



# ZİRAAT

## MÜHENDİSLİĞİ

TÜRK ZİRAAT YÜKSEK MÜHENDİSLERİ BİRLİĞİ HAKEMLİ YAYIN ORGANIDIR

Yıl: 2024 Sayı: 379

ISSN 1301-0891 | e-ISSN 2651-4494





Sayı : 379

Yıl : 2024

ISSN - 1301 - 0891  
e-ISSN - 2651-4494

www.tzymb.org.tr  
http://dergipark.org.tr/zm

Yayın Türü:  
Yerel Süreli Yayın

SAHİBİ  
Türk Ziraat Yüksek Mühendisleri Birliği  
Yönetim Kurulu Adına

GENEL BAŞKAN  
Mehmet Ali ÜNAL

GENEL YAYIN YÖNETMENİ VE  
YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ  
Erol Gürkan İŞİN

BİLİMSEL YAYIN KOORDİNATÖRÜ  
Prof.Dr. Hasan H.ATAR

ALAN-İSTATİSTİK-DİL EDITÖRLERİ,  
YARDIMCI EDITÖRLER  
Mahmut Reşat SOBA, Tuğçe Ayşe KARDEŞ,  
Zafer BEŞTAŞ, Ahsen ERTEM, Ahmet AYGÜN

GRAFİK TASARIM  
Nurhan AY

İDARE VE YAZIŞMA ADRESİ  
Sakarya Caddesi No: 30/2  
Kızılay / ANKARA  
TEL: 0.312 433 59 81  
Faks : 0.312 433 64 11

Ziraat Mühendisliği Dergisi Basın İlan  
Kurumu'nun 14.10.1998 Tarih ve 2358 sayılı  
kararı ile "RESMİ İLAN VERİLECEK  
DERGİLER"  
listesine alınmıştır.

Dergimiz  
http://dergipark.org.tr/zm  
adresi üzerinden  
elektronik olarak yayınlanmaktadır.

## İÇİNDEKİLER

### 4 Tarımda Yapay ve Ek Aydınlatma İçin Kullanılan Armatürlerin Teknik Analizi

Temuçin Göktürk SEYHAN, Sinem SEYHAN

Derleme

### 16 Material and Airfoil-Based Wind Dynamics Analysis for Fixed-Wing Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Abdullah BEYAZ, Şenay KARABIYIK, Mehmet Ali SARIDAŞ

Research Article

### 25 Stress Analysis of Modern Leaf Springs Made by Different Materials for New Agricultural Trolleys

Abdullah BEYAZ, Veysel GÜL

Research Article

### 35 Tane İriliğine Göre Sınıflandırılmış Buğday Çeşitlerine Ait Bazı Kalite Parametrelerinin Glutopik Cihazıyla Değerlendirilmesi

Berat DEMİR, Mehmet ŞAHİN, Aysun GÖÇMEN AKACIK,  
Seydi AYDOĞAN, Sümeyra HAMZAOĞLU, Sadi GÜR, Çiğdem  
MECİTOĞLU GÜÇBİLMEZ, Musa TÜRKÖZ

Araştırma Makalesi

## TÜRK ZİRAAT YÜKSEK MÜHENDİSLERİ BİRLİĞİ YÖNETİM KURULU

Genel Başkan  
**Mehmet Ali ÜNAL**

Genel Başkan Yardımcısı  
**Yavuz ER**

Genel Sekreter  
**Engin ULAŞ**

Genel Muhasip  
**M. Murat TUNCER**

Genel Yayın Yönetmeni  
**Erol Gürkan İŞİN**

Üyeler  
**Süleyman KURT, Zafer ÇAVUŞ, Osman  
KABACAOĞLU, Ahmet DALMIŞ**

Adres  
Sakarya Caddesi No: 30/2  
Yenişehir / ANKARA

TEL: 0.312 433 59 81  
Faks: 0.312 433 64 11  
www.tzymb.org.tr

## TÜRK ZİRAAT YÜKSEK MÜHENDİSLERİ BİRLİĞİ ŞUBELERİ

ADANA:	Celal KARA
Tel .....	0 532 230 11 19
ANTALYA:	C. Afşin YILMAZ
Tel .....	0 532 594 93 39
İSTANBUL:	Önder ÖZDEM
İZMİR:	Fuat AKAYDIN
Tel .....	0 532 549 35 44
KONYA:	Prof. Dr. Seydi Ahmet BAĞCI
SAMSUN:	Prof. Dr. Ferat UZUN
ŞANLIURFA:	Rüstem COŞKUN
Tel .....	0 414-313 12 23

## TÜRK ZİRAAT MÜHENDİSLERİ BİRLİĞİ VAKFI

Başkan: Özbay TAŞKIN  
Başkan Yardımcısı: Nevzat USLUCAN  
Muhasip: D. Murat AKTAŞ  
Üyeler: Mehmet Ali ÜNAL  
Fikri KAYA  
Mustafa DOYUK  
Ünal ALTIPARMAK

Adres:  
Sakarya Caddesi No: 30/3  
Kızılay / ANKARA  
Tel: 0.312 433 69 09 - 435 46 42  
Faks: 0.312 435 41 11

## Bilimsel Danışma Kurulu

Prof. Dr. Neşet ARSLAN  
Prof. Dr. Orhan ARSLAN  
Prof. Dr. Rasih DEMİRCİ  
Prof. Dr. Celal ER  
Prof. Dr. Orhan KAVUNCU  
Prof. Dr. Mevlüt MÜLAYİM  
Prof. Dr. Ferhat ODABAŞ  
Prof. Dr. Kudret SAYLAM

## Bilimsel Yayın Kurulu

Prof. Dr. Mustafa SÜRME  
Adnan Menderes Üniversitesi  
Prof. Dr. Burhan ÖZKAN  
Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet BAYANER  
Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz SAYIN  
Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Murat AKKURT  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Aziz KARAKAYA  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Aziz TEKİN  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Nevzat ARTIK  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Mükerrrem ASLAN  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Ebru ŞENEL  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÇOLAK  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Dilek BAŞALMA  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Gürsel DELLAL  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün BAYRAKTAR  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Rıfat YALÇIN  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Sadık USTA  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Zahide KOCABAŞ  
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ  
Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Ali KOÇ  
Eskişehir Osmangazi Üniv.

Prof. Dr. İzzet KADIOĞLU  
Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. İzzet AÇAR  
Harran Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail AKYOL  
K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM  
K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet AYGÜN  
Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Musa SARICA  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Prof. Dr. Celal TUNCER  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Prof. Dr. Fatih YILDIZ  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN  
Ordu Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet TAMKOÇ  
Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Alp Önder YILDIZ  
Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Ayhan ÖZTÜRK  
Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT  
Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÖNDER  
Selçuk Üniversitesi


# Tarımda Yapay ve Ek Aydınlatma İçin Kullanılan Armatürlerin Teknik Analizi

## Technical Analysis of Light Fixtures Used for Artificial and Supplemental Lighting

### Sorumlu Yazar

Temuçin Göktürk SEYHAN<sup>1</sup>


seyhan@ankara.edu.tr

 0000-0003-4622-6059

### Yazar

Sinem SEYHAN<sup>2</sup>

sinem.seyhan@ankara.edu.tr

 0000-0002-2252-7335

### ÖZET

Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için su, karbondioksit, oksijen, besin maddeleri, sıcaklık ve ışık gibi çeşitli gereksinimleri bulunmaktadır. Bu ihtiyaçlar açıkta yetiştiricilikte doğal olarak sağlanmakta olup sera veya dikey tarım gibi sistemlerde doğayı taklit ederek bir kısmı veya tamamı yapay olarak sağlanmaktadır. Fotosentezde en yüksek verimi alabilmek için günlük aydınlık süresi, fotosentetik foton akı yoğunluğu, gün içinde toplanan fotosentetik foton sayısı gibi birtakım parametrelerin bilinmesi ve ideal şekilde sağlanması için gerekli hesaplamaların yapılması önem taşımaktadır. Bitkilerin ışıkla ilgili bu ihtiyaçları çeşitli kaynaklardan sağlanabilmektedir. Bitkilerin fotosentezde kullandığı ışığın spektrumu, şiddeti gibi özelliklerinin yanında gün içinde hangi süre ile ve bu süre içinde toplam ne kadar ışık aldığı da çok önemlidir. Bitkilerin türü ve çeşidi ile yetiştirme dönemine göre ihtiyaç duydukları ışık miktarı ve süresi değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada bazı bitkilerin günlük ışık integrali ihtiyaçları üzerinde durularak bu ihtiyaçların sağlanması için kullanılan yapay ve ek aydınlatma armatürlerinden bazıları; enerji verimi, ışık etkinliği, spektral kalite, güç, IP koruma sınıfı, ömür gibi parametreler bakımından incelenmiş ve ışığın planlaması ve kontrolüne yönelik bilgiler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Aydınlatma, Ek Aydınlatma, Aydınlatma Armatürleri, Dikey Tarım, Günlük Işık İntegrali

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi.

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi.

Gönderilme Tarihi :

Kabul Tarihi :

22 Eylül 2023

17 Şubat 2024

## ABSTRACT

Plants have various requirements for growth and development, such as water, carbon dioxide, oxygen, nutrients, temperature, and light. These needs are provided naturally in open farming, and some or all of them are provided artificially by imitating nature in systems such as greenhouse or vertical farming. In order to get the highest efficiency in photosynthesis, it is important to know some parameters such as daily light duration, photosynthetic photon flux density, the number of photosynthetic photons collected during the day and to make the necessary calculations to provide them in an ideal way. These light needs of plants can be met from various sources. In addition to the features such as the spectrum and intensity of the light used by plants in photosynthesis, it is also very important how much light is received during the day. Depending on the type and variety of plants and the growing period, the amount and duration of light they need may vary. In this study, the daily light integral needs of some plants are emphasized and some of the artificial and supplemental lighting fixtures used to meet these needs are investigated in terms of energy efficiency, light efficacy, spectral quality, power, IP protection class, life span and some information on planning and control of light are given.

**Keywords:** Artificial Lighting, Supplemental Lighting, Lighting Fixtures, Vertical Farming, Daily Light Integral

## GİRİŞ

Fotosentez bitkilerin besin üretim sürecidir. Fotosentezin temel bileşenleri klorofil, su, karbondioksit ve ışıktır (Shivling ve Ghanshyam 2012). Işık yoğunluğu fotosentez hızı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (He ve Yao 2002). Bitkilerin en temel ışık kaynağı güneştir fakat güneş ışığının yeterli olmadığı durumlarda yardımcı aydınlatma elemanlarıyla bitkilerin aldığı ışığı artırmak, uzun zamandır üzerinde çalışılan bir konu olup bitkilerin ihtiyacı olan ışık dalga boyları ve bu dalga boylarındaki ışığın bitki bünyesindeki farklı etkileri araştırılmaktadır (Brazaityté vd. 2016).

Tarımsal aydınlatma, multidisipliner olarak ele alınması gereken bir konudur (Murad vd., 2021). Biyoloji,

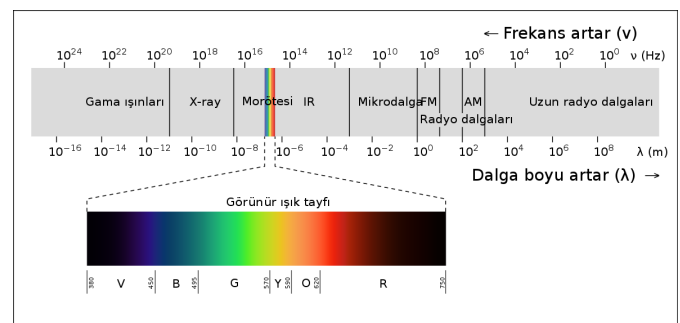
fizik, kimya, mühendislik ve ekonomi bilimleri açısından optimum bitkisel üretimin yanında en yüksek karlılığı sağlayacak kombinasyonların tespit edilebilmesi için ışığın özellikleri ile bitkilerin ihtiyaçlarının bilinmesi ve doğru şekilde yorumlanması gerekmektedir (Dutta Gupta 2017).

Tarımda; güneş ışığı yeterli olmadığında “ek aydınlatma” kullanılmaktadır. Işık ihtiyacının tamamını karşılamaya yönelik “yapay aydınlatma” sistemleri bulunmaktadır. Ayrıca genellikle süs bitkileri yetiştiriciliğinde uygulama alanı olan ve bitki fizyolojisini manipüle etmeye yönelik “fotoperiyodik aydınlatma”dan da yararlanılmaktadır. Elde edilmek istenen tepkiye göre farklı tipte, güçte ve spektrumda aydınlatma elemanları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ışığa dair bazı özellikler açıklanarak yapay ve ek aydınlatma armatürlerinden bazıları; enerji verimi, ışık etkinliği, spektral kalite, güç, IP koruma sınıfı, ömür gibi parametreler bakımından incelenmiş ve ışığın planlaması ve kontrolüne yönelik bilgiler verilmiştir.

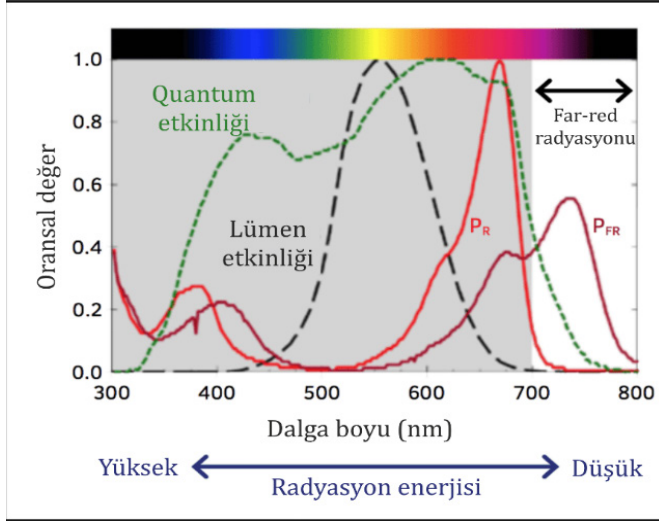
## 1. IŞIK

Işık, elektromanyetik spektrum içinde insan gözünün algılayabildiği bölgeye (400 – 700 nm) verilen isimdir (CIE 2020) (Şekil 1).



Şekil 1. Elektromanyetik dalga spektrumu ve görünür ışık

Bitkiler ise ışığı insan gözünden farklı olarak algılar. İnsan gözünün göremediği morötesi (UV) dalga boylarından kızılötesi (IR) dalga boylarına kadar olan bir spektrum, bitkilerce absorbe edilmektedir (Hogewoning vd. 2010) (Şekil 2).



Şekil 2. Bitkiler tarafından absorbe edilen ışığın spektrumu

### 1.1. Işığın Parametreleri

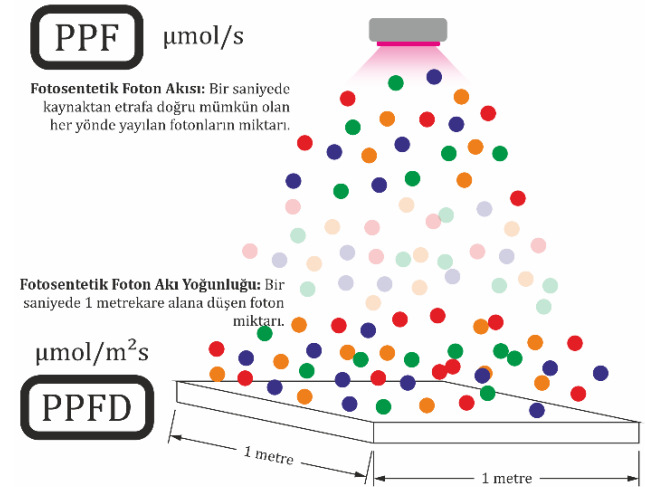
Bitkisel üretim söz konusu olduğunda birtakım temel parametreler ve bu parametrelerin birimleri ile ölçütlerinin anlaşılması ve bitki isteklerine göre düzenlenmesi önemlidir. Işığa dair parametreler, ışığın sahip olduğu enerji bakımından radyometrik yöntemle, ışığın insan gözü tarafından algılanmasını konu edinen fotometrik yöntemle ve ışığın içerdiği foton sayısı bakımından fotonmetrik yöntemle ölçülmektedir. Işığın şiddeti, radyometrik ve fotometrik açılarından literatürde çokça incelenmiştir. Ancak bitki bünyesinde kimyasal reaksiyonların hızı ve miktarı, bitki tarafından soğurulan foton miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle bitkisel aydınlatma söz konusu olduğunda fotonmetrik birimler ile ışığı tarif etmek daha doğrudur. Işığın radyometrik, fotometrik ve fotonmetrik açıdan özelliklerine dair tanımlamalar aşağıda verilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Işığın radyometrik, fotometrik ve fotonmetrik parametreleri (Fujiwara, 2016)

Radyometrik	Radyant akı (W)	Radyant enerji (W s <sup>-1</sup> )	Parlaklık (W m <sup>-2</sup> )
Fotometrik	Işık akısı (lm)	Işık miktarı (lm s <sup>-1</sup> )	Aydınlık şiddeti (lx)
Fotonmetrik	Foton akısı (mol s <sup>-1</sup> )	Foton sayısı (mol)	Foton akı yoğunluğu (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )

PAR (Photosynthetically Active Radiation – Fotosentetik Aktif Radyasyon), ışık spektrumu içinde bitkiler tarafından kullanılabilen bölgeyi tanımlamaktadır (Goto 2016). Güneşten gelen ışığın yaklaşık %42.9'u 400 – 700 nm arasındaki bölgededir (Korczynski vd. 2002) ve bu bölgedeki ışığın ancak %50 kadarı fotosentezde kullanılabilir (Boyle 2012).

Tablo 1'de verilen fotonmetrik parametreler bitkisel açıdan ele alındığında PPF (Photosynthetic Photon Flux – Fotosentetik Foton Akısı) ve PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density – Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu) kavramları ortaya çıkmaktadır. Bu kavramlar, PAR spektrumu dahilinde ışığın özelliklerini inceler. PPF ( $\mu\text{mol s}^{-1}$ ), ışık kaynağından bir saniyede yayılan ve fotosentezde kullanılabilen foton miktarını Avogadro sayısı ( $6.022 \times 10^{23}$ ) cinsinden ifade ederken; PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), bir saniyede bir metrekare yüzeye düşen ve fotosentezde kullanılabilen foton miktarını Avogadro sayısı ( $6.022 \times 10^{23}$ ) cinsinden ifade etmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Fotosentetik foton akı yoğunluğu

Bitkisel üretimde PPFD değeri, fotosentez hızını belirleyen en önemli faktörlerden biridir (Benedetti vd. 2018). Ancak tek başına PPFD değeri ile verim tahmini yapmak imkansızdır. Bir gün içinde ışık şiddetinin nasıl ve hangi uzunlukta alındığı da önemli olmaktadır. Gün içinde bitki yüzeyine düşen toplam fotosentetik foton miktarının Avogadro sayısı cinsinden ifadesinde DLI (Daily Light Integral – Günlük Işık İntegrali) kullanılmaktadır. Birimi  $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (fotonmetrik) veya  $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (radyometrik) olsa da sıklıkla  $\text{mol m}^{-2}$  veya  $\text{W m}^{-2}$  olarak kullanılmaktadır.

Günlük ışık integrali (DLI), doğal aydınlatma yapılan tarımsal üretim alanlarında sürekli olarak PPFD değerini ölçen kuantum sensörü yardımıyla ölçülerek tespit edilmektedir. Tamamen yapay aydınlatma yapılan tesislerde ise DLI; anlık ölçülen PPFD değeri ile günlük aydınlatma

süresi çarpılarak hesaplanmaktadır. Ek aydınlatma kullanılan tesislerde gün sonunda toplanamayan foton miktarının ihtiyaç olan seviyeye tamamlanması amaçlanmaktadır. Ölçülen PPFD değeri ile DLI arasındaki hesaplamayı kolaylaştıracak bir çizelge, aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** PPFD, süre ve DLI çizelgesi

	PPFD	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
<b>Saat</b>																	
<b>1</b>		0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9
<b>2</b>		0.4	0.7	1.1	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6	4.0	4.3	4.7	5.0	5.4	5.8
<b>3</b>		0.5	1.1	1.6	2.2	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	5.9	6.5	7.0	7.6	8.1	8.6
<b>4</b>		0.7	1.4	2.2	2.9	3.6	4.3	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.6	9.4	10.1	10.8	11.5
<b>5</b>		0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8	11.7	12.6	13.5	14.4
<b>6</b>		1.1	2.2	3.2	4.3	5.4	6.5	7.6	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.0	15.1	16.2	17.3
<b>7</b>		1.3	2.5	3.8	5.0	6.3	7.6	8.8	10.1	11.3	12.6	13.9	15.1	16.4	17.6	18.9	20.2
<b>8</b>		1.4	2.9	4.3	5.8	7.2	8.6	10.1	11.5	13.0	14.4	15.8	17.3	18.7	20.2	21.6	23.0
<b>9</b>		1.6	3.2	4.9	6.5	8.1	9.7	11.3	13.0	14.6	16.2	17.8	19.4	21.1	22.7	24.3	25.9
<b>10</b>		1.8	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	18.0	19.8	21.6	23.4	25.2	27.0	28.8
<b>11</b>		2.0	4.0	5.9	7.9	9.9	11.9	13.9	15.8	17.8	19.8	21.8	23.8	25.7	27.7	29.7	31.7
<b>12</b>		2.2	4.3	6.5	8.6	10.8	13.0	15.1	17.3	19.4	21.6	23.8	25.9	28.1	30.2	32.4	34.6
<b>13</b>		2.3	4.7	7.0	9.4	11.7	14.0	16.4	18.7	21.1	23.4	25.7	28.1	30.4	32.8	35.1	37.4
<b>14</b>		2.5	5.0	7.6	10.1	12.6	15.1	17.6	20.2	22.7	25.2	27.7	30.2	32.8	35.3	37.8	40.3
<b>15</b>		2.7	5.4	8.1	10.8	13.5	16.2	18.9	21.6	24.3	27.0	29.7	32.4	35.1	37.8	40.5	43.2
<b>16</b>		2.9	5.8	8.6	11.5	14.4	17.3	20.2	23.0	25.9	28.8	31.7	34.6	37.4	40.3	43.2	46.1
<b>17</b>		3.1	6.1	9.2	12.2	15.3	18.4	21.4	24.5	27.5	30.6	33.7	36.7	39.8	42.8	45.9	49.0
<b>18</b>		3.2	6.5	9.7	13.0	16.2	19.4	22.7	25.9	29.2	32.4	35.6	38.9	42.1	45.4	48.6	51.8
<b>19</b>		3.4	6.8	10.3	13.7	17.1	20.5	23.9	27.4	30.8	34.2	37.6	41.0	44.5	47.9	51.3	54.7
<b>20</b>		3.6	7.2	10.8	14.4	18.0	21.6	25.2	28.8	32.4	36.0	39.6	43.2	46.8	50.4	54.0	57.6
<b>21</b>		3.8	7.6	11.3	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	34.0	37.8	41.6	45.4	49.1	52.9	56.7	60.5
<b>22</b>		4.0	7.9	11.9	15.8	19.8	23.8	27.7	31.7	35.6	39.6	43.6	47.5	51.5	55.4	59.4	63.4
<b>23</b>		4.1	8.3	12.4	16.6	20.7	24.8	29.0	33.1	37.3	41.4	45.5	49.7	53.8	58.0	62.1	66.2
<b>24</b>		4.3	8.6	13.0	17.3	21.6	25.9	30.2	34.6	38.9	43.2	47.5	51.8	56.2	60.5	64.8	69.1

Bitkilerin gereksinim duyduğu günlük ışık miktarı, bitki türüne, çeşidine ve büyüme evresine bağlı olarak değişmektedir. Günlük ışık integrali (DLI), dış koşullarda genellikle ortalama 5 ila 60 mol m<sup>-2</sup> arasında ölçülmektedir.

