

Entropi, İnfomasyon ve Entropi Korelasyon Katsayısı

Entropy, Information and Entropy Correlation Coefficient

✉ Mehmet Onur KAYA^a, ✉ Yunus GÜRAL^b, ✉ Mehmet GÜRÇAN^b

^aFırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi AD, Elazığ, TÜRKİYE

^bFırat Üniversitesi Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

ÖZET İstatistiksel analizler gözlemlenen verilerin araştırmacı tarafından doğru bir şekilde yorumlanmasına yardımcı olan ve araştırmacının konu hakkında elde ettiği bilgi miktarını artıran yöntemlerdir. Araştırmacılar, gözlemlerden elde ettikleri bilgiyi yorumlamada kararsızlığa düşebilir. Bu kararsızlığı belirlemede araştırmacılara kolaylık sağlayabilecek yöntemlerin önerilmesi önemlidir. Bu sayede araştırmacı çalışmanın dizaynını olumlu yönde değiştirebilir. Entropi ve infomasyon, araştırmacılara gözlem sonrası elde ettikleri bilginin miktarını veya verideki düzensizliğin bir ölçüsünü göstermesi bakımından önemli kavramlardır. **Amaç:** Entropi ve infomasyon kavramları olasılık açısından değerlendirilerek entropi korelasyon katsayısının yorumlanmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** Çoğu uygulamada gözlemlenen veride olasılık sadece nispi frekansların yorumlanmasında kullanılmaktadır. Verideki ilgilenilen değişkenin gözlenen olayları ve bu olaylardan edinilen bilgi miktarına göre değişkenin entropisinin hesabı yapılmamaktadır. Çalışmada kullanılacak olan temel yöntem gözlemlenen olaylar yardımıyla tanımlanan değişkenlerin aralarında muhtemel olan ilişkilerin belirlenerek korelasyonlarının ortaya çıkartılmasıdır. **Bulgular:** Çalışmada elde edilen 2 önemli bulgudan birincisi regresyon hata teriminin entropisinin belirlenmesi, 2.si ise örnek üzerinde gösterilen ve aralarında zayıf ilişki bulunan 4 değişkenin ikiye bölünmüş ortak entropilerinin yüksek olmasına rağmen ortak entropileri tanımlayan değişkenlerin korelasyonunun yüksek olarak bulunabilmesidir. **Sonuç:** Çok değişkenli veri yapısı söz konusu olduğunda değişkenlerin bazılarının lineer formu diğer değişkenlerin lineer bir formuyla ilişkili olabilir. Bu durumda 2 lineer formun korelasyonu yüksek olacaktır. Bunun tespit edilebilmesi lineer formların oluşturulması ile mümkündür. Böyle bir durumda entropi korelasyon katsayısı rahatlıkla kullanılabilir.

ABSTRACT Statistical analyzes are methods that help the researcher to interpret correctly and increase the amount of information obtained by the researcher. Researchers may be undecided in interpreting the information they obtain from observations. It is important to recommend methods that can facilitate researchers in determining this uncertainty. In this way, the researcher can positively change the design of the study. Entropy and information are important concepts in terms of showing researchers the amount of information they obtain after observation or a measure of the irregularity in the data. **Objective:** The aim of the study is to interpret the entropy correlation coefficient by evaluating the concepts of entropy and information in terms of probability. **Material and Methods:** In most applications, probability is used only in the interpretation of relative frequencies in the observed data. Relative frequencies are not used for entropy calculation. The main method to be used in the study is to determine the possible relationships between the variables identified with the help of observed events and to obtain their correlations. **Results:** The first of the two important findings obtained in the study is to determine the entropy of the regression error term, and the second is to find a correlation of the variables defining the common entropies among the four variables with weak correlations. **Conclusion:** In the multivariate data structure, the linear form of some variables may be related to the linear form of some other variables. In this case, the correlation of the two linear forms will be high. It is possible to detect this by creating linear forms. In such a case, the entropy correlation coefficient can be easily used.

Anahtar Kelimeler: Entropi; infomasyon; entropi korelasyon katsayısı; Kullback-Leibler divergence.

Keywords: Entropy; information; entropy correlation coefficient; Kullback-Leibler divergence.

