





## Entomolojide Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı

Yeter Küçüktopçu<sup>1</sup> , İslam Saruhan<sup>1</sup> , Celal Tuncer<sup>1</sup> , İzzet Akça<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun

Geliş Tarihi / Received Date: 20.04.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 05.10.2023

### Öz

Son yıllarda, entomoloji alanında yapay sinir ağları (YSA) önemli bir araç haline gelmiş ve kullanımı hızla artmıştır. Entomologlar, YSA'nın sunduğu olanaklardan pek çok alanda yararlanmaktadır. YSA'nın kullanımı; böcek türlerinin tahmininden başlayarak, böcek popülasyonlarının takibine, zararlı böceklerin belirlenmesine ve böcek davranışlarının modellenmesine kadar çeşitli uygulamalara olanak tanımaktadır. Özellikle tarım alanlarında yapılan gözlemler ve ölçümler sonucunda elde edilen büyük veri kümelerinin hızlı ve hassas bir şekilde analiz edilmesi, böceklerle mücadele stratejilerinin geliştirilmesinde entomologlara önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu derleme, YSA'nın entomolojide kullanılabilir ve etkili bir araç olduğunu göstermekte ve YSA'nın gelecekteki uygulama potansiyeline genel bir bakış sunmaktadır. Ancak, YSA teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanması süreklilik arz eden bir çaba gerektirmektedir. YSA uygulamalarında eğitim sürecine özen gösterilmeli ve her yeni çalışmanın sinir ağı eğitimine katkı sağlayacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle, entomologlar YSA'nın potansiyelini daha fazla keşfetmeye odaklanmalı ve bu yenilikçi yöntemi entomolojide daha geniş ölçekte kullanmaya yönelik çalışmalar yapmalıdır. Böylece; böceklerin doğası hakkında daha derin bilgilere ulaşmak, çevre dostu mücadele stratejileri geliştirmek, tarım alanlarında daha sürdürülebilir ve verimli üretim süreçleri geçirmek mümkün olacaktır. YSA'nın entomoloji alanında ilerlemesi, hem bilimsel araştırmalara hem de tarım sektörüne önemli katkılar sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** entomoloji, yapay sinir ağları, tanımlama, sınıflandırma, izleme

## Use of Artificial Neural Networks in Entomology

### Abstract

In recent years, artificial neural networks (ANN) have become an important tool in entomology, and their use has rapidly increased. Entomologists are taking advantage of the possibilities offered by ANN in various fields. These applications range from predicting insect species and monitoring insect populations to identifying pests and modeling insect behavior. The ability to quickly and accurately analyze large datasets resulting from observations and measurements, especially in agriculture, provides a significant advantage for entomologists in developing insect control strategies. This review confirms that ANN is a valuable and effective tool in entomology and provides an overview of its potential future applications. However, the development and application of ANN technology require sustained effort. During ANN applications, attention should be given to the training process, and it's essential to acknowledge that each new study contributes to neural network training. As a result, entomologists should focus on exploring the potential of ANN further and work towards implementing this innovative method on a larger scale in entomology. By doing so, it will be possible to gain deeper insights into the nature of insects, develop environmentally-friendly control strategies, and establish more sustainable and efficient production processes in agricultural areas.

**Keywords:** entomology, artificial neural networks, identification, classification, monitoring

## Giriş

Yunanca entomon (böcek) ve logos (bilim) kelimelerinden oluşan "entomoloji" böcekleri inceleyen bilim dalıdır (Entofito, 2023). Entomoloji, temelde Zooloji'nin bir alt dalı olsa da dünya üzerindeki hayvan türlerinin yüzde 80'inden fazlasını oluşturan böcekler, ekonomik açıdan önemli oldukları için ayrı bir bilim dalı olarak kabul edilir (Demirsoy, 2003). Böceklerin canlılar üzerindeki etkileri göz ardı edilemeyecek kadar önemli olduğundan, son yıllarda entomoloji alanındaki araştırmalar büyük bir artış göstermektedir. Bu çalışmalar arasında yapay zekâ uygulamalarının etkisi her geçen gün artmaktadır.

Yapay zekâ yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA), günümüzde çok popüler bir konu haline gelmiş ve çeşitli problemlerin çözümünde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle bilimsel çalışmalarda ve ekonomik anlamda zararlı olan böceklerin mücadelesinde önemli bir belirleyici olan zararlıların tanımlaması ve popülasyon yoğunluğunun önceden tahmin edilmesinde YSA önemli bir yer tutmaktadır (Alhady vd., 2018; Cocu vd., 2005; Flórián vd., 2023; Shi vd., 2020).

Literatürde, Türkiye ve dünya genelinde entomoloji alanında YSA uygulamalarını ele alan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, entomoloji alanında YSA uygulamalarının sağladığı faydaları belirlemektir. Bu çalışma, alandaki teorik ve pratik bilgi birikimini artırmanın yanı sıra, uygulayıcılara bu konuda rehberlik etme ve literatürdeki önemli bir boşluğu doldurma açısından büyük bir öneme sahiptir.

Çalışma genel hatları ile dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın neden önemli olduğu ve ne amaçla yapıldığı kısaca açıklanmaktadır. İkinci bölümde; YSA'ya genel bir bakış sunulmakta, bu yöntemin nasıl çalıştığı ve temel işleyişinin ne olduğu hakkında bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde, YSA'nın entomolojide hangi alanlarda kullanıldığı ve bu kullanımın nasıl etkili olduğu ele alınmaktadır. Son olarak, dördüncü bölümde yapılan çalışmanın ortaya koyduğu önemli sonuçlar özetlenmektedir.

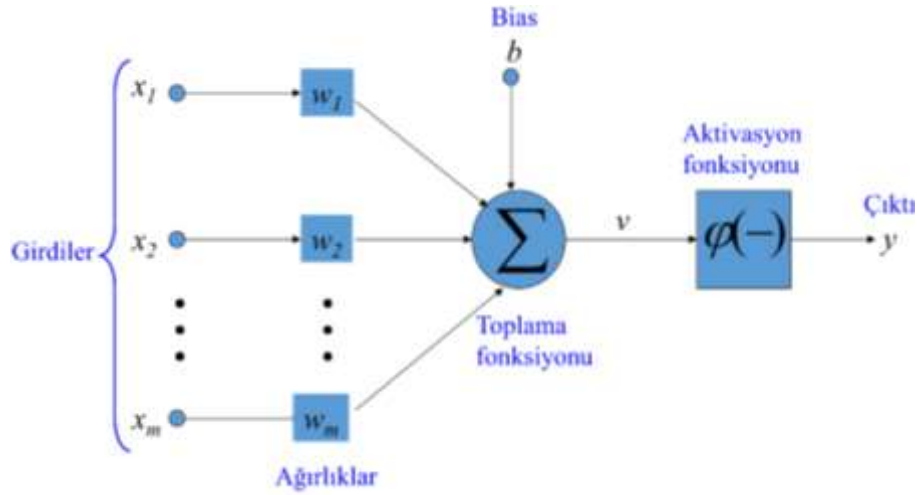
### Yapay Sinir Ağları (YSA)

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi sonucu bilgisayarlar sadece karmaşık sayısal modelleri çözebilen araçlar olmanın ötesine geçmiş ve insana benzer düşünen, öğrenen ve öğrendiklerini uygulayabilen araçlar haline almıştır. Geçmiş yıllardan beri, insan beyninin düşünme, öğrenme ve olaylara tepki verme süreçleri üzerine yoğun araştırmalar yapılmıştır. YSA'da; insan beyninin biyolojik yapısından esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır (Elmas, 2016).

