <https://doi.org/10.1111/tgis.12688>
- Aghalarova, S. & Bozkurt Keser, S. (2022). Öğrencilerin akademik performanslarının tahmin edilmesi için otoml tekniğinin uygulanması. *El-Cezeri*, 9(2), 394-412. <https://doi.org/10.31202/ecjse.946505>
- Alla, B., Sergiy, B., Svitlana, O. & Tanaka, H. (2020, February 18-20). *Entropy paradigm of project-oriented organizations management* [Conference presentation]. IT Project Management, Slavsko, Lviv region, Ukraine. <https://ceur-ws.org/Vol-2565/paper20.pdf>
- Anderson, E. (1935). The irises of the Gaspé Peninsula. *Bulletin of American Iris Society*, (59), 2-5.
- Aoki, I. (2018). Entropy principle for the evolution of living systems and the universe from bacteria to the universe.

- Journal of the Physical Society of Japan*, 87(10), 104801. <https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.104801>
- Atkinson, B.W. (1981). *Meso-scale atmospheric circulations*. Academic Press.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. & Grebner, D.L. (2016). *Forest management and planning*. Academic Press.
- Bilgin, H. (2022). Sistem teorisi ve yeni sistemin politika kurulları. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 53-70. <https://doi.org/10.46482/ebyuiibfdergi.1206591>
- Boltzmann, L. (1866). *Über die mechanische bedeutung des zweiten hauptsatzes der wärmetheorie*. Wiener Berichte.
- Bond, W.J. & Keeley, J.E. (2005). Fire as a global 'herbivore': The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bryant, R., Doerr, S.H. & Helbig, M. (2005). Effect of oxygen deprivation on soil hydrophobicity during heating. *International Journal of Wildland Fire*, (14), 449-455. <http://dx.doi.org/10.1071/WF05035>
- Carnot, S. (1824). *Reflections on the motive power of fire, and on machines fitted to develop that power*. Bachelier.
- Church, M. & Ryder, J.M. (1972). Paraglacial sedimentation: A consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. *Geological Society of America Bulletin*, 83(10), 3059-3072. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[3059:PSACOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[3059:PSACOF]2.0.CO;2)
- Clausius, R. (1879). *The mechanical theory of heat*. Macmillan.
- Cochrane, M.A., Baker, P.J. & Bunyavejchewin, S. (2009). Fire behavior and fire effects across the forest landscape of continental Southeast Asia. In Cochrane, M. A (Ed.), *Tropical fire ecology: Climate change land use, and ecosystem Dynamics*, 311-334. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_11
- Cortez, P. & Morais, A. (2007). *Forest fires*. [Data set]. R. R Studio/RPubs. UCI Machine Learning Repository. <https://doi.org/10.24432/C5D88D>
- Creswell, J.W. & Plano Clark, V.L. (2018). *Core mixed methods designs. Designing and conducting mixed methods research*. SAGE Publications.
- Çakır, G., Sivrikaya, F., Terzioğlu, S., Başkent, E. Z., Turan, S. & Yolasiğmaz, H. A. (2007). Mapping secondary forest succession with geographic information systems: A case study from Bulanıkdere, Kırklareli, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 31(11), 71-81. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol31/iss1/9/>
- Çelik, H.E. (2023). Orman yangınlarının erozyon sel-üzerindeki etkileri. İçinde A. Kavgacı & M. Başaran (Eds.), *Orman yangınları*, 288-300. Türkiye Ormanlılar Derneği Yayını.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A. & Kanoğlu, M. (2011). *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill.
- Çetin, M. & Meydan, A. (2020). Büyük coğrafi veri setlerinin kümelenmesinde map reduce modelleri yoluyla bitki coğrafyası veri tabanlarının oluşturulması. *Çukurova Araştırmaları Dergisi*, 5(9), 213-240. <https://doi.org/10.18560/cukurova.1142>
- Çetin, M. & Özkaya, A. (2021). Postmodernizm ve jeomorfoloji ilişkisi kuantum mekaniği açısından bir bakış. *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(24), 492-509. <https://doi.org/10.34189/asbd.8.24.007>
- Çetin, M. (2023). Jeomorfolojik süreçlerdeki kaotik ve dinamik süreçler ile kuantum mekaniği ilişkisi üzerine bir inceleme. *Çukurova Araştırmaları Dergisi*, 9(18), 86-102. <https://doi.org/10.29228/cukar.68042>
- Çubukçu, K. M. (2015). *Planlamada ve coğrafyada temel istatistik ve mekansal istatistik*. Nobel.
- Davie, T. (2019). *Fundamentals of hydrology*. Routledge.