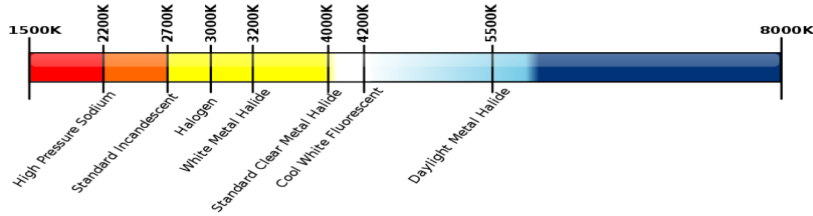
Seralarda ise kış ve ilkbahar aylarında DLI genellikle 1 ila 10 mol m<sup>-2</sup> seviyelerine kadar düşmektedir (Öztek ve Türe 2019). Tablo 3'te bazı bitki türlerinin DLI ihtiyaçları verilmiştir.

**Tablo 3.** Bazı bitki türlerinin DLI istekleri (Runkle 2019)

Bitki türü	DLI İsteği (mol m <sup>-2</sup> )	Bitki türü	DLI İsteği (mol m <sup>-2</sup> )
Çelikler – Erken Dönem	4 – 6	Yaprağı Yenenler ve Otlar	>12
Çelikler – Geç Dönem	6 – 10	Çalılar	>12
Fideler – Erken Dönem	6 – 10	Kesme Çiçekler	>15
Fideler – Geç Dönem	10 – 15	Çilek	15 – 20
Yaprak Dökenler	6 – 10	Domates	22 – 30
Soğanlılar	6 – 15	Patlıcan	22 – 30
Saksılı Çiçek Açanlar	>12	Hıyar	20 – 30
Gölge Bitkileri	6 – 10	Biber	20 – 30
(Yıllık ve İki yıllık)		Baş Salata	14 – 16

Işık, spektral kompozisyonundan bağımsız olarak renk sıcaklığı (kelvin – “K”) parametresi de bulunmaktadır. Tarımsal uygulamalarda ışık görünen renginden daha çok spektral kompozisyonu önemli olduğundan kelvin, sıkça kullanılmayan ve kullanılması doğru olmayan bir parametre olmakla birlikte, özellikle LED aydınlatma elemanlarında renk sıcaklığı değerinden de bahsedildiği

görülmektedir. Şekil 4’te kelvin renk sıcaklığı çizelgesi verilmiştir. Öğle vakti güneş ışığının sıcaklığı 5000 K civarındadır. Kelvin değeri yükseldikçe ışığın rengi mavi tonlarına kayarken düştükçe turuncu-kırmızı tonları vermeye başlamaktadır. Kelvin değeri aynı olsa bile lambalar arasında spektral kompozisyonda oldukça büyük farklılıklar olabilmektedir.



**Şekil 4.** Kelvin renk sıcaklığı çizelgesi

## 2. BİTKİSEL AYDINLATMA

Bitkisel üretimde aydınlatma denildiğinde üç tip aydınlatma sistemi akla gelmektedir. Bunlar, seralarda kullanılan ve güneş ışığının yeterli olmadığı durumlarda (sonbahar – ilkbahar) devreye alınarak günlük ışık integralini tamamlamaya yarayan sistemler (ek aydınlatma), ışık ihtiyacının tamamının yapay olarak sağlandığı yapay aydınlatma ve fotoperiyodik aydınlatmadır. Fotoperiyodik aydınlatma; karanlık devrenin kırılması ve bitkilerin gün uzunluğu algısının değiştirilmesi için uygulanan düşük

yoğunluklu (~2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) aydınlatma biçimidir. Kısa gün bitkilerinde çiçeklenmenin teşvik edilmesi için kullanılmaktadır.

### 2.1. Aydınlatma Elemanları

Günümüzde genel olarak kullanılan tarımsal aydınlatma lambaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Floresan
- Yüksek yoğunluklu deşarj (HID)



- Yüksek basınçlı cıva (HPM)
- Yüksek basınçlı sodyum (HPS)
- Metal-halide (MH)
- LED

Akkor filamanlı lambalar, tarımsal aydınlatmada önceki yıllarda kullanılmış olsa da düşük enerji verimleri (%1 – 5), düşük ışık etkinliği ( $<20 \text{ lm W}^{-1}$ ) ve uygun olmayan spektrumları sebebiyle günümüzde tarımsal üretimde kullanılmamaktadır. Ayrıca bu lambaların üretimi, ithalatı ve satışı yasaklanmaya başlamıştır.

### 2.1.1. Floresan lambalar

Floresan lambalar, düşük basınçlı cıva buharlı deşarj lambalarıdır. Bir cam tüpün içine argon ve cıva buharı doldurularak her iki ucuna tungsten filamanlar yerleştirilerek elde edilirler. İki filaman arasında oluşan elektron geçişi, cıva atomları ile çarpışarak UV ışık üretmektedir. Oluşan UV ışık, tüpün içine uygulanmış fosfor katmanı tarafından soğurularak görülür spektrumda ışık üretilmektedir. Fosfor katmanının kalınlığı ve bileşimi, floresan lambanın spektrumunu belirlemektedir. Floresan lambalar, tüp şeklinde olabildikleri gibi çeşitli şekillerde bükülerek “kompakt floresan” yapıda da bulunmaktadır (Şekil 5).



**Şekil 5.** Floresan lamba (solda), kompakt floresan lamba (sağda)

Geniş spektrumlarıyla floresan lambalar, bitkisel üretimde ilk kullanılan ve hala kullanılmakta olan lambalardandır. Floresan lambaların toplam enerji verimi %30’un altındadır (Shur ve Zukauskas 2005). Işık etkinliği  $50 - 100 \text{ lm W}^{-1}$  arasında olmakla beraber spektrumunun büyük bölümü (~%90) PAR bölgesindedir. 5 Watt ile 125

Watt arasında çeşitli güçlerde üretilen floresan lambalar bulunmaktadır. Floresan lambaların ömrü 1000 ile 30 000 saat arasındadır (Dutta Gupta ve Agarwal 2017). Yapılan bir çalışmada floresan lambanın enerji verimi %27 olarak tespit edilmiştir (Tanushevski ve Rendevski 2016).

Floresan lambalar; günümüzde doku kültürü laboratuvarları, seralar, fide üretim tesisleri ve dikey tarım sistemlerinde kullanılmaktadır. Süs bitkisi üreticiliği yapılan seralarda fotoperiyodik aydınlatma amacıyla genellikle yüksek güçlü (75 – 105 W) kompakt floresan lambalar tercih edilmektedir.

Floresan lambalar çalışmak için balasta ihtiyaç duymaktadırlar. Balastlar elektromanyetik olabileceği gibi günümüzde elektronik balastlar da bulunmaktadır. Floresan lamba armatürleri, tek floresan lamba ile balastından oluşabileceği gibi aynı güçteki floresan lambaların yan yana dizilmesiyle de elde edilebilmektedir. Birden fazla floresan kullanıldığı durumlarda ortak balast kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bu durumda genel enerji verimi artış göstermektedir. Bazı floresans lamba armatürlerinde koruma sınıfı IP66’ya kadar çıkmaktadır.

Kompakt floresan lambalar, elektronik balasta sahip E27 standart lamba duyuna takılabilecek şekilde imal edilmektedir. Bu sebeple daha kolay kurulum sağlanırken koruma sınıfı da düşmektedir.

### 2.1.2. Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları

Çokyüksek basınç ve sıcaklık altında çalışan bu lambalar, floresan lambalarla aynı prensiplere göre çalışmaktadır. Ancak sıcaklık daha yüksek olduğu için elektronların enerji seviyesi, dolayısıyla ışık verimi artmaktadır. HPM (Yüksek basınçlı cıva), HPS (Yüksek basınçlı sodyum) ve MH (Metal-halide) lambalar bu grupta yer almaktadır. Çalışmak için balasta ihtiyaç duyan bu lambalar, genellikle E40 lamba duyuna takılmaktadır. Dolayısıyla bir HID lamba armatürü; lamba, balast, ateşleyici, armatür kasası ve ön koruma camından (tercihen) oluşmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. HID lamba armatürleri

HID lambalar, farklı koruma sınıflarına haiz olabilirler. Bitkisel aydınlatmada kullanılan HID lamba armatürlerinin balast ve elektronik komponentlerinin bulunduğu kısım IP65 koruma sınıfına girerken; lamba kısmı, spektrumun bozulmaması ve ısının dağılması amacıyla koruma camsız olduğundan IP23 koruma sınıfına girmektedir. Dolayısıyla bu armatürlerin lamba kısmı sudan ve sert cisimlerden uzak tutulması gerekmektedir. HID lambaların güç çıkışı ayarlanabilmektedir ancak verimli değildir. HID lambalar, içinde bulunan element buharlarına göre farklı spektrumlarda ışık yayarlar ve farklı adlandırılırlar.

#### Yüksek basınçlı cıva buharlı (HPM) lambalar

HPM lambalar, floresan lambalara benzer spektrumda ışık yaymaktadır. Işık etkinliği  $60 \text{ lm W}^{-1}$  civarında olan HPM lambalar, tarımsal kullanım amaçlı 100 Watt ile 250 Watt arasında çeşitli güçlerde üretilmektedir (Şekil 7). Daha yüksek güçlerde UV ışık yayan HPM lambalar bulunmaktadır. Ömrü 10 000 – 20 000 saat olan HPM lambaların kullanımı, Avrupa Birliği tarafından cıva içerdikleri için çevreye verdikleri zarar gerekçesiyle 2015 yılında yasaklanmıştır (Tahkämö vd. 2016).

#### Yüksek basınçlı sodyum buharlı (HPS) lambalar

HPS lambalar, günümüzde seralarda ek aydınlatma amacıyla en çok kullanılan aydınlatma elemanlarıdır (Wollaeger 2016) (Şekil 8).



Şekil 7. HPM (yüksek basınçlı cıva) lamba



Şekil 8. HPS (yüksek basınçlı sodyum) lamba

Yüksek ışık etkinliğine ( $80 - 125 \text{ lm W}^{-1}$ ) ve yüksek foton etkinliğine ( $1.7 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ W}^{-1}$ ) sahip olan HPS lambalar 35 Watt ile 1000 Watt arasında çeşitli güçlerde üretilmektedirler. Ömür beklentisi 10 000 ila 30 000 saat arasında olan HPS lambaların spektrumu, ağırlıklı olarak sarı-kırmızı bölgede (2200 K) yer almaktadır. HPS lambaların enerji verimi %37 seviyesindedir (Rofaie vd. 2022). Bu spektrum çiçeklenmeye yardımcı olsa da genel üretim için tek başına yeterli değildir. Gerekli durumlarda LED aydınlatmalarla birlikte hibrit uygulamalarla spektral dağılım düzeltilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca son yıllarda reflektörü hareketli olan fotoperiyodik aydınlatma armatürlerinde de HPS lambalar kullanılmaktadır. Bu şekilde lambadan çıkan ışığın bitkiler üzerinde sürekli olarak dolaştırılmasıyla bitkilerin gün uzunluğunu farklı algılaması sağlanırken daha büyük alanda daha düşük güçlü armatür kullanmak mümkün olmaktadır.

HPS lambalar da diğer HID lambalar gibi çalışmak için bir balasta ihtiyaç duyarlar. Daha önce HPM lamba kullanan tesislerde balast ve armatür değişimi olmaksızın HPS lambaların kullanılabilmesi için özel amaçlı HPS lambalar da geliştirilmiştir. Bu lambalar doğrudan HPM lamba balastı ve ateşleyicisi ile kullanılabilir. Bu sayede özellikle şehir aydınlatmasında kullanılan HPM lambaların düşük maliyetle HPS'e dönüştürülmesi sağlanmıştır.

### Metal halide (MH) lambalar

MH lambalar ise HPM lambaların içine cıvaya ek olarak çeşitli metallere ve inert gazların eklenmesiyle ortaya çıkmış lambalardır (Şekil 9). Eklenen bu bileşenlerden her biri farklı bir dalga boyunda ışınım yaratmaktadır. Sodyum, indiyum, talyum, disprosyum gibi metaller ile farklı spektrumlar elde edilebilmektedir (Simpson 2013).

MH lambaların spektral dağılımı daha düzgün olarak ve arzu edilen şekilde üretilmektedir.  $100 - 120 \text{ lm W}^{-1}$  gibi yüksek bir ışık etkinliğine ve yaklaşık %25 verime sahip MH lambalar, tarımsal üretimde kullanılmaya elverişlidir (Dutta Gupta ve Agarwal 2017). Ömür beklentisi 6000 – 15 000 saat arasındadır.

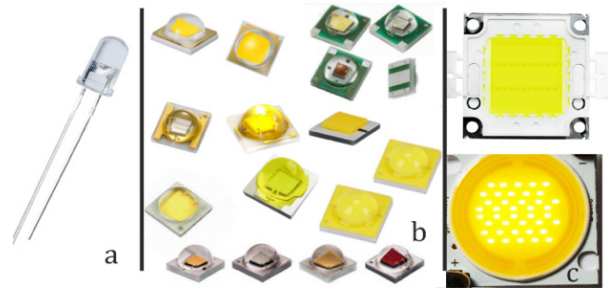
#### 2.1.3. LED lambalar

LED (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot) lambalar, yarıiletken bir diyot üzerinden akım aktırılması sırasında elektronların yüksek enerjili orbitallerden daha düşük enerjili orbitallere geçişi sırasında ışık yayması esasına dayanan lambalardır (Iceland vd., 2014). İlk LED lamba 1962 yılında üretilmiştir ve kırmızı renktedir. Özellikle 1990'lardan sonra LED teknolojisi gelişmiştir (Krames 2016). Farklı yarıiletken malzemeler kullanılarak farklı renklerde üretilen LED lambalar, yapılan çalışmalarla gün geçtikçe daha yüksek ışık etkinliği ve daha yüksek foton verimine ulaşmaktadır (Dutta Gupta ve Agarwal 2017).

LED lambalar, bacaklı (dual in-line package – DIP), yüzey montajlı (surface mount device – SMD) veya paketlenmiş dizili (chip on-board – COB) yapılarda bulunabilmektedir (Şekil 10).



Şekil 9. MH (metal halide) lamba



Şekil 10. LED lambalar (a. DIP, b. SMD, c. COB)

COB LED'lerin tarımsal aydınlatmada kullanım alanı sınırlıdır. Bu lambalar, birden fazla (genelde 9 veya daha fazla) LED yarıiletkeninin aynı substrat üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulmuş aydınlatma modülleridir (Pohl vd. 2020). Tek tek LED yerleştirmeye göre kolay olsa da belirli bir standardı yoktur. Büyüklükleri firmadan firmaya farklılık göstermektedir. Bu LED lambaların termal direnci yüksektir.

Tarımsal aydınlatmada SMD montajlı FC (flip chip – ters yonga) orta ve yüksek güçlü LED lambalar tercih edilmektedir. FC teknolojisinde LED lambanın anot ve katodu soğutucu katmanın altında yer almakta ve bu sayede termal direnç düşürülmektedir (Tan vd. 2008). LED lambaların verimi ve ömrü, yarıiletken malzemenin sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık arttıkça verimlilik ve kullanım ömrü azalmaktadır. LED lambaların ışık etkinliği fotometrik olarak  $150 - 300 \text{ lm W}^{-1}$ , fotometrik olarak  $1.7 - 2.8 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ W}^{-1}$  seviyesindedir. LED armatürlerin enerji verimi ise sürücü, LED çipi, koruma camı gibi tüm etmenlerin verimi kullanılarak %67 olarak hesaplanmaktadır (Kusuma vd. 2020).

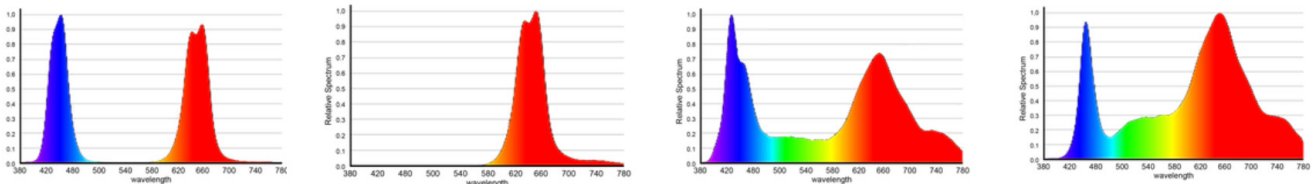
LED armatürler, LED lambaların bir PCB (printed circuit board – baskılı devre kartı) üzerine uygun voltaj ve akıma göre paralel ve seri olacak şekilde dizilmesiyle elde edilmektedirler. Bu dizilmiş LED sıraları, bir alüminyum şasi içine koyularak ön tarafı cam veya plastik malzeme ile kapatılarak uygun akımda (genellikle 350 – 700 – 1400 mA) bir sabit akım LED sürücüsü ile sürülmektedir (Şekil 11). LED sürücüsü armatürün içinde veya harici bir ünite olarak bulunabilmektedir.

LED sürücüsünün armatür dışında olması armatür sıcaklığının daha düşük olmasını sağlar ancak sürücü ile armatür arasında doğrusal akım kablolaması gerekmektedir. Doğrusal akım kablolaması alternatif akım kablolamasına göre oldukça pahalıdır. Son yıllarda piyasaya çıkan ürünler ile LED sürücüler tek bir ünite olarak sera veya bitki fabrikasının dışına yerleştirilerek armatürlerin termal yükü sistemin dışında bırakılmaya başlanmıştır (Celidonio vd. 2014). LED armatürlerin koruma sınıfı IP 68'e kadar çıkabilmektedir. Bu koruma sınıfında armatür içine herhangi bir toz veya su (en az 1 metre derinliğe kadar) girmeyeceği garanti edilmektedir.



Şekil 11. LED armatür

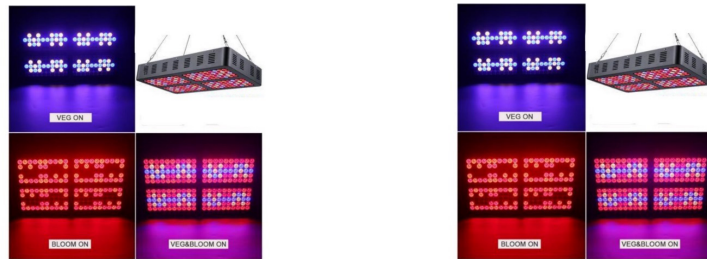
LED armatürlerde uygun spektrumda aydınlatma elde etmek için çeşitli spektrum ve dalga boylarında (grow light, full spectrum, 4000 K, 6500 K, 660 nm, 730 nm, 440 nm, vb.) LED lambalar tek başına veya bir arada kullanılabilir. Bu sayede vejetatif gelişme, generatif gelişme gibi amacına uygun armatürler tasarlanabilmekte ve üretilebilmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. LED armatürlerle oluşturulabilecek çeşitli spektrum örnekleri

Günümüzde aynı armatür içinde hem vejetatif hem generatif gelişmeye uygun LED dizilimleri bir arada bulunabilmektedir (Şekil 13). Bu dizilimlerden istenen

bir tanesi çalıştırılabilir. Aynı zamanda LED lambaların ışık şiddeti, üzerinden geçen akım düşürülerek kısılabilmektedir.