İstatistiksel araştırmalarda özetlenmiş bilgilerin elde edilmesi, araştırılan konu hakkında değerlendirme ve yorum yapabilmek için oldukça önemlidir. Elde edilen bilgi miktarı ne kadar fazla ise araştırmacının yapılan deneyin sonuçları hakkındaki kararsızlığı o derece azalır. Edinilen bilgi miktarı kararsızlığı azaltabilir. Yapılan

Correspondence: Mehmet Onur KAYA

Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi AD, Elazığ, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: monurkaya@gmail.com

Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics.

Received: 13 Feb 2020

Received in revised form: 02 Mar 2020

Accepted: 09 Mar 2020

Available online: 30 Apr 2020

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

bir deneyin mümkün olan n tane sonucu araştırmacı tarafından eşit frekanslarla gözlenmişse bu deneyden elde edilen bilgi araştırmacıya karar verebilmesi için yardımcı olamaz. Bunun yerine normal dağılımda olduğu gibi gözlenen sonuçların sayısı ortalama civarında fazla, uçlarda ise az sayıda olduğunda araştırmacının karar verebilmesi için elindeki bilgi miktarı öncekine göre daha fazladır. Aynı zamanda, deneyin kararsızlığı öncekine göre daha düşüktür. Bu durumda bilgi miktarı gözlenen sonuçların nispi frekanslarına bağlı olarak değişen ve ölçülebilen bir değişkendir. Kararsızlık bilgi miktarına bağlı olarak değişen ve ölçülebilen bir değişkendir. Kararsızlığın ölçüsü değişkenin entropisi olarak adlandırılır. Dolayısıyla bilgi miktarı fazla ise kararsızlık az ve entropi değeri düşüktür.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bilgi miktarı az ise kararsızlık yüksek ve entropi değeri yüksektir. Kesin karar nispi frekansın %100 olduğu durumda mümkündür. Bu durumda belirsizlik ve dolayısıyla entropi sıfırdır. Tersine, gözlenmeyen, nispi frekansı sıfır olan, bir olayda belirsizlik ve entropi değeri sonsuzdur. Sonuç olarak, keyfi bir X tesadüfi değişkeninin $\{X=a_j\}$ olayının nispi frekansı $Pr\{X=a_j\}=p_j$ olmak üzere entropi miktarı $-\ln p_j$ ile tanımlanabilir. Deneyin tüm sonuçları göz önüne alındığında değişkenin ortalama entropi miktarı $HX=-\sum p_j \ln p_j$ eşitliği ile tanımlanır.^{1,2,11}

Birbiri ile korelasyonu olan 2 değişken birbirleri hakkında bilgi içermektedir. Bu önemli özellik araştırmacıların karar almalarında oldukça etkilidir. Özellikle tıbbi araştırmalarda bazı değişkenler direkt olarak teşhis edilebilmekte, bazı değişkenler ise aralarında korelasyonu yüksek olan diğer değişkenlerle teşhis edilebilmektedir. Bu durumda 2 değişkenin birbirleri hakkında ne kadar bilgi barındırdığının ölçülebilmesi de gerekmektedir. Bu bağlamda 2 değişkenin ortak entropisi ölçülebilen olmalıdır. X ve Y değişkenleri sırasıyla $\{X=a_j\}$ ve $\{Y=b_j\}$ olaylarını tanımlıyorsa $Z=(X,Y)$ ortak değişkeni de $\{X=a_j, Y=b_j\}$ olayları ile tanımlanır. Bu durumda $HZ=H(X,Y)$ değişkenlerin ortak entropisidir. İki değişkenin ortak entropisi her 2 değişkenin de entropilerinden büyüktür. Buna karşılık her 2 değişkenin entropileri toplamından da küçüktür. İki değişken bağımsız olduğunda ortak değişkenin meydana getirdiği olaylar karşısındaki kararsızlık her 2 değişkenin tanımladığı olaylar karşısındaki kararsızlık miktarlarının toplamı kadar olmaktadır $HX,Y=HX+H(Y)$. şayet 2 değişken bağımsız değilse birbirleri hakkında birtakım bilgiye sahiptir. Bu durum belirsizliği bir miktar azaltmaktadır. Bu ise ortak entropide azalmaya neden olur $HX,Y<HX+H(Y)$. Ancak, ortak değişkeni tanımlayan olaylar karşısındaki kararsızlık her 2 değişkenin kararsızlıklarından daha az olamaz $H(X,Y)\geq H(X), H(X,Y)\geq H(Y)$.^{2,4,7}

BULGULAR

Birbiri ile ilişkili 2 değişkendeki 1'i sabit tutulduğunda diğer değişkeni tanımlayan olayların azalmasına neden olabileceğinden değişkenin şartlı entropisinde bir miktar azalma meydana gelebilir. Bu ise kararsızlığı bir miktar azaltmaktadır. Değişkenin entropi miktarında meydana gelen değişim bilgi olarak adlandırılır. Değişkenin şartlı entropisi değişkenin entropisini azaltacağından, entropi ile şartlı entropi arasındaki fark bilgi miktarıdır.

