



## Kurutma Modelleri için ATATEK-Drying Yazılımının Geliştirilmesi

Ahmet Süslü<sup>1,\*</sup> , Recep Külcü<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, PhD., Isparta, Türkiye.

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): A. Süslü, e-mail (e-posta): [mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)

### ÖZET

Kurutma, ürünler içerisindeki suyun üründen uzaklaştırılması hedefiyle gerçekleştirilen bir kütle ve enerji transferi işlemidir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasının hedefleri, raf ömrünün uzatılması, besin değerlerinin korunması ve ekonomik değeri yüksek yeni ürünler ve hammaddelerin üretilmesi olarak sıralanabilir. Kurutma işleminde kullanılan teknik ve ürünün özelliklerine bağlı olarak zamanla değişen seviyelerde su alımı işlemi gerçekleşmektedir. Bu doğrultuda, ürünlerin nem seviyesinde zamana bağlı bir değişim ortaya çıkmaktadır.

Araştırmacılar, kurutma sürecinde nem değişimini tahmin etmek için kurutma parametrelerini kullanarak modeller geliştirmekte ve bu modellerin farklı kurutma koşulları ve ürünler için iterasyon yoluyla model sabitlerini hesaplamaktadırlar. Sabitleri hesaplanan kurutma tahmin modelleri, üreticilerin aynı koşullarda kurutma yapmaları durumunda ürünün nem içeriği hakkında ölçüm yapmadan bilgi sahibi olmalarını sağlamaktadır. Araştırmacılar, kurutma verilerinin modellemesinde çeşitli yazılımlar (MATLAB, Excel Solver, SigmaPlot, vb.) kullanmaktadır. Ancak, bu yazılımların kurutma prosesine özel tasarlanmamış olması birçok soruna neden olmaktadır. Bu bağlamda, ATATEK (Akıllı Tarım Teknolojileri) çalışma grubu tarafından ATATEK-Drying yazılımı geliştirilmiştir. Yazılım içerisine kurutma verileri aktarıldığında, kütüphanesinde yer alan 14 modeli farklı iterasyon teknikleriyle çözerek model sabitlerini hesaplamaktadır. Daha sonra gerçek verilerle istatistiksel karşılaştırmalar yaparak en başarılı modeli raporlamaktadır.

Bu çalışmada, makale yazarları tarafından geliştirilen ATATEK-Drying yazılımının çalışma ilkeleri, arayüzü ve modelleme başarısı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ATATEK-Drying, kurutma modelleri, model çözücü

## Development of ATATEK-Drying Software for Drying Models

### ABSTRACT

Drying is a mass and energy transfer process aimed at removing moisture from products. The primary objectives of drying agricultural products are to extend shelf life, preserve nutritional value, and produce new high-value products and raw materials. Depending on the technique used and the properties of the product, water absorption rates change over time, leading to a time-dependent variation in the moisture levels of products.

Researchers develop models using drying parameters to predict moisture changes during drying processes and calculate model constants through iterative methods for different drying conditions and products. These calibrated drying prediction models enable producers to gain insights into the moisture content of products without measurements under identical drying conditions. Various software tools, including MATLAB, Excel Solver, and SigmaPlot, are employed for modeling drying data; however, these general-purpose software programs are not specifically designed for drying processes, leading to multiple challenges. In this context, the ATATEK (Smart Agricultural Technologies) working group has developed the ATATEK-Drying software. When drying data is input, the software calculates model constants by solving a library of 14 models using different iteration techniques. It then performs statistical comparisons with real data to identify and report the most successful model.

This study evaluates the operational principles, interface, and modeling accuracy of the ATATEK-Drying software developed by the authors.

**Keywords:** ATATEK-Drying, drying models, model solver

---

### Makale Bilgisi / Article Info

Alınış tarihi  
*Received date* : 07.11.2024

Düzeltilme tarihi  
*Revised date* : 20.11.2024

Kabul tarihi  
*Accepted date* : 23.11.2024

---

Atıf için  
*How to Cite* Süslü, A. ve Külcü, R. (2024). "Kurutma Modelleri için ATATEK-Drying Yazılımının Geliştirilmesi", *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 10(1), 2024: 51-61.

