Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kayısının Farklı Kurutma Yöntemleriyle Kurutulmasında Kuruma Hızı ve Nem Oranı Parametrelerinin Modellenmesi

Bu çalışmada geleneksel (sıcak hava ile), elektrohidrodinamik (EHD) ve EHD-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulan kayısının farklı kurutma parametrelerinin kuruma hızı ve ürünün nem oranı üzerine etkilerinin YSA ile modellenmesi amaçlanmıştır. Farklı transfer fonksiyonları ve öğrenme algoritmaları denenerek her bir kurutma yöntemi için en iyi model performansını veren YSA tespit edilmiştir. EHD-sıcak hava kombinasyonu ile kayısı kurutmada kuruma hızı ve nem oranı tahminine ilişkin YSA modellerinin test verisi üzerindeki belirtme katsayıları 0,96’dan yüksek değerler olarak saptanmıştır. Araştırma bulguları EHD yöntemi ile tarımsal ürün kurutmanın YSA esaslı yöntemlerle modellenebileceğini göstermiştir.

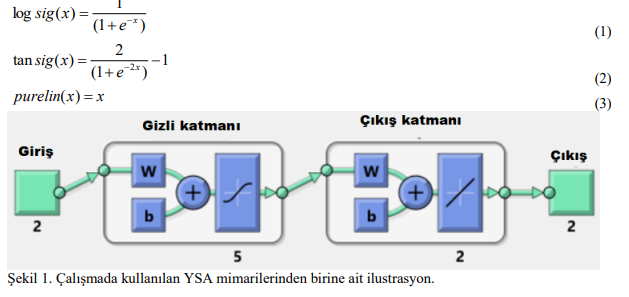
En yaygın olarak yetiştirilen çekirdekli meyvelerden kayısı (Prunus armeniaca L.) Rosaceae ailesine ve Prunaidea alt ailesine aittir (Vega-Gálvez ve ark., 2019). FAO’nun 2018 yılı hasat verilerine göre kayısı üretiminin % 59,3 ‘ü Asya kıtasında gerçekleşirken, Türkiye 750.000 ton ile en yüksek üretim hacmine sahip ülke olarak gösterilmiştir (Anonim, 2020). Kayısı yumuşak dokusu, hoş lezzeti ve yüksek besin değeri ile ön plana çıkan meyvelerden olmuştur. Yapısında bulundurdukları fenolik ve karotenoid bileşikleri ile kardiyovasküler hastalıkların ve bazı kanserlerin oluşmasında azalma sağladığı belirlenmiştir. Kayısılardaki ana karotenoid olan β-karoten, toplam karotenoidlerin % 60'ından fazlasını oluşturmakta ve A vitamini öncüsü olarak görme yetisinde önemli bir rol oynamaktadır (Deng ve ark., 2019). Yüksek solunum hızı ve hızlı olgunlaşma süreci nedeniyle çok kısa depolama ömrüne sahip olan kayısı iklimsel ve mevsim meyvesi olarak tanımlanmıştır. Kayısının raf ömrünü uzatmak için, kontrollü atmosferlerde paketleme, dondurma, kurutma ve konserveleme dahil olmak üzere farklı koruma yöntemleri kullanılmıştır (García-Martínez ve ark., 2013). Bu işlemlerin en önemlilerinden biri olan kurutma, meyveler, sebzeler, et, tahıllar ve bitkiler gibi çeşitli gıda maddelerinin raf ömrünü uzatmak ve mevsim dışında kullanılabilir hale getirmek için kullanılan en eski, en ucuz ve en yaygın gıda muhafaza tekniklerinden biri olarak gösterilmiştir (Alwazeer ve Örs, 2019). Son yıllarda oldukça geniş kullanım alanı bulmuş bir makine öğrenmesi yöntemi olan Yapay sinir ağları (YSA), parametre ve fonksiyon tahmininden sınıflandırmaya kadar çeşitli görevlerde karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Kısmi veri kümeleri, belirsiz ve yetersiz bilgi içeren görevler için YSA’ların yararlı olduğu bildirilmiştir. Ağlar, proses ilişkileri hakkında önceden bilgi sahibi olmasa bile birden fazla çıktı değişkenini tahmin etmek için farklı girdileri kullanabilme yeteneğine sahiptir (Beigi ve ark., 2017). Birçok makine öğrenmesi yönteminin aksine YSA’nın dayandığı temel veriyi oluşturan öznitelikler (değişkenler) arasındaki gizli ilişkileri göz önüne almaktır. YSA’lar önceden gözlemlenebilen veya asıl cevabı bilinen bir parametre dizisi veya sınıflandırma kategorilerini kullanarak öğrenmekte ve buna göre daha önce YSA modelinin görmediği veriyi öğrenme sonucu oluşturulan gizli ağ yapısı ile tahmin edebilmektedir. Bu yaklaşımıyla YSA biyolojik sinir sistemini taklit etmektedir. Nöronlardan oluşan katmanlar YSA’yı oluşturmaktadır. Giriş katmanında eğitim verisindeki öznitelik sayısı kadar nöron bulunur. Hedef çıktı değerleri çıkış katmanında birer nöron ile temsil edilmektedir. Gizli katmanlar ise giriş ve çıkış katmanları arasında yer alır. Nöronlar aktivasyon veya transfer fonksiyonları aracılığıyla kendilerine ulaşan bilgileri toplayarak bağlı oldukları bir sonraki nöronlara iletirler (Omid ve ark., 2009). Böylelikle bu bilgi akışını sağlayan her bir eğitim iterasyonunda nöron ağırlıkları bir kurala göre güncellenir ve ağ içerisinde bir gizli ilişkiler düzeni oluşur.