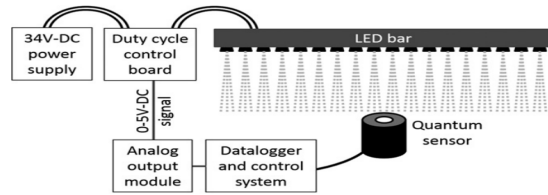
Şekil 13. Dual spektrum bitki lambası

LED lambaların ömrü optimum şartlarda 25 000 – 100 000 saat arasında olmakla birlikte L70 denen ve ışık etkinliğinin %70'ine düştüğü nokta yaklaşık 50 000 saat civarındadır. 100 000 saat sonunda ışık etkinliğinin

%50'sine düştüğü L50 noktasına ulaşılmaktadır. İyi bir armatür verimi için armatürler L70 noktasına ulaştığında değiştirilmelidir. Bu süre, armatürün tasarımı ve ortam sıcaklığına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

### 3. AYDINLATMANIN PLANLANMASI

Tamamen yapay aydınlatma yapılan bitki üretilen tesislerinde (bitki fabrikası) aydınlatmanın açık olduğu saatler ile kapalı olduğu saatlerin iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Yaprağı yenen sebzeler için genellikle 16 saatlik aydınlatma uzunluğu tavsiye edilmektedir. Bu süreyi elektrik birim fiyatının daha ucuz ve dış sıcaklığın daha düşük olduğu gece saatlerine denk getirmek maliyetleri düşürmek açısından faydalı olmaktadır. Bazı bitki fabrikalarında ise termal yükün dağıtılması açısından aydınlatma sistemleri birbiri ile sıralı olarak yakılmaktadır (Kozai ve Niu 2016). Ek aydınlatma sistemleri ise güneş ışığının yetersiz olduğu günlerde gün boyunca yakılabileceği gibi güneşin batışını takiben de yakılabilir. Ancak bu saatler elektrik fiyatının en yüksek olduğu “puant” saatlere denk geleceğinden ek aydınlatmanın güneş doğmadan önce yapılması da düşünülebilir. Aydınlatma armatürleri elle devreye alınabileceği gibi bir otomasyon sistemi tarafından zamana bağlı veya o gün içinde ulaşılan DLI değerine bağlı olarak çalıştırılabilmektedir. Kısıtlı açılabilen (dimlenebilir) armatürlerde adaptif aydınlatma kontrolü ile gün içinde arzu edilen PPFD değerini sürekli koruyacak şekilde programlama yapılabilmektedir. Yürütülen bir araştırmada aydınlatma elemanlarının güneşten gelen PPFD değerine göre parlaklığı değiştirilmiş ve sürekli yanan armatürlere göre ve %20 ile %92 arasında enerji tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir (Van Iersel ve Gianino 2017) (Şekil 14).



Şekil 14. Adaptif aydınlatma kontrolü

### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada incelenen her bir yapay aydınlatma armatürünün teknik özellikleri ve avantajları değerlendirildiğinde, tarımsal aydınlatma uygulamaları için en uygun seçeneklerin belirlenmesi mümkündür. HID lambalar, geleneksel bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Işık etkinliği ve enerji verimliliği açısından orta seviyede performans gösterirler. Ancak, ömrü diğer seçeneklere göre daha kısa ve spektrumları sınırlıdır. Bu nedenle, günümüzde tercih edilmemektedir. Yapılan çalışmalarda çeşitli LED armatürleri ile HPS armatürleri karşılaştırılmış ve harcadıkları birim enerji başına ürettikleri birim fotosentetik foton bakımından bir fark olmadığı bildirilmiştir (Nelson ve Bugbee 2014; Wallace ve Both 2016).

Floresan lambalar, düşük maliyetli ve kolay bulunabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, ışık etkinliği ve enerji verimliliği açısından HID lambalarına kıyasla daha düşüktürler. Ayrıca, ömrü de diğer seçeneklere göre daha kısadır.

LED lambalar, modern tarımsal aydınlatma uygulamaları için en uygun seçenektir. Yüksek ışık etkinliği ve enerji verimliliği ile öne çıkarlar. Ayrıca, uzun ömürlüdürler ve geniş bir spektral çeşitlilik sunarlar. Güç tüketimi açısından da diğer seçeneklere göre daha düşüktürler.

Bu çalışmada incelenen armatürler arasında bir karşılaştırma, Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Çeşitli aydınlatma elemanlarının karşılaştırması

	Floresan	HID			LED
		HPM	HPS	MH	
Işık Etkinliği (lm W <sup>-1</sup> )	50 – 100	60	80 – 125	100 – 120	150 – 300
Enerji Verimi	%27	%40	%37	%25	%67
Ömür	1000 – 30 000	10 000 – 20 000	10 000 – 30 000	6000 – 15 000	25 000 – 100 000
Spektrum	Az çeşitli	Sabit	Sabit	Sabit	Çok çeşitli
Ölçü (uzunluk)	15 – 244 cm	15 – 61 cm			5 – sınırsız cm

Güç	4 – 125 W	50 – 1000 W	35 – 1000 W	35 – 2000 W	5 – 200 W
Koruma Sınıfı	IP66	IP23			IP68
Avantajları	Kolay bulunabilir	Uygun fiyat	Kırmızı – sarı spektrum	Gün ışığına benzer spektrum	Spektrum seçenekleri, düşük enerji tüketimi
Dezavantajları	Düşük verim, sınırlı spektrum	Düşük ışık etkinliği, yüksek güç tüketimi, sınırlı spektrum, kısa ömür			Yüksek başlangıç maliyeti

## SONUÇ

Bitki yetiştirmek için ışığın tamamının yapay olarak karşılandığı veya güneş ışığına ek olarak aydınlatma yapılması fikri, ampulün bulunuşundan beri süregelmektedir. Akkor flamanlı, floresan ve HID lambalar uzun yıllardır seralarda kullanılıyor olsa da kısa ömürleri ve yüksek enerji tüketimleri sebebiyle ekonomik olmamaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte özellikle LED aydınlatma sistemleri gittikçe daha verimli hale gelmektedir. LED'lerin düşük enerji tüketimleri, spektral kaliteleri, uzun ömürleri ve kontrol edilmeye elverişli oluşları sebebiyle kapalı ve açık üretim tesislerinde kullanım için oldukça elverişli olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan, yapay ve ek aydınlatma sistemleri, bitki fabrikalarında en yüksek, seralarda ise görece yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetlerine sebep olmaktadır. Dikkatli bir planlama, armatür seçimi, yerleşim ve kontrol aracılığıyla maliyetler düşürülürken verim artışı sağlanabilmektedir. Yapay veya ek aydınlatma kullanıldığında elde edilecek ek ürün ile harcanacak elektrik enerjisi arasında hesaplama yaparak tüm planlamalar yapılmalıdır.

## AÇIKLAMA

Bu derlemede yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. Yazarlar katkı oranına göre sıralanmıştır.

## KAYNAKLAR

al Murad, M., Razi, K., Jeong, B. R., Muthu, P., Samy, A., & Muneer, S. (2021). Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops. *Sustainability*, 13(1985). <https://doi.org/10.3390/su13041985>

Benedetti, M., Vecchi, V., Barera, S., & Dall'Osto, L. (2018). Biomass from microalgae: the potential

of domestication towards sustainable biofactories. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 173. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1019-3>

Boyle, G. (2012). *Renewable energy: power for a sustainable future* (Vol. 3). Oxford University Press.

Brazaitytė, A., Viršilė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sakalauskienė, S., Sirtautas, R. A., Novičkovas, A., Dabašinskas, L., Vaštakatiė, V., Miliauskienė, J., & Duchovskis, P. (2016). Light quality: growth and nutritional value of microgreens under indoor and greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 1134, 277–284. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.37>

Celidonio, M., Fionda, E., Pulcini, L., Sergio, E., & di Zenobio, D. (2014). A centralised DC power supply solution for LED lighting networks. *2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1137–1143. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2014.6850566>

CIE. (2020). *CIE S 017/E:2020*. <https://doi.org/10.25039/S017.2020>

Dutta Gupta, S. (Ed.). (2017). *Light Emitting Diodes for Agriculture*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>

Dutta Gupta, S., & Agarwal, A. (2017). Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. In S. Dutta Gupta (Ed.), *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting* (pp. 1–25). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3_1)

Fujiwara, K. (2016). Radiometric, Photometric and Photonmetric Quantities and Their Units. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 367–376). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0_26)

Goto, E. (2016). Measurement of Photonmetric and Radiometric Characteristics of LEDs for Plant Cultivation. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 395–402). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0_26)

0\_28

- He, A. N., & Yao, Y. (2002). Analysis of Net Photosynthetic Rate, Transpiration Rate Change and Its Influencing Factors of Saxifrage in Winter. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24, 1298–1302.
- Hogewoning, S., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61, 3107–3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
- Kozai, T., & Niu, G. (2016). Plant Factory as a Resource-Efficient Closed Plant Production System. In *Plant Factory* (pp. 69–90). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00004-4>
- Krames, M. R. (2016). Status and Future Prospects for Visible-Spectrum Light-Emitting Diodes. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 47(1), 39–41. <https://doi.org/10.1002/sdtp.10594>
- Kusuma, P., Pattison, P., & Bugbee, B. (2020). From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. *Horticulture Research*, 7.
- Nelson, J. A., & Bugbee, B. (2014). Economic Analysis of Greenhouse Lighting: Light Emitting Diodes vs. High Intensity Discharge Fixtures. *PLoS ONE*, 9(6), e99010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099010>
- Öztekın, G. B., & Türe, K. (2019). Tam Spektrumlu Gün Işığı Floresan Lamba ile Yapay Işıklandırmanın Marulda Fide Kalitesine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(4), 437–445. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.534300>
- Pohl, L., Hantos, G., Hegedus, J., Németh, M., Kohári, Z., & Poppe, A. (2020). Mixed Detailed and Compact Multi-Domain Modeling to Describe CoB LEDs. *Energies*, 13, 4051. <https://doi.org/10.3390/en13164051>
- Rofaie, N. S. A., Phoong, S. W., & Abdul Talib @ Abdul Mutalib, M. (2022). Light-Emitting Diode (LED) versus High-Pressure Sodium Vapour (HPSV) Efficiency: A Data Envelopment Analysis Approach with Undesirable Output. *Energies*, 15(13), 4589. <https://doi.org/10.3390/en15134589>
- Runkle, E. (2019). *DLI 'Requirements.'* <https://gpnmag.com/article/dli-requirements/>
- Shivling, V. D., & Ghanshyam, C. (2012). Computational Analysis of Photosynthesis Measurement System using Multivariate Data Analysis. *International Journal of Applied Science & Technology Research Excellence Vol.*
- Iveland, J., Speck, J., Martinelli, L., Peretti, J., & Weisbuch, C. (2014). Auger effect identified as main cause of efficiency droop in LEDs. *SPIE Newsroom*. <https://doi.org/10.1117/2.1201406.005109>
- Korczynski, P. C., Logan, J., & Faust, J. E. (2002). Mapping Monthly Distribution of Daily Light Integrals across the Contiguous United States. *HortTechnology*, 12(1), 12–16. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.12.1.12>
- 2, Issue 2, Mar – Apr, 2012, ISSN NO. 2250 – 2718 (Print), 2250 – 2726 (Online).
- Shur, M. S., & Zukauskas, R. (2005). Solid-State Lighting: Toward Superior Illumination. *Proceedings of the IEEE*, 93(10), 1691–1703. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.853537>
- Simpson, R. (2013). *Lighting Control*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080926766>
- Tähkämö, L., Räsänen, R.-S., & Halonen, L. (2016). Life cycle cost comparison of high-pressure sodium and light-emitting diode luminaires in street lighting. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1000-x>
- Tan, L., Li, J., Liu, Z., Wang, K., Wang, P., Gan, Z., & Liu, S. (2008). A light emitting diode's chip structure with low stress and high light extraction efficiency. In *Proceedings - Electronic Components and Technology Conference*. <https://doi.org/10.1109/ECTC.2008.4550063>
- Tanushevski, A., & Rendevski, S. (2016). Energy Efficiency Comparison between Compact Fluorescent Lamp and Common Light Bulb. *European J of Physics Education*, 7(2), 21–27. <https://doi.org/10.20308/ejpe.88140>
- van Iersel, M. W., & Gianino, D. (2017). An Adaptive Control Approach for Light-emitting Diode Lights Can Reduce the Energy Costs of Supplemental Lighting in Greenhouses. *HortScience Horts*, 52(1), 72–77. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11385-16>
- Wallace, C., & Both, A. J. (2016). Evaluating operating characteristics of light sources for horticultural applications. *Acta Horticulturae*, 1134, 435–444.
- Wollaeger, H. (2016). *Choose the right light*. Greenhouse Management. <https://www.greenhousemag.com/article/choose-the-right-light/>


# Material and Airfoil-Based Wind Dynamics Analysis for Fixed-Wing Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Sabit Kanatlı Tarımsal İnsansız Hava Araçları (İHA) için Malzeme ve Kanat Profili Tabanlı Rüzgâr Dinamiği Analizi

## Sorumlu Yazar

Abdullah BEYAZ<sup>1</sup>

abeyaz@ankara.edu.tr

 0000-0002-7329-1318

## Abstract

Materials science's high structural stiffness and weight reduction have led to the usage of numerous materials in agricultural unmanned aerial vehicles. So, in the research, the fluid dynamics model for agricultural UAV dynamic structure analysis is studied. The research compares high-performance evaluation outcomes for structurally strong and stiff materials. In analysis and design, both parameters bring unique obstacles. The study optimized design perception for selected material variations to design a wing. Many agricultural UAV airfoils are aerodynamically efficient. Thus, the focus is on optimal material formation based on stress and displacement for each wing airfoil. This study examined the airfoil design results of 500 mm long, 200, 250, and 300 mm wide polystyrene, PVC, and soft wood material airfoils. It is found that the NACA 4412 airfoil with a 200 mm width in PVC material has the maximum static pressure on the X axis ( $1.141e + 06$  dynes) according to airflow direction. Also, it is determined that the NACA 2410 airfoil with a 250 mm width in PVC has the lowest static pressure ( $2.3104e + 05$  dynes).

**Keywords:** Smart agriculture, UAV, Agricultural Aerodynamic, Material analysis, Durability.

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

Gönderilme Tarihi : 05 Aralık 2023  
Kabul Tarihi : 24 Nisan 2024



## Özet

Malzeme biliminin yüksek yapısal sağlamlığı ve ağırlığın azaltılması, tarımsal insansız hava araçlarında çok sayıda malzemenin kullanılmasına yol açmıştır. Bu nedenle araştırmada tarımsal İHA dinamik yapı analizi için akışkanlar dinamiği modeli çalışılmıştır. Bu araştırma, yapısal olarak güçlü ve sert malzemeler için yüksek performanslı değerlendirme sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Analiz ve tasarım, her iki parametre de benzersiz engeller getirmektedir. Çalışma, kanat tasarlamak için seçilen malzeme çeşitlerine göre tasarım algısını optimize etmektedir. Birçok tarımsal İHA kanat profili aerodinamik olarak verimlidir. Bu nedenle, her bir kanat kesiti için gerilme ve yer değiştirmeye dayalı olarak optimum malzeme formuna odaklanılmaktadır. Bu çalışmada 500 mm uzunluğunda, 200, 250 ve 300 mm genişliğinde polistiren, PVC ve yumuşak ahşap kanat profillerinin kesit tasarım sonuçları incelenmiştir. PVC malzemeden 200 mm genişliğe sahip NACA 4412 kanat profilinin, hava akış yönüne göre X ekseninde (1.141e + 06 dyne) maksimum statik basınca sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca PVC'den yapılmış 250 mm genişliğe sahip NACA 2410 kanat profili en düşük statik basınca (2.3104e + 05 dyne) sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı tarım, Tarımsal İHA, Aerodinamik tasarım, Malzeme analizi, Dayanıklılık.

## Introduction

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is the name given to aircraft that do not have a pilot on them in general (Devi & Avvari, 2022). The operator uses aerodynamic forces to lift the vehicle (Luo et al., 2022). The UAV can fly autonomously or be remotely controlled. The use of UAVs in agriculture is considered a wide application in the agricultural fields. With many failures and few successful designs in this field, people's knowledge of UAVs has been formed and continues to develop (El Adawy et al., 2023). Unmanned aerial vehicles for agricultural purposes in this context have proven their capabilities and have demonstrated their success in many fields by improving

their skills with various applications for a long time and performing ever-changing tasks.

UAVs used in the agricultural field offer a special set of advantages such as smaller, safer, and lighter platforms. In addition, it is expected that UAVs in the future will perform much longer missions and exhibit higher aerodynamic performance, and higher degrees of automatic flight capabilities. Among the agricultural UAVs, which have very different design features, fixed-wing unmanned aerial vehicles exhibit flight characteristics such as high speed, long-range, and durability in various agricultural applications with a decrease in aerodynamic performance. A fixed-wing type will be preferred if durability is the priority in UAVs for agricultural purposes. The reason for this idea is flight efficiency, as can be clearly understood. An initial design step is essential for selecting a suitable airfoil for an agricultural UAV. The primary objective of this aerodynamic design is to choose an optimal propulsion system. This system should aim to minimize air resistance and generate ample lift, ensuring simple and efficient flight dynamics (Çetinsoy et al., 2012). The most critical factors in selecting an airfoil for UAVs are flight speed and take-off distance. To guarantee optimal performance, it is essential to conduct thorough testing of airfoils against these parameters.

In this computer-aided research application, Autodesk Inventor (used within the scope of Autodesk education license) models of fixed-wing UAV airfoils of agricultural unmanned aerial vehicles were examined and Autodesk CFD (used within the scope of Autodesk education license), performance analyses of wings with different airfoil characteristics and materials, as well as evaluations in terms of durability were carried out.

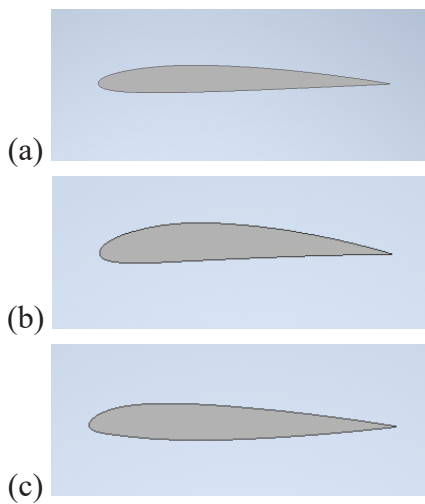
## Materials and Methods

### Material

The conceptual design step compares UAV designs to find the most efficient structure. El Adawy et al. (2023) studied the design and production of a fixed-wing unmanned aerial vehicle and noted that software may select airfoils.

Due to its focus on commercial agricultural UAVs, this study chose wing widths accordingly. Therefore, agricultural UAV airfoils were selected as NACA2410, NACA 4412, and NACA 23012. Because of their ubiquitous use in UAV building, polystyrene, PVC, and wood were evaluated.

Modern materials science has led to the widespread use of diverse materials in agricultural UAV design because of their high structural rigidity and weight reduction (Basri et al., 2019). Wood is ideal for agricultural drones due to its high axial compressive and tensile strength, strength-to-weight ratio, ease of usage, building, and repair. The wood's inhomogeneity, anisotropy, and moisture reactivity can offset biological drawbacks. Thus, synthetics have replaced wood (Lukowsky & Gohla, 2022). Polystyrene and PVC were also considered airfoil materials due to their extensive use. Airfoils are important structural components for agricultural UAVs (Figure 1). That is, the finite element approach of numerical solutions exposed to evaluations can forecast physical states under external effects in the structure of the wing design of unmanned aerial vehicles for agricultural use (Mehta & Joshi, 2016).



**Figure 1.** NACA 2410 (a), NACA 4412 (b), NACA 23012 (c) airfoils

## Method

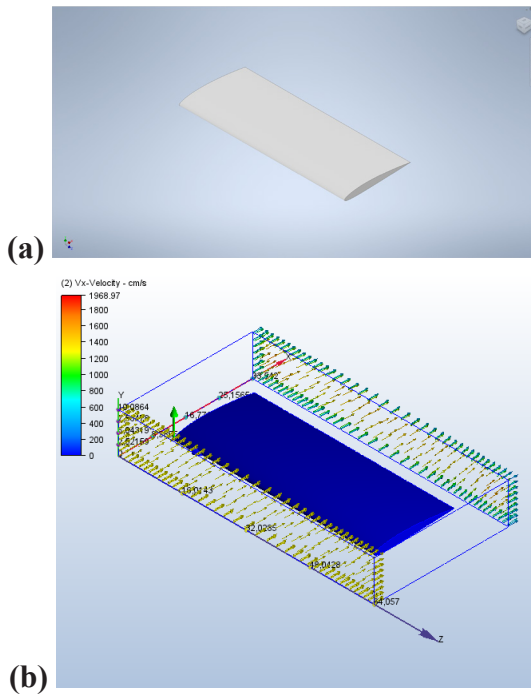
This research focuses on developing a viable UAV design approach. A thorough assessment of the design approach and process has three parts. The UAV design strategy

involves conceptual, preliminary, and detailed phases. The conceptual design provides a distinct design from basic thoughts. It clarifies the path and whether to move to preliminary design, which involves a reliable assessment of performance, prognosis, and market capability, including cost. Preliminary design identifies weaknesses and proposes elegant solutions to build a flying prototype. The detailed design phase transforms the preliminary design into a tangible design. In this way, it is possible to create a design that can be manufactured and flown (Dündar et al., 2020). Kaya et al., (2018) reviewed geometric and aerodynamic elements that can be made calculations by considering the size and surface areas of the wings. While sizing, designing, and analyzing studies of agricultural unmanned aerial vehicles that are carried out, commercial agricultural unmanned aerial vehicle samples produced primarily in the world are examined. For this purpose, a UAV wing is to be dimensioned geometrically, first; the models of unmanned aerial vehicles that are currently sold have been examined and their wing length has been accepted as 500 mm and their wing widths as 200, 250, and 300 mm.