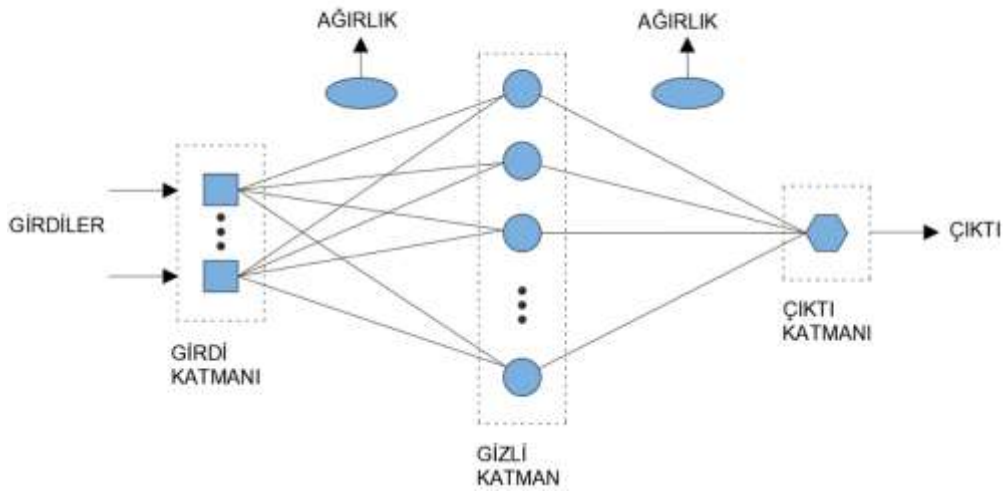
YSA'nın temel amacı, belirli bir girdi kümesine karşılık gelebilecek bir çıktı kümesini tahmin etmektir. Bu yeteneği kazanabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri üzerinden öğrenme yaparak genelleme yapabilir. Bu genelleme sayesinde, benzer olaylara karşılık gelen çıktı kümesi belirlenir. Özellikle bilgilerin olmadığı ancak örneklerin bulunduğu durumlarda, etkili bir karar verme aracı ve hesaplama yöntemi olarak kullanılabilir (Çakır, 2018).

YSA, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini simüle etmek için tasarlanırlar ve simüle edilen nöronları (sinir hücreleri) içerirler. Yapay sinir hücrelerinde de aynı biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktılarını ilettikleri bölümleri bulunmaktadır (Hassoun, 1995; Öztemel, 2006).

Bir yapay sinir hücresi temel olarak; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere Şekil 1'de gösterildiği gibi beş kısımdan meydana gelmektedir (Haykin, 2010). Yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla YSA oluşmaktadır. YSA'da genel olarak girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katman bulunmaktadır (Şekil 2). Girdi katmanı, giriş verilerinin alındığı katmandır. Ara katman, giriş katmanından aldığı verileri kullanıp aktivasyon fonksiyonu ile işleyip çıktı katmanına aktarmaktadır. Çıktı katmanı ise çıkış değerlerinin alındığı katmandır (Haykin, 1998).



**Şekil1.** Yapay Sinir Hücresinin Genel Yapısı



**Şekil2.** Örnek Yapay Sinir Ağ Yapısı

### Entomolojide YSA'nın Kullanımı

Böcek taksonomisinde YSA'nın kullanılabilmesi için her şeyden önce, dikkatlice oluşturulmuş ve doğrulanmış bir veri tabanına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir veri tabanında öncelikle, karakterler girdi olarak alınmalı ve türler arasındaki ilişkiyi bulmak için bir model tasarlanmalıdır. Bundan sonraki aşamaya öğrenme veya eğitim denilmektedir. Verilerin eğitilmesi sırasında; çıktılar, eğitim setindeki girdiler olarak verilen hedef değerler ile karşılaştırılmalıdır. Bilinmeyen türlerin tanımlanması için YSA'da eğitilerek doğrulanmış modeller kullanılabilir. Yapılmış çalışmalar en az 9 türün YSA'da eğitilmesi şartıyla tanımlamanın oldukça doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir (Vanhara vd., 2010). YSA'da farklı öğrenme yöntemleri olmasına rağmen, genellikle geri yayılım algoritması kullanılmaktadır. Veri tabanının güvenilirliği ve tür tanımlamanın doğruluğu çapraz doğrulama (Cross Validation) yöntemiyle kontrol edilmelidir (Vanhara vd., 2010).

### Tür tanımlama ile ilgili YSA Uygulamaları

Böceklerin çeşitliliği ve aynı türün familyaları arasındaki benzerlikler nedeniyle, entomologlar ve taksonomistler için böcekleri tanımlamak ve sınıflandırmak her zaman zorlu bir görev olmuştur.

Literatürde, bu zorlukların üstesinden gelmek için birçok çalışma yapılmıştır ve böcekleri tanımlamak için YSA gibi otomatik yöntemler önerilmiştir (Fedor vd., 2008; Kaya vd., 2015; Shi vd., 2020).

Do vd. (1999), dişi cinsel organının dönüştürülmüş dijital görüntülerini kullanarak Lycosidae familyasından altı örümcek türünü tanımlamak için YSA'yı başarıyla uygulamışlardır. Moore (1991), *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) ve *Aedes triseriatus* (Say, 1823) (Diptera: Culicidae) dişi ve erkeklerinin üzerinde yaptığı çalışma sonucunda kelebek kanat çırpma sıklığına dayanan fonksiyon ile doğru türü ve cinsiyeti tanımlamak için YSA'yı kullanarak %84 başarı sağlamıştır. Marcondes ve Borges (2000), YSA ve bir morfometrik karakter seti kullanarak *Lutzomyia intermedia* (Lutz ve Neiva, 1912) (Diptera: Psychodidae, Phlebotominae) erkeklerini güvenilir bir şekilde ayırt etmeyi başarmışlar ve böylece YSA'nın Diptera'daki ilk uygulamasını kullanmışlardır. YSA ayrıca biyoakustik verilerin işlenmesinde de kullanılmıştır. Örneğin Chesmore (2004), 4 farklı Orthoptera türünün ses kayıtlarını YSA'da kullanarak türlerin otomatik olarak tanımlanmasını sağlamıştır. Vaňhara vd. (2007) yaptıkları çalışmada, bir parazitoid olan Tachinidae (Diptera) familyasından seçilen *Tachina* Meigen cinsinin üç türü [*Tachina fera* (Linnaeus, 1761), *Tachina magnicornis* (Zetterstedt, 1844), *Tachina nupta* (Rondani, 1859) (Diptera: Tachinidae)] ve *Ectophasia* Townsend cinsinin iki türünün [*Ectophasia crassipennis* (Fabricius, 1794) ve *Ectophasia oblonga* (Robineau-Desvoidy, 1830) (Diptera: Tachinidae)] sınıflandırılması için YSA'yı kullanmışlardır. Sınıflandırmada farklı kanat damarlarının uzunluğu veya bunların parçaları, anten segmentlerinin genişliği ve cinsiyetleri girdi olarak alınmıştır. Elde edilen modelin tahmin yeteneğinin eğitim setindeki örneklerin sayısına bağlı olarak %88 ile %100 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada, 18 yaygın Avrupa Thysanoptera türünün otomatik olarak tanımlanması için YSA modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 18 türün hem erkek hem de dişilerinde %97 oranında doğru tanımlama sağlanmıştır (Fedor vd., 2008). Fedor vd. (2009) ekonomik açıdan önemli 101 Avrupa thrips (Thysanoptera) türünün hem erkek hem de dişi olan 3000'den fazla örneğinin kafa, klavus, kanat, ovipositor uzunluğu ve genişliği gibi esas olarak kantitatif morfometrik karakterleri göz önüne alınarak zararlıının otomatik olarak tanımlanmasını sağlamak için YSA modeli kullanmışlar ve sonuç olarak zararlı böcekleri izlemede ve teşhis etmede YSA'nın kullanılabilir olduğunu bulmuşlardır. Wang vd. (2012), takım düzeyinde teşhis için dünya çapında yaygın olan 9 takım ve alt takımların böcek görüntülerine odaklanarak yeni bir tanımlama sistemi tasarlamışlardır. YSA kullanılarak yapılan testler sonucunda sistemin %93 oranında doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir. Kang vd. 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada; kelebek şeklinin sınır piksellerinden hesaplanan dal uzunluğu benzerliği entropisine dayanarak 7 farklı kelebek türünün 268 örneğinden alınan kanat görüntülerinin veri setlerini YSA'da kullanılmışlar ve YSA ile elde edilen modelin kelebek türlerini tanımlamak için yüksek bir doğruluk seviyesi (%86'dan fazla) gösterdiği belirtmişlerdir. Kang vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada ise, 15 kelebek türünde 150 örneğin resimleri kullanılmışlar ve deneysel sonuçlarla dal uzunluğu benzerliği entropisi kavramının kelebekleri şekil türlerine göre karakterize etmek için güçlü bir araç olabileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda; Lee ve Kang (2016), kelebeklerde tür tanımlamada sorun oluşturan görüş açısı probleminin üstesinden gelerek kelebek türlerini otomatik olarak tanımlayabilmek için dal uzunluğu entropisine dayanan bu yeni şekil tanıma yöntemini geliştirmeye çalışmışlardır. Savaş tanklarını tanımak ve insan yüzlerini farklı duygularla karakterize etmek için başarıyla kullanılan bu yöntem, tek bir düğümden ve onun dallarından oluşmuş olan basit bir dallanma ağından meydana gelmiştir. Kaya ve Kayci (2014) yaptıkları çalışmada, kelebek türlerinin tanımlanmasında YSA ve görüntü işleme tekniklerinden yararlanmışlardır. Kelebeklerin doku ve renk özellikleri kullanarak elde edilen model tür tanımlamada %92.85 oranında doğru sonuç vermiştir. Bu bulgular, doku ve renk özelliklerinin kelebek türlerinin tanımlanmasında yararlı olabileceğini göstermiştir. Kaya vd. (2015) yaptıkları çalışmada, YSA'yı kullanarak 5 farklı kelebek türünü %98 oranında büyük bir başarı ile otomatik olarak tanımlamayı ve sınıflandırmayı başarmışlardır. Lorenz vd. (2015) yaptıkları çalışmada kanat şekli karakterlerine dayanan Anopheles, Aedes ve Culex cinsinin 17 türünün tanımlanması ve sınıflandırılmasında YSA'yı kullanmışlardır. YSA kullanılarak yapılan sınıflandırmanın, geleneksel yöntemlerle yapılan sınıflandırmalardan daha iyi sonuçlar (%85.70-%100) verdiğini belirlemişlerdir. Bu bulgular kanat damarlarının türe özgü olduğu ve bu nedenle taksonomik anahtarlara dâhil edilmesi gerektiği hipotezini de desteklemiştir. Alhady vd. (2018) yapmış oldukları