Kurutmanın karmaşık bir süreç olması nedeniyle çeşitli kurutma koşullarında kuruma hızı ve ürün nem oranını kurutma sürecine göre modelleyen birçok yaklaşım vardır. Yapay sinir ağları bahsedilen avantajları nedeniyle tarımsal ürünlerin kurutulması çalışmalarında da farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Khazaei ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada sıcak hava kurutucuda üzüm kurutmasını yapay sinir ağı (YSA) ile modellemişlerdir. Ayrıca Ghaderi ve ark. (2012), Poonnoy ve ark. (2007), Yousefi ve ark. (2013), Krishna Murthy ve Manohar (2012), Motevali ve ark (2013) ve Momenzadeh ve ark. (2011), Chasiotis ve ark. (2019) sırasıyla mantar, domates dilimleri, papaya meyvesi, mango zencefil (Curcuma amada) dereotu yaprakları, mısır ve elma ürünlerinin kurutma kinetiklerinin tanımlanması çalışmalarında yapay sinir ağı (YSA) modelleme tekniklerini kullanmışlardır. Yapılan detaylı literatür taraması kayısının elektrohidrodinamik (EHD) kurutma yöntemleriyle kurutulmasında kuruma hızı ve nem oranı değerlerini tahmin etmede YSA esaslı yöntemlerin kullanımı konularındaki çalışmaların sınırlı olduğunu göstermiştir. Tarım ürünlerinin geleneksel olmayan kurutma yöntemleriyle kurutulması süreçlerinin yapay zeka yöntemleriyle açıklanması önemli bir konudur. Böylelikle ortaya çıkan gelişmiş tahmin modelleriyle geleneksel ve geleneksel olmayan kurutma yöntemlerinin kuruma süresi ve kuruma hızı gibi parametreleri öngörülebilir. Bu çalışmada geleneksel (sıcak hava ile) ve elektrohidradinamik kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan kayısının farklı kurutma parametrelerinin kuruma hızı ve ürün nem oranı üzerine etkilerinin Yapay Sinir Ağları ile modellenmesi amaçlanmıştır. Farklı yapay sinir ağı parametreleriyle farklı tahmin modelleri oluşturularak kuruma hızı ve ürün nem oranı için ayrı ayrı YSA modelleri eğitilmiş ve test verisi üzerinde tahmin performansları ortaya konulmuştur.