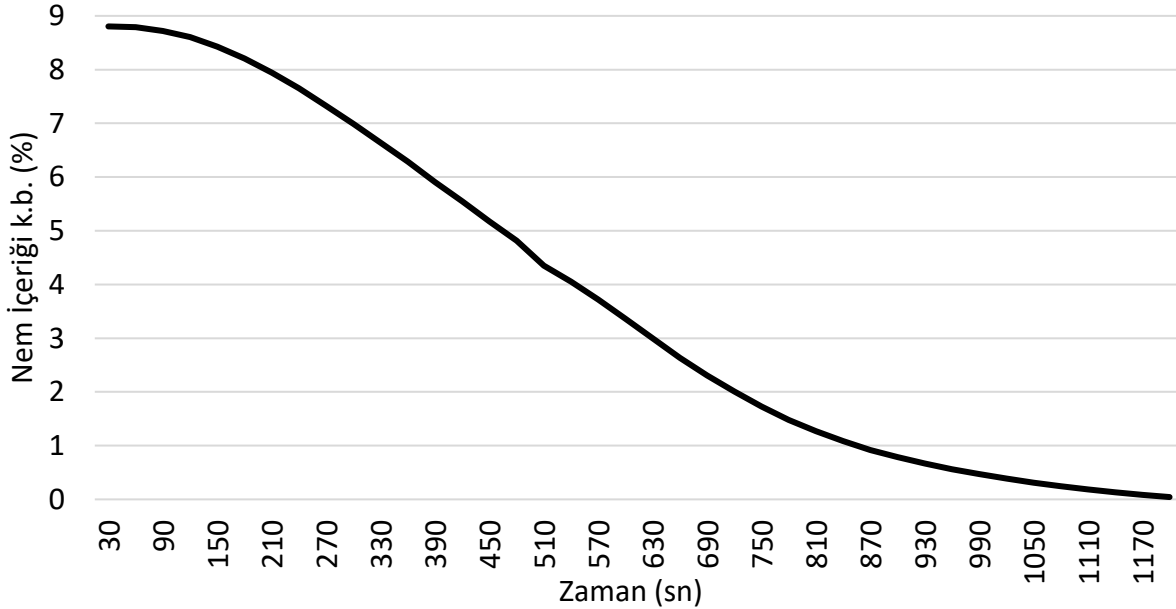
---

## 1. GİRİŞ

Kurutma bir ürün içerisindeki suyun bir dizi ısı ve kütle transferi işlemi sonucunda uzaklaştırılması işlemi ifade etmektedir. Tarım ve endüstriyel işlemlerde çok farklı ürünler kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu bağlamda; ahşap kurutmada tarımsal ürünlerin kurutulmasına kadar çok geniş bir kullanım alanı olduğu söylenebilir. Tarımsal ürünlerin kurutulması; ürünlerin raf ömürlerinin arttırılması, ekonomik değeri yüksek yeni ürünlerin elde edilmesi ve tarıma dayalı bazı endüstrilerin hammadde ihtiyaçlarının karşılanması gibi amaçlarla gerçekleştirilebilmektedir.

Kurutma, kullanılacak ürünün karakteristik özellikleri, teknik ve ekonomik koşullara bağlı olarak farklı tekniklerle gerçekleştirilebilmektedir. Temel ilkesi; ürün ve ortamın buhar basınçları arasında fark yaratılmasına bağlı olarak ürünün içerisindeki suyun dışarıya alınmasıdır. Bu bağlamda basınç ve sıcaklık değişkenleri üzerinde yapılan ayarlamalarla işlem gerçekleştirilebilir. Örneğin dondurarak vakum ortamında kurutma yapılabildiği gibi, mikrodalga yoluyla ürün içerisindeki suyun ısıtılması veya sıcak hava uygulayarak ürün içerisindeki suyun havaya aktarılması gibi ilkeler kullanılabilir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında geleneksel yöntemler güneş altında sererek veya asarak kurutma yaparken, modern kurutma sistemlerinde mikrodalga, süblimasyon kurutma ve tambur sistemlerinde kurutma gibi teknolojik cihazlar kullanılabilir.