So, Figure 2 shows an Autodesk Inventor wing section design. This professional 3D CAD application has advanced mechanical design, documentation, and product simulation capabilities. Autodesk Inventor is used in engineering, design, manufacturing, and machine and mechanical part design for 3D modeling, prototyping, and product design. Modeling the wings used design knowledge from similar UAV systems. The Excel document from the Airfoil tools website for the provided dimension values was used to determine the geometric points of the models, which were assembled in Autodesk Inventor. Based on wing length, modeling was done for simulation.

After that, to calculate the surface pressure and shear values depending on the wing material in different axes, which are critical performance parameters, the wing sizing and properties based on the surface structure were analyzed with Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics), and the results were explained and interpreted in the results section. Computational fluid dynamics analysis software Autodesk CFD predicts liquid and gas performance under specified conditions. Using Autodesk CFD for analysis

increases efficiency. In CFD, problems and fluid behavior are solved and analyzed on the computer with numerical methods and algorithms, so the results of this analysis method in the research on the airfoil of a UAV that can be used for agriculture are crucial for pre-manufacturing development processes.



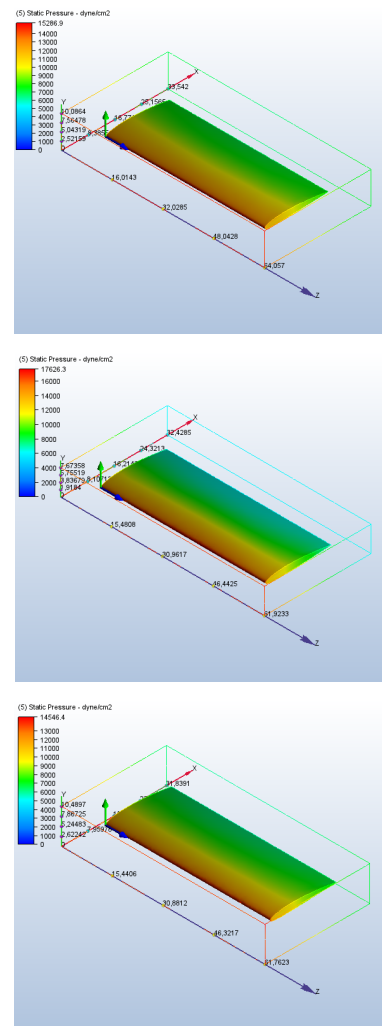
**Figure 2.** Design (a) and airflow direction (b) example of NACA2410 wing cross-section

## Results and Discussion

In this study on the optimum material formation based on stress and displacement for each wing section, the cross-sectional design results on the edge of NACA2410, NACA 4412, and NACA 23012 airfoils with widths of 200, 250, and 300 mm, made of polystyrene, PVC, and soft wood, are shown in Figures 3–11 and Tables 1–9. The NACA 4412 airfoil with a 200 mm width in PVC material has the maximum static pressure on the X axis ( $1.141e + 06$  dynes) according to airflow direction. The NACA 2410 airfoil with a 250 mm width in PVC has the lowest static pressure ( $2.3104e + 05$  dynes).

Different airfoil sizes have been studied in the literature. In their work on the design and construction of a four-

slope wing UAV, Çetinsoy et al. (2012) examined the relationship between UAV airfoil and speed. After extensive simulations, they found that the 25 cm wide NACA 2410 airfoil for 40 km/h airspeed is ideal for production. Again, El Adawy et al. (2023) evaluated the NACA 4412 airfoil for an empty weight of 15.43 lbs, a wingspan of 70.1 inches, and a maximum speed of 78 ft/s in the design and manufacture of a fixed-wing unmanned aerial vehicle and chose it as the best final profile. In their design and performance investigation of the fixed-wing battery VTOL UAV. Dündar et al. (2020) found that the NACA 63-512 airfoil distributed surface pressure better than the other airfoil types which they analyzed.



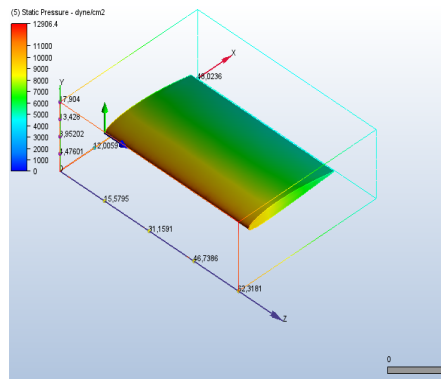
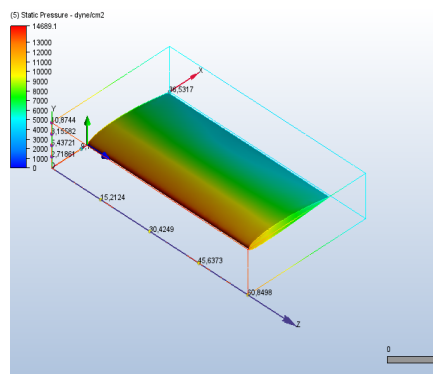
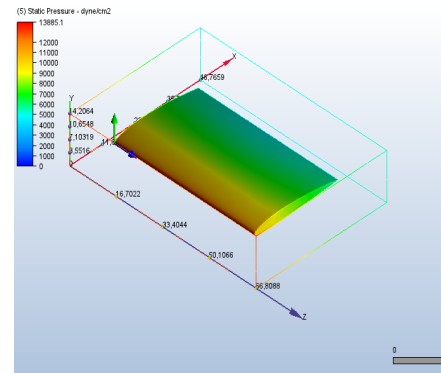
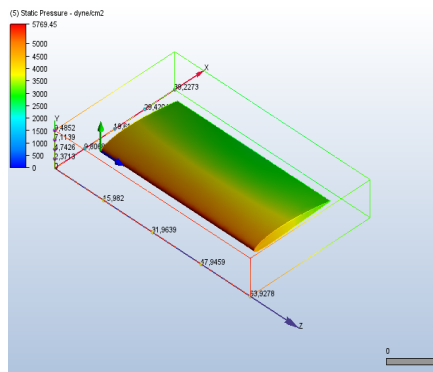
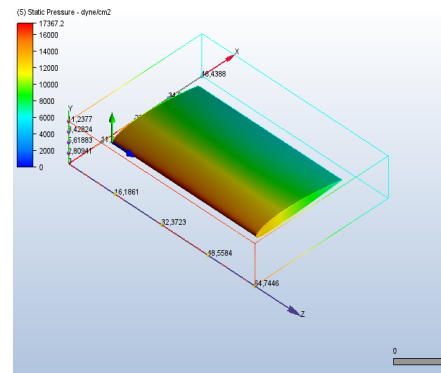
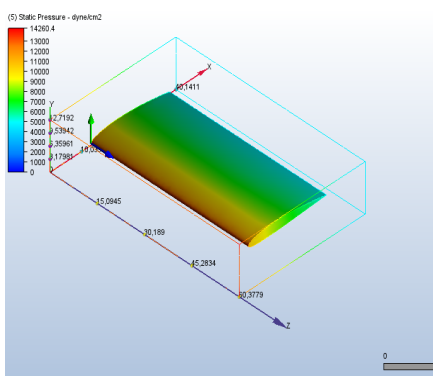
**Figure 3.** NACA 2410 – 200 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

**Table 1.** NACA 2410 – 200 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	8.1845e+05	4.9912e+05
Polystyrene	Y	968.35	34823
Polystyrene	Z	-6392	57791
PVC	X	8.333e+05	7.3465e+05
PVC	Y	1041	15420
PVC	Z	-11053	70423
Wood (Soft)	X	8.2203e+05	4.9917e+05
Wood (Soft)	Y	420.46	-22466
Wood (Soft)	Z	-8910.1	95000

**Table 2.** NACA 2410 – 250 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.0463e+06	6.7413e+05
Polystyrene	Y	184.53	-34227
Polystyrene	Z	-897.57	-1694.7
PVC	X	2.9844e+05	2.3104e+05
PVC	Y	134.45	3090.8
PVC	Z	-1083.6	2588.4
Wood (Soft)	X	1.0141e+06	7.8849e+05
Wood (Soft)	Y	-569.91	737.57
Wood (Soft)	Z	3519.4	-38947



**Figure 4.** NACA 2410 – 250 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

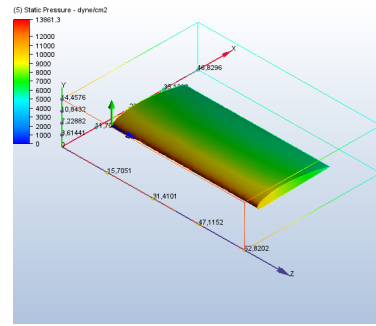
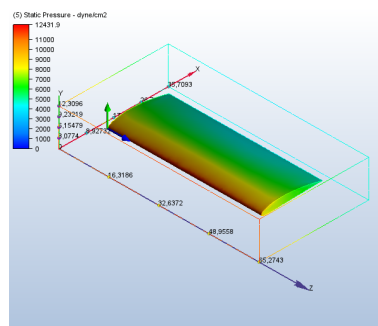
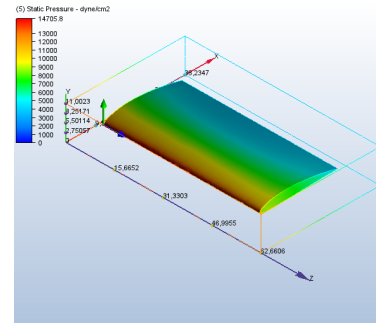
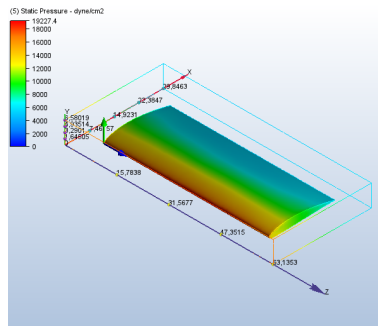
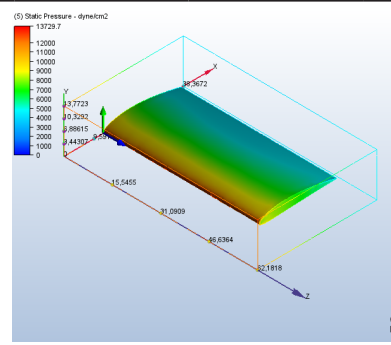
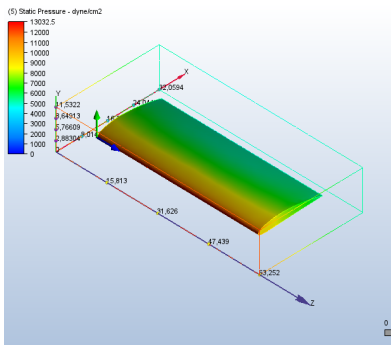
**Figure 5.** NACA 2410 – 300 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

**Table 3.** NACA 2410 – 300 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.235e+06	1.0817e+06
Polystyrene	Y	516.82	-23423
Polystyrene	Z	8313.3	-56504
PVC	X	1.1992e+06	7.7691e+05
PVC	Y	2043.3	15378
PVC	Z	2432	43595
Wood (Soft)	X	1.2375e+06	6.6674e+05
Wood (Soft)	Y	355.47	-1053.3
Wood (Soft)	Z	-3680.1	12770

**Table 4.** NACA 4412 – 200 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	8.0748e+05	5.9777e+05
Polystyrene	Y	2023.1	-21170
Polystyrene	Z	-5060.9	37447
PVC	X	7.4796e+05	1.141e+06
PVC	Y	3400.6	57646
PVC	Z	-8494.7	51928
Wood (Soft)	X	8.4165e+05	6.0371e+05
Wood (Soft)	Y	715.3	-27739
Wood (Soft)	Z	-2864.3	8987.5



**Figure 6.** NACA 4412 – 200 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

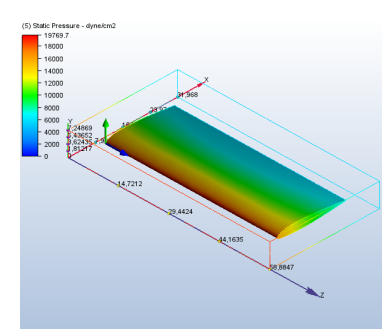
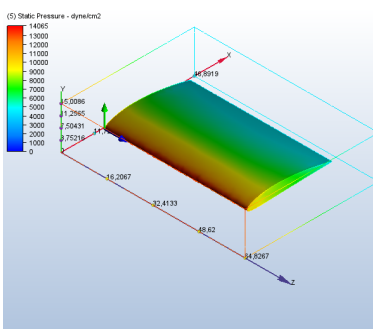
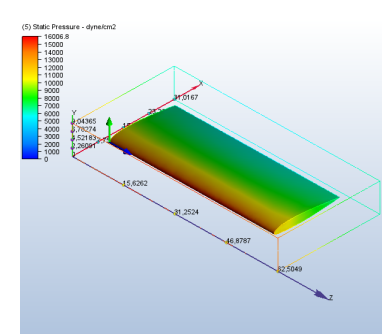
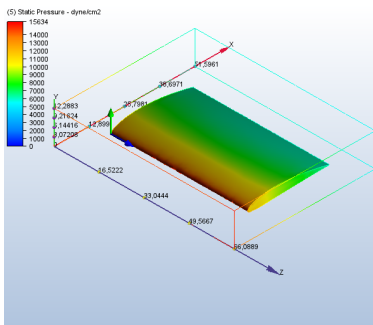
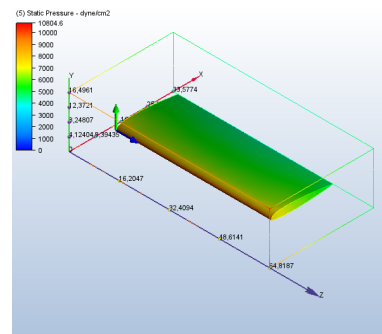
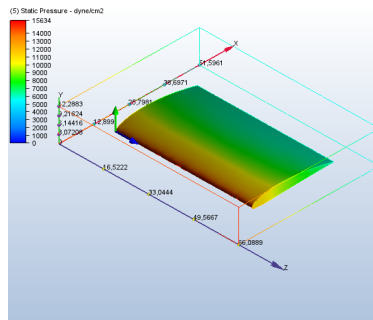
**Figure 7.** NACA 4412 – 250 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

**Table 5.** NACA 4412 – 250 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.0441e+06	8.5364e+05
Polystyrene	Y	4551.2	-30796
Polystyrene	Z	3717	27917
PVC	X	1.0444e+06	1.0459e+06
PVC	Y	3655.2	8546.9
PVC	Z	14918	-54919
Wood (Soft)	X	1.0357e+06	7.1792e+05
Wood (Soft)	Y	3809.9	-14452
Wood (Soft)	Z	1722.9	-21919

**Table 6.** NACA 4412 – 300 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.1479e+06	1.1221e+06
Polystyrene	Y	4764.3	13682
Polystyrene	Z	-2073.5	-33382
PVC	X	1.1479e+06	1.1221e+06
PVC	Y	4764.4	13682
PVC	Z	-2073.5	-33382
Wood (Soft)	X	1.2625e+06	1.1214e+06
Wood (Soft)	Y	2232.9	-40913
Wood (Soft)	Z	6638.4	-38681



**Figure 8.** NACA 4412 – 300 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

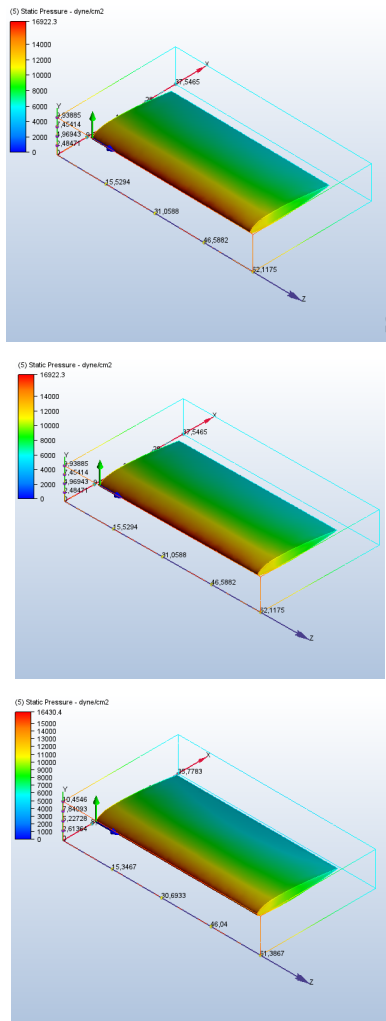
**Figure 9.** NACA 23012 – 200 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

**Table 7.** NACA 23012 – 200 mm wing static pressure results

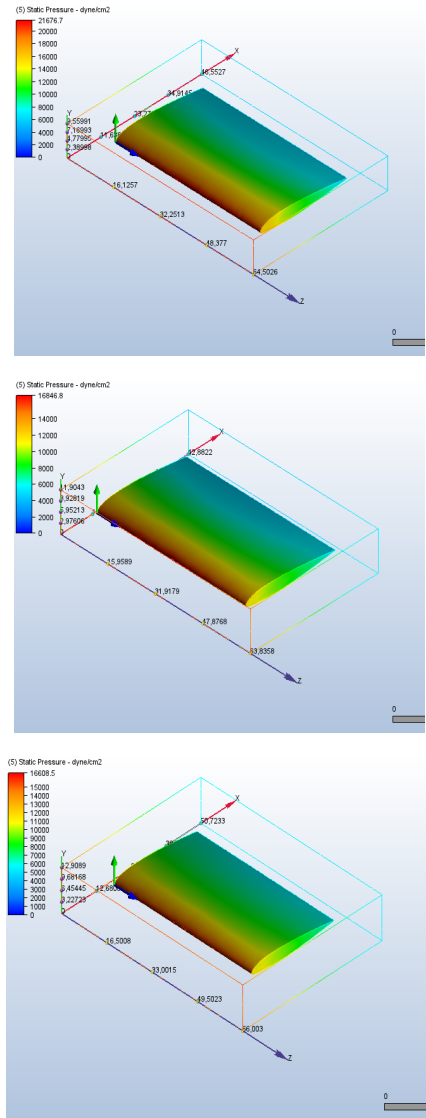
Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	8.0772e+05	3.7842e+05
Polystyrene	Y	6451.7	49361
Polystyrene	Z	-3202.1	1829.9
PVC	X	8.4436e+05	7.7763e+05
PVC	Y	4529.8	14814
PVC	Z	-848.48	30194
Wood (Soft)	X	8.6565e+05	1.1401e+06
Wood (Soft)	Y	6251	73020
Wood (Soft)	Z	-77.053	11539

**Table 8.** NACA 23012 – 250 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.0597e+06	1.0802e+06
Polystyrene	Y	5321.9	14220
Polystyrene	Z	916.9	724.5
PVC	X	1.0597e+06	1.0802e+06
PVC	Y	5321.9	14220
PVC	Z	916.88	724.96
Wood (Soft)	X	1.0765e+06	1.1139e+06
Wood (Soft)	Y	7586.1	28065
Wood (Soft)	Z	12334	-34362



**Figure 10.** NACA 23012 – 250 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results



**Figure 11.** NACA 23012 – 300 mm polystyrene (top left), PVC (top right), wood (soft) (bottom) material static pressure results

**Table 9.** NACA 23012 – 300 mm wing static pressure results

Material	Direction	Shear (Dynes)	Press (Dynes)
Polystyrene	X	1.311e+06	1.9075e+06
Polystyrene	Y	8060.6	62809
Polystyrene	Z	-8049.5	49167
PVC	X	1.2903e+06	1.4514e+06
PVC	Y	7920.2	-15093
PVC	Z	9843.3	44364
Wood (Soft)	X	1.2789e+06	1.2098e+06
Wood (Soft)	Y	5751.1	-26483
Wood (Soft)	Z	12544	-1.1602e+05

### Conclusions

The research optimizes the aerodynamic design of a horizontal-flying UAV using CAD models. Such innovations are usually tested through simulations and flying tests before mass production. Only simulations were done in this study, not flying test verifications, but future research may include flight test controls.

### References

Basri, E. I., Sultan, M. T. H., Faizal, M., Basri, A. A., Abas, M. F., Majid, M. A., Abdul Majid, M.S., Mandeep, J.S., Ahmad, K. A. (2019). Performance analysis of composite ply orientation in aeronautical application of unmanned aerial vehicle (UAV) NACA4415 wing. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5): 3822-3834.

Çetinsoy, E., Dikyar, S., Hançer, C., Öner, K. T., Sirimoğlu, E., Unel, M., & Akşit, M. F. (2012). Design and construction of a novel quad tilt-wing UAV. *Mechatronics*, 22(6): 723-745.

Devi, P. A. & Avvari, C. (2022). Design of folded wing mechanism for Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Materials Today: Proceedings*, 62: 4117-4125.

Dündar, Ö., Bilici, M., & Ünler, T. (2020). Design

and performance analyses of a fixed wing battery VTOL UAV. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(5): 1182-1193.

El Adawy, M., Abdelhalim, E. H., Mahmoud, M., Mohamed, I. H., Othman, M. M., ElGamal, G. S., & ElShabasy, Y. H. (2023). Design and fabrication of a fixed-wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Ain Shams Engineering Journal*, 14(9), 102094.