Materyal ve Yöntem

Deneylerde kullanılan Hacıhaliloğlu çeşit kayısı örnekleri yerel marketten alınmış ve deneylerin sonuna kadar 4 ± 0.5 °C sıcaklık koşullarında tutulmuştur. Örneklerin başlangıçtaki nem içeriği bir etüv (Electromag, Türkiye) kullanılarak kuru bazda (k.b.) 4.81 (g su/g kuru madde) olarak belirlenmiştir. Zarar görmemiş ve olgun kayısı örnekleri önce ikiye kesilmiş ve daha sonra özel bir küp dilimleyici (Börner, Almanya) ile küp haline getirilmiştir (7x7x7 mm). Küp haline getirilmiş ürünler ince tabakalar halinde kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi sırasında EHD-tel, EHD-iğne, EHD-tel-sıcak hava, EHD-iğne-sıcak hava ve sıcak hava yöntemleri kullanılmıştır. Deneylerde 2 farklı sıcaklık (40 ve 50 °C), hava hızı (1,5 ve 2,5 m/s) ve voltaj seviyesi (10 ve 20 kV) belirlenerek EHD, sıcak hava ve EHD-sıcak hava kombinasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Kurutma işlemleri, teflon kaplı bir fırında gerçekleştirilmiştir. Ürünler paslanmaz çelik bir plaka üzerinde fırın içine yerleştirilmiştir. Kurutma için tasarlanan EHD-tel ve EHD-iğne sistemleri ile ürün kritik nem seviyesine gelene kadar kurutulmuştur. EHD-tel sisteminde 6 tel (0,4 mm çap) kullanılmış ve aralarındaki mesafe 5 cm, EHD-iğne sisteminde ise 72 iğne (30 mm uzunlukta 0.7 mm çapında) kullanılmış ve iğneler arası mesafe 40 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.

Ürün ile tel veya iğne elektrodu arasındaki mesafe 30 mm olarak ayarlanmıştır. Deneyler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada YSA modellerinin oluşturulup test edilmesinde Matlab (2019b) yazılımından yararlanılmıştır. Genel olarak birçok karmaşık problemin çözümü için bir adet gizli katman yeterli olduğundan YSA modelleri oluşturulurken bir giriş katmanı, bir gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşan YSA mimarisi tercih edilmiştir. YSA’lar oluşturulurken gizli katmandaki nöron sayının belirlenmesinde genel olarak kabul edilen kesin bir kural yoktur. Ancak birkaç çalışmada bu sayının belirlenmesiyle ilgili ampirik yöntemler oluşturulmuştur (Heaton, 2015; Priddy ve Keller, 2005). Bu çalışmada YSA mimarileri oluşturulurken kayısı kurutma denemeleri verisi üzerinde ön çalışmalarla farklı nöron sayıları denenmiş ve kuruma hızı ve nem oranı değerlerini tahmin etmede gizli katmanda 5 nöron kullanımının daha fazla sayıda nöron kullanımından daha iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür. Böylelikle bu çalışmada oluşturulan tüm YSA mimarilerinde gizli katmandaki nöron sayısı olarak 5 değeri sabit tutulmuştur. Çalışmada kullanılan YSA mimarilerinden birine ait ilustrasyon Şekil 1’de görülmektedir. YSA performansını etkileyen bir diğer unsur transfer fonksiyonlarıdır. Oluşturulan YSA’ların çıktı katmanında lineer transfer fonksiyonu kullanılırken, gizli katmanda tanjant-sigmoid ve logaritmik-sigmoid transfer fonksiyonları ayrı ayrı denenmiştir. Bu transfer fonksiyonlarına ait eşitlikler aşağıda verilmiştir (Lertworasirikul ve Tipsuwan, 2008):