Kurutma sistemlerinde kullanılan teknik ve ürün özelliklerine bağlı olarak üründe zamana bağlı su kaybı gerçekleşmektedir. Kullanılan teknik ve ürünün karakteristik özellikleri zamana bağlı su kaybının değişim hızını etkilemektedir. Ancak bütün kurutma işlemlerinde karakteristik olarak benzer bir kuruma eğrisinin ortaya çıktığı söylenebilir. Şekil 1’de kopya biberin mikrodalga ile kurutulmasında  $5.4 \text{ W.g}^{-1}$  mikrodalga gücü yoğunluğunda ürünün kuru baz nem değerindeki azalmanın zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1. Ürünün kuru baz nem oranındaki değişim

Kurutma çalışmalarında sürecin herhangi bir anında üründen ayrılabilir nem oranını tahmin edebilmek için MR (ayrılabilir nem oranı) parametresi hesaplanmaktadır. Uygulanan modellerde MR parametresinin zamansal değişimi tahminlenmektedir. MR aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır. Birinci eşitlikteki  $M_e$  denge anındaki nem içeriğidir ve çok küçük olduğundan ihmal edilerek, 2 numaralı eşitlik kullanılır. Bu eşitlikler MR ayrılabilir nem oranı,  $M_t$  t anındaki nem oranını ve  $M_0$  başlangıç nem oranını ifade eder (Ünal vd., 2024).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

Şekil 2’de kırmızı biberin kurutulması örneği için hesaplanan MR değerlerinin zaman göre değişimi gösterilmiştir. Kurutma modelleri Şekil 2’de eğriyi oluşturan her ölçüm noktasını tahminleyerek, deneme yapılmadan aynı koşullarda yapılan kurutma işlemleri için değer tahmini yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. Ayrılabilir nem içerisindeki değişim

Ancak, kurutma işleminin ve ürünün karakteristiklerine bağlı olarak MR değerinin zamana bağlı değişimi farklı profiller izlemektedir. Bu nedenle farklı matematiksel modeller kullanarak tahminleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda kurutma işlemlerinde kullanılan tahmin modelleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kurutma işleminde MR değerinin tahminlenmesinde kullanılan modeller