Benzer şekilde her 2 değişkenin ortak entropisinin entropiler toplamında meydana getirdiği azalmada oldukça önemlidir. Ortak entropinin meydana getireceği azalma en fazla değişkenlerin birinin entropisi kadar olabilir. Bu durumda karşılıklı bilgi miktarı diğer değişkenin entropisine eşit olacaktır. Sonuç olarak, karşılıklı bilgi miktarı $(H(X)+H(Y))/2$ değerinden büyük olamaz. Bu durumda karşılıklı bilgi miktarının bu değere oranı 2 değişkenin entropileri arasındaki ilişkinin yüzdesini vermektedir. Bu yüzdelik değer entropi korelasyon katsayısı olarak adlandırılır. Entropi korelasyon katsayısının yüksek olduğu durumda her 2 değişkenin de her 2 değişkeni tanımlayan olaylar karşısındaki kararsızlık durumları benzerdir. Düşük olduğunda ise entropiler arasında ilişki olmayacağından meydana gelen olaylar karşısındaki kararsızlıklar ilişkili

değildir. Aynı zamanda değişkenler bağımsız ise entropi korelasyon katsayısı 0 olacaktır. Ortak entropinin düşük olması entropi korelasyon katsayısını yükseltir. Ortak entropinin yüksek olması ise entropi korelasyon katsayısının düşük olmasına neden olur.

REGRESYON DEĞİŞKENLERİNİN ENTROPİLERİ

Bir regresyon denkleminde bağımsız değişkenlerin birbiri ile tamamen ilişkisiz, bağımlı değişkenle ise ilişkili olması istenir. Bu sayede $X'X$ matrisi tam ranklı olacaktır. Regresyon katsayıları en küçük kareler yönteminde normal denklemlerin çözümünden elde edilmektedir. Çözümün elde edilebilmesi için $X'X\beta=X'Y$ eşitliğinde $X'X$ matrisinin tam ranklı olması önemlidir. Regresyon katsayılarının çözümü minimum varyanslı olarak elde edilebilir. Bunun anlamı, bağımlı değişkeni tanımlayan olayların bağımsız ve hata değişkenlerini tanımlayan olaylar yardımıyla temsil edilebilmesidir. Bunun sonucunda bağımlı değişkenin entropisi ile bağımsız ve hata değişkenlerinin ortak entropisi birbirine eşit olur $H(Y)=H(X,\mathcal{E})$.^{8,9} Bununla birlikte bağımsız değişkenler birbirlerinden bağımsız ise bu eşitlik $H(Y)=H(X_1)+\dots+H(X_p)+H(\mathcal{E})$ şeklinde yazılır. Burada Y bağımlı değişken, X_1, \dots, X_p bağımsız değişkenler, \mathcal{E} ise hata terimidir. Hata teriminin entropisinin $H(\mathcal{E})=0$ veya küçük olması bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanma oranının yüksek olmasını gösterir. Bu bakımdan bir regresyon denkleminde değişkenlerin entropilerinin de incelenmesi oldukça önemlidir. Bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni tamamen açıklıyorsa, bağımsız değişkenin bilinmesi durumunda bağımlı değişkenin şartlı entropisi 0 olacaktır. Bir regresyon modelinde bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkene olan bilgi miktarı tamsa bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı %100 olur. Bu durum göz önüne alındığında regresyon hata teriminin entropisini $H(\mathcal{E})=H(Y|X)$ eşitliği ile ifade edebiliriz. Sonuç olarak, bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkene olan bilgi miktarı $IX \rightarrow Y = HY - H(Y|X)$ değeri bağımsız değişkenlerin ortak entropi değerine eşit olacaktır $IX \rightarrow Y = H(X)$. İki grup lojistik ayırmasmada da bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ortak entropisinin düşük olması ayırmasma performansının yüksek olması açısından önemli bir kriterdir. Özellikle bağımsız değişkenlerin de kategorik olduğu bazı durumlarda ortak entropinin incelenmesi araştırmacıya önemli detayları kazandırabilir.