Kaya, M.N., Köse, F., Ingham, D., Ma, L., Pourkashanian, M. (2018). Aerodynamic performance of a horizontal axis wind turbine with forward and backward swept blades. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176(2018): 166–173.

Lukowsky, D., & Gohla, A. (2022). Material failure analysis of three in-flight wing fractures of wooden aircraft. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22(3): 1075-1084.

Luo, K., Cao, J., Wang, C., Cai, S., Yu, R., Wu, M., Yang, B., Xiang, W. (2022). First unmanned aerial vehicle airborne gravimetry based on the CH-4 UAV in China. *Journal of Applied Geophysics*, 206, 104835.

Mehta, F., & Joshi, H. (2016). Finite element method: An overview. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 15(3): 38-41.



# Stress Analysis of Modern Leaf Springs Made by Different Materials for New Agricultural Trolleys

## Yeni Tarım Arabaları için Farklı Malzemelerden Yapılan Modern Yaprak Yayların Gerilme Analizi

### Abstract

Tractors can be used in a variety of agricultural operations that require towing. All these transportation tasks are now carried out in mechanized enterprises using trolleys attached to the back of the tractor. In practice, transport conditions vary significantly depending on the product. Because of this reason, nowadays the design properties of tractor trolleys with different capacities change with technological advances in material science and carrying requirements, as well as weight carry needs in agricultural applications. Today, computer-aided design has become an integral part of computer-aided engineering and has made it possible to evaluate many materials before production with the finite element analysis methodology. Because of this reason, the focus of this technical research was on the new leaf spring properties based on steel, steel alloy, and carbon steel materials manufactured using modern methods. One of the main uses of tractors in agriculture is pulling. In practice, pulling not only agricultural machines but also various types of agricultural trolleys that are indispensable for agricultural enterprises is an important area of use. Conditions such as carrying weight in agricultural trolleys vary depending on the purpose of use and their designs are also different. For this reason, determining the properties of new leaf springs based on steel, steel alloy, and carbon steel materials produced using modern methods and more suitable for today's agricultural conditions and heavy-

### Sorumlu Yazar

**Abdullah BEYAZ<sup>1</sup>**

abeyaz@ankara.edu.tr

 0000-0002-7329-1318

### Yazar

**Veysel GÜL<sup>2</sup>**

veysel.gul@ahievran.edu.tr

 0000-0002-9345-8613

1 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

2 Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Gönderilme Tarihi :

08 Aralık 2023

Kabul Tarihi :

24 Nisan 2024

weight trolleys is the focus of this study. According to the results obtained from steel, steel alloy, and carbon steel materials for 20- and 40-tons carrying capacities, it is found that the maximum Von Mises stress is 5868.48 MPa under 200000 N load for carbon steel material, also the maximum displacement is 15.4907 mm under 200000 N load for carbon steel material and maximum safety factor under 15 ul 200000 N load for all materials. Additionally, under 100000 N, the order of carbon steel and steel alloy displacement values are different from the regular behaviour of the materials order. Computer-aided design and analysis revealed modern leaf springs based on the increase in the carrying weight requirements of agricultural carrying applications. So, based on the results carbon steel material is the last material to be evaluated among all evaluated materials for the modern leaf springs production for agricultural trolleys.

**Keywords:** Leaf springs, tractor trolleys, modern steel materials, CAD, computer aided analysis

### Özet

Traktörler, çeki gerektiren çeşitli tarımsal işlemlerde kullanılabilir. Tüm bu taşıma işleri artık mekanize işletmelerde, traktörün arkasına takılan arabalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Uygulamada taşıma koşulları ürüne bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu nedenle günümüzde farklı taşıma kapasiteli tarım arabalarının tasarım özellikleri, malzeme bilimindeki teknolojik gelişmeler, taşıma gereksinimleri ve tarımsal uygulamalardaki ağırlık taşıma ihtiyaçları ile değişmektedir. Günümüzde bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendisliğin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve sonlu elemanlar analiz metodolojisi ile birçok malzemenin üretim öncesinde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu nedenle, bu teknik araştırmanın odak noktası, modern yöntemler kullanılarak üretilen çelik, çelik alaşımı ve karbon çeliği malzemelerine dayalı yeni yaprak yay özellikleridir. Tarımda traktörlerin ana kullanım alanlarından biri çekme işidir. Uygulamada sadece tarım makinelerinin değil, tarım işletmelerinin vazgeçilmezi olan çeşitli tiplerdeki tarım arabalarının da çekilmesi önemli bir kullanım alanıdır. Tarım arabalarında ağırlık taşıma

gibi koşullar kullanım amacına göre değişmekle birlikte tasarımları da farklılık göstermektedir. Bu nedenle modern yöntemlerle üretilen ve günümüz tarım koşullarına daha uygun olan 20 – 40-ton taşıma kapasiteleri için çelik, çelik alaşımı ve karbon çeliği malzemelerden üretilen yeni yaprak yayların ve ağır yük arabalarının özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Çelik, çelik alaşımı ve karbon çeliği malzemelerden elde edilen sonuçlara göre karbon çeliği malzeme için maksimum Von Mises geriliminin 200000 N yük altında 5868,48 MPa olduğu, karbon çeliği malzeme için ise maksimum yer değiştirmenin 200000 N yük altında 15,4907 mm olduğu bulunmuştur. Tüm malzemeler için karbon malzeme ve 200000 N yük altında maksimum güvenlik faktörü 15 ul olarak bulunmuştur. Ek olarak, 100000 N'un altında karbon çeliği ve çelik alaşımının yer değiştirme değerlerinin, malzeme sırasının normal davranışından farklı olduğu görülebilir. Bilgisayar destekli tasarım ve analiz, tarımsal taşıma uygulamalarının taşıma ağırlığı gereksinimlerinin artmasına bağlı olarak modern yaprak yayları ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, tarım arabaları için modern yaprak yay üretimi için değerlendirilen tüm malzemeler arasında karbon çeliği malzemenin değerlendirilecek son malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaprak yaylar, tarım arabası, modern malzemeler, CAD, bilgisayar destekli analiz

### Introduction

Transportation is moving material from one location to another without altering the original structure. In the past, man would either do the heavy lifting or rely on animals to transport their food, water, shelter materials, and fuel over long distances. Changes in human society directly result from the era's prolific creativity and discovery. Meanwhile, many researchers have worked on the increasingly pressing issue of transportation, leading to the creation and widespread use of transport vehicles that can be towed both by their motor and by motor vehicles (Kadayıfçılar, 1993).

Both the theory and practice of transportation in the agricultural sector differ significantly from their counterparts in the business world. For this reason, studying agricultural

transportation and the vehicles used for it is both important and necessary. The agriculture sector requires a great deal of time for the transportation of products from the field to the operating center, the market, the mill, the bringing of fuel oil to the operating center, the transportation of fertilizer to the field, transportation of animals, animal products, and feed, transportation of workers to the field, etc. These transportation tasks are now easy by tractors with trolleys attached to the back. These trolleys are double-duty vehicles, transporting tools and machinery for agriculture in both directions within the business. Tractors with trolleys attached have thus become an increasingly important part of modern farming. The need for tractors and other tillage, cultivation, and transportation machinery is rising as agricultural yields improve in developing nations. The demand for tractor trolleys and simple loaders rises in tandem with the increasing efficiency of the transportation market.

Most agricultural products transported by trolleys are perishable and contain water. Tractor trolleys and crates range in size, construction, and design because agricultural products have widely varying densities. These products that require transportation can be categorized into six broad categories.

1. Cereals, flour, bulgur, and other mill products; animal feeds, etc.
2. Veggies, fruits, sugar beet pulp, and other plant-based foods, roots, and tubers.
3. Grass hay, other fibers, and other green fodder.
4. Compost, chemical fertilizers, pesticides, soil amendments (like lime), and fossil fuels are all examples of four (wood, and ember products).
5. Liquids (milk, wine, water, fuel, urine, etc.)
6. Products and components are not covered by the first five categories (Kadayıfçılar, 1993).

Based on material properties carried on the tractor trolleys, design parameters and properties of each part are important for tractor-trolley production. Because of this reason, a lot of researchers and engineers focused on the leaf spring design and analysis, so they share a lot of

valuable research in the literature. For example, Krishan and Aggarwal (2012) worked on a finite element approach for the analysis of a multi-leaf spring using Computer-Aided Engineering (CAE) tools. They claimed that computer-aided engineering tools are being used to assess the durability and functionality of parts and assemblies. They also imply that engineering boundary value problems can be approximatively solved using a computing method called finite element analysis (FEA).

Leaf springs for vehicles were analyzed and compared using E-glass/epoxy and steel 65Si7 in a study by Shakti (2017). He seems to be suggesting that a comparison of composite and steel leaf springs in terms of load capacity, weight, and stiffness effectiveness is in the works. Furthermore, he emphasized stresses and deflections as design imperatives, as well as the measurements of a modern ordinary steel leaf spring of a light business vehicle.

The leaf spring is used in tractor-trailers without much technical and economic consideration, as pointed out by Dhoshi et al. (2011). They stress that there are opportunities to increase product quality while keeping costs low in the current work environment. They also imply that the design process is a key area for maximizing product quality while minimizing expenses. Additionally, they stress that it is possible to design a product so that it outperforms competitors' offerings at a lower cost to the consumer. The design strategy is decided upon in light of mass production, while the material and manufacturing process are chosen in light of cost and strength considerations.

In recent years, with increasing competition and developing technology, heavy vehicles used for transportation in the agricultural industry have aimed to absorb more loads in many sub-parts under the chassis. The fact that the unit part weight of the conventional type of leaf springs in the wheel suspension system of heavy vehicles is higher than that of parabolic leaf springs has led to an increase in the production of parabolic leaf springs. Transportation conditions vary widely from one product to the next. For this reason, tractor trolleys' parts design properties evolve alongside advances in materials science and the evolving demands of agricultural transport. Therefore, this study

focuses on determining attributes of recently developed leaf springs made of cutting-edge materials. With the aid of computer-aided design and analysis, an increase in the load requirements of agricultural applications was also detected.

## Material and Method

### Material

The French word ‘Remorque’ and the German word ‘Traktorrolle’ are both translations of, ‘tractor trolleys’ which are used here (Figure 1). When it comes to providing transportation services for agricultural businesses, the tractor-trolley is a vehicle whose maximum speed and driving style are restricted by Turkish laws (Kadayıfçılar, 1993). Therefore, a wheeled vehicle capable of traveling between 20 and 40 km h<sup>-1</sup> that is towed by an agricultural tractor and used in the transportation of products and other materials produced in agricultural enterprises or to be transported to the enterprise, as well as the transportation of people for agricultural enterprises (Anonymous, 2024).

There are two types of tractor trolleys: those designed for general use, and those designed for a specific task. Small farms can save money by using multipurpose tractor trolleys. More than one tractor-trolley may be needed for larger operations. Still, the financial case favors using both vehicles for general transportation even in this scenario within the realm of private and specialized conditions.



**Figure 1.** Tractor trolley (Anonymous, 2023a)

### Method

#### General tractor-trolley parts construction and related features

It is preferable, when transporting via tractor trolley, to move as much usable goods as possible while keeping the trolley weight to a minimum. This possibility has been brought to a very satisfying level thanks to the use of high-quality materials in the construction of tractor trolleys on the one hand, the improvement of construction methods, and the introduction of new trolley types on the other. For a long time, intrinsic weight and useful load were roughly equivalent. But as the trolley’s carrying capacity grows, the ratio of transportation costs to acquisition costs reaches a more reasonable level. Agricultural transport productivity also rises alongside increases in trolley capacity and the pulling power of tractors. The use of heavy-duty tractor trolleys, however, is fraught with challenges in daily operations. Therefore, maximum-capacity 40-ton trolleys are preferred in both construction and use nowadays. Because of all these factors, the tractor-trolley is an all-encompassing subject in terms of its construction, operation, and environmental factors.

Tractor-trolley design features are important for the benefit of tractor-trolley manufacturers the reduction of wasteful materials, and the actualization of export opportunities. As was previously mentioned, trailers must already comply with standards confirmed by long experience in the manufacturing process to ensure safe transportation. This problem’s salient features are summed up as follows: In general, the trolley and all its components must be sturdy enough to support the heaviest load possible.

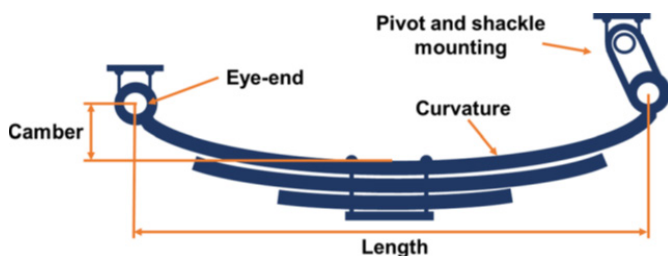
Türkiye for the agricultural trolley production quality focuses on some regulations like European Union parliament regulation for agricultural or forestry tractors, their trailers No. 2003/37/EC, TS 3414 Water tankers used in agriculture (Anonymous, 2023b; EU, 2003). Therefore, it is helpful to standardize the material and its dimensions for use in trolley construction. Because of this reason, a well-designed suspension system will keep you at a pleasant pace, make it easier to make sharp turns, boost passenger comfort, and lessen tire wear on tractors’ trolleys.

## Characteristics of Tractor Trolleys

Together, a tractor and its accompanying trolley provide the most efficient and flexible service possible with capacities ranging from under 0.75 tonnes up to 40 tonnes. The combination of a tractor and a trolley is considered a transport within modern agricultural mechanization practices and provides advantages in many contexts. As can be seen, then, leaf springs serve a variety of purposes on various tractor trolleys.

### Design of the leaf spring

Flat springs, or leaf springs, are made from flat metal plates (Figure 2). The two primary configurations of leaf springs are: The first multi-leaf and second mono-leaf springs' primary function is to absorb shocks, but they also must deal with other loads, such as those caused by bumps in the road, braking, driving, etc. As opposed to the mono-leaf spring, which consists of a single steel plate, the multi-leaf spring is constructed from a stack of steel plates of varying lengths. The spring compresses to dampen vibrations caused by bumps in the road. The suspension movement is made possible by the leaf springs' ability to flex and slide against one another (Ravindra et al., 2014).



**Figure 2.** Semi-elliptic leaf spring components (Gaylo et al., 2020)

Steel leaf springs made from steel, steel alloy, and carbon steel material are produced by a wide variety of businesses, and they find widespread application in the creation of both parabolic leaf springs and conventional multi-leaf springs. By deflecting, the leaf spring stores the potential energy caused by vertical vibrations, shocks, and bumps (caused by road irregularities) and gradually releases it. Suspension comfort is guaranteed by a system that can absorb and store a lot of strain energy (Ravindra et al., 2014).

The design can be broken down into three broad classes: (I) constant thickness and width; (II) constant thickness and varying width; and (III) varying width and varying thickness (Kueh and Faris, 2012). An essential design consideration for a leaf spring is that its flexural rigidity should increase from the spring's ends toward its middle. These include designs with a constant cross-section, a constant width with a variable thickness, and a constant thickness with a fixed width. For ease of mass production and to permit continuous reinforcing of fibers, a constant cross-section design has been chosen. The original three-leaf steel spring on a tractor trolley inspired the design of this leaf spring. Leaf springs consist of a series of leaves. The length of the leaves varies. The leaves are usually given an initial curvature or are cambered so that they tend to flatten under load. The longest leaf has eyes at the ends. These leaves are called the main leaves, and the other leaves are called graduated leaves. All blades are connected using steel straps. The length of the longest blade used in the study is 1072 mm. The length of the other leaves is 890 and 668 mm respectively. The size of the lower flap used at the bottom of the spring is 100x60 mm. Steel rebound clamps of 72x30 mm are designed to connect the leaf springs. The thickness of all parts used is planned as 8 mm. Properties of materials used in leaf spring design can be seen in Table 1. The leaf spring designs were modelled and analyzed in Autodesk Inventor Pro with Nastran In-CAD (under educational license).

**Table 1.** Properties of materials used in leaf spring design

Material	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Steel	210.000	0.30	7.850
Steel Alloy	205.000	0.30	7.730
Carbon Steel	200.000	0.29	7.850

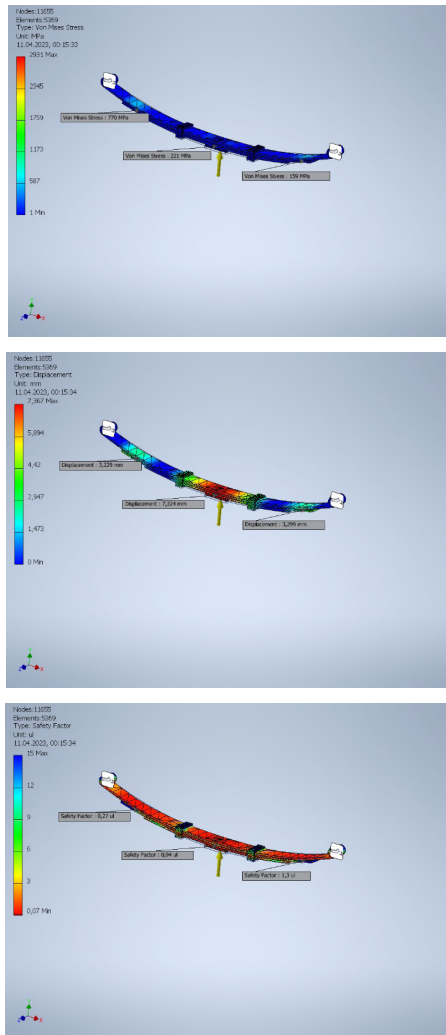
The specifications are assumed to be the same as those for a steel leaf spring. The design parameters used as,  $W = 100000$  N, and  $200000$  N is the design load (Figure 3).



**Figure 3.** Leaf spring model with load for computer-aided stress analysis

### Results and Discussion

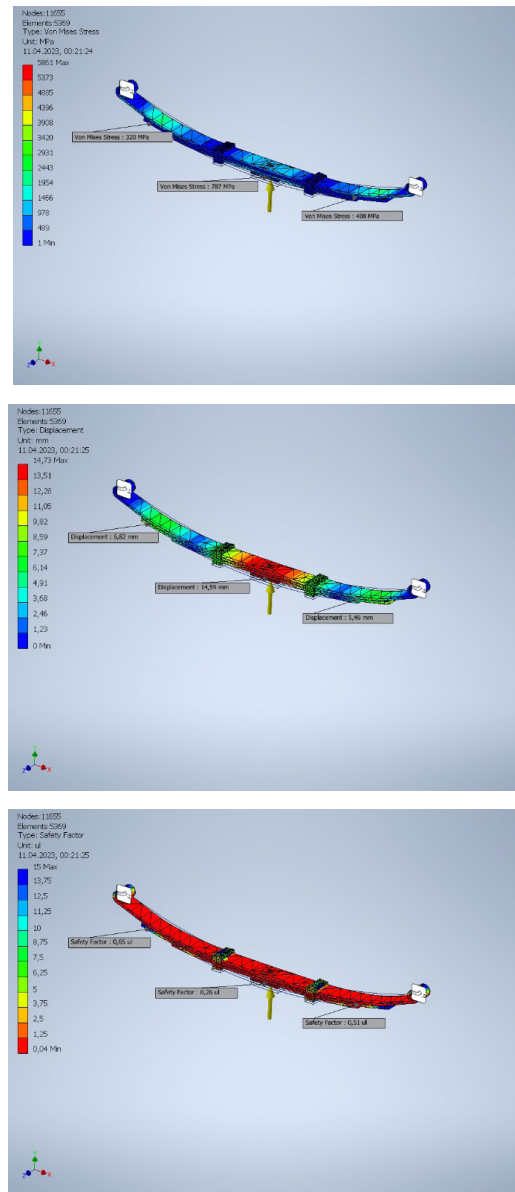
The results of the Von Mises stress, displacement, and safety factor results of steel, steel alloy, and carbon steel materials under 100000 N, and 200000 N loads can be seen in Figure 4-9. Also, the results summaries are presented in Table 2-8.