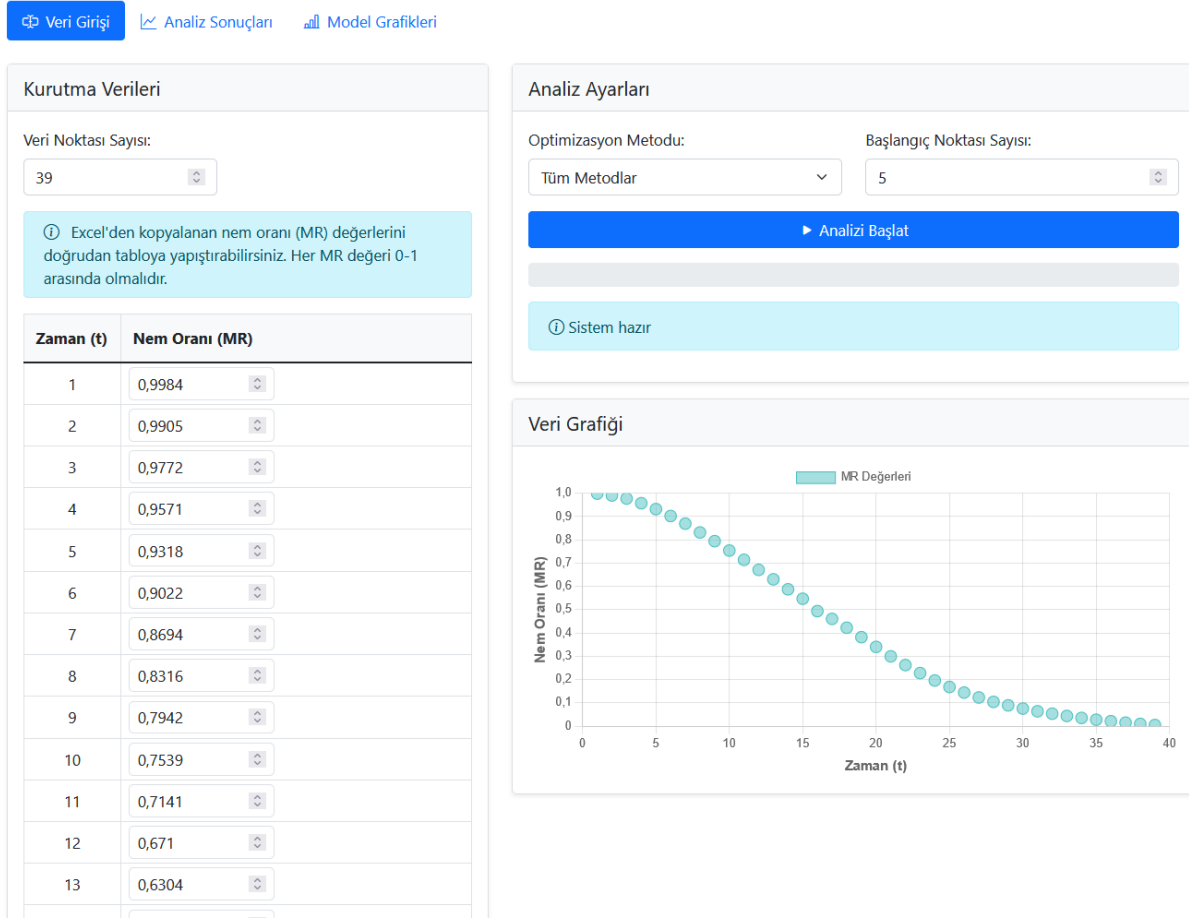
Model No	Model Adı	Matematiksel Formül	Kaynak
1	Newton	$MR = \exp(-c_1 t)$	Lewis (1921)
2	Page	$MR = \exp(-c_1 t^{c_2})$	Page (1949)
3	Logarithmic	$MR = c_1 \exp(-c_2 t) + c_3$	Yaldız ve Ertekin (2001)
4	Two Term	$MR = \exp(-c_1 t) + \exp(-c_2 t)$	Henderson (1974)
5	Verma	$MR = c_1 \exp(-c_2 t) + (1 - c_1) \exp(-c_3 t)$	Verma vd. (1985)
6	Midilli	$MR = c_1 \exp(-c_2 t^{c_3}) + c_4 t$	Midilli vd. (2002)
7	Henderson-Pabis	$MR = c_1 \exp(-c_2 t)$	Henderson ve Pabis (1961)
8	Otsura	$MR = 1 - \exp(-(c_1 t)^{c_2})$	Otsura vd. (1975)
9	Diffusion	$MR = c_1 \exp(-c_2 t) + (1 - c_1) \exp(-c_2 c_3 t)$	Kassem (1998)
10	Jena-Das	$MR = c_1 \exp(-c_2 t + c_3 \sqrt{t}) + c_4$	Jena ve Das (2007)
11	Demir	$MR = c_1 \exp(-c_2 t)^{c_3} + c_4$	Demir vd. (2007)
12	Alibaş	$MR = c_1 \exp(-c_2 t^{c_3} + c_4 t) + c_5$	Alibaş (2012)
13	Kulcu	$MR = \frac{c_1^{c_2} \exp(-c_3 t^{c_4})}{c_5^t} + c_6$	Külcü vd. (2024)
14	AMD	$MR = c_1 \exp(-c_2 t^{c_3}) (1 + c_4 \sin(c_5 t)) + c_6 (1 - \exp(-c_7 \sqrt{t}))$	Bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. ATATEK-Drying Programının Yazılımsal Arkaplanı

ATATEK-Drying programı, PHP dili kullanılarak web tabanlı olarak geliştirilmiş olup şu an için yerel Apache sunucusunda (localhost) çalışmaktadır. Program ilerleyen süreçte internet üzerinden erişime açılacak şekilde planlanmıştır. Program iterasyon yoluyla model katsayılarını hesaplamakta ve modellerin RMSE ve R<sup>2</sup> parametrelerini kullanarak model başarısını belirlemektedir.