çalışmada *Ideopsis vulgaris* (Butler, 1874) ve *Hypolimnas bolina* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Nymphalidae) kelebek türünün kanatlarındaki desenleri kullanarak YSA'da tür tanımlama yapmayı hedeflemişler ve yapmış oldukları çalışma neticesinde *I. vulgaris* ve *H. bolina* türleri için sırasıyla %90 ve %100 başarı elde etmişlerdir.

Sıtma, Zika, Dang humması, Chagas ve Chikungunya gibi hastalıklar; insan sağlığına yönelik en önemli tehditler arasında yer alan vektör kaynaklı hastalıklardır (Nauen, 2007; Sinkins ve Gould, 2006). Bu tür hastalıkların riskini tahmin etmek ve hastalıkları kontrol etmek amacıyla stratejiler geliştirmek için önemli bir unsur olan eklembacaklı vektör türlerinin tanımlanması önem arz etmektedir (Mukundarajan vd., 2017). Vektör kaynaklı hastalıklarla ilişkili sivrisineklerin tanımlanması için yapay zekâ yöntemleri kullanılmıştır. Örneğin; Sanchez-Ortiz vd. (2017), cep telefonu ile aldıkları *Aedes* sivrisinek larvalarının görüntülerini kullanarak YSA yöntemiyle larvaların tür tanımlanması işlemini %100 başarı ile gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, örneklem büyüklüğü çok küçük olmasına rağmen YSA'nın, sivrisineklerin tür sınıflandırması için kullanılabilceği gösterilmektedir.

Sıtmaya karşı mücadelede vektör kontrol programları stratejik bir önceliktir. Sıtma bulaşma sürücülerini karakterize etmek için entomolojik araçlar sınırlıdır ve bu araçların tarlada kullanılması oldukça zordur. Sıtmaya neden olan en önemli vektörün sivrisinek olduğu bilinmektedir. Bazı araştırmacılar, sivrisineklerin moleküler tanımlaması işleminin yavaş ve pahalı olmasından dolayı bu süreci otomatikleştirmek için yapay zekâ kullanmışlardır. Bu araştırmacılar; yapmış oldukları çalışmada, çektikleri böceklerin fotoğraf özelliklerinin değerlendirilip eşleştirildiği veri setlerini makine öğrenme algoritmasında kullanarak *Aedes aegypti* L.'nin moleküler tanımlanmasını %90 başarıyla gerçekleştirmişlerdir (De Los Reyes vd., 2016). Ouyang vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada, üç ayrı sivrisinek türünün cinsiyetini, cinsini ve türünü sınıflandırmak için YSA'yı kullanmışlar ve yapmış oldukları çalışma neticesinde %85 oranında başarı elde etmişlerdir. Bir diğer araştırmacılar ise *Anopheles stephensi* Liston, 1901 (Diptera: Culicidae) sivrisinek türünün tanımlanması için YSA'yı kullanmışlar ve %78 oranında başarı elde etmişlerdir (Nabet vd., 2020).

Araştırmacılar, 7 milyon insanın Chagas hastalığının semptomlarını gösterdiğini ve 75 milyondan fazla insanın dünya çapında bu hastalığın enfeksiyon riskini taşıdığını belirtmişlerdir (WHO 2023). Chagas hastalığının vektör böceklerinden biri olan Triatominae türlerinin derin sinir ağrı yöntemiyle otomatik olarak doğru tanımlanabiliyor olması, tehlikeli hastalıklarda umut vaat eden potansiyel bir çözüm olarak yapay zekâ uygulamalarının kullanılabilineceğini göstermektedir. Khalighifar vd. (2019), 12 Meksika triatomin türleri için 405 ve 39 Brezilya triatomin (Hemiptera: Reduviidae) türleri için 1.584 dijital görüntüden faydalanarak otomatik bir tür tanımlama sistemi geliştirmeye çalışmışlar ve sonuç olarak; tüm Meksika ve Brezilya türlerinde sırasıyla %83.0 ve %86.7 oranında başarı elde etmişlerdir.

Yapay zeka uygulamaları sivrisinek tuzak tasarımında da oldukça önemli bir yere sahiptir (da Silva Motta vd., 2018). Örneğin; araştırmacılar tarafından geliştirilen akıllı tuzaklar, zararlı böcekleri kendine çekebilme ve hedef olmayan böcekleri ise serbest bırakabilmektedir. Ayrıca; hedeflenen sivrisineklerin türlerinin tanımlanması, sivrisineklerin davranışlarının anlaşılması, zararlıların tuzaklara yakalanma tarihi ve saatinin tahmin edilmesi, hedef olmayan böcek popülasyonunun yoğunluğunun tahmin edilmesi gibi önemli işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir (da Silva Motta vd., 2018). Akıllı sivrisinek tuzaklarının tasarlanması için; bir lazer algılayıcı ve ses analiz teknikleri kullanılarak elde edilmiş olan veriler, yapay zekânın alt ana dalı olan makine öğrenme algoritmalarında işlenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda, akıllı sivrisinek tuzaklarını kullanarak makine öğrenme algoritmaları ile böceklerin tanımlanmasında %98 başarı elde edilmiştir (Silva vd., 2013).

Ayop ve Chesmore (2013) yapmış oldukları çalışmada renkli görüntüler ve geometrik ölçümler kullanarak uğur böceği türlerinin [*Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae)] tanımlanmasını kolaylaştırmak istemişler ve yapmış oldukları deneysel sonuçlar neticesinde tür tanımlama aşamasında benzer renkli beneklere sahip taksonların %75'ten fazla eşleşme sağladığını ortaya koymuşlardır.