ENTROPİNİN ALT VE ÜST SINIRLARI

Yapılan bir deneyde, deneyin mümkün olan bir sonucunun gözlenmemesi entropinin sonsuz olmasına neden olur. Mümkün olan bir olay hakkında hiçbir bilginin olmaması bu olay karşısında karar vermeyi imkânsız kılmaktadır. Bu durum hariç entropi sonlu değer almaktadır. Yapılan deneyin tüm mümkün olaylarının eşit frekanslarla gözlenmesi ise entropinin maksimum değer almasına neden olur. Böyle bir deneyde tüm olaylar eşit olasılıkla meydana geleceğinden, araştırmacının karar vermesi için elinde bir bilgisi bulunmamaktadır. Entropinin maksimum değerini 1 olarak kabul ettiğimizde diğer durumlarda entropi değerlerini entropinin maksimum değerine göre kıyaslamamız mümkün olabilir.¹ Hangi durumlarda entropinin ne kadar düşük değer aldığı araştırmacının elindeki bilgi miktarının bir ölçüsü olacaktır. Sürekli bir değişkenin entropisi değişkenin yoğunluk fonksiyonu yardımıyla hesaplanabileceği gibi dağılım fonksiyonunun belirlenemediği durumda da veri standart sapma aralıklarına göre bölünerek kategorik hâle getirilip değişkenin entropisi hesaplanabilir. Standart sapmanın küçük olduğu durumda değişkenin entropisi düşük, standart sapmanın büyük olduğu durumda ise değişkenin entropi değeri yüksek olarak elde edilir. Doğal olarak entropi değeri verinin standartlaştırılmasından ve lineer dönüşümlerden etkilenmez ve sabit kalır.

ENTROPİ KORELASYON KATSAYISI

Özellikle kategorik verilerde entropi korelasyon katsayısı diğer korelasyon katsayıları yerine kullanılabilen önemli bir korelasyon katsayısıdır. Değişken sayısının 3'ten çok olduğu durumda değişkenlerin ortak tanımlanmasına dayanan bir hesaplama tekniğine sahip olduğundan diğer korelasyon katsayılarından daha fazla bilgiyi içeriğinde saklayabilir. Örneğin; X, Y, Z gibi 3 değişkenle ilgilendiğimizde değişkenlerin 2'li korelas-

yonunu ve şartlı korelasyonlarını diğer yöntemlerle hesaplayabilmekteyiz. Burada şartlı korelasyon kavramı 2 şekilde karşımıza gelmektedir. Birincisi X ve Y değişkeni birlikte Z değişkenini ne kadar açıklar sorusuna cevap oluşturan korelasyon katsayısı, 2.si ise X değişkeninin etkisi sabit tutulduğunda Y ve Z değişkenleri birbirlerini ne kadar açıklar sorusuna cevap oluşturan korelasyon katsayısıdır. Ancak, elimizde U, V, X, Y gibi 4 değişken olduğunda U ve V değişkenleri birlikte X ve Y değişkenlerini ne kadar açıklar veya U değişkeni V, X, Y değişkenlerinin ne kadar açıklar sorularına bir cevap klasik korelasyon katsayıları ile bulamamaktayız. Entropi korelasyon katsayısı değişkenlerin ortak dağılımları yardımıyla hesaplanabildiğinden tüm bu soruların cevabını içermektedir. İfade edilen bu 4 değişkenin sıralama ölçüm düzeyinde ölçüldüğü ve Tablo 1’de sunulan veri yapısında olduğu bir örneği inceleyelim.

Tablo 1’de elde edilen entropi korelasyon katsayısı %89 (U, V) değişkenlerinin belirlediği olayların, (X, Y) değişkenlerinin belirlediği olayları açıklama yüzdesidir.