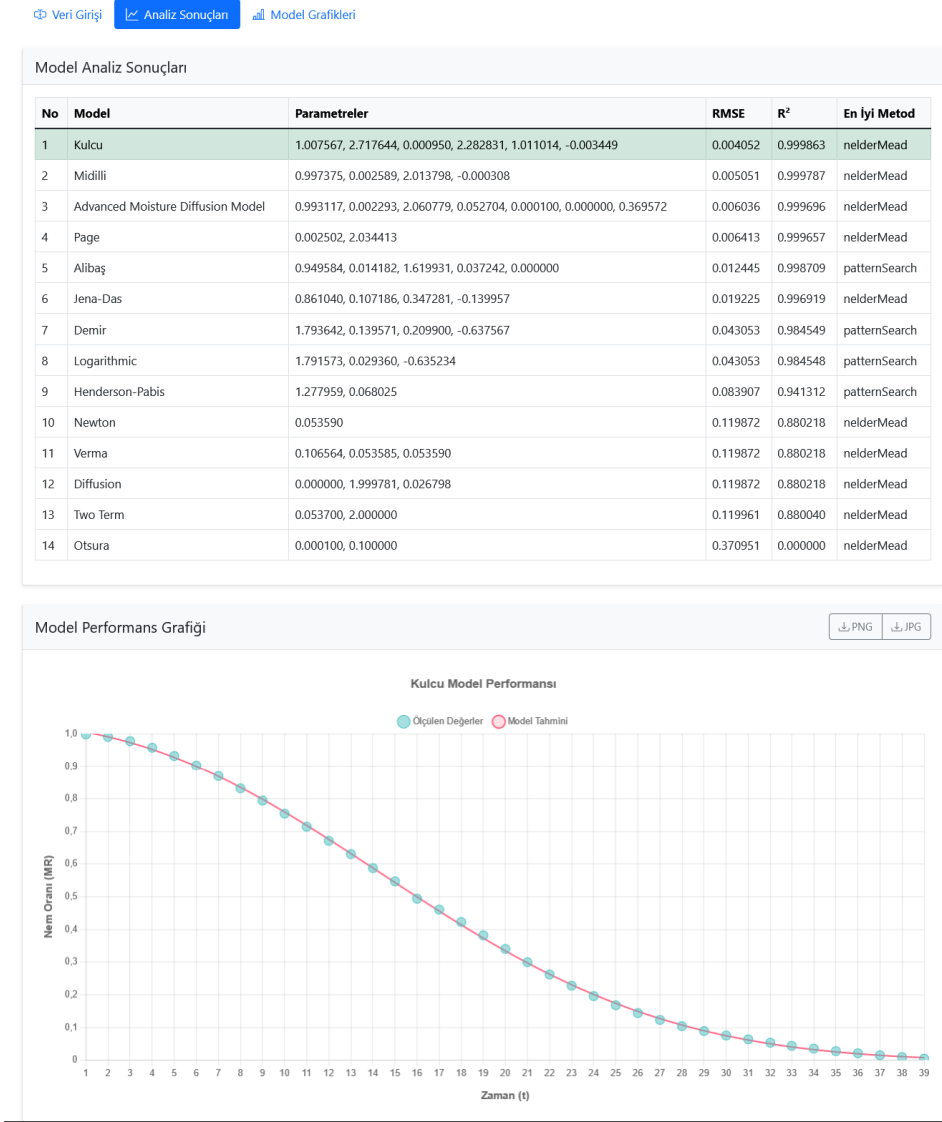
Şekil 3'de ATATEK-Drying programının kurutma verisi giriş sayfası görülmektedir. Sayfanın sol kısmındaki sütunda öncelikle girilecek veri noktası sayısı seçilmelidir. Kırmızı biber kurutulması 39 adet veri içerdiğinden burada 39 veri noktası seçilmiştir. Bu seçim sonrasında alt kısımda veri hücreleri 39'a kadar açılmaktadır. Ardından veri işleme programı (örn Microsoft Excel) den kopyalanan veriler bu hücrelere yapıştırılabilmektedir. Veriler sisteme aktarıldıktan sonra sağ tarafta otomatik olarak grafik oluşturulmaktadır. Grafiğin üst kısmında optimizasyonda kullanılan metotlar seçilebilmektedir. Yazılımın birinci versiyonunda 14 model ve 3 adet çözüm yöntemi kullanılabilir. 14 numaralı "Advanced Moisture Diffusion" modeli program geliştirme çalışması kapsamında geliştirilmiştir. Mavi vurgulu analizi başlat tuşuna basıldığında sistem modellerin optimizasyonunu gerçekleştirmektedir.