Bauch ve Rath (2004) yapmış oldukları çalışmada, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) ve *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, 1856 (Hemiptera: Aleyrodidae)'un tanımlanması için zararlıların şekil ve renk özelliklerini kullanarak YSA'da %85 başarı elde etmişlerdir. Espinoza vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, seralarda ergin evresindeki beyazsinek [*Bemisia tabaci* (G.)] ve thrips [*Frankliniella occidentalis* Pergande, 1895 (Thysanoptera: Thripidae)]'in tespiti ve izlenmesi için görüntü işleme algoritması ve YSA'nın kombinasyonuna dayalı yeni bir yaklaşım kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda beyazsinekler ve thripsler için sırasıyla %95 ve %92 oranında başarı elde edilmiştir.

Depolanan tahıl böceklerinin tespiti ve tanımlanması, ürünlerin güvenliğini sağlamak için önemlidir. Shi vd. (2020) yaptıkları çalışmada sekiz yaygın depolanmış tahıl böceğinin tespiti ve sınıflandırılmasında yapay zekâ uygulamalarını kullanmışlar ve yaptıkları çalışmada yapay zekânın tür tanımlamada başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Popovic vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada belirli bir alandaki *Merodon avidus* (Rossi, 1790) ve *Merodon moenium* (Wiedemann, 1822) (Diptera, Syrphidae) sinek türlerini tanımlamak amacıyla YSA'yı başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

### Sınıflandırma ile İlgili YSA Uygulamaları

Bagnères vd. (1998), YSA ve PCA (Principal Component Analysis, Temel Bileşenler Analizi) yöntemini kullanarak üç Avrupa termit türü [*Reticuliterm grassei*, *R. santonensis* (Feytaud) ve *R. banyulensis* Clément, 1978 (Isoptera: Rhinotermitidae)] ve bir Kuzey Amerika termit türünden [(*R. flavipes*) (Kollar, 1837) (Isoptera: Rhinotermitidae)] toplanan hidrokarbon verilerine dayanarak her bir böceğin sınıf ayrımını modellemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, kütiküler hidrokarbonların nispi oranlarındaki küçük farkları içeren kimyasal bir farklılığın, böcekler arasında ayırt edici bir özellik olduğu hipotezini desteklemişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmada, kimyasal haberleşmede kullanılan doğal feromonların sınıflandırılmasında YSA'ya iyi bir araç olabileceği ve PCA analizlerinin aksine, sınıflar arasında tanıya izin verebileceğini belirtmişlerdir. Samanta vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada, çayda zararlı böcek türlerini (yaprak biti, farklı akar türleri, *Helopeltis* cinsi sivrisinek türü, kırmızı örümcek ve thrips) sınıflandırmak için YSA'yı kullanmışlar ve başarı oranını %100 olarak bulmuşlardır. Butcher vd. (2013), belirli hidrokarbon verilerini kullanarak YSA ile adli acidan önemli olan *Lucilia sericata* (Meigen, 1826)'nın her bir larva dönemini %89 başarıyla otomatik bir şekilde sınıflandırmışlardır. Moore vd. (2016), YSA'yı kullanarak larvalarda mevcut olan kütiküler hidrokarbonların larva dönemlerinin sınıflandırılmasında önemli olup olmadığını araştırmışlar ve araştırmacılar, çalışmada adli olarak önemli iki *Calliphora* (Diptera: Calliphoridae) türünün [*Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy, 1830 ve *C. vomitoria* (Linnaeus, 1758)] larva yaşlarını belirlemek için YSA'yı başarıyla kullanmışlardır. Araştırmacılar, bu çalışmada YSA'daki sonuçların genç larvalardan olgunlaşan larvaya kadar meydana gelen önemli kimyasal değişiklikleri başarıyla gösterdiğini belirtmişlerdir. Moore vd. (2017), İngiltere'de yaygın olarak bulunan adli türde üç önemli *Calliphora* türleri [*L. sericata* (Meigen, 1826), *Calliphora vicina* (Robineau-Desvoidy, 1830) ve *C. vomitoria* (Linnaeus, 1758)]'nın kütiküler hidrokarbonları (CHC) inceleyerek ve YSA'yı kullanarak ergin sineklerde yaş tahmini yapmaya çalışmışlar ve aynı zamanda iki *Calliphora* türü için 1, 5, 10, 20 ve 30 günlük aralıklarla ve *L. sericata* M. için ise 10. güne kadar ergin dönemlerinde zamana bağlı kimyasal değişimlerin olup olmadığını tespit etmeye çalışmışlardır. Kütiküler hidrokarbonların sineklerin yaşam döngülerinin gelişimi boyunca stabil olduğu ve hidrokarbon profillerinin türe özgü olduğu bilindiği için böcekleri teşhiste hidrokarbonların güvenilir bir yaş göstergesi olma potansiyeline sahip olduğu bu çalışma sonucunda belirlemişlerdir. Tan vd. (2022), yapmış oldukları çalışmada Sakarya ilindeki ayva (*Cydonia oblonga* Mill.) (Rosales: Rosaceae) ekiliş alanlarından elde edilen farklı bitki paraziti nematod türlerinin dişi bireylerine ait olan tek ve çift ovarilerin doğru şekilde sınıflandırılması amacıyla YSA'yı kullanmışlardır. Araştırmacılar sırasıyla, 2016 Temmuz ve 2017 Temmuz'da topraktan alınan toplam 109 ve 121 adet dişi nematod üzerinde yürüttükleri çalışma sonucunda yüksek başarı elde edilmiştir.

Bilgisayarlı zekâ teknikleri ile ilgili gelişmeler, görüntü işlemeye dayalı yeni sınıflandırma yöntemlerinin uygulanmasını kolaylaştırmıştır. Adli entomolojideki böceklerin incelenmesi, adli bilimler için belirli

kararların alınmasında çok önemlidir. Hamam böceklerinin teşhisi, adli entomolojide büyük öneme sahiptir. Luquin vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada Meksika'nın farklı alanlarında yaygın olan ve adli entomoloji vakalarında önemli olan üç hamamböceği türünün [*Blattella germanica* (Linnaeus, 1767) (Blattodea: Ectobiidae), *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattodea: Blattidae) ve *Arenivaga* sp. (Rehn, 1903) (Blattodea, Corydiidae)] doğru sınıflandırılması için doku, renk ve şekil gibi pronotum görüntülerini YSA modelleme çalışmasında kullanarak %96.26 oranında yüksek bir başarı elde etmişlerdir.

### Popülasyon İzleme ile İlgili YSA Uygulamaları

Ürünlerde zarar yapan böceklerin belirlenmesi ve popülasyon dalgalanmalarının izlenmesi zararlı yönetim sistemlerinde önemli bir husustur. Yang vd. (2009) yaptıkları çalışmada pirinçte zararlı olan *Scirpophaga incertula*'nın oluşumu ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi bulmak ve daha sonra, zararlının popülasyon oluşumu hakkındaki tarihsel verileri analiz etmek için YSA'yı kullanarak tahmin modeli oluşturmuşlardır. Yeni model; 2006, 2007 ve 2008 yıllarında *Scirpophaga incertula* (Walker, 1863) (Lepidoptera: Pyralidae) popülasyonunun oluşumunu başarıyla tahmin edebilmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, böcek popülasyonu ile meteorolojik faktörler arasında önemli bir ilişki olduğu kesin olarak ortaya konulmuştur.

Çirjak vd. (2022), yapmış oldukları çalışmada elma bahçesinde zararlı olan *Leucoptera malifoliella* (O. Costa, 1836) (Lepidoptera: Lyonetiidae)'nın popülasyonunu izlemek amacıyla kameralı iki izleme cihazından alınan 400 fotoğrafı YSA'yı eğitmek için kullanmışlar ve modelin doğruluğunu %98 olarak belirlemişlerdir.