YSA’larda nöron ağırlıkları eğitim iterasyonları boyunca belirli bir öğrenme kuralına göre güncellenmektedir. Farklı öğrenme algoritmaları verinin kendine özgü yapısı nedeniyle farklı tahmin performansları ortaya koyabilirler. Bu çalışmada literatürde kullanımına oldukça sık rastlanan dört tanesi yani “Levenberg-Marquardt” (trainlm), “Bayesian regularization backpropagation” (trainbr), “Resilient Backpropagation” (trainrp) ve “Scaled Conjugate Gradient” (trainscg) seçilerek ayrı ayrı denenmiştir (Garoosiha ve ark., 2019). Çalışmada kuruma süresi ve kurutma yöntemi YSA’ya girdi olarak verilirken, ağın nem oranı ve kuruma hızını tahmin etmesi beklenmektedir. Ham deneme verileri yapay sinir ağında kullanılmadan önce MATLAB “mapminmax” fonksiyonu ile normalize edilmiştir. Her YSA denemesinde toplam kurutma denemesi verisinin %50’si ağın eğitimi için, %25’i eğitim iterasyonlarındaki doğrulamalar (validasyon) için, kalan %25’lik veri ise modelin tahmin başarısını ortaya koymak üzere test verisi olarak rasgele seçilerek kullanılmıştır. Gerçek ölçülen değerler ile modelin tahmini arasındaki yakınlık, regresyon için makine öğrenmesi uygulamalarında en çok kullanılan belirtme katsayısı (R2 ) ve hata terimleri (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)) ile değerlendirilmiştir (Bankole ve Ajila, 2013; Theocharides ve ark., 2018). Ayrıca MATLAB yazılımının eğitilen ve test edilen YSA’lar için ürettiği eğriler de bulgular kısmında rapor edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma Sıcak hava ile kayısı kurutmanın modellenmesi denemelerine ilişkin YSA modellerinin performansları

Sıcak hava ile kayısı kurutma verilerinin YSA ile modellenmesi çalışmaları kapsamında 8 adet farklı YSA modeli eğitilerek test verisi üzerinde tahmin performansları gözlemlenmiştir. Tüm verilerden rasgele seçilen %25’lik test verisi deneysel ve tahmin verileri Çizelge 1’de görülmektedir. Burada görülen tahmin değerleri denenen 8 farklı YSA modelinin en yüksek tahmin başarısını sağlayanına ait değerlerdir. Çizelge 2’de ise sıcak hava ile kayısı kuruma hızının tahminine ilişkin YSA modellerinin performansları verilmiştir. Çizelge 2’de MAPE değerlerinin “Tanımsız” olmasının nedeni test verisinde kuruma hızının sıfır olduğu verilerin de yer almasıdır. Bu deneme grubunda en yüksek R2 değerinin öğrenme algoritması olarak trainlm ve gizli katman transfer fonksiyonunun tanjant-sigmoid olduğu YSA modelinde elde edildiği görülmektedir. Ayrıca bu modelin RMSE hata değeri de (0,009512) oldukça düşüktür. Çizelgeler 1 ve 2 genel olarak değerlendirildiğinde sıcak hava ile kayısı kurutmanın YSA ile modellenmesinde yüksek bir tahmin başarısı sağlandığı söylenebilir.

tablo içeren bir resim

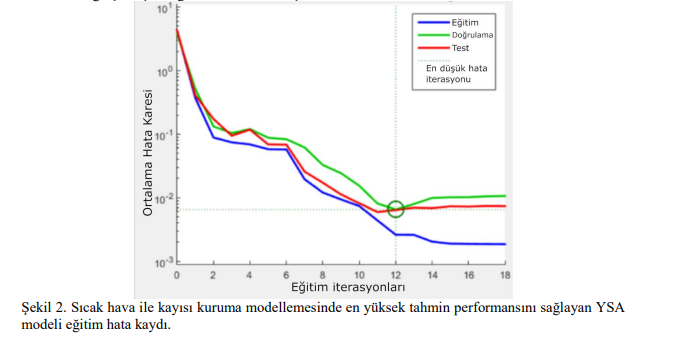
Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Çizelge 3’te sıcak hava ile kayısı kurumada nem tahminine ilişkin YSA modellerinin performansları verilmiştir. Kuruma hızında en yüksek tahmin performansını sağlayan YSA modelinin nem tahmininde de en yüksek R2 değerini (0,997221) sağladığı görülmektedir. Mükemmel tahmin başarısına oldukça yakın olan bu performans için RMSE değerinin oldukça düşük ve MAPE değerinin de %20’den az olduğu böylelikle modelin iyi tahmin sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır (Moreno ve ark., 2013).