TARTIŞMA

Tablo 1’de ortak değişkenlerin entropileri yüksek olmasına rağmen 4’lü korelasyonları %89 olarak elde edilmiştir. Değişkenler birlikte ele alındığında birbirlerini açıklama yüzdeleri yüksektir. Bu bilgi araştırmacıya U ve V değişkeninin lineer birleşiminin X ve Y değişkenlerinin lineer birleşimi ile korelasyonunun yüksek olduğu bilgisini verebilmektedir. Değişkenlerin ikişerli Spearman korelasyon katsayıları ise $\rho_{UV}=0, \rho_{XY}=0,30, \rho_{VX}=-0,43, \rho_{VY}=0,22, \rho_{UX}=0,78, \rho_{UY}=0,60$ olarak bulunmaktadır. Literatürde, entropi ve Kullback-Leibler ölçüsüne ait birçok kaynak bulunabilir. Aladdin Shamilov, Harry Joe ile Tarald O. Kvalseth’in çalışmaları, konunun istatistiksel açıdan değerlendirilebilmesi için oldukça önemli kaynaklardır. Aladdin Shamilov, çalışmasında, entropi kavramını etraflı olarak ele almış ve entropi tabanlı birçok istatistiksel yöntem önermiştir. Entropi, bilgi ve entropi korelasyon katsayısı kullanılabilirliği yüksek olan istatistiksel bir araçtır. Özellikle deneysel verinin dağılım fonksiyonunun elde edilmesinde kullanılan yöntem elde edilen dağılım fonksiyonunun veriyi daha iyi temsil etmesi bakımından oldukça faydalıdır. Yapılan istatistiksel analizden maksimum seviyede bilgiye ulaşabilmek için gerekli ve mümkün olan tüm tekniklerin doğru bir şekilde kullanılması gerek-

TABLO 1: Değişkenlere ve ortak dağılıma ait veri tablosu.

| U | V | X | Y | $A=(X, Y)$ | f | $B=(U, V)$ | f | $Z=(A, B)$ | f |
|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 00 | 2 | 00 | 1 | 0000 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 01 | 1 | 10 | 3 | 1001 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 10 | 2 | 11 | 1 | 1010 | 2 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 02 | 1 | 20 | 9 | 1100 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 20 | 2 | 21 | 2 | 2002 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 12 | 2 | $H(B)=0,771$ | | 2020 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 21 | 3 | | | 2011 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 11 | 1 | | | 2021 | 3 |
| 2 | 0 | 2 | 2 | 22 | 2 | | | 2022 | 2 |
| 2 | 0 | 2 | 1 | $H(A)=0,971$ | | | | 2112 | 2 |
| 2 | 0 | 2 | 1 | | | | | $HZ=0,964$ | |
| 2 | 0 | 2 | 1 | | | | | | |
| 2 | 0 | 2 | 2 | | | | | | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | | | | | | |
| 2 | 0 | 2 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0 | 2 | 0 | | | | | $\rho=0,89$ | |

tedir. Literatürde 2 değişkenli olasılık dağılımları veya 2 değişkenli veriler için bağımlılık veya ilişkilendirme önlemleri üzerinde çok fazla çalışma yapılmıştır. Buna karşılık, çok değişkenli veya koşullu bağımlılık ölçütleri üzerinde çok az durulmuştur. Harry Joe, çok değişkenli bağımlılık ölçümlerini ve bağıl entropilere dayalı koşullu bağımlılık ölçümlerini açıklayıcı bir şekilde yayınında dile getirmiştir. Korelasyon analizi istatistiksel açıdan en temel analizlerden biridir. Özellikle zaman serilerinde gecikmenin belirlenmesi amacı ile başvuru alan önemli bir kaynaktır. Jacob Benesty, Yiteng Huang, Jingdong Chen ve Li-Zhi Liu, Xi-Yuan Qian, Xi-Yuan Qian çalışmasında, gecikmeler için korelasyonu maksimum yapmanın entropiyi minimum yapmaya eş değer olduğunu göstermiştir. Entropinin uygulama alanlarının genişliği yöntemin birçok alanda kullanılmasına imkân vermektedir.^{5,6,10} Genelleştirilmiş lineer modellerde bir ön bilgi olarak entropinin kullanılması Nobuoki Eshima, Minoru Tabata ile Nobuoki Eshima, Nobuoki Eshima'nın çalışmalarında önerilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmaların en ilginç şekli analizinde entropinin kullanılmasıdır. Huzefa Neemuchwala, Alfred Hero, Paul Carson'un çalışmasında şekil üzerinden tanımlanan bir entropinin şekil ayırt etmede kullanılması şekil analizine farklı bir yaklaşım getirmektedir.