Şekil 3. ATATEK-Drying programının kurutma verisi ekleme sayfası

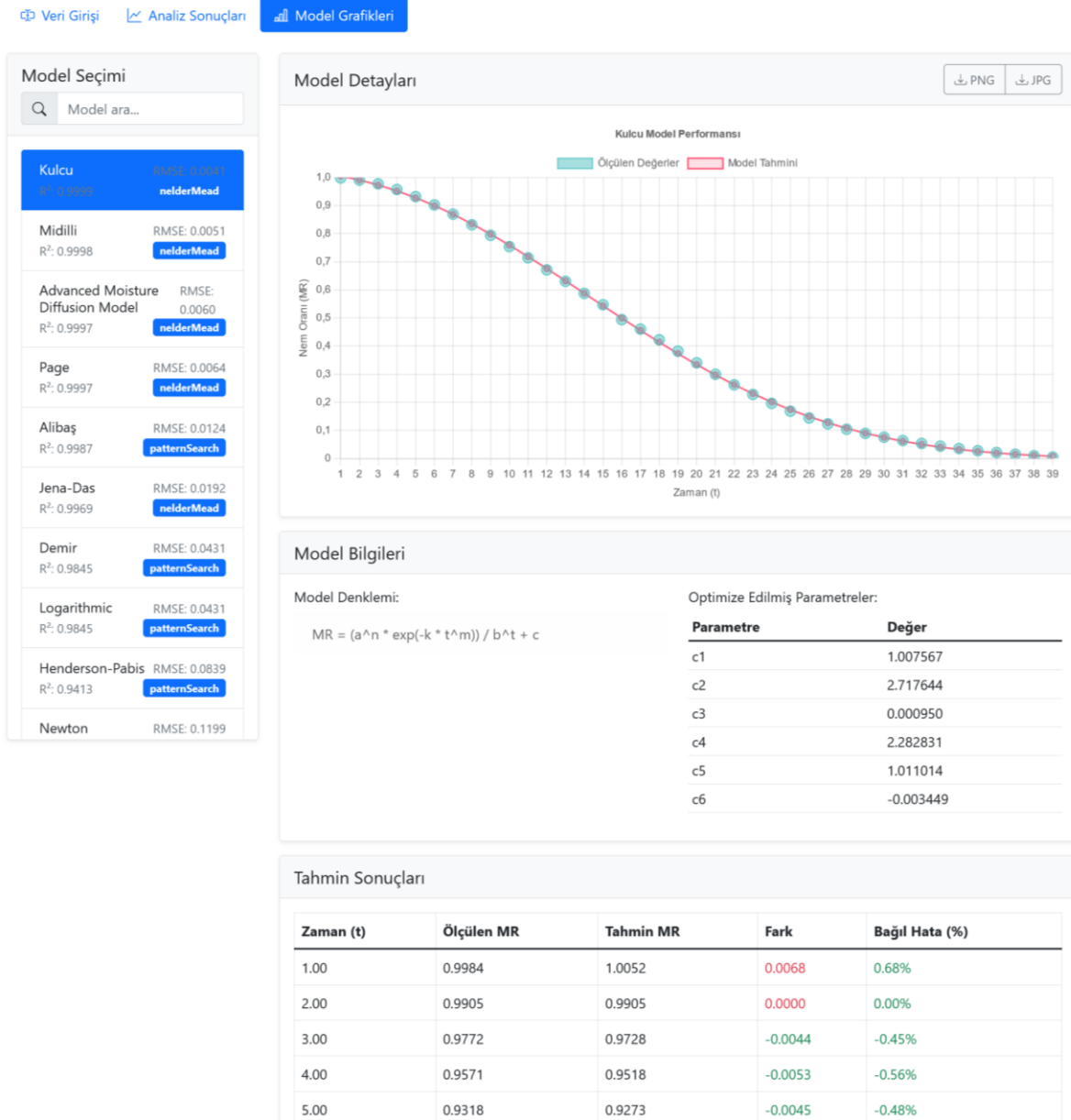
Model optimizasyonları gerçekleştirildikten sonra analiz sonuçları sekmesine geçilmektedir. Şekil 4'de gösterilen bu sekmede modelleme işlemi sonucunda elde edilen parametreler ve istatistiksel değerlendirmeler sunulmaktadır. Parametreler kısmında virgülle ayrılarak verilen sayılar modelde kullanılan sabitlerin değerlerini göstermektedir. RMSE ve  $R^2$  değerleri modellerin hata ve korelasyon parametreleridir ve RMSE değerinin düşük  $R^2$  değerinin yüksek olması modelin tahmin başarısının da yüksek olduğu ifade etmektedir. Tablonun sonunda ise modellerin her biri için uygulanan üç farklı çözüm yönteminden hangisinin daha başarılı sonuç ürettiği belirtilmiştir.