**Figure 4.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of steel material under 100000 N load

**Table 2.** Von Mises stress, displacement, and safety factor result summary of steel material under 100000 N load

Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.8597 kg	
Von Mises Stress	0.537622 MPa	2930.89 MPa
1st Principal Stress	-442.677 MPa	1048.93 MPa
3rd Principal Stress	-3288.06 MPa	110.341 MPa
Displacement	0 mm	7.3669 mm
Safety Factor	0.070627 ul	15 ul



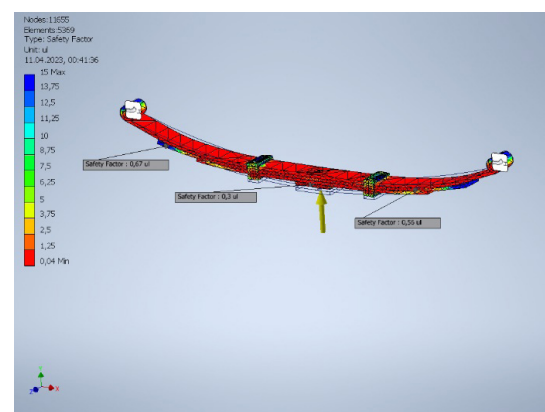
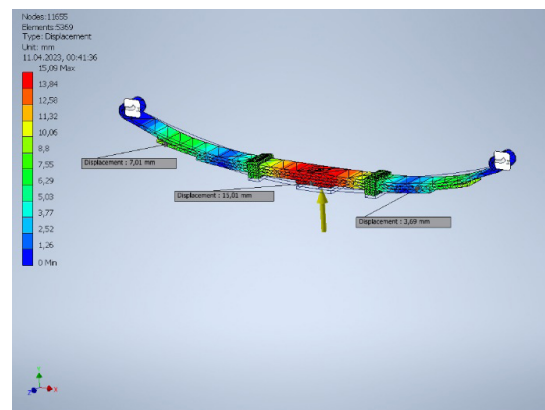
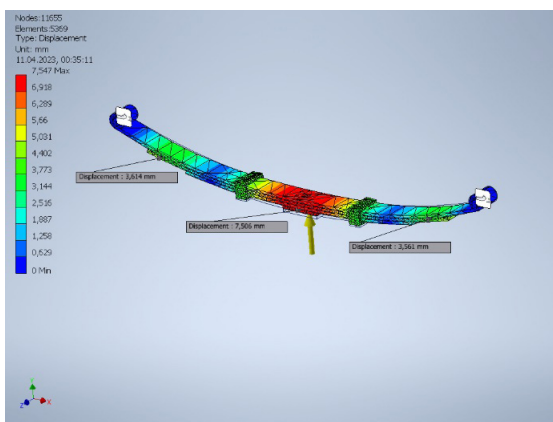
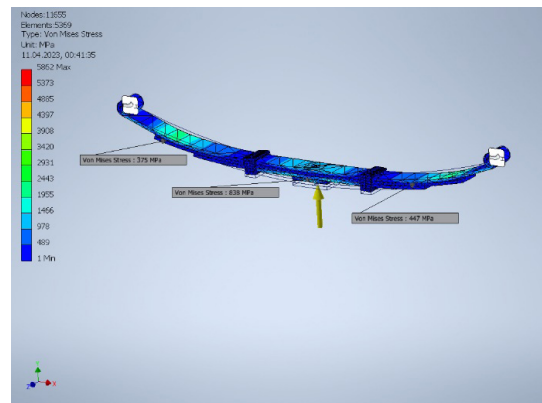
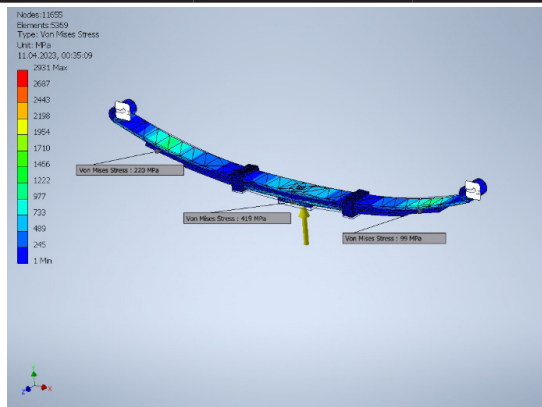
**Figure 5.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of steel material under 200000 N load

**Table 3.** Von Mises stress, displacement, and safety factor result summary of steel material under 200000 N load

Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.8597 kg	
Von Mises Stress	1.06523 MPa	5861.25 MPa
1st Principal Stress	-885.415 MPa	2097.99 MPa
3rd Principal Stress	-6575.86 MPa	220.679 MPa
Displacement	0 mm	14.7338 mm
Safety Factor	0.0353167 ul	15 ul

**Table 4.** Von Mises stress, displacement, and safety factor result summary of steel alloy material under 100000 N load

Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.6784 kg	
Von Mises Stress	0.542132 MPa	2930.9 MPa
1st Principal Stress	-442.662 MPa	1048.93 MPa
3rd Principal Stress	-3288.11 MPa	110.336 MPa
Displacement	0 mm	7.54665 mm
Safety Factor	0.085298 ul	15 ul



**Figure 6.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of steel alloy material under 100000 N load

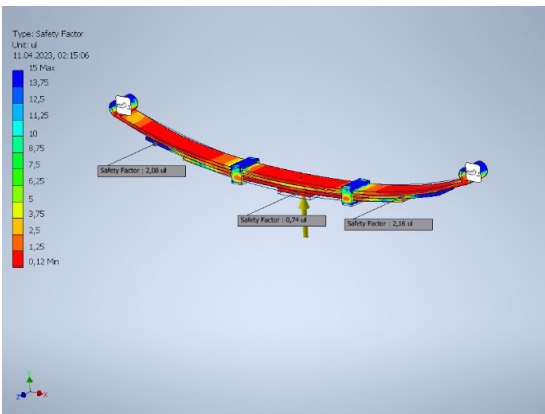
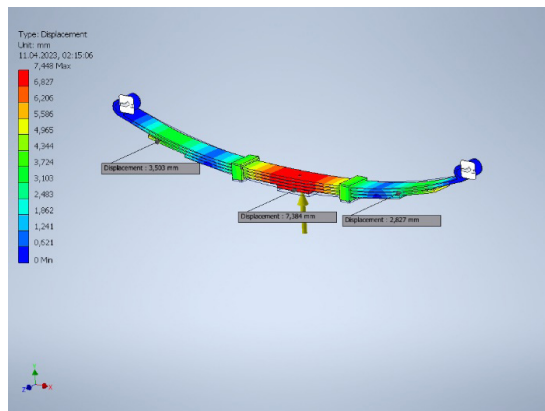
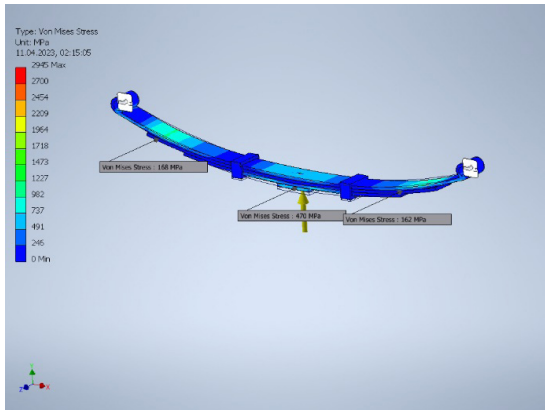
**Figure 7.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of steel alloy material under 200000 N load

**Table 5.** Von Mises stress, displacement, and safety factor result summary of steel alloy material under 200000 N load

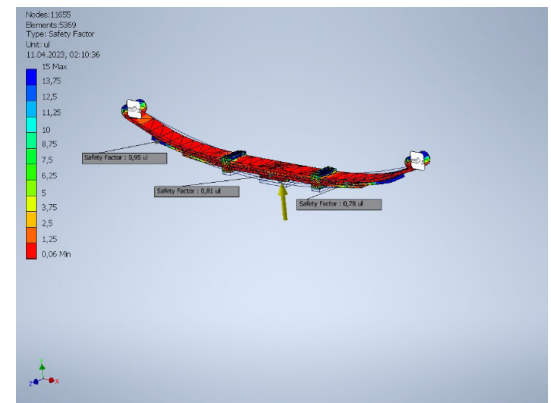
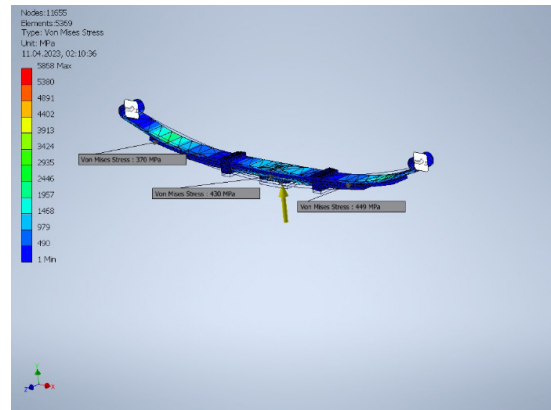
Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.6784 kg	
Von Mises Stress	1.08421 MPa	5861.8 MPa
1st Principal Stress	-885.325 MPa	2097.87 MPa
3rd Principal Stress	-6576.22 MPa	220.672 MPa
Displacement	0 mm	15.0933 mm
Safety Factor	0.042649 ul	15 ul

**Table 6.** Von Mises stress, displacement, and safety factor result summary of carbon steel material under 100000 N load

Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.8597 kg	
Von Mises Stress	0.392285 MPa	2945.15 MPa
1st Principal Stress	-410.984 MPa	1080.52 MPa
3rd Principal Stress	-3278.8 MPa	105.68 MPa
Displacement	0 mm	7.44764 mm
Safety Factor	0.118839 ul	15 ul



**Figure 8.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of carbon steel material under 100000 N load



**Figure 9.** Von Mises stress, displacement, safety factor results of carbon steel material under 200000 N load



**Table 7.** Von Mises stress displacement and safety factor result summary of carbon steel material under 200000 N load

Name	Minimum	Maximum
Volume	1510790 mm <sup>3</sup>	
Mass	11.8597 kg	
Von Mises Stress	1.05208 MPa	5868.48 MPa
1st Principal Stress	-818.745 MPa	2094.67 MPa
3rd Principal Stress	-6520.81 MPa	218.561 MPa
Displacement	0 mm	15.4907 mm
Safety Factor	0.0596407 ul	15 ul

According to the results of steel, steel alloy, and carbon steel materials, it is found that the maximum Von Mises stress is 5868.48 MPa under 200000 N load for carbon steel material, also maximum displacement 15.4907 mm under 200000 N load for carbon steel material and maximum safety factor under 15 ul with 200000 N load for all materials. Additionally, it can be seen that under 100000 N the order of carbon steel and steel alloy is different from the regular behaviour of the materials order table (Table 8).

**Table 8.** Von Mises stress and displacement result summary of all materials under all load

Von Mises Stress (MPa)	Load (N)	Material	Displacement (mm)	Load (N)	Material
2930.89	100000	Steel	7.3669	100000	Steel
2930.90	100000	Steel Alloy	7.54665	100000	Carbon Steel
2945.15	100000	Carbon Steel	7.44764	100000	Steel Alloy
5861.25	200000	Steel	14.7338	200000	Steel
5861.80	200000	Steel Alloy	15.0933	200000	Steel Alloy
5868.48	200000	Carbon Steel	15.4907	200000	Carbon Steel

In some related literature important results are presented about this issue, for example, Dhoshi et al. (2011), findings highlight the need for both macro and micro-level analysis. They used ANSYS 11.0 software to perform Finite Element Analysis (FEM), and their research highlights the value of

stress analysis. Bringing the total number of leaf springs down from 17 to 13 will save about 6 kg of weight and nearly 20% of the manufacturing cost. This study emphasizes the importance of FEM for businesses of all sizes, as it can help cut costs and boost precision.

Shokrieh et al. (2003) compared the composite leaf spring optimized by the FEM with the steel leaf spring and emphasized that they obtained lower stresses in the composite leaf spring. Mouleeswaran et al. described the static and fatigue analysis of steel leaf springs and composite multi-leaf springs composed of glass fiber-reinforced polymer using life data analysis (Kumar and Vijayarangan, 2007). Strzt and Paszek (1992) carried out a three-dimensional contact analysis of a car leaf spring in their research. In the research, they tried to determine the static three-dimensional contact problem of the leaf spring by the FEM. As a result of the research, the maximum displacement of the spring was selected as the reliability criterion.

Krishan and Aggarwal (2012) used FEM and CAE tools to design and analyze the stress and deflection of a multi-leaf spring (i.e. CATIA, ANSYS). Results from the FEA and experiments show that the leaf spring deflects by 0.632% at full load and by the same amount at half load, respectively, proving the accuracy of the model and analysis. The bending stress is also very close to the experimental results in both cases. Maximum equivalent stresses are less than the material's yield stress, so the design is safe from failure.

One advantage of this study is that it sheds light on the efforts made by the agricultural manufacturing sector to strengthen and lighten their products. Also, leaf springs are built to dampen vertical vibrations caused by potholes and other road hazards. Additionally, they are much lighter leaf springs. Because of the modern material's internal damping, vibration energy is absorbed more effectively within the material, reducing the amount of noise transmitted to nearby structures.

## Conclusion

Transportation mechanization is significantly impacted by the scale of the business. The tractor and

trolley combination is used by small and medium-sized businesses, while large businesses typically use either a larger combination. The growing prevalence of mechanized farming transportation has broad justification in the field of agricultural mechanization. Because it enhances productivity, increases output, and decreases expenses. Mechanized transportation can be made even more effective with optimum transportation processes.

For the benefit of future agricultural trolleys, this research aims to provide a stress analysis of contemporary leaf springs manufactured from various materials based on CAD, CAE, and FEM. As a result, the characteristics of state-of-the-art leaf springs were the primary focus of this research, it showed that using CAD, CAE, and FEM evaluations gave us very valuable information about designed models and material behaviours.

#### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the article.

#### Conflicts of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest.

#### References

- Anonymous, (2024). Legal Speed Limits That Vehicles Must Follow in Türkiye. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/HizSinirlari.aspx>, Accessed 08 April 2024.
- Anonymous, (2023a). 40-ton two-axle back dump trolley. [https://tr.made-in-china.com/co\\_luckinvehicle/product\\_2-Axles-40-Tons-Side-Wall-Full-Trailer-Box-Stake-Fence-Trailer-Drawbar-Fence-for-Agricultural-Farm-Transport-Cargo-Truck-Trailer-Tractor-Trailer-Full-Trailer\\_ysnsrsigug.html](https://tr.made-in-china.com/co_luckinvehicle/product_2-Axles-40-Tons-Side-Wall-Full-Trailer-Box-Stake-Fence-Trailer-Drawbar-Fence-for-Agricultural-Farm-Transport-Cargo-Truck-Trailer-Tractor-Trailer-Full-Trailer_ysnsrsigug.html), Accessed 20 April 2023.
- Anonymous, (2023b). Agricultural Water Tanks. TS 3414, Turkish Standards Institute, Ministries, Ankara.
- Dhoshi, N.P., Ingole, N.K. and Gulhane, U.D. (2011). Analysis and modification of leaf spring of tractor trailer using analytical and finite element method. *International Journal of Modern Engineering Research*, 1(2): 719-722.
- EU, (2003). Directive 2003/37/EC of the European Parliament and of the Council (repealed). <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2003/37/resources>, Accessed 11 March 2024.
- Gaylo, R., Farahani, S., Schmueser, D. and Pilla, S. (2020). Optimization of a mono-composite leaf spring using a hybrid fiber-layup approach. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14: 407-421.
- Kadayıfçılar, S., (1993). Design Basics of Tractor Trolleys. Ankara University Faculty of Agriculture Publications: 1297, Book No: 373
- Krishan, K. and Aggarwal, M.L. (2012). A finite element approach for analysis of a multi leaf spring using CAE tools. *Research Journal of Recent Sciences*, 2277, 2502.
- Kueh, J.T.J. and Faris, T. (2012). Finite element analysis on the static and fatigue characteristics of composite multi-leaf spring. *Journal of Zhejiang University Science A*, 13: 159-164.
- Kumar, M.S. and Vijayarangan, S. (2007). Analytical and experimental studies on fatigue life prediction of steel and composite multi-leaf spring for light passenger vehicles using life data analysis. *Materials Science*, 13(2): 141-146.
- Ravindra, P., Raman, M. and Sanjay, B. (2014). Modeling and analysis of carbon fiber epoxy based leaf spring under the static load condition by using FEA. *International Journal of Emerging Science and Engineering*, 2(4): 39-42.
- Shakti, P. (2017). Vehicle Leaf Spring Design, Analysis and Comparison by Using E-Glass/Epoxy and Steel 65Si7. *International Journal of Innovative Science Engineering and Technology*, 4(1): 105-110.
- Shokrieh, M.M. and Rezaei, D. (2003). Analysis and optimization of a composite leaf spring. *Composite Structures*, 60(3): 317-325.
- Skrtz, A., and Paszek, T. (2003). Three dimensional contact analysis of the car leaf spring. *Numerical methods in continuum mechanics*, 7(4): 115-124.

# Tane İriliklerine Göre Sınıflandırılmış Buğday Çeşitlerine Ait Bazı Kalite Parametrelerinin Glutopeak Cihazıyla Değerlendirilmesi

## Evaluation of Some Quality Parameters of Wheat Varieties Classified by Grain Size with GlutoPeak Device

### Özet

Bu çalışmada 2021-2022 yetiştirme döneminde Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Konya Merkez lokasyonunda sulu koşullarda yetiştirilen, tane iriliğine göre sınıflandırılmış 25 adet buğday çeşidinin bazı fiziksel, kimyasal ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Denemede ortalama bin tane ağırlığı 36.24 g, Zeleny sedimantasyon değeri 38.32 ml, protein oranı %12.29, sertlik (SKCS) %51.17, Glutopeak parametrelerinden PMT 75.72 sn, BEM 47.85 GPU, AM 25.17 GPU, PM 35.44 GPU ve AGR.E değeri 1205.03 GPU olmuştur. Selçuklu çeşidi Zeleny sedimantasyon değeri açısından her 3 irilik grubunda da en yüksek değerleri elde ederken zayıf gluten yapısındaki Aliğa çeşidi ise en düşük Zeleny sedimantasyon değerine sahip olmuştur. Bayındır çeşidi güçlü gluten özelliği göstererek yüksek BEM değeri elde ederken yumuşak grupta yer alan Savatra çeşidi de düşük BEM değeri elde etmiştir. Özellikler arasındaki korelasyonlar incelendiğinde PMT değeri bin tane ağırlığı, sertlik, BEM, PM ve AGR.E değeri ile negatif önemli korelasyon göstermiştir. Her irilik grubu ayrı ayrı ve tüm çeşitler genel olarak değerlendirildiğinde; sertlik ile protein ve Zeleny sedimantasyon değeri arasında; Zeleny sedimantasyon değeri ile BEM ve PM değerleri arasında; BEM değeri ile sertlik, AM, PM ve AGR.E değerleri arasında; PM değeri ile sertlik ve AGR.E değeri arasında; AGR.E değeri ile protein, sertlik ve AM değerleri arasında pozitif önemli korelasyonlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elek analizi, Korelasyon, Protein, Reoloji, Zeleny sedimantasyon

**Sorumlu Yazar:** Berat DEMİR\*

beratdemir082@hotmail.com

 0000-0001-6102-2527

**Yazar:** Mehmet ŞAHİN\*

mehmetsahin222@yahoo.com

 0000-0003-2446-5227


**Yazar:** Aysun GÖÇMEN AKACIK\*

aysun888@yahoo.com

 0000-0002-8209-0796

**Yazar:** Seydi AYDOĞAN\*

seydiaydogan@yahoo.com

 0000-0003-0472-1211

**Yazar:** Sümeyra HAMZAOĞLU\*

sumeyraulvan@hotmail.com

 0000-0002-0572-3801

**Yazar:** Sadi GÜR\*

sdgr82@hotmail.com

 0000-0002-1857-8359

**Yazar:** Çiğdem MECİTOĞLU GÜÇBİLMEZ\*

cigdemmecitoglu@hotmail.com

 0000-0003-0670-4546

**Yazar:** Musa TÜRKÖZ\*

musaturkoz@hotmail.com

 0000-0002-9580-1884

\* Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Gönderilme Tarihi :

26 Aralık 2023

Kabul Tarihi :

30 Mart 2024

## Abstract

In this study, some physical, chemical and rheological properties of 25 wheat varieties classified according to grain size grown under irrigated conditions in the Konya central location of Bahri Dağdaş International Agricultural Research Institute during the 2021-2022 growing period were investigated. In the experiment, the average thousand grain weight was 36.24 g, Zeleny sedimentation value was 38.32 ml, protein ratio was 12.29%, hardness (SKCS) was 51.17%, Glutopic parameters were PMT 75.72 sec., BEM 47.85 GPU, AM 25.17 GPU, PM 35.44 GPU and AGR.E value was 1205.03 GPU. Selçuklu variety obtained the highest score in terms of Zeleny sedimentation value in each size group, while Aliğa variety with weak gluten structure had the lowest value. While Bayındır variety showed strong gluten characteristics and obtained high BEM value, Savatra variety, which is in the soft group, obtained low BEM value. When the correlations between the traits were analyzed, PMT value was negatively correlated with thousand grain weight, hardness, BEM, PM and AGR.E values. When each size group was evaluated individually and all varieties collectively; positive correlations were found between hardness and protein and Zeleny sedimentation value; between Zeleny sedimentation value and BEM and PM values; between BEM value and hardness, AM, PM and AGR.E values; between PM value and hardness and AGR.E value; between AGR.E value and protein, hardness and AM values.

**Keywords:** Correlation, Grain size, Protein, Rheology, Sieve analysis, Zeleny sedimentation

## Giriş

Buğday, dünya nüfusunun beslenmesindeki temel gıdalardan biri olarak bilinmektedir. Bazı kalite kriterleri göz önünde bulundurulduğunda ekmek, kek, bisküvi, gofret gibi ürünlere işlemede kullanılan en önemli hammaddelerden biri buğday unudur. Hamurun gaz tutma kapasitesi, işlenmesi ve yoğurulması gibi özellikler son ürüne işlenebilirliği de etkilemektedir. Gluten miktar ve kalitesi bakımından yüksek çeşitlerin unları ekmek ve makarna yapımında tercih edilirken, bisküvi yapımında daha düşük kalitede zayıf yapılı buğday unları talep edilmektedir. Buğday kalitesini etkileyen unsurlar tek bir

faktöre bağlı olmaksızın genetik, farklı yetiştirme teknikleri ve iklim özellikleri gibi birçok faktörden etkilenen geniş bir yelpazeye sahiptir. Tanenin fiziksel kalite kriterleri arasında tane rengi, camsılığı, ağırlığı, tane boyutu ve sertliği yer alırken, kimyasal kalite kriterleri arasında ise protein ve gluten içeriği ile SDS sedimentasyon değeri vb. yer alır (Gaines vd., 1996). Buğdaydaki önemli bir kalite kriteri ise tane iriliğidir. Buğday tanesinin iriliği, dolgunluğu, cılızlığı ile un verimi hakkında fikir veren bin tane ağırlığı, tanenin çimlenme ve çıkış hızı gibi parametrelerini doğrudan etkilemektedir (Elgün vd., 2012; Akıncı vd., 2008; Aydoğan vd., 2014) Elek analiziyle buğdayda tane boyutu belirlenebilmektedir. Farklı boyutlardaki eleklerden geçen buğday taneleri yüzde olarak hesaplanır. Tane iriliği, verim fizyolojisi bakımından, verimi artıran önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Tane dolun döneminde tanelerin tam dolunu çeşitlerin kalite performanslarını etkiler. Hem düşük tane ağırlığına sahip çeşitler hem de yüksek tane ağırlığına sahip çeşitler tane dolun döneminde çevresel faktörlerin de etkisiyle buruşuk taneli olurlarsa, taneler tam dolmadan olgunlaşmaya geçmeleri halinde un kalitelerinde düşüş gözlenebilmektedir (Şahin vd., 2013).