### Popülasyon Yoğunluğunu Tahmin Etme ile İlgili YSA Uygulamaları

Böcek popülasyonlarının izlenmesi, doğru koruma zamanlaması ve gereksiz böcek ilacı kullanımının önlenmesi ile haşere kontrolünü optimize etmek için çok önemlidir. Chon vd. (2000), Kuzeydoğu Asya'daki çam ağaçlarında ciddi bir orman haşeresi olan bir gal sineği türünün [*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye (Diptera: Cecidomyiidae)] popülasyonunun dinamik verilerini tahmin etmede YSA algoritmasının başarı sağladığını bildirmişlerdir. Cocu vd. (2005), YSA'yı kullanarak önemli bir zararlı olan *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae)'nin fenolojisi ve yıllık popülasyonunun üzerinde zararlının yoğun olduğu coğrafi bölge, iklim ve arazi kullanım faktörlerinin etki derecelerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma, yaprak biti veri tabanı özelliklerini ve mevcut arazi kullanım veri setlerini hesaba katan dört mekansal ölçeğe odaklanmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar; iklim, arazi kullanımı ve coğrafi konumun yıllık yaprak biti sayıları ve fenoloji modellerinin belirlenmesinde rol oynadığı hipotezini desteklemiş ve YSA'ların en büyük iki çalışma alanı için; örneğin, Avrupa ve Kuzey Batı Avrupa veri tabanı kapsamı için alternatif bir modelleme yaklaşımı olarak kullanılacağını saptamışlardır. Bianconi vd. (2010a) yapmış oldukları çalışmada, *Chrysomya megacephala* (F.) (Diptera: Calliphoridae) ergin popülasyonlarının tahmininde böceğin başlangıçtaki larva yoğunluğu (larva sayısı), mevcut gıda miktarı ve olgunlaşmamış larva dönemlerin süresi dikkate alınarak 3 farklı YSA yönteminin (Çok Katlı Algılayıcı, Radyal Temel Fonksiyon ve Adaptif Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) klasik bir istatistiksel yöntem (çoklu doğrusal regresyon) göre daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Tonnang vd. (2010), yapmış oldukları çalışmada Lahana Yaprak Güvesi'nin [*Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae)] ve bu güvenin parazitoidi olan *Diadegma semiclausum* (Hellén, 1949) (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın popülasyon yoğunluğunu YSA kullanarak tahmin etmeye çalışmışlar ve yapmış oldukları çalışmanın sonucunda YSA modelinin Lahana Yaprak Güvesi ( $R^2=0.81$ ,  $P<0.00036$ ) ve bu güvenin doğal düşmanı ( $R^2=0.85$ ,  $P<0.00013$ ) için tatmin edici sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada araştırmacılar, böcek popülasyonlarının yoğunluklarını tahmin etmek, böceklerin doğal düşmanlarını izlemek ve tahmin etmek için YSA'nın kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmada doğal düşmanların nispi etkinliğini değerlendirmek ve arttırıcı biyolojik kontrol stratejilerini araştırmak için YSA'nın başarılı bir şekilde kullanılabilineceği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Saruhan vd. 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) (Hemiptera: Aphididae)'nin ergin ve nimf dönemlerini tahmin etmek için üç morfolojik

karakteri (arka tibia, anten ve vücut uzunluğu) göz önüne alarak YSA'yı kullanılmışlar ve çalışma sonucunda YSA performansını larva dönemlerinin tahmini için başarılı bulmuşlardır. Shabaninejad vd. 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada İran'da bir salatalık alanındaki İki Noktalı Kırmızı Örümcek [*Tetranychus urticae* C. L. Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae)] yoğunluğunun tahmini için YSA ve coğrafi istatistikleri karşılaştırmış ve YSA yönteminin %98 başarı ile diğer istatistiksel yöntemlerden daha fazla etkili olduğunu belirlemişlerdir. Hakimitabar vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, Ascidae familyasının (Acari: Mesostigmata) 137 ayrı noktadaki popülasyon tahminini belirlemek amacıyla YSA'yı başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Mohamadi vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada YSA'yı kullanarak *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758) (Col.: Coccinellidae) popülasyonunun arazide tahmin edilmesi amaçlanmış ve çalışma sonucunda %98 oranında başarı elde edilmiştir. Case vd. (2020), yapmış oldukları çalışmada istilacı bir hastalık vektörü olan *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae) zararlısının belirli bir bölgedeki popülasyon yoğunluğunu yapay zeka kullanarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada insansız hava araçları (İHA)'ndan alınan görüntüler kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda %80 oranında başarı elde edilerek İHA görüntüleme ve ağ analizinin kombinasyon şeklindeki kullanımına vurgu yapılmıştır. Kinney vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada *A. aegypti* L. sivrisinek türünün Chikungunya, Zika ve Dang humması gibi bulaşıcı hastalıklara sebebiyet verdiğini; ve böylece bu sivrisinek türünün her yıl milyonlarca insanı kötü etkilediğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar hastalık riskini değerlendirmek amacıyla bu sivrisinek vektörünün popülasyon yoğunluğunu bilmek gerektiğini belirtmişler ve yapmış oldukları çalışma sonucunda YSA modelleri sayesinde oldukça başarı elde etmişlerdir. Damos vd. (2021), yapmış oldukları çalışma *Culex* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Culicidae) türlerinin erginlerinin doğrusal olmayan popülasyon dinamikleri hakkında fikir edinebilmek için YSA'ya dayalı basit yumuşak hesaplama tekniklerini kullanmışlar ve bu hesaplama tekniklerinin *Culex* sp'nin tahmini için başarı sağladığını belirtmişlerdir. Naeim Amini vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada, örtü altı sera koşullarında önemli bir zararlı olan Sera Beyazsinek [*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae)] zararlısının popülasyon yoğunluğunu tahmin etmek amacıyla YSA'yı kullanarak oldukça başarı elde etmişlerdir. Cletus vd. (2022), yapmış oldukları çalışmada sivrisinek popülasyon tahminini yapmak amacıyla yapay zeka modelini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada yapay zeka modeli araştırma için benimsenen hava durumu verileri (maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bağıl nem ve yağış) olmak üzere dört girdi özelliğini içermekte olup, yapılan uygulama sonucunda; araştırmacılar, yapay zeka modelinin zararlısının popülasyon yoğunluk tahmininde %96.67 oranında doğruluk oranı gösterdiğini ve YSA modelinin sıcak yarı kurak bir iklim bölgesinde sivrisinek yaygınlığını tahmin etmede etkili bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Narava vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Noctuidae: Lepidoptera) zararlısının ergin popülasyon tahminini yapmak amacıyla YSA'yı kullanmışlar ve %80 oranında başarı elde etmişlerdir. Flórián vd. (2023), yapmış oldukları çalışmada altı güve türünün [*Agrotis segetum* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae), *Autographa gamma* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Noctuidae), *Helicoverpa armigera* H., *Cameraria ohridella* (Deschka & Dimić, 1986) (Lepidoptera: Gracillariidae), *Grapholita funebrana* (Treitschke, 1835) ve *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae)] günlük ve aylık uçuşlarını YSA ile tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada, YSA'nın doğruluğu her zaman %60'ın üzerinde bulunmuştur. Küçük vücut ölçülerine sahip zararlı türlerine kıyasla daha büyük vücut ölçülerine sahip zararlı türlerinde bu oran %90'a kadar ulaşmış ve tespit doğruluğu ortalama olarak %84 ila %92 arasında değişim göstermiştir.

### Entomolojinin Farklı Konularında YSA Uygulamaları ile Tahmin Yürütme

Starrett vd. (1998), YSA kullanarak golf sahasındaki 50 cm çim kaplı topraktan geçen pestisit yüzdesini tahmin ederek çim alanlarına uygulanan pestisitlerin atılımını doğru bir şekilde öngören bir bilgisayar modeli geliştirmişler ve bu modelin çoklu regresyon denklemi tahminine kıyasla daha az hataya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Von Zuben vd. (2000), yapmış oldukları çalışmada *C. megacephala* (F.) zararlısını etkili şekilde kontrol etmek amacıyla zararlı ile ilgili yumurtlama oranı, ergin çıkışı ve larva gelişimi gibi bilgilerin öğrenilmesi gerektiğini belirtmişler ve bilgilere YSA kullanarak başarı ile ulaştıklarını belirtmişlerdir. Lankin vd. (2001), Yeni Zelanda'daki tahıl yaprak biti [*Rhopalosiphum padi*



(Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae)] göç tarihini ve boyutunu tahmin edebilen bir model elde etmek için 20 yıllık iklim ve yaprak biti göç verilerini kullanarak YSA oluşturmuşlardır. YSA modeli, yaprak biti göçlerinin seviyesini ve zamanlamasını %95 oranında başarıyla tahmin edebilmiştir. Watts ve Worner (2008), yapmış oldukları çalışmada iklim değişkenlerinin zararlı böcek türlerinin oluşumuna göreceli önemini belirlemede YSA'yı çalışmışlar ve sonuç olarak YSA'nın belirli bir coğrafi bölgedeki zararlı böcek türlerinin oluşumunu doğru bir şekilde tahmin etmeyi öğrenebildiğini bildirmişlerdir. Howe vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada yaygın bir kelebek türünün vücut sıcaklığını ve aktivitesini hava durumuna göre modelleyerek böceklerin vücut sıcaklığını ve aktivitesini tahmin etmek için sinir ağlarının kullanmanın başarı sağladığını belirtmişlerdir. Zhang vd. (2008), *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae) larvalarının gıda alımının sıcaklık-zamana bağlı ilişkilerinin simülasyonunda YSA algoritmasının geleneksel modellere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Bianconi vd. (2010b), adli bilimde önemli bir sinek türü olan *C. megacephala* (F.)'nin larva yoğunluğu, mevcut gıda miktarı ve pupa büyüklüğü ile ilgili mevcut verileri kullanarak sineğin pupa ağırlığını doğru tahmin edebilmek için YSA'yı başarılı bir şekilde kullanmışlar ve YSA modelinin geleneksel istatistiksel modele kıyasla (çoklu regresyon) daha doğru performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Saruhan (2012), böceklerin farklı larva dönemleri ve cinsiyetleri arasındaki farkı ayırt etmek için böcek vücudunun farklı kısımlarının morfometrik çalışmalarının kullanılabileceğini düşünmüş ve bu konu üzerinde araştırma yapmıştır. Araştırmacı, çalışmada vücut uzunluğu ve protoraks genişliği kullanılarak *Palomena prasina* (Linnaeus, 1761) (Hemiptera: Pentatomidae)'nin larva dönemleri ve cinsiyetlerinin ayırımı için tahmin modeli geliştirmeyi ve tahmin edilen larva dönemleri ve cinsiyetler için yazılım geliştirmeyi amaçlamaktadır. YSA'da oluşturulan modellemenin bireysel larva dönemlerini ve cinsiyeti tahmin etmek için yüksek doğruluk derecesinde yararlı olabileceği sonucuna varmıştır. Carmo vd. (2020), yapmış oldukları çalışmada tropikal bölgelerde sebze zararlılarının önemli bir avcısı olan *Blaptostethus pallelescens* Poppius (Heteroptera: Anthracoridae) yaşam döngü aşamalarının doğru tanımlanması amacıyla üç morfometrik ölçü (kafa genişliği, vücut genişliği ve vücut uzunluğu) kullanarak YSA'yı eğitmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda YSA yönteminin klasik yöntemlerle elde edilemeyecek kadar başarı gösterdiği belirlenmiştir. Altay ve Özgen (2021) yapmış oldukları bir çalışmada dünya çapında geniş bir yayılışa sahip olan depolanmış ürün zararlısı *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, 1863 (Coleoptera: Tenebrionidae) zararlısının üzerinde odun ve fındık sirke uygulaması yaparak bu uygulamaların zararlı üzerindeki böcek öldürücü etkisini üç farklı yapay zekâ yöntemi ile belirtmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda YSA zararlı üzerindeki LD<sub>50</sub> değerini tahmin etmede oldukça başarı sağlamıştır. Latif vd. (2022), yapmış oldukları çalışmada YSA kullanarak pirinç mahsullerine zarar veren haşere saldırılarının derecesini tahmin eden bir tahmin sistemi önerilmiş ve uygulama sonucunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## Sonuç ve Öneriler

Bu derleme YSA'nın entomoloji alanında uygulanabilir bir yöntem olduğunu ve etkili sonuçlar elde edildiğini göstermek amacıyla yapılmıştır. Günümüzde teknolojinin giderek daha yoğun kullanıldığı göz önüne alındığında, entomoloji alanında da geleneksel yöntemlerin dışında yeni yaklaşımların kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Entomolojide yeni bir yöntem olarak kullanılan YSA uygulamaları; böcek türleri tahmini, böcek popülasyonları takibi, böcek zararlılarını belirleme, böcek davranışlarının modellenmesi, böcek ekolojisi ve ekonomik önemlerinin analizi gibi konularında kullanılarak entomologlara yardım sağlamaktadır. Ayrıca YSA, böceklerin biyolojik ve ekolojik süreçlerini daha iyi anlamak, böcek türlerini hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etmek, böcek zararlılarına karşı etkili mücadele stratejileri geliştirmek ve entomolojik araştırmalarda veri analizini optimize etmek gibi faydalar sağlamaktadır. YSA uygulamaları entomoloji alanında kullanıldıkça, böceklerin biyolojisi, ekolojisi ve ekonomik önemleri gibi konularda daha ayrıntılı bilgiler elde edilmesine ve böceklerle ilgili daha etkili yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca YSA uygulamalarının bir eğitim süreci olduğunu göz önünde bulundurulmalı ve her yeni çalışmanın sinir ağı eğitimine katkı sağlayacağı unutulmamalıdır. Bu amaçla YSA ve benzeri teknolojik uygulamaların ülkemizde hızla

yaygınlaştırılması ve bu uygulamaların zararlı yönetim sistemlerinin belirlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılmasının zararlı mücadelesine faydalı olacağı kanaatindeyiz.

#### Yazar Katkısı

Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

#### Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

#### ORCID

Yeter Küçüktopçu  <https://orcid.org/0000-0002-2104-5764>

İslam Saruhan  <https://orcid.org/0000-0003-0229-9627>

Celal Tuncer  <https://orcid.org/0000-0002-9014-8003>

İzzet Akça  <https://orcid.org/0000-0001-9617-8820>

#### Kaynaklar

- Alhady, S. S. N. ve Kai, X. Y. (2018). Butterfly species recognition using artificial neural network. In Hassan, M. (eds), *Intelligent Manufacturing & Mechatronics. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 449-457). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8788-2\\_40](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8788-2_40)
- Altay, O. ve Özgen, I. (2021). Predicting the LD50 values of two different vinegars whose insecticidal effect was determined by the spraying method against *Tribolium confusum* Jacquelin du val (Coleoptera: Tenebrionidae) using different artificial neural network models. *Zoological and Entomological Letters*, 1(2), 39-47. <https://www.zoologicaljournal.com/article/16/1-2-4-122.pdf>
- Ayob, M. Z. ve Chesmore, E. D. (2013). Probabilistic Neural Network for the Automated Identification of the Harlequin Ladybird (*Harmonia Axyridis*). In Ramanna, S., Lingras, P., Sombattheera, C., Krishna, A. (eds), *Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence* (pp. 25-35). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-44949-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-44949-9_3)
- Bagnères, A. G., Rivière, G. ve Clément, J. L. (1998). Artificial neural network modeling of caste odor discrimination based on cuticular hydrocarbons in termites. *Chemoecology*, 8(4), 201-209. <https://doi.org/10.1007/s000490050026>
- Bauch, C. ve Rath, T. (2004). Prototype of a vision based system for measurements of white fly infestation. In *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys 2004* (pp. 773-780). ISHS Acta Horticulturae 691. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.95>
- Bianconi, A., Von Zuben, C. J., de Souza Serapião, A. B. ve Govone, J. S. (2010a). The use of artificial neural networks in analyzing the nutritional ecology of *Chrysomya megacephala* (F.) (Diptera: Calliphoridae), compared with a statistical model. *Australian Journal of Entomology*, 49(3), 201-212. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2010.00754.x>
- Bianconi, A., Zuben, C. J. V., Serapião, A. B. D. S. ve Govone, J. S. (2010b). Artificial neural networks: A novel approach to analysing the nutritional ecology of a blowfly species, *Chrysomya megacephala*. *Journal of Insect Science*, 10(1), 58. <https://doi.org/10.1673/031.010.5801>