tablo içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

YSA modelleri eğitilirken aşırı öğrenme (over-fitting) durumunun gerçekleşip gerçekleşmediğinin mutlaka kontrolünün yapılması gereklidir. Eğitim boyunca tutulan eğitim ve doğrulama setlerine ait hata kaydı gözlenerek bu kontrol gerçekleştirilebilir. Doğrulama ve test hata eğrilerinin eğitim iterasyonları boyunca birbirlerinden zıt yönlerde bir seyir izlemesi, istenmeyen bir durumdur ve YSA eğitiminin istenilen seviyede başarılamadığı anlamına gelmektedir. Şekil 2’de bu deneme grubunda en başarılı sonucu veren YSA eğitimine ait hata kayıt grafiği verilmiştir. YSA eğitimi 12. eğitim iterasyonunda tamamlanmıştır. Grafikte yeşil halka ile gösterilen bu iterasyonda, en düşük doğrulama hatası elde edilmiştir. YSA modelinin bu iterasyondaki hali kayıt edilerek test verisi üzerindeki performans denemeleri için kullanılmıştır. Grafikte doğrulama ve test hata vektörlerinin benzer bir seyir izlediği görülmektedir. Böylelikle bu YSA modelinin eğitimi sırasında aşırı öğrenme durumunun gerçekleşmediği sonucuna varılmıştır.



EHD ile kayısı kurutmanın modellenmesi denemelerine ilişkin YSA modellerinin performansları

EHD ile kayısı kurutma verisinin YSA ile modellenmesi çalışmaları kapsamında 8 adet farklı YSA modeli eğitilerek test verisi üzerinde tahmin performansları gözlemlenmiştir. Çizelge 4’de en yüksek tahmin başarısını sağlayan YSA modeli için %25’lik test verisi üzerinde deneysel ve tahmin değerleri verilmiştir. Çizelge 5’te bu deneme grubunda kuruma hızının tahminine yönelik denenen YSA modellerine ilişkin performans parametreleri görülmektedir. Değerler incelendiğinde tüm modeller için başarının yüksek olmadığı, ancak trainbr öğrenme algoritması ve logaritmik-sigmoid transfer fonksiyonu için kuruma hızı tahmininde belirtme katsayısı değerinin 0,876244 olarak elde edildiği görülmektedir. Ayrıca MAPE değerleri bu deneme grubunda bütün modeller için %20 ile %50 arasında bulunmuştur. Moreno ve ark. (2013)’e göre bu deneme grubunda en yüksek belirtme katsayısına sahip model “makul tahmin” sınıfındadır. Daha yüksek tahminleme başarılarının bu deneme grubunda elde edilememesi, kullanılabilir eğitim verisinin görece azlığı ile açıklanabilir.

tablo içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Çizelge 6’da EHD ile kayısı kurumada nem oranı tahminine ilişkin YSA modellerinin performansları verilmiştir. Nem oranı değeri trainlm öğrenme algoritması ile 0,99 değerinin üzerinde performanslar ile saptanabildiği görülmektedir. Tanjant-sigmoid fonksiyonu ile trainbr öğrenme algoritmasının kullanıldığı tahmin modelinin en yüksek başarıyı sağladığı saptanmıştır. Bu modelin belirtme katsayısı 1’e oldukça yakındır. RMSE (0,011) ve MAPE (%2,53) hata terimleri de oldukça düşük olarak bulunmuştur. Ayrıca trainlm öğrenme algoritmasıyla oluşturulan tahmin modelleriyle de yüksek belirtme katsayıları elde edilmesine ragmen bu modeller için hata terimleri (RMSE ve MAPE) daha yüksektir.

EHD-sıcak hava kombinasyonu ile kayısı kurutmanın modellenmesi denemelerine ilişkin YSA modellerinin performansları

EHD-sıcak hava kombinasyonu ile kayısı kurutma verisinin YSA ile modellenmesi çalışmaları kapsamında 8 adet farklı YSA modeli eğitilerek test verisi üzerinde tahmin performansları gözlemlenmiştir. Çizelge 7’de test verisi deneysel ve tahmin değerleri görülmektedir. Bu deneme grubunda en yüksek tahmin başarısını (0,964924) sağlayan YSA modeli trainbr/tanjant-sigmoid modeli olmuştur (Çizelge 8). RMSE hata değeri de oldukça düşük olarak hesaplanmıştır. Bu model MAPE değerine göre de (%10<MAPE<%20) iyi tahmin modeli kategorisindedir (Moreno ve ark., 2013). Diğer YSA modellerinin çoğu da yüksek seviyelerde tahmin başarısı ortaya koymuştur. Kuruma hızının bu deneme grubunda başarıyla tahmin edilebildiği söylenebilir.