Tane iriliği üzerine yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Chastain ve Wysocki (1995), büyük tohumların daha hızlı çıkış yaptığını ve çıkış oranının küçük tohumlara göre daha yüksek olduğunu bildirirken, Lafond ve Baker (1986), yazlık buğdaylarda çimlenmenin; iri tohumlara nazaran küçük tohumlarda daha hızlı olduğunu, iri tohumların da fide ağırlığının küçük tohumlara oranla daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Main ve Nafziger (1994) ise; iri taneli tohumların özellikle kuraklık olmak üzere çevresel stres şartlarında daha çok avantaj sağladığını bildirmiştir.

Kimyasal analiz yöntemlerinden sedimentasyon değeri ile reolojik özellikler hakkında fikir veren farinograf, ekstensograf, alveograf ve Glutopeak analizleri gluten kalitesini belirlemede kullanılmaktadır. Reolojik özelliklerin tespitinde genellikle çok miktarda numuneye ve uzun süreye ihtiyaç vardır. Kısa sürede düşük miktarda un miktarı ile çalışma imkanı sağlayan Glutopeak cihazı son zamanlarda un sanayisinde ilgi görmektedir. Cihazın çalışma prensibi, belirli oranlardaki un ve su karışımına uygulanan yüksek karıştırma kuvveti (0-3000 d/d arası)

ile bu kuvvete karşı oluşan direncin ve süresinin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır (Çeliker, 2019). Dönen bir ölçüm paletiyle üretilen enerji süspansiyona girer ve tork elde edilir. Enerjinin girişi, numunedeki glutenin bir araya toplanmasını sağlar. Ölçüm süresince numune miktarı, çözücü, sıcaklık ve palet dönme hızı sabittir. Sabit hızda çalışan cihazın analiz süresi 1-10 dakika arasındadır. Test bittikten sonra, yazılım sonuçları otomatik olarak analiz eder (Anonim, 2023).

Glutopeak cihazından farklı parametreler elde edilmektedir. Bunlardan bazıları; BEM (maksimum tork); PMT (maksimum torka ulaşıncaya kadar geçen süre); AM (maksimum torktan 15 s önceki tork), PM (maksimum torktan 15 sn sonraki tork), maksimum torktan 15 sn önceki tork ve maksimum torktan 15 s sonraki tork arasında kalan diyagram alanı olarak ifade edilen AGR.E (agregasyon enerji) değerleridir (Güçbilmez vd.,2019; Şahin vd., 2020). Bu çalışmada tane iriliklerine göre sınıflandırılmış buğday çeşitlerinin bazı fiziksel, kimyasal ve reolojik kalite özelliklerinin Glutopeak cihazıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 1. Materyal ve Metot

### 1.1. Deneme materyali

Denemede kullanılan buğday örnekleri Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Konya-Merkez lokasyonunda sulu koşullarda 2021-2022 sezonunda yetiştirilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sulu koşullarda metrekaareye (450 adet m<sup>2</sup>) tohum ekilmiş, ekimle birlikte 12 kg da<sup>-1</sup> saf N ve 7 kg da<sup>-1</sup> saf P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile gübreleme yapılmıştır. Yetiştirme döneminde Merkez lokasyonda yağış miktarı 271 mm olarak kaydedilmiştir. Sulama sapa kalkma (70 mm) ve çiçeklenme (70 mm) dönemlerinde olmak üzere iki kez yapılmıştır.

### 1.2. Metot

Araştırmada kullanılan 25 adet tescilli ekmeçlik buğday çeşidi elek cihazında (Sortimat-Pfeuffer, GmbH.) tane boyutlarına göre 3 farklı elek aralığı (2.2, 2.5, 2.8 mm) kullanılarak sınıflandırılmıştır (Uluöz, 1965). Yapılacak olan analizlerde kullanılmak üzere tam buğday unu 6400 rpm' de 0.5 mm elek kullanılarak Perten 3100 kırma değirmeninden (Perten Instrument, İsveç) elde edilmiştir.

Rafine buğday unu eldesi için buğday örnekleri %14.5 rutubet esasına göre tavlanarak Brabender Junnior (880101, Brabender Ohg Duisburg, Almanya) değirmende AACC 26-95 metoduna göre öğütülmüştür (Anonim, 2000). Bin tane ağırlığı Williams vd. (1988)' na göre Contador/Pfeuffer marka cihazla hesaplanmıştır. Tane protein oranı AACC (39-11) ve tane sertliği SKCS (Single Kernel Characterization System) NIRS (Near Infrared Reflektance Spektroskopisi) cihazı (FOSS 2500F, Danimarka) ile (AACC 55-31), Zeleny sedimantasyon değeri ise AACC 56-61A'ya göre belirlenmiştir (Anonim, 2000). Glutopeak testi Brabender marka cihazla (803400, Brabender GmbH&Co KG, Duisburg, Almanya) yapılmıştır. Glutopeak cihazında tam buğday unu ve rafine unun kullanıldığı iki farklı metotla analiz yapılabilmektedir. Bu çalışmada Glutopeak analizleri Chandi&Seetharaman (2012)' da belirtilen yöntemle yapılmıştır. Cihazın karıştırma kabına 8.5 g tam buğday unu ve üzerine 9.5 g, 0.5 M CaCl<sub>2</sub> eklenmiş, analiz 34 °C sabit sıcaklıkta ve 1900 rpm sabit karıştırma hızında 3 dakikada tamamlanmıştır. Yapılan ölçümler cihazın yazılım programı (GlutopeakR version 2.2.0) tarafından kaydedilmiştir.

### 1.3. İstatistik

Denemede genotiplerin kalite analizleri 2 tekerrürlü olarak yapılmıştır. İstatistik analizler Jump 11 (2014) programında her irilik grubu kendi içerisinde ayrı ayrı ve birleşik analiz şeklinde, iki tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme deseni dizaynında varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamaların karşılaştırılması AÖF (asgari önemli fark) Student's Test yöntemine göre yapılmış, özellikler arası korelasyonlar incelenmiştir (Steel ve Torrie, 1980; Yurtsever, 1984).

### 2. Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan buğday çeşitlerine ait varyans analiz tablosu Tablo 1'de belirtilmiştir. Çalışmada bin tane ağırlığı, zeleny sedimantasyon, sertlik, BEM, PMT, AM, PM ve agregasyon enerji değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksiyonu arasındaki fark istatistik olarak p<0.01 düzeyinde önemli, tekerrürler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Protein oranları bakımından buğday çeşitleri ile tane irilikleri arasındaki fark istatistik olarak p<0.01 düzeyinde önemli bulunurken çeşitxtane iriliği ve tekerrürler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

**Tablo 1.** Varyans analiz tablosu

	Tane iriliği	Çeşit	Tekerrür	Çeşitlilik	Hata
Sd	2	24	1	48	
BNTA	803.24**	257.36**	2.48	234.81**	53.05
ZLNS	139.06**	3414.18**	15.17	138.02**	111.51
PRT	3.46**	31.78**	0.003	13.84	25.08
SERT	189.03**	2898.58**	21.94	276.63**	222.3
BEM	418.97**	245.77**	18.02	160.02**	123.97
PMT	1370.12**	3471.90**	0.42	1636.21**	209.57
AM	116.65**	195.49**	18.02	143.34**	132.97
PM	133.24**	1270.29**	6.82	406.42**	164.17
AGR.E	24.42**	13.49**	0.11	3.42**	32616.4

\*\* :  $p < 0.01$ ; \* :  $p < 0.05$ , BNTA:Bin tane ağırlığı, ZLNS:Zeleny sedimantasyon, PRT:Protein, SERT:Sertlik, PMT: Maksimum pik zamanı, BEM: maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 saniye önceki tork, PM: Maksimum torktan 15 saniye sonraki tork, AGR.E: Agregasyon enerji değeri.

Tane iriliklerine göre sınıflandırılmış 25 adet ekmeçlik buğday çeşidine ait bin tane ağırlığı ve Zeleny sedimantasyon değerleri Tablo 2’ de verilmiştir. 2.2 mm elek üzerinde kalan tanelerin bin tane ağırlığı incelendiğinde en düşük bin tane ağırlığı İkonya (24.85 g), en yüksek bin tane ağırlığı Karahan-99 çeşidinden (30.56 g) elde edilmiştir. 2.5 mm

elek üzerinde kalan tanelerin bin tane ağırlığı incelendiğinde en yüksek değer Avşar çeşidinden (38.61 g), en düşük değer ise Taner çeşidinden (32.84 g) elde edilmiştir. 2.8 mm elek üzerinde kalan tanelerin bin tane ağırlığı incelendiğinde ise en yüksek bin tane ağırlığı Ekiz (50.05 g), en düşük bin tane ağırlığı Konya-2002 (41.32 g) çeşitlerinden elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Buğday çeşitlerine ait bin tane ağırlığı ve Zeleny sedimantasyon değerleri

Örnek	Bin tane Ağırlığı (g)				Zeleny Sedimantasyon Değeri (ml)			
	2.2	2.5	2.8	Ortalama	2.2	2.5	2.8	Ortalama
Ahmetağa	26.20	35.01	42.58	34.59	37.23	39.50	38.28	38.33
Aliğa	25.96	35.21	47.51	36.22	30.50	31.50	30.50	30.83
Avşar	29.75	38.61	44.95	37.77	40.50	41.55	40.50	40.85
Bayındır	26.77	34.78	47.52	36.36	37.50	41.00	39.95	39.48
Bayraktar-2002	27.76	35.38	44.96	36.03	29.62	32.00	30.50	30.71
Bozkır	28.23	36.94	46.84	37.34	35.19	36.00	33.00	34.73
Buhara	27.97	37.75	44.87	36.86	35.78	39.71	39.50	38.33
Dağdaş-94	27.94	34.93	49.02	37.29	37.50	40.00	42.00	39.83
Ekiz	28.29	35.17	50.05	37.83	36.74	42.28	37.23	38.75
Eraybey	28.60	36.00	44.25	36.28	36.50	37.78	36.50	36.93
Hara	29.03	37.27	44.74	37.01	40.50	40.50	37.81	39.60

İkonya	24.85	33.96	46.10	34.97	36.92	38.66	37.50	37.69
Karahan-99	30.56	38.30	45.61	38.16	33.81	35.50	35.44	34.92
Kilistra	28.68	34.69	43.07	35.48	34.00	37.50	38.05	36.52
Konya-2002	25.55	32.99	41.32	33.29	41.35	46.00	45.00	44.12
Malazgirt	25.93	34.77	43.32	34.67	37.00	38.00	37.50	37.50
Meke	27.02	35.08	48.48	36.86	39.73	41.50	39.00	40.08
Savatra	26.58	34.22	43.67	34.82	30.00	32.50	32.05	31.52
Selçuklu	30.01	35.74	48.39	38.05	48.50	51.00	48.00	49.17
Şehzade	27.55	34.80	48.10	36.82	31.00	33.50	30.50	31.67
Taner	26.28	32.84	45.71	34.94	47.00	50.50	45.50	47.67
Tosunbey	25.98	36.85	43.00	35.27	39.50	41.50	40.00	40.33
Tuğra	25.89	33.58	43.71	34.39	39.00	42.00	41.50	40.83
Yavuz	29.95	37.09	43.79	36.94	43.06	47.50	43.50	44.69
Zorlu	29.68	37.09	46.61	37.79	33.50	32.50	32.75	32.92
<b>GENEL ORT.</b>	<b>27.64</b>	<b>35.56</b>	<b>45.52</b>	<b>36.24</b>	<b>37.28</b>	<b>39.60</b>	<b>38.08</b>	<b>38.32</b>
AÖF				1,67				2,42
DK				2,31				3,19
Uygulama				8033.24				139.06
Çeşit				257.36				3414.18
Tekerrür				2.48				15.17
Çeşit *tane iriliği				234.81				138.02

AÖF: Asgari önemli fark, DK: Değişim katsayısı

Tane iriliği arttıkça ortalama bin tane ağırlığı da artmaktadır. Bu durum un verimini de doğrudan etkileyen bir faktör olarak bilinmektedir (Çakmak, 2010). Çeşitlerin bin tane ağırlığı genel ortalaması incelendiğinde en düşük değer Konya-2002 çeşidinden (33.29 g), en yüksek değer ise Karahan-99 çeşidinden (38.16 g) elde edilmiştir. Şahin vd. (2011) yaptıkları benzer bir çalışmada Karahan çeşidinin bin tane ağırlığını 29.9 g olarak belirtmişlerdir. Aydoğan vd. (2014) sulu koşullarda yapmış oldukları bir çalışmada ekmeklik buğday çeşitlerinin bin tane ağırlıklarının ortalama değerlerini 2.2, 2.5 ve 2.8 mm elek çaplarına göre sırasıyla 32.32, 40.01, 47.03 g ve deneme ortalamasını 39.79 g olarak, en yüksek değeri Konya-2002 çeşidinde en düşük değeri ise Bezostaya-1 çeşidinden elde etmişlerdir. Çalışmada bin tane ağırlığı bakımından buğday çeşitleri,

tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksiyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunurken, tekerrürler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Tablo 1).

Zeleny sedimantasyon değeri tanenin gluten kalitesi hakkında fikir veren önemli bir parametredir. Gluten miktar ve kalitesi yüksek olduğunda Zeleny sedimantasyon değeri de yüksek olmaktadır (Hruskova ve Famera, 2003). Bu çalışmada Zeleny sedimantasyon değeri ortalama 38.32 ml olarak belirlenmiştir. 2.2 mm elek üstünde kalan tanelerin Zeleny sedimantasyon değeri incelendiğinde en düşük değer Bayraktar-2002 (29.62 ml), en yüksek değer Selçuklu (48.50 ml) çeşidinden elde edilmiştir. Aliğa çeşidi hem 2.5 hem de 2.8 mm elek üstünde kalan taneler arasında en düşük Zeleny sedimantasyon değerine sahip olurken, Selçuklu çeşidi tüm elek üstünde kalan gruplarda

en yüksek Zeleny sedimantasyon değerine sahip olmuştur. Bu çalışmayla benzer sonuçların elde edildiği bir başka çalışmada, Gür (2022), 10 adet ekmeklik buğday çeşidinde Zeleny sedimantasyon değerini 41 ml olarak bulmuş en yüksek Zeleny sedimantasyon değerini ise Selçuklu çeşidinden (56 ml) elde etmiştir. Aydoğan vd. 2014, ekmeklik buğday çeşitlerinin zeleny sedimantasyon değerleri

deneme ortalamasının 43.02 ml, 2.2, 2.5, 2.8 mm'lik elek üstü zeleny sedimantasyon değerleri ortalamasının sırasıyla 34.00, 49.00, 46.08 ml olduğunu tespit etmişlerdir. Zeleny sedimantasyon değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 3.** Buğday çeşitlerine ait protein ve sertlik değerleri

Örnek	Protein (%)				Sertlik (SKCS)(%)			
	2.2	2.5	2.8	Ortalama	2.2	2.5	2.8	Ortalama
Ahmetağa	12.62	12.33	12.49	12.48	60.31	57.38	54.61	57.43
Aliğa	12.29	11.85	11.27	11.80	31.06	30.89	30.63	30.86
Avşar	11.93	12.17	12.04	12.05	57.21	55.92	54.66	55.93
Bayındır	12.80	13.18	12.49	12.82	74.46	72.07	70.50	72.34
Bayraktar-2002	12.06	10.85	11.37	11.42	30.51	30.78	30.44	30.58
Bozkır	12.41	11.50	12.18	12.03	32.73	33.67	32.00	32.80
Buhara	12.88	13.24	12.73	12.95	60.66	60.94	59.24	60.28
Dağdaş-94	13.39	12.11	12.96	12.82	79.28	76.30	73.66	76.41
Ekiz	12.52	12.57	12.31	12.46	53.55	53.81	56.08	54.48
Eraybey	12.43	12.31	12.01	12.25	50.27	46.66	43.78	46.90
Hara	12.45	12.70	12.05	12.40	66.10	64.35	60.12	63.52
İkonya	11.84	11.82	11.64	11.77	63.05	65.73	62.60	63.79
Karahan-99	12.55	12.61	11.58	12.25	36.81	33.53	32.03	34.12
Kilistra	12.51	13.16	11.98	12.55	55.77	55.03	54.19	54.99
Konya-2002	12.56	11.96	12.22	12.25	63.09	60.78	56.68	60.18
Malazgirt	12.55	11.93	11.64	12.04	59.01	58.75	57.31	58.36
Meke	11.99	11.65	11.82	11.82	45.11	34.67	39.69	39.82
Savatra	11.29	11.40	11.12	11.27	28.85	29.83	30.05	29.57
Selçuklu	13.50	12.80	12.96	13.08	57.74	54.40	57.36	56.50
Şehzade	11.55	12.39	11.78	11.91	31.95	29.39	30.11	30.48
Taner	13.34	11.85	13.01	12.73	74.81	71.79	70.73	72.44
Tosunbey	12.74	12.51	13.23	12.83	54.39	55.18	53.87	54.48
Tuğra	12.66	12.08	12.12	12.28	50.25	48.19	47.00	48.48
Yavuz	13.17	12.10	12.08	12.45	55.94	54.55	51.17	53.88
Zorlu	12.59	12.90	12.54	12.67	42.84	40.28	38.93	40.68
<b>GENEL ORT.</b>	12.50	12.24	12.14	<b>12.29</b>	52.63	50.99	49.90	<b>51.17</b>



AÖF	1.15	3.44
DK	4.71	3.38
Uygulama	3.46	189.03
Çeşit	31.78	28938.58
Tekerrür	0.003	21.94
Çeşit *tane iriliği	13.84	276.73

AÖF: asgari önemli fark, DK: değişim katsayısı

Protein miktar ve kalitesi buğday unlarının son kullanım amacına uygunluğunu belirleyen önemli bir faktördür. Çeşidin genetik özellikleri dışında sıcaklık, yıllık yağış miktarı, yağışın aylara göre dağılımı, yetiştirme koşulları, kültürel uygulamalar ve süne-kıvım gibi zararlılar da protein oranı ve kalitesine etki eder (Atlı, 1999; Çağlayan ve Elgün, 1999). Bu araştırmada çeşitlere ait genel protein oranı ortalaması % 12.29 olmuştur. 2.2 mm elek üstünde kalan buğday çeşitlerinde en düşük protein oranı Savatra (% 11.29), en yüksek protein oranı Selçuklu (%13.50) çeşidinden elde edilmiştir. 2.5 mm elek üstünde kalan buğday çeşitlerinde en düşük protein oranı Bayraktar-2002 (%10.85), en yüksek protein oranı Buhara çeşidinden (%13.24) elde edilmiştir. 2.8 mm elek üstünde kalan buğday çeşitlerinde en düşük ve en yüksek protein oranları ise sırasıyla Savatra (%11.12) ve Tosunbey (%13.23) çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 3). Tane boyutu arttıkça protein oranları düşmüştür. Bu sonuç Şahin vd. (2013) tarafından da desteklenmektedir. Bu durumun sebebi tane boyutunun artmasıyla tanedeki nişasta miktarının artması ve protein miktarının oransal olarak azalması şeklinde açıklanabilir. Aydoğan vd. (2014), yapmış oldukları benzer bir çalışmada tane boyutunun artışı ile protein oranında azalmaların olduğunu ve buna karşılık boyut azaldıkça protein oranında artış olduğunu, tane iriliğinin buğday kalitesine etki ettiğini sanayicinin işleyeceği buğdayın fiziksel ve bazı kalite özelliklerine göre alım yapmasının ne denli önemli olduğunu belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada farklı bölgelerden temin edilen 125 adet buğday örneğinden elde edilen kırma unu örneklerinin protein oranı %7.3 ile %14 değerleri arasında değişmiş olup, ortalama % 10.58 olarak bulunmuştur (Onar, 2018). Protein oranları bakımından buğday çeşitleri ile tane irilikleri arasındaki fark istatistiki

olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunurken, tekerrürler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Tablo 1).