SONUÇ

Temel olarak entropi, incelenmek üzere ele alınan verinin araştırmacıya temin edebileceği bilgi miktarının bir ölçüsüdür. Entropinin maksimum olduğu durumda incelenen deneyin gözlenen sonuçları eşit frekanslarda araştırmacının karşısına geleceğinden verinin ortalaması gibi basit istatistiklerde bile araştırmacı kararsız kalabilmektedir. Bunun aksine küçük varyanslı normal dağılıma sahip bir veride örnek ortalamasının veriyi temsil etme kabiliyetinin yüksek olması araştırmacıya önemli katkı sağlamaktadır. Bu bakımdan entropinin düşük olması bir veride aranan önemli özelliklerden biri olmalıdır. **Tablo 1**'de incelenen örnekte ele alınan 4 değişkenin ikişerli Spearman korelasyon katsayıları düşük olmasına rağmen

U ve V değişkenleri birlikte X ve Y değişkenlerini %89 oranında açıklamaktadır. Bu bilgiye Spearman korelasyon katsayısı ve kısmi korelasyon katsayıları ile sahip olma imkânımız yoktur. Entropi korelasyon katsayısının bu özelliği önemlidir. Ayrıca, regresyon denkleminde bağımsız değişkenlerin ve hata teriminin entropisinin de elde edilmesi çoklu bağlantı probleminin belirlenmesi için önemlidir. Bağımlı değişkenin entropisinin bağımsız değişkenlerin entropileri toplamına eşit olması istenen ideal durumdur. Bu durumda hata teriminin entropisi de minimum olacaktır.

Finansal Kaynak

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

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması veya finansal destek bildirmemiştir.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Mehmet Gürcan, Mehmet Onur Kaya; **Tasarım:** Yunus Güral; **Denetleme/Danışmanlık:** Mehmet Onur Kaya, Mehmet Gürcan; **Analiz Ve/Veya Yorum:** Mehmet Gürcan, Mehmet Onur Kaya; **Kaynak Taraması:** Yunus Güral; **Makalenin Yazımı:** Mehmet Gürcan; **Eleştirel İnceleme:** Mehmet Onur Kaya.

KAYNAKLAR

1. Shamilov A. Generalized entropy optimization problems and the existence of their solutions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2007;382(2):465-72. [Crossref]
2. Joe H. Relative entropy measures of multivariate dependence. *J Am Stat Assoc*. 1989;84(405):157-64. [Crossref]

3. Neemuchwala H, Hero A, Carson P. Image matching using alpha-entropy measures and entropic graphs. *Signal Processing*. 2005;85(2):277-96. [[Crossref](#)]
4. Benesty J, Huang Y, Chen J. Time delay estimation via minimum entropy. *IEEE Signal Processing Letters*. 2007;14(3):157-60. [[Crossref](#)]
5. Ye J. Multicriteria fuzzy decision-making method using entropy weights-based correlation coefficients of interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Applied Mathematical Modelling*. 2010;34(12):3864-70. [[Crossref](#)]
6. Macke JH, ManfrÖpper M, Bethge M. Common input explains higher-order correlations and entropy in a simple model of neural population activity. *Phys Rev Lett*. 2011;106(20):208102. PMID: 21668265. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
7. Liu LZ, Qian XY, Qian XY. Cross-sample entropy of foreign exchange time series. *Physica A*. 2010;389(21):4785-92. [[Crossref](#)]
8. Eshima N, Tabata M. Entropy correlation coefficient for measuring predictive power of generalized linear models. *Statistics & Probability Letters*. 2007;77(6):588-93. [[Crossref](#)]
9. Eshima N, Tabata M. Three predictive power measures for generalized linear models: the entropy coefficient of determination, the entropy correlation coefficient and the regression correlation coefficient. *Computational Statistics and Data Analysis*. 2011;55(11):3049-58. [[Crossref](#)]
10. Gilli P, Ferretti V, Gilli G. Enthalpy-entropy compensation in drug-receptor binding. *J Phys Chem*. 1994;98:1515-8. [[Crossref](#)]
11. Kvalseth TO. Entropy and correlation: some comments. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics*. 1987;17(3):517-9. [[Crossref](#)]