tablo içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Çizelge 9’da EHD-sıcak hava kombinasyonu ile kayısı kurutmada nem oranı tahminine ilişkin YSA modellerinin performansları görülmektedir. EHD-sıcak hava kombinasyonu için en yüksek nem oranı tahmin başarısı (0,998291) benzer şekilde trainbr/tanjant -sigmoid modeli ile elde edilmiştir. Diğer modeller de 0,90 değerinin üzerinde tahmin başarıları göstermiştir. Bu tahmin modeli için RMSE ve MAPE değerleri sırasıyla yaklaşık 0,008 ve %8,58 olarak bulunmuştur. Bu deneme grubu için YSA yöntemi kullanarak ile yüksek bir tahmin başarısı elde edildiği söylenebilir.

tablo içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Literatürde kayısının elektrohidrodinamik yöntemlerle kurutulması ve bu süreçlerin YSA ile modellenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma olması, araştırma bulgularının birebir adil bir karşılaştırma ile yorumlanmasını güçleştirmektedir. Ancak, yine de tartışılmaya değer bazı bulgulara değinmekte yarar vardır. Khazaei ve ark. (2013) sıcak hava ile üzüm kurutma denemelerinde ürün nem oranının YSA ile test verisi üzerinde yüksek bir doğruluk (R2 =0,99952) ile modelleyebilmişlerdir. Motevali ve ark. (2013) benzer şekilde dereotu kurutulmasında YSA esaslı modelleme çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar kuruma oranı ve ürün nemi tahmininde determinasyon katsayısını 0,9990 olarak bildirmişlerdir. Ayva dilimlerinin kurutulmasının YSA ile modellenmesine yönelik gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise determinasyon katsayısı 0,99 olarak bildirilmiştir (Chasiotis ve ark., 2019). Kayısının farklı yöntemlerle kurutulduğu bu çalışmada literatürde bildirilen tahmin performanslarına benzer başarı değerleri elde edilmiştir. Bu durum, tarım ürünlerinin kurutulma süreçlerinin YSA esaslı olarak modellenebilmesi potansiyelini desteklemektedir.

**Sonuç**

Bu çalışmada kayısının geleneksel olmayan elektrohidrodinamik kurutma yöntemiyle kurutulmasında kuruma hızı ve nem parametrelerinin YSA ile modellenmesi yapılmıştır. Ürün farklı voltaj seviyeleri (10 ve 20 kV), sıcaklık (40 ve 50 °C) ve hava hızı (1,5 ve 2,5 m/s) kullanılan EHDtel, EHD-iğne ve EHD-sıcak hava kombinasyon yöntemleri ile kurutularak YSA modellemesi için gerekli veri elde edilmiştir. Farklı öğrenme algoritmaları ve transfer fonksiyonları kullanarak oluşturulan YSA modelleri eğitim verisi ile eğitilerek test verisi üzerinde tahmin performansları ortaya konulmuştur. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde kuruma hızı ve nem oranı değerlerinin tahmini için en yüksek model başarıları sırasıyla 0,9557 ve 0,9972 olarak elde edilmiştir. EHD yöntemi ile ise kuruma hızı ve nem için en yüksek tahmin başarıları sırasıyla 0,8762 ve 0,9979’dur. EHD-sıcak hava kombinasyonu ile kayısı kurutmada kuruma hızı ve nem tahminine ilişkin YSA modellerinin performansları da 0,96’dan yüksek değerler olarak saptanmıştır. Araştırma bulguları EHD yöntemi ile tarımsal ürün kurutmanın YSA esaslı yöntemlerle modellenebilmesi bakımından umut vericidir. Gelecek çalışmalarda farklı ürünlerin geleneksel olmayan yöntemlerle kurutulmasında farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin modelleme performanslarının ortaya konulması önerilmektedir.

**Kaynakça**

<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1090343>

**Ömer Sait Yorulmaz**

**190301025**