- Demirel, H.G. (2023). Doğa bilimlerinden sosyal bilimlere: Örgütsel entropi. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 6(4), 556-583. <https://doi.org/10.33723/rs.1358922>
- Dinçer, I. & Çengel, Y.A. (2001). Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 3(3), 116-149. <https://doi.org/10.3390/e3030116>
- Dindaroğlu, T. (2021). Ekolojik yıkımın ve salgınların ardındaki gerçek; Ekosistemik yabancılaşma mı? *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 266-287. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.866874>
- Eddington, A.S. (1929). The formation of absorption lines. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 89(7), 620-636. <https://doi.org/10.1093/mnras/89.7.620>
- Eker, R., Alkiş, K.C., Uçar, Z. & Aydın, A. (2023). Ormanlıkta makine öğrenmesi kullanımı. *Turkish Journal of Forestry*, 24(2), 150-177. <https://doi.org/10.18182/tjf.1282768>
- Erbaş, Ü. (2010). *Entropi ilkelerinin boyut indirgeme uygulamaları* (Tez No. 258457) [Doktora tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Gafar, M.G., Elhoseny, M. & Gunasekaran, M. (2020). Modeling neutrosophic variables based on particle swarm optimization and information theory measures for forest fires. *The Journal of Supercomputing*, 76(4), 2339-2356. <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2512-5>
- Gong, A., Huang, Z., Liu, L., Yang, Y., Ba, W. & Wang, H. (2023). Development of an index for forest fire risk assessment considering hazard factors and the hazard-formative environment. *Remote Sensing*, 15(21), 5077. <https://doi.org/10.3390/rs15215077>
- Government of British Columbia. (2024, March). *Wildfire rank*. BC Wildfire Service. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/safety/wildfire-status/wildfire-response/about-wildfire/wildfire-rank>
- Güney, C.O., Mert, A. & Gülsoy, S. (2023). Orman yangınları sonrası ekosistem tabanlı planlamaya doğru: Yanma derinliğinin sınıflandırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(1), 205-224. <https://doi.org/10.35341/afet.1197031>
- Gürpınar, Ö., Demir, A. & Harmancı, A. (2023). Entropi ekseninde çevre sorunları ve doğa-sanat-sanatçı ilişkisi. *Jia Journal, Uluslararası Sanat ve Sanat Eğitimi Dergisi*, 6(12), 1-19. <https://doi.org/10.29228/jiajournal.68711>
- Jiang, H., Shen, Y., Xie, J., Li, J., Qian, J. & Yang, J. (2021, October 11-17). *Sampling network guided cross-entropy method for unsupervised point cloud registration* [Conference presentation]. IEEE/CVF

- International Computer Vision (ICCV), Montreal, Canada.
- Jolley, N. (2019). *Leibniz* (14rd ed.). Routledge.
- Kala, C.P. (2023). Environmental and socioeconomic impacts of forest fires: A call for multilateral cooperation and management interventions. *Natural Hazards Research*, 3(2), 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.04.003>
- Kalender, T. (2021). *Farklı rankine çevrimlerinin termodinamik açıdan incelenmesi* (Tez No.258457) [Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Kavgacı, A., Tolunay, D., Sevgi, O. & Tutmaz, V. (2023). Orman yangınları terminolojisi. İçinde A. Kavgacı & M. Başaran (Eds.), *Orman yangınları*, 3-17. Türkiye Ormancılar Derneği Yayını.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116-126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Kumar, S. & Kumar, A. (2022). Hotspot and trend analysis of forest fires and its relation to climatic factors in the western Himalayas. *Natural Hazards*, 114(3), 3529-3544. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05530-5>
- Livadiotis, G. & McComas, D.J. (2023). Entropy defect in thermodynamics. *Scientific Reports*, 13(1), 9033. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36080-w>
- Lopes, A.M. & Tenreiro Machado, J.A. (2014). Dynamic analysis and pattern visualization of forest fires. *PloS one*, 9(8), e105465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105465>
- Ludovisi, A. (2012). Energy degradation and ecosystem development: Theoretical framing, indicators definition and application to a test case study. *Ecological Indicators*, (20), 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.019>
- Malamud, B.D. & Turcotte, D.L. (1999). Self-organized criticality applied to natural hazards. *Natural Hazards*, (20), 93-116. <https://doi.org/10.1023/A:1008014000515>
- Markina, I. & Dyachkov, D. (2014). *Entropy model management of organization*. *World Applied Sciences Journal*, (30), 159-164. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.mett.66>
- Marzaeva, V.I.I. (2019). Mathematical modeling of canopy forest fire spread in the presence of fire breaks and barriers. *Technical Physics*, (64), 1073-1081. <https://doi.org/10.1134/S1063784219080139>
- Maxwell, J.C. (1878). Tait's "Thermodynamics". *Nature*, (17), 278–280. <https://doi.org/10.1038/017278a0>
- Meisel, M. (2016). *Chaos imagined: Literature, art, science*. Columbia University Press.