- Butcher, J. B., Moore, H. E., Day, C. R., Adam, C. D. ve Drijfhout, F. P. (2013). Artificial neural network analysis of hydrocarbon profiles for the aging of *Lucilia sericata* for post mortem interval estimation. *Forensic Science International*, 232(1-3), 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.06.018>
- Carmo, D. D. G., Farias, E. D. S., Costa, T. L., Queiroz, E. A., Nascimento, M. ve Picanço, M. C. (2020). Instar determination of *Blaptostethus pallescens* (Hemiptera: Anthocoridae) using artificial neural networks. *Annals of the Entomological Society of America*, 113(1), 50-54. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz059>
- Case, E., Shragai, T., Harrington, L., Ren, Y., Morreale, S. ve Erickson, D. (2020). Evaluation of unmanned aerial vehicles and neural networks for integrated mosquito management of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, 57(5), 1588-1595. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa078>
- Chesmore, D. (2004). Automated bioacoustic identification of species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(2), 436-440. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000200037>
- Chon, T. S., Park, Y. S., Kim, J. M., Lee, B. Y., Chung, Y. J. ve Kim, Y. (2000). Use of an artificial neural network to predict population dynamics of the Forest-Pest pine needle gall midge (Diptera: Cecidomyiida). *Environmental Entomology*, 29(6), 1208-1215. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.6.1208>
- Čirjak, D., Aleksi, I., Miklečić, I., Antolković, A. M., Vrtodušić, R., Viduka, A., ... ve Pajač Živković, I. (2022). Monitoring system for *Leucoptera malifoliella* (O. Costa, 1836) and its damage based on artificial neural networks. *Agriculture*, 13(1), 67. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010067>
- Cletus, F., Baha, B. Y. ve Sarjiyus, O. (2022, November). Prediction of mosquito prevalence in a warm semi-arid climate using artificial neural network (ANN). In *2022 5th Information Technology for Education and Development (ITED)* (s. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITED56637.2022.10051442>
- Cocu, N., Harrington, R., Rounsevell, M. D. A., Worner, S. P., Hulle, M. ve Examine Project Participants. (2005). Geographical location, climate, and land use influences on the phenology and numbers of the aphid, *Myzus persicae*, in Europe. *Journal of Biogeography*, 32(4), 615-632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01190.x>
- Çakır, F. S. (2018). *Yapay Sinir Ağları Matlab Kodları ve Matlab Toolbox Çözümleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Da Silva Motta, D., Badaró, R., Santos, A. ve Kirchner, F. (2018). Use of artificial intelligence on the control of vector-borne diseases. In *Vectors and Vector-Borne Zoonotic Diseases. IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81671>
- Damos, P., Tuells, J. ve Caballero, P. (2021). Soft computing of a medically important arthropod vector with autoregressive recurrent and focused time delay artificial neural networks. *Insects*, 12(6), 503. <https://doi.org/10.3390/insects12060503>
- De Los Reyes, A. M. M., Reyes, A. C. A., Torres, J. L., Padilla, D. A. ve Villaverde, J. (2016). Detection of *Aedes Aegypti* mosquito by digital image processing techniques and support vector machine. In *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (pp. 2342-2345). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848448>
- Demirsoy, A. (2003). Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar/Böcekler, Entomoloji. (2. Baskı, 2. Cilt, s. 119-122). Meteksan Matbaacılık.
- Do, M. T., Harp, J. M. ve Norris, K. C. (1999). A test of a pattern recognition system for identification of spiders. *Bulletin of Entomological Research*, 89(3), 217-224.

<https://doi.org/10.1017/S0007485399000334>

Elmas, Ç. (2016). Yapay Zekâ Uygulamaları: Yapay Sinir Ağı, Bulanık Mantık, Sinirsel Bulanık Mantık, Genetik Algoritma. Seçkin Yayıncılık.

Entofito (2023). Entomoloji nedir? <https://www.entofito.com/> adresinden 20 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.

Espinoza, K., Valera, D. L., Torres, J. A., López, A. ve Molina-Aiz, F. D. (2016). Combination of image processing and artificial neural networks as a novel approach for the identification of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* on sticky traps in greenhouse agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 495-505. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.008>

Fedor, P., Malenovský, I., Vaňhara, J., Sierka, W. ve Havel, J. (2008). Thrips (Thysanoptera) identification using artificial neural networks. *Bulletin of Entomological Research*, 98(5), 437-447. <https://doi.org/10.1017/S0007485308005750>

Fedor, P., Vaňhara, J., Havel, J., Malenovský, I. ve Spellerberg, I. (2009). Artificial intelligence in pest insect monitoring. *Systematic Entomology*, 34(2), 398-400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2008.00461.x>

Flórián, N., Jósvei, J. K., Tóth, Z., Gergócs, V., Sipőcz, L., Tóth, M. ve Dombos, M. (2023). Automatic Detection of Moths (Lepidoptera) with a Funnel Trap Prototype. *Insects*, 14(4), 381. <https://doi.org/10.3390/insects14040381>

Hakimitabar, M., Shabaninejad, A. R., Saboori, A. ve Shams, M. H. (2017). Evaluation of Artificial Neural Network for determining distribution pattern of ascid family (Acari: Mesostigmata) in Damghan. *Journal of Entomological Society of Iran*, 37(3), 361-368. <https://doi.org/10.22117/JESI.2017.116045.1149>

Hassoun, M. H. (1995). *Fundamentals of Artificial Neural Networks*. MIT press.

Haykin, S. (1998). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall PTR.

Haykin, S. (2010). *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson.

Howe, P. D., Bryant, S. R. ve Shreeve, T. G. (2007). Predicting body temperature and activity of adult *Polyommatus icarus* using neural network models under current and projected climate scenarios. *Oecologia*, 153, 857-869. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0782-3>

Kang, S. H., Cho, J. H. ve Lee, S. H. (2014). Identification of butterfly based on their shapes when viewed from different angles using an artificial neural network. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(2), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2013.12.004>

Kang, S. H., Song, S. H. ve Lee, S. H. (2012). Identification of butterfly species with a single neural network system. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(3), 431-435. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.03.006>

Kaya, Y. ve Kayci, L. (2014). Application of artificial neural network for automatic detection of butterfly species using color and texture features. *The visual computer*, 30(1), 71-79. <https://doi.org/10.1007/s00371-013-0782-8>

Kaya, Y., Kayci, L. ve Uyar, M. (2015). Automatic identification of butterfly species based on local binary patterns and artificial neural network. *Applied Soft Computing*, 28, 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.046>

Khalighifar, A., Komp, E., Ramsey, J. M., Gurgel-Gonçalves, R. ve Peterson, A. T. (2019). Deep learning algorithms improve automated identification of chagas disease vectors. *Journal of Medical Entomology*, 56(5), 1404-1410. <https://doi.org/10.1093/jme/tjz065>