Programaya yüklenen kırmızı biber kurutma verileri modellendiğinde, bu veriler için en doğru tahminleri Kulcu modeli tarafından gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Modelin RMSE değeri 0.004052 ve  $R^2$  değeri 0.999863 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Programın analiz sonuçları sayfası

Şekil 5'de programın model grafikleri sayfası gösterilmektedir. Bu sayfanın sol kısmında optimizasyonu yapılan model seçildiğinde sağ tarafta bu modele ait tahmin verileri ve ölçülen verilere ait grafik oluşturulmaktadır. Bu grafikleri PNG (transparan zemin) ve JPG olarak kaydedilebilecek butonlar bulunmaktadır. Örnekte tahmin ve ölçülen değerlerin büyük oranda birbirine örtüştüğü görülmektedir. Ayrıca grafiğin alt kısmında modelin matematiksel ifadesi ve iterasyon işlemi sonucunda hesaplanan model katsayılarının değerleri gösterilmektedir. Tahmin sonuçları kısmında ise tüm veri noktaları için, ölçülen ve tahmin edilen değerler ile bu değerlerin farkı ile bağlı hata değerleri sunulmaktadır.



Şekil 5. Programın model grafikleri sayfası

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada kurutma işleminde, kuruma sürecinin herhangi bir anında ürünün MR (Ayrılabilir Nem Oranı) parametresinin tahminlenmesinde kullanılan matematiksel modellerin iterasyon yoluyla çözümlenmesi için geliştirilmiş ATATEK-Drying programının yapısı ve işleyişi anlatılmıştır. Program kurutma modellemesine özel tasarlanmış ve çalışma içerisinde yapılan örnekte kırmızı biber kurutma verileri için modelleme işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmiştir. Bu bağlamda birden fazla programla yapılan işlemleri tek bir yazılım altına toplamayı başarmıştır. Ayrıca yazılımın yerli imkanlarla hazırlanmış olmasının, alternatif programlar için yurt dışına kaynak transferini azaltıcı bir etkisinin olması beklenmektedir.



## KAYNAKLAR

- Alibaş, İ. (2012). Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters. *Journal of Agricultural Sciences*, 18, 43–53.
- Demir, V., Günhan, T., & Yağcıoğlu, A. K. (2007). Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering*, 98(1), 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.06.011>
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169–174.
- Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17, 1167–1172.
- Jena, S., & Das, H. (2007). Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.043>
- Kassem, A. S. (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. *13th International Congress on Agricultural Engineering*, vol. 6, Morocco, 2–6 February.
- Külcü, R., Karaaslan, S., & Varol, H. T. (2024). Microwave-assisted foam mat drying of pumpkin pulp and development of a new drying model. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 11(3), 81–94.
- Lewis, W. K. (1921). The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13, 427–432.
- Midilli, A., Küçük, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>
- Otsura, K., Murata, S., & Chuma, Y. (1975). An empirical equation for thin layer drying of rough rice with heated air. *Journal of Japanese Agricultural Machinery*, 37, 331–338.
- Page, G. (1949). Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layer. (Master's thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA).
- Ünal, N., Süslü, A., Külcü, R., Dinçer, C., Yavuzlar, E. E., & Ertekin, C. (2024). Convective drying of chokeberry cv. "Viking" and modeling of drying kinetics. *Gıda*, 49(5), 847–862.
- Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 28, 296–301.
- Yaldız, O., & Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19, 583–597. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **Introduction and Research Questions & Purpose**