- Mendez, C. (2020). *Spatial regression analysis* [Data set]. R. R Studio/RPubs. <https://rpubs.com/quarcs-lab/tutorial-spatial-regression>
- Meysman, F.J. & Bruers, S. (2007). A thermodynamic perspective on food webs: Quantifying entropy production within detrital-based ecosystems. *Journal of Theoretical Biology*, 249(1), 124-139. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.07.015>
- Miller, J.G. (1978). Living systems: Basic concepts. *Behavioral Science*, 10(3), 193-237. <https://doi.org/10.1002/bs.3830100302>
- Nandi, A. & Pal, A.K. (2021). *Interpreting machine learning models: Learn model interpretability and explainability methods*. Apress LP Press.
- Neary, D.G., Gottfried, G.J. & Ffolliott, P.F. (2003, November 16-20). *Post wildfire watershed flood responses* [Conference presentation]. Boston, ABD. <https://www.frames.gov/catalog/9>
- Nişanyan, S. (2023). *Çağdaş Türkçe etimolojisi*. Liberus Yayıncılık.
- Norgard, R.B. (1984). Coevolutionary development potential. *Land Economics*, 60(2), 160–173. <https://doi.org/10.2307/3145970>
- Pausas, J.G. & Keeley, J.E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289-295. <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
- Petrucci, R.H. & Harwood, W.S. (1993). *General chemistry: principles and modern applications*. Pearson Prentice Hall.
- Planck, M. (1901). *On the law of distribution of energy in the normal spectrum*. *Ann. Phys*, (4), 553-563. <https://doi.org/10.1002/andp.19013090310>
- Plano Clark, V.L. & Ivankova, N.V. (2016). *Mixed methods research: A guide to the field* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Scott, D.F., Versfeld, D.B. & Lesch, W. (1998). Erosion and sediment yield in relation to afforestation and fire in the mountains of the western cape province, South Africa. *South African Geographical Journal*, 80(1), 52-59. <https://doi.org/10.1080/03736245.1998.9713644>
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1948). The mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. <https://www.jstor.org/stable/24530875>
- Skene, K.R. (2013). The energetics of ecological succession: A logistic model of entropic output. *Ecological Modelling*, (250), 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.11.020>
- Smith, C.E. & Smith, J.W. (1996). Economics, ecology and entropy: The second law of thermodynamics and the limits to growth. *Population and Environment*, 17(4), 309-321.
- Swanson, F.J. (1981, October 8-11). *Fire and geomorphic processes* [Conference presentation]. Fire Regimes and Ecosystem Properties, Forest Service. <https://wpg.forestry.oregonstate.edu/>
- Swanson, G.A., Bailey, K.D. & Miller, J.G. (1997). Entropy, social entropy and money: A living systems theory perspective. *Systems Research and Behavioral Science*, 14(1), 45-65. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1743](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1743)
- Tejeida-Padilla, R., Peon-Escalante, I. & Badillo-Piña, I. (2007, July 5-10). *Entropy and emergence in organizational systems under a turbulent environment* [Conference presentation]. 51st Annual Meeting of the ISSS-2007, Tokyo, Japan. <https://journals.issss.org/index.php/proceedings51st/article/view/469>
- Tobler, W.R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic geography*, (46), 234-240. <https://doi.org/10.2307/143141>

- Toraman, S. (2021). Karma yöntemler araştırması: Kısa tarihi, tanımı, bakış açıları ve temel kavramlar. *Nitel Sosyal Bilimler*, 3(1), 1-29.
<https://doi.org/10.47105/nsb.847688>
- Triulzi, P.E. (2018). *The entropy effect: An exploration into systems and entropy*. Universe.
- Türkeş, M. & Tolunay, D. (2023). İklim değişikliği ve orman yangınları. İçinde A. Kavgacı & M. Başaran (Eds.), *Orman yangınları* (46-68). Türkiye Ormancılar Derneği Yayını.
- Vigna, I., Battisti, L., Ascoli, D., Besana, A., Pezzoli, A. & Comino, E. (2024). Integrating cultural ecosystem services in wildfire risk assessment. *Landscape and Urban Planning*, (243), 104977.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104977>
- Vranken, I., Baudry, J., Aubinet, M., Visser, M. & Bogaert, J. (2015). A review on the use of entropy in landscape ecology: Heterogeneity, unpredictability, scale dependence and their links with thermodynamics. *Landscape Ecology*, (30), 51-65.
<https://doi.org/10.1007/s10980-014-0105-0>
- Whittaker, E. T. (1955). *Albert Einstein*. The Royal Society Publishing.
- Yıldırım, S., Bostancı, S. H. & Yıldırım, D.Ç. (2023). Parameters for the study of climate refugees. In P. Singh, B. Ao & A. Yadav (Eds.), *Global climate change and environmental refugees* (pp. 199-214). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-24833-7_11
- Yıldız, O. (2023). Orman yangınlarının toprağa etkisi. İçinde A. Kavgacı & M. Başaran (Eds.), *Orman yangınları* (302-319). Türkiye Ormancılar Derneği Yayını.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>