- Kinney, A. C., Current, S. ve Lega, J. (2021). Aedes-AI: Neural network models of mosquito abundance. *PLoS Computational Biology*, 17(11), e1009467. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009467>
- Lankin, G., Worner, S., Samarasinghe, S. ve Teulon, D. (2001). Can artificial Neural Network Systems be used for forecasting aphid flight patterns. *New Zealand Plant Protection*, 54, 188–192. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2001.54.3720>
- Latif, M. S., Kazmi, R., Khan, N., Majeed, R., Ikram, S. ve Ali-Shahid, M. M. (2022). Pest prediction in rice using IoT and feed forward neural network. *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, 16(1), 133-152. <https://doi.org/10.3837/tiis.2022.01.008>
- Lee, S. H. ve Kang, S. H. (2016). Performance enhancement of the branch length similarity entropy descriptor for shape recognition by introducing critical points. *Journal of the Korean Physical Society*, 69(7), 1254-1262. <https://doi.org/10.3938/jkps.69.1254>
- Lorenz, C., Ferraudo, A. S. ve Suesdek, L. (2015). Artificial Neural Network applied as a methodology of mosquito species identification. *Acta tropica*, 152, 165-169. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.09.011>
- Luquin, M. F. H., Santacruz, E. V., Morales, R. A. L., Vázquez, C. N. ve Zúñiga, M. G. (2017). Development of intelligent tools for recognizing cockroaches in the forensic entomology context. In *2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)* (pp. 1117-1121). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IntelliSys.2017.8324269>
- Marcondes, C. B. ve Borges, P. S. (2000). Distinction of males of the *Lutzomyia intermedia* (Lutz ve Neiva, 1912) species complex by ratios between dimensions and by an artificial neural network (Diptera: Psychodidae, Phlebotominae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 95(5), 685-688. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762000000500012>
- Mohamadi, R., Nejad, A. R. S., Alich, M. ve Nejad, M. R. S. (2018). Evaluation of GMDH artificial neural network model to predict the spatial distribution of *Coccinella septempunctata* (Col.: Coccinellidae) in the alfalfa farm of Bajgah, Shiraz. *Journal of Entomological Society of Iran*, 38(3), 275-287. <https://doi.org/10.22117/jesi.2018.116187.1154>
- Moore, A. (1991). Artificial neural network trained to identify mosquitoes in flight. *Journal of insect behavior*, 4(3), 391-396. <https://doi.org/10.1007/BF01048285>
- Moore, H. E., Butcher, J. B., Adam, C. D., Day, C. R. ve Drijfhout, F. P. (2016). Age estimation of Calliphora (Diptera: Calliphoridae) larvae using cuticular hydrocarbon analysis and artificial neural networks. *Forensic Science International*, 268, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.09.012>
- Moore, H. E., Butcher, J. B., Day, C. R. ve Drijfhout, F. P. (2017). Adult fly age estimations using cuticular hydrocarbons and Artificial Neural Networks in forensically important Calliphoridae species. *Forensic Science International*, 280, 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.001>
- Mukundarajan, H., Hol, F. J. H., Castillo, E. A., Newby, C. ve Prakash, M. (2017). Using mobile phones as acoustic sensors for high-throughput mosquito surveillance. *Elife*, 6, e27854. <https://doi.org/10.7554/eLife.27854>
- Nabet, C., Chaline, A., Franetich, J. F., Brossas, J. Y., Shahmirian, N., Silvie, O., ... ve Piarroux, R. (2020). Prediction of malaria transmission drivers in Anopheles mosquitoes using artificial intelligence coupled to MALDI-TOF mass spectrometry. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68272-z>

- Naeim Amini, S., Golizadeh, A., Tafaghodinia, B., Razmjou, J., Abbasipour, H. ve Shaabaninejad, A. (2021). Evaluation of artificial neural network MLP optimized with genetic algorithm in estimating and predicting RO and rm of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) according to some characteristics of host plants under greenhouse conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 41(1), 55-72.  
<https://doi.org/10.22117/JESI.2021.354385.1415>
- Narava, R., Kumar, S. R., Jaba, J., Kumar, A., Rao, R., Rao, S., Mishra, S. P. ve Kukanur, V. (2022). Development of Temporal Model for Forecasting of *Helicoverpa armigera* (Noctuidae: Lepidoptera) Using Arima and Artificial Neural Networks. *Journal of Insect Science*, 22(3), 2.  
<https://doi.org/10.1093/jisesa/ieac019>
- Nauen, R. (2007). Insecticide resistance in disease vectors of public health importance. *Pest Management Science*, 63(7), 628-633. <https://doi.org/10.1002/ps.1406>
- Ouyang, T. H., Yang, E. C., Jiang, J. A. ve Lin, T. T. (2015). Mosquito vector monitoring system based on optical wingbeat classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 47-55.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.021>
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2. Baskı). Papatya Yayıncılık.
- Popovic, D. (2020). Taxonomic identification of hoverfly specimens using neural network and gradient boosting machine techniques. *Computational Ecology and Software*, 10(3), 105-116.  
<https://www.proquest.com/scholarly-journals/taxonomic-identification-hoverfly-specimens-using/docview/2756779299/se-2>
- Samanta, R. K. ve Ghosh, I. (2012). Tea insect pests classification based on artificial neural networks. *International Journal of Computer Engineering Science*, 2(6), 336.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2a6b390610ff9cbc17c4cc00b05c2ce62e3b5352>
- Sanchez-Ortiz A, Fierro-Radilla A, Arista-Jalife A, Cedillo-Hernandez M, Nakano-Miyatake M, Robles-Camarillo D. ve Cuatrecasas-Jiménez V. (2017). Mosquito larva classification method based on convolutional neural networks. In *2017 International Conference on Electronics, Communications, and Computers (CONIELECOMP)* (s. 1-6). <https://doi.org/10.1109/CONIELECOMP.2017.7891835>
- Saruhan, I. (2012). Discrimination of the *Palomena prasina* L.(Heteroptera: Pentatomidae) nymph stages and sex using some morphological parameters by the multiple regression analysis. *African Journal of Biotechnology*, 11(9), 2365-2370. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3338>
- Saruhan, I., Senyer, N., Ayvaz, T., Kayhan, G., Ergun, E., Odabas, M. S. ve Akca, İ. (2015). The estimation of adult and nymph stages of *aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) using artificial neural network. *Entomological News*, 125(1), 12-20. <https://doi.org/10.3157/021.125.0104>
- Shabaninejad, A., Tafaghodinia, B. ve Zandi-Sohani, N. (2017). Evaluation of geostatistical method and hybrid Artificial Neural Network with imperialist competitive algorithm for predicting distribution pattern of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in cucumber field of Behbahan, Iran. *Persian Journal of Acarology*, 6(4). <https://doi.org/10.22073/pja.v6i4.30295>
- Shi, Z., Dang, H., Liu, Z. ve Zhou, X. (2020). Detection and identification of stored-grain insects using deep learning: A more effective neural network. *IEEE Access*, 8, 163703-163714.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021830>
- Silva, D. F., De Souza, V. M., Batista, G. E., Keogh, E. ve Ellis, D. P. (2013). Applying machine learning and audio analysis techniques to insect recognition in intelligent traps. In *2013 12th International Conference on Machine Learning and Applications*, (s. 99-104). IEEE.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6784594>



- Sinkins, S. P. ve Gould, F. (2006). Gene drive systems for insect disease vectors. *Nature Reviews Genetics*, 7(6), 427. <https://doi.org/10.1038/nrg1870>
- Starrett, S. K., Starrett, S. K., Najjar, Y., Adams, G. ve Hill, J. (1998). Modeling pesticide leaching from golf courses using artificial neural networks. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(19-20), 3093-3106. <https://doi.org/10.1080/00103629809370178>
- Tan, A. N., Aylin, T. A. N. ve Susurluk, H. (2022). First application of two distinguishment techniques: Using Linear Discriminate Function method and Artificial Neural Networks approach according to the ovary types for some plant parasitic nematodes. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(1), 1-14. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1025087>
- Tonnang, H. E., Nedorezov, L. V., Owino, J. O., Ochanda, H. ve Löhr, B. (2010). Host–parasitoid population density prediction using artificial neural networks: diamondback moth and its natural enemies. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(3), 233-242. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00466.x>
- Vanhara, J., Havel, J. ve Fedor, P. (2010). Artificial neural networks (ANN) in entomology. [https://www.researchgate.net/publication/295253809\\_Artificial\\_Neural\\_Networks\\_ANN\\_in\\_entomology](https://www.researchgate.net/publication/295253809_Artificial_Neural_Networks_ANN_in_entomology) adresinden 20 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Vaňhara, J., Muráriková, N., Malenovský, I. ve Havel, J. (2007). Artificial neural networks for fly identification: A case study from the genera *Tachina* and *Ectophasia* (Diptera, Tachinidae). *Biologia*, 62(4), 462-469. <https://doi.org/10.2478/s11756-007-0089-1>
- Von Zuben, C. J., Stangenhuis, G. ve Godoy, W. A. C. (2000). Larval competition in *Chrysomya megacephala* (F.)(Diptera: Calliphoridae): effects of different levels of larval aggregation on estimates of weight, fecundity and reproductive investment. *Revista Brasileira de Biologia*, 60, 195-203. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000200002>
- Wang, J., Lin, C., Ji, L. ve Liang, A. (2012). A new automatic identification system of insect images at the order level. *Knowledge-Based Systems*, 33, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2012.03.014>
- Watts, M. J. ve Worner, S. P. (2008). Using artificial neural networks to determine the relative contribution of abiotic factors influencing the establishment of insect pest species. *Ecological Informatics*, 3(1), 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2007.06.004>