Drying is a fundamental process in agricultural and industrial applications that involves removing moisture from products through heat and mass transfer operations. While various software tools like MATLAB, Excel Solver, and SigmaPlot are currently used for modeling drying data, these general-purpose programs present challenges as they are not specifically designed for drying processes. This research addresses this gap by introducing ATATEK-Drying, a specialized software developed by the ATATEK (Smart Agricultural Technologies) working group. The primary purpose of this study is to evaluate and present the operational principles, interface design, and modeling capabilities of the ATATEK-Drying software, which has been specifically developed to analyze and model agricultural drying processes.

### **Methodology**

The ATATEK-Drying software was developed using PHP language as a web-based application, currently operating on a local Apache server (localhost) with plans for future internet accessibility. The software implements an iterative approach to calculate model coefficients and determines model success using RMSE and  $R^2$  parameters. The program features a data input interface allowing users to specify the number of data points and input drying data. It includes implementation of 14 different drying models, including traditional models and a newly developed "Advanced Moisture Diffusion" model, along with three different solution methods for optimization. The software provides automatic graphical representation of input data, statistical analysis capabilities for model evaluation, and export functionality for graphs and results. The software's effectiveness was demonstrated through a case study involving red pepper drying data, which was used to test and validate the modeling capabilities of the program.

### **Results and Conclusions**

The study demonstrated that ATATEK-Drying successfully accomplishes its intended purpose of providing a specialized tool for drying process modeling. The software effectively consolidated multiple modeling operations that previously required several different programs into a single, specialized platform. Testing with red pepper drying data showed that the Kulcu model provided the most accurate predictions, achieving an RMSE value of 0.004052 and an  $R^2$  value of 0.999863. The program successfully generates comprehensive analysis outputs, including model parameters and constants, statistical evaluations through RMSE and  $R^2$  values, comparative analysis of different solution methods, visual representations of measured vs. predicted values, and detailed error analysis for each data point. The development of this locally-produced software is expected to reduce dependency on foreign software solutions, potentially decreasing international resource transfer while providing a specialized tool for drying process modeling in agricultural applications. The successful implementation and testing of ATATEK-Drying demonstrates its potential as a valuable tool for researchers and practitioners in the field of agricultural drying processes.

## Yazarların Biyografisi



### Ahmet SÜSLÜ

Tarımsal teknolojiler ve otomasyon sistemleri alanında uzmanlaşmış 1985 Konya doğumlu araştırmacı ve girişimci, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde başladığı akademik eğitimini 2024 yılında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde doktora derecesiyle tamamlamıştır. Sera otomasyonu, biyogaz üretimi ve kompostlaştırma sistemleri alanlarında araştırma projelerinde görev almış, 2012 yılında kazandığı Teknogirişim Sermaye Desteği ile girişimcilik deneyimi edinmiştir. Eğitimlik deneyimi olan ve ulusal ve uluslararası destekli projelerde görev alan uzman, sürdürülebilir tarım uygulamaları, yazılım geliştirme ve yenilenebilir enerji kaynakları alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

#### İletişim

[mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-4016-589X>



### Recep KÜLCÜ

Tarım Makinaları alanında Lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerine sahiptir. Tarım alanındaki çalışmalarını; çevre dostu teknolojiler, kompost ve biyogaz sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine gerçekleştirmektedir. Recep KÜLCÜ Felsefe alanında da lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerine sahiptir. Felsefe alanında; bilim tarihi, etik, tarım ve çevre etiği konularında akademik çalışmalar yapmaktadır. Halen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

#### İletişim

[recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-7185-6514>