Buğdayın öğütme ve pişirme kalitesi ile son kullanım amacına uygunluğunu etkileyen önemli faktörlerden biri de tane sertliğidir ve un verimi, un partikül iriliği, nişasta zedelenmesi, su absorpsiyonu, hamur gelişme süresi ve hamurun uzama yeteneğini etkiler (Morris, 2002). Tane sertliği büyük oranda genetik yapıya bağlı olmakla birlikte ekmeklik buğdayda tane endosperm yapısının arzu edilen sertlikte olması istenir (Karaduman vd., 2017). Ayrıca tane sertliği çevresel ve fiziksel faktörlerin yanında tane proteini, tanenin camsılığı, tane boyutu, suda çözünür pentozanlar, nem ve lipid içeriği gibi kimyasal faktörlerden etkilenir (Anjum ve Walker, 1991; Turnbull ve Rahman, 2002). Bu çalışmada buğday çeşitlerinin sertlik değeri ortalaması %51.17 olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçların elde edildiği başka bir çalışmada Kaplan Evlice vd. (2016) 199 adet ekmeklik buğdaya ait ortalama sertlik değerini %50.4 olarak belirtmişlerdir. Tane iriliği arttıkça sertlik azalmakta, ancak aynı çeşit içindeki tane sertliği değişimleri, olgunlaşmadaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Daha küçük tohumlar daha geç gelişir. Geç kaldıkları için tahıl doldurma döneminde iyi dolmazlar ve gelişmek için daha az zamanları olduğu için buruşup yumuşayabilirler (Gaines, 1986). Savatra çeşidi hem 2.2 hem de 2.8 mm elek üstünde kalan çeşitler içerisinde, Şehzade çeşidi ise 2.5 mm elek üstünde kalan çeşitler içerisinde en düşük sertlik değerine sahip olmuştur. Dağdaş-94 çeşidi ise tüm elek üstünde kalan gruplar içerisinde en yüksek sertlik değerine sahip olmuştur. Bu çalışmada tane sertliği bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşit x tane iriliği interaksyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 4.** Buğday çeşitlerine ait PMT ve GPU değerleri

Örnek	PMT (sn)				BEM (GPU)			
	2.2	2.5	2.8	Ortalama	2.2	2.5	2.8	Ortalama
Ahmetağa	75.50	72.50	68.00	72.00	47.50	47.00	46.00	46.83
Aliğa	96.50	72.00	54.50	74.33	43.00	42.00	48.00	44.33
Avşar	106.50	90.50	71.50	89.50	47.50	45.00	51.50	48.00
Bayındır	59.50	42.50	60.00	54.00	53.00	68.00	52.00	57.67
Bayraktar-2002	122.00	122.00	70.00	104.67	42.50	40.50	51.00	44.67
Bozkır	89.50	72.00	63.50	75.00	47.00	50.00	51.00	49.33
Buhara	93.00	150.00	105.50	116.17	49.00	36.00	43.50	42.83
Dağdaş-94	52.00	47.00	42.00	47.00	53.00	50.50	52.00	51.83
Ekiz	60.50	96.50	52.50	69.83	45.50	33.50	49.00	42.67
Eraybey	97.50	84.00	80.00	87.17	44.00	45.50	50.00	46.50
Hara	100.50	78.00	40.50	73.00	48.50	51.50	55.00	51.67
İkonya	84.00	91.50	67.50	81.00	48.00	46.50	46.50	47.00
Karahan-99	90.00	67.50	65.00	74.17	43.00	46.00	47.00	45.33
Kilistra	74.50	75.00	55.00	68.17	51.50	53.50	52.00	52.33
Konya-2002	72.00	61.50	47.00	60.17	43.00	46.50	53.00	47.50
Malazgirt	50.00	64.00	53.00	55.67	52.50	44.00	48.00	48.17
Meke	87.00	75.00	60.00	74.00	46.00	50.00	48.00	48.00
Savatra	56.00	64.00	41.00	53.67	39.00	32.50	44.50	38.67
Selçuklu	85.50	73.50	54.00	71.00	45.50	54.50	59.50	53.17
Şehzade	86.00	95.50	69.00	83.50	43.50	45.00	48.50	45.67
Taner	77.00	80.00	62.00	73.00	50.50	48.50	52.50	50.50
Tosunbey	86.50	88.00	61.50	78.67	52.00	50.50	54.00	52.17
Tuğra	91.50	88.00	70.00	83.17	48.00	46.50	51.00	48.50
Yavuz	90.50	86.00	81.50	86.00	50.00	47.00	52.00	49.67
Zorlu	77.50	127.00	60.00	88.17	49.50	33.00	47.50	43.33
<b>GENEL ORT.</b>	<b>82.44</b>	<b>82.54</b>	<b>62.18</b>	<b>75.72</b>	<b>47.30</b>	<b>46.14</b>	<b>50.12</b>	<b>47.85</b>
AÖF				3.34				2.56
DK				2.21				2.69
Uygulama				13750.12				418.97
Çeşit				34711.90				2405.77
Tekerrür				0.42				18.02
Çeşit *tane iriliği				16360.21				1640.02

AÖF: asgari önemli fark, DK: değişim katsayısı, BEM: maksimum tork, PMT: maksimum torka ulaşıncaya kadar geçen süre

PMT değeri glutenin maksimum dirence ulaşabilmesi için geçen zamanı ifade eden, hamur yoğurma süresi hakkında fikir veren Glutopik parametrelerinden biridir (Onar, 2018). Bu çalışmada 2.2 mm elek üstünde kalan çeşitler içerisinde en yüksek PMT değeri Bayraktar-2002 (122 sn), en düşük Malazgirt (50 sn) çeşitlerinden elde edilmiştir. Buhara çeşidi hem 2.5 mm hem de 2.8 mm elek üzerinde kalan çeşitler arasında en yüksek PMT değerini elde etmiştir. Tüm buğday çeşitleri içerisinde ortalama PMT değeri 47-116.17 sn arasında değişmiş olup ortalama 75.72 sn olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Çeliker (2019) farklı buğday çeşitleri ile yaptıkları Glutopik çalışmasında PMT değerinin 48-135 sn aralığında değiştiğini belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların da literatür verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda PMT değerinin uzun/kısa oluşu hakkında farklı sonuçlar elde edilmekte olup, ekmek yapımında kullanılacak güçlü gluten kalitesine sahip buğday unlarında yüksek PMT değerleri tespit edilirken, glutenin daha hızlı bir şekilde toplanarak daha kısa sürede pik noktaya ulaşmasıyla daha düşük PMT değerleri de elde edilebilmektedir (Karaduman vd., 2021). Melnyk vd. (2011) bu durumu glutenin miktarının gluten gücünü belirlediğini, gliadin/glutenin oranının da PMT'yi etkilediği şeklinde yorumlamıştır. Dolayısıyla PMT değeri değişkenlik gösterebilen bir parametredir. Bu çalışmada PMT değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşit x tane iriliği interaksyonu

arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

BEM değeri glutenin maksimum direnci olarak ifade edilir. BEM değerinin yüksek olması gluten direncinin yüksek olduğunu gösterir. Ekmek ve yufka yapımında yüksek gluten direncine sahip unlar tercih edilirken bisküvi yapımında bunun tam tersi yöndeki zayıf gluten yapısındaki unlar kullanılır. Tablo 4 incelendiğinde 2.2 mm elek üstünde kalan buğday örneklerinde Bayındır ve Dağdaş-94 çeşitlerinden en yüksek BEM değeri (53 GPU) elde edilirken, Savatra çeşidinden en düşük BEM değeri (39,0 GPU) elde edilmiştir. 2.5 mm elek üstünde kalan buğday örneklerinde de yine en yüksek BEM değeri Bayındır (68 GPU), en düşük BEM değeri ise Savatra (32.5 GPU) çeşidinden elde edilmiştir. 2.8 mm elek üstünde kalan buğday örneklerinde ise en yüksek ve en düşük BEM değerleri sırasıyla Selçuklu (59.5 GPU) ve Buhara (43.5 GPU) çeşitlerinden elde edilmiştir. Tüm buğday örneklerinin ortalama BEM değeri ise 47.85 GPU olmuştur. 25 adet ekmeklik buğday çeşidinin bazı teknolojik özelliklerinin Glutopik cihazıyla değerlendirildiği bir başka çalışmada, bu verilerle uyumlu olarak, BEM değerleri ortalamasının 57.26 GPU olduğu tespit edilmiştir (Akın, 2022). Bu çalışmada BEM değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşit x tane iriliği interaksyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 5.** Buğday çeşitlerine ait AM ve PM değerleri

Örnek	AM (GPU)				PM (GPU)			
	2.2	2.5	2.8	Ortalama	2.2	2.5	2.8	Ortalama
Ahmetağa	25.00	27.00	24.00	25.33	34.50	37.00	38.00	36.50
Aliğa	26.50	16.50	20.00	21.00	31.50	31.50	31.00	31.33
Avşar	22.00	21.50	28.50	24.00	39.50	36.50	36.00	37.33
Bayındır	28.50	31.00	28.50	29.33	38.00	37.00	36.00	37.00
Bayraktar-2002	20.50	22.50	35.50	26.17	37.00	34.00	33.50	34.83
Bozkır	26.00	22.50	28.00	25.50	35.00	35.00	40.00	36.67
Buhara	22.50	24.00	23.50	23.33	40.00	32.50	35.00	35.83
Dağdaş-94	23.50	22.50	24.00	23.33	36.00	38.50	40.50	38.33
Ekiz	21.50	15.50	24.00	20.33	35.00	32.00	34.00	33.67

Eraybey	18.00	17.00	24.50	19.83	34.00	33.00	34.50	33.83
Hara	25.50	29.50	33.00	29.33	34.50	39.00	40.50	38.00
İkonya	24.00	23.00	24.50	23.83	33.00	33.50	36.50	34.33
Karahan-99	31.00	26.00	23.50	26.83	29.50	32.50	33.50	31.83
Kilistra	32.50	34.50	23.00	30.00	37.00	40.00	41.00	39.33
Konya-2002	17.50	21.00	23.00	20.50	32.00	33.00	40.00	35.00
Malazgirt	23.00	20.00	21.50	21.50	36.50	32.50	38.00	35.67
Meke	23.00	27.00	29.00	26.33	34.00	34.00	34.00	34.00
Savatra	17.50	15.00	20.00	17.50	27.00	25.00	31.50	27.83
Selçuklu	27.00	32.00	26.50	28.50	36.50	40.50	42.00	39.67
Şehzade	22.00	34.50	28.50	28.33	33.00	31.00	32.50	32.17
Taner	23.00	32.00	27.00	27.33	37.00	38.50	39.00	38.17
Tosunbey	27.00	40.50	31.50	33.00	38.50	39.00	41.00	39.50
Tuğra	23.50	23.00	31.50	26.00	33.00	35.00	38.50	35.50
Yavuz	26.00	25.00	26.50	25.83	38.00	37.50	39.00	38.17
Zorlu	26.00	26.00	27.00	26.33	33.50	27.50	33.50	31.50
<b>GENEL ORT.</b>	<b>24.10</b>	<b>25.16</b>	<b>26.26</b>	<b>25.17</b>	<b>34.94</b>	<b>34.62</b>	<b>36.76</b>	<b>35.44</b>
AÖF				2.66				2.94
DK				5.32				4.17
Uygulama				116.65				133.24
çeşit				1956.49				1270.29
tekerrür				18.02				6.82
<b>Çeşit *tane iriliği</b>				1437.34				406.42

AÖF: asgari önemli fark, DK: değişim katsayısı, AM: maksimum torktan 15 sn önceki tork, PM: maksimum torktan 15 sn sonraki tork

Glutopak cihazı parametrelerinden AM değeri, maksimum torka ulaşmadan 15 sn önceki tork olarak ifade edilir ve gluten kalitesi hakkında fikir verir. Zayıf yapılı bisküvilik unlarda düşük AM değeri elde edilir (Akın, 2022). Bu literatüre istinaden bisküvilik buğday olarak değerlendirilen Savatra çeşidinin üç farklı irilik grubunda da en düşük AM değeri elde ettiği görülmektedir. Çeşitlerin ortalama AM değerleri incelendiğinde en yüksek AM değerinin Tosunbey çeşidinden (33 GPU), en düşük Savatra çeşidinden (17.5 GPU) elde edilmesi de sonuçların literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir (Tablo 5). Benzer bir çalışmada Karaduman vd. (2021) bölge verim kademesinden elde edilen 24 adet buğday genotipine

ait AM değerinin ortalama 24.4 GPU olduğunu ifade etmişlerdir. AM değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

PM değeri maksimum torka ulaştıktan 15 sn sonraki tork olarak değerlendirilir. PM değeri gluten kalitesini gösteren ve gluten kalitesiyle doğru orantılı olarak değişkenlik gösteren bir diğer parametredir. Çalışmada hem 2.2 hem de 2.5 elek üstünde kalan buğday çeşitlerinden Savatra çeşidinin iki grupta da en düşük PM değeri (27 ve 25 GPU) elde ettiği, Aliğa çeşidinin de 2.8 elek üstünde kalan grupta

en düşük PM değeri (31 GPU) elde ettiği görülmektedir. 2.2 mm elek üstünde kalan buğday çeşitlerinden en yüksek PM değerine Buhara çeşidi (40 GPU) sahip olurken, Selçuklu çeşidi 2.5 ve 2.8 mm elek üstünde kalan buğday çeşitleri arasında sırasıyla en yüksek PM değerlerine (40.5 ve 42 GPU) sahip olmuştur. Denemeye ait PM değeri genel ortalama 35.44 GPU olup en yüksek PM değeri Selçuklu (39.67 GPU) çeşidinden, en düşük PM değeri ise Savatra (27.83 GPU) çeşidinden elde edilmiştir (Tablo

5). Bu sonuçlarla paralel olarak yapılan bir başka çalışmada Türkiye'nin 5 farklı bölgesinden (Edirne, Erzurum, Adana, Çorum, Eskişehir) temin edilen 125 adet buğday örneğinde PM değeri ortalamasınının 39.28 GPU olduğu belirtilmiştir (Onar, 2018). PM değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksyonunu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 6.** Buğday çeşitlerine ait AGR.E değerleri

Örnek	AGR.E (GPU)			
	2.2	2.5	2.8	Ortalama
Ahmetağa	1175.53	1268.53	1183.24	1209.10
Aliğa	1168.90	981.40	1101.08	1083.79
Avşar	1104.00	1216.70	1216.47	1179.06
Bayındır	1379.50	1507.99	1332.12	1406.53
Bayraktar-2002	1038.66	997.36	1284.85	1106.96
Bozkır	1162.73	1259.89	1294.40	1239.01
Buhara	1286.37	1032.28	1102.18	1140.27
Dağdaş-94	1291.20	1177.10	1350.85	1273.05
Ekiz	1187.38	940.18	1263.57	1130.38
Eraybey	1093.32	1167.13	1312.82	1191.09
Hara	1190.29	1363.55	1383.83	1312.55
İkonya	1116.64	1177.72	1274.64	1189.66
Karahan-99	1164.37	1189.97	1132.13	1162.15
Kilistra	1337.98	1454.83	1354.70	1382.50
Konya-2002	1082.65	1062.58	1278.48	1141.24
Malazgirt	1199.27	1099.19	1211.52	1169.99
Meke	1086.55	1131.11	1169.58	1129.08
Savatra	963.48	852.40	1116.37	977.41
Selçuklu	1196.46	1462.75	1418.50	1359.23
Şehzade	1197.53	1210.28	1182.66	1196.82
Taner	1199.82	1317.74	1351.65	1289.74
Tosunbey	1233.03	1209.05	1308.48	1250.18
Tuğra	1138.01	1116.50	1265.24	1173.25
Yavuz	1245.05	1307.83	1358.13	1303.67

Zorlu	1190.67	975.98	1220.48	1129.04
<b>GENEL ORT.</b>	<b>1177.17</b>	<b>1179.20</b>	<b>1258.72</b>	<b>1205.03</b>
AÖF				132.39
DK				5.52
Uygulama				216270.3
Çeşit				1463616.3
Tekerrür				503.1
Çeşit *tane iriliği				727577.9

AÖF: asgari önemli fark, DK: değişim katsayısı, AGR.E: Agregasyon enerji değeri

Gluten kalitesi hakkında fikir veren AGR.E değeri, Glutopik analizi sonucunda maksimum torktan 15 sn önce ve 15 sn sonrasında elde edilen diyagramın alt kısmının alanı olarak hesap edilmektedir (Malegori vd., 2018). Tane iriliği arttıkça AGR.E değerinin arttığı görülmektedir. Hem 2.2 mm hem de 2.5 mm elek üzerinde kalan buğday çeşitlerinde en yüksek AGR.E değerine Bayındır çeşidi (1379.5 ve 1507.99 GPU), en düşük AGR.E değerine ise Savatra çeşidinden (963.48 ve 852.40 GPU) elde edilen unlar sahip olmuştur. 2.8 mm elek üzerinde ise en yüksek

AGR.E değeri Selçuklu çeşidinde (1418.5 GPU), en düşük AGR.E değeri ise Aliğa çeşidinde (1101.08 GPU) bulunmuştur. Tüm çeşitlerin ortalama AGR.E değeri ise 1205.03 GPU olarak belirlenmiştir (Tablo 6). Karaduman vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada AGR.E değerini 866.3-1442.6 GPU aralığında bulmuşlardır. AGR.E değeri bakımından buğday çeşitleri, tane iriliği ve çeşitxtane iriliği interaksyonu arasındaki fark istatistik olarak  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 7. Korelasyon tablosu

		2.2	2.5	2.8	Genel
Zeleny sed.	Bin tane Ağırlığı	0.0698	-0.1733	-0.1499	0.0284
Protein	Bin tane Ağırlığı	0.1386	0.2130	0.1286	-0.1593
Protein	Zeleny sed.	0.5156**	0.1390	0.5067**	0.3314**
Sertlik	Bin tane Ağırlığı	-0.1181	-0.1689	-0.0052	-0.0978
Sertlik	Zeleny sed.	0.6459**	0.6267**	0.7298**	0.6432**
Sertlik	Protein	0.4920**	0.3148*	0.5502**	0.4508**
PMT	Bin tane Ağırlığı	0.2758	0.3171*	-0.1287	-0.3648**
PMT	Zeleny sed.	-0.0390	-0.1888	-0.0039	-0.0686
PMT	Protein	-0.1314	0.0784	0.0866	0.0834
PMT	Sertlik	-0.3724**	-0.2208	-0.0792	-0.1744*
BEM	Bin tane Ağırlığı	-0.0421	-0.1017	0.0390	0.2050*
BEM	Zeleny sed.	0.3759**	0.4039**	0.5344**	0.3567**
BEM	Protein	0.4850**	0.2139	0.3299*	0.2422**
BEM	Sertlik	0.6799**	0.4324**	0.3399*	0.4119**

BEM	PMT	-0.3067*	-0.5958**	-0.3120*	-0.5358**
AM	Bin tane Ağırlığı	0.2668	0.0634	0.0366	0.1964*
AM	Zeleny sed.	0.0770	0.2898*	0.0287	0.1676*
AM	Protein	0.2295	0.3275*	0.1349	0.1989*
AM	Sertlik	0.0879	0.2170	-0.0277	0.0962
AM	PMT	0.0129	-0.0033	0.1268	-0.0474
AM	BEM	0.4403**	0.5581**	0.4335**	0.5157**
PM	Bin tane Ağırlığı	0.1585	0.0548	-0.2335	0.1993*
PM	Zeleny sed.	0.3776**	0.6080**	0.6616**	0.5126**
PM	Protein	0.3434**	0.2273	0.4868**	0.2895**
PM	Sertlik	0.4886**	0.5664**	0.5780**	0.5090**
PM	PMT	0.1551	-0.2620	-0.1808	-0.2227**
PM	BEM	0.6263**	0.7124**	0.5951**	0.6676**
PM	AM	0.1807	0.5629**	0.2047	0.3871**
AGR.E	Bin tane Ağırlığı	0.2161	0.0514	0.0755	0.2705**
AGR.E	Zeleny sed.	0.1539	0.4629**	0.4602**	0.3439**
AGR.E	Protein	0.3524**	0.4289**	0.4029**	0.3244**
AGR.E	Sertlik	0.4952**	0.4514**	0.4897**	0.4205**
AGR.E	PMT	-0.2695	-0.3770**	-0.2012	-0.3978**
AGR.E	BEM	0.6737**	0.8328**	0.7079**	0.7920**
AGR.E	AM	0.5682**	0.6416**	0.3719**	0.5808**
AGR.E	PM	0.4911**	0.7796**	0.6538**	0.6887**

PMT: Maksimum pik zamanı, AM: Maksimum torktan 15 saniye önceki tork, PM: Maksimum torktan 15 saniye sonraki tork, BEM: maksimum tork, AGR.E: Agregasyon enerji değeri

Tablo 7’de, çeşitlerin 2.2, 2.5 ve 2.8 mm elekler üzerindeki irilik gruplarına ait ayrı ayrı ve toplu haldeki özellikleri arasındaki korelatif ilişkiler gösterilmektedir. 2.2 mm elek üstündeki grupta protein ile Zeleny sedimentasyon (0.5156) ve AGR.E değeri (0.3524) arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir ( $p<0.01$ ). Sertlik ile protein (0.4920), Zeleny sedimentasyon (0.6459), BEM (0.6799), PM (0.4886), ve AGR.E değeri (0.4952) arasında pozitif korelasyon ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. BEM değeri ile Zeleny sedimentasyon (0.3759), protein (0.4850), PM (0.6263) ve AGR.E değeri (0.6737) arasında pozitif korelasyon ( $p<0.01$ ) belirlenmiştir. PM değeri ile Zeleny sedimentasyon (0.3776), AGR.E değeri (0.4911), protein (0.3434) ile  $p<0.01$  düzeyinde pozitif ilişki belirlenmiştir. AM değeri ile BEM (0.4403) ve AGR.E değeri (0.5682)

değerleri arasında  $p<0.01$  düzeyinde önemli korelasyon bulunmuştur. PMT değeri ile Sertlik (-0.3724) arasında  $p<0.01$  düzeyinde, BEM değeri (-0.3067) ile de  $p<0.05$  düzeyinde negatif korelasyon bulunmuştur. PMT değerinin diğer parametreler ile arasındaki korelasyonlar önemsiz bulunmuştur.

2.5 mm elek üzerinde kalan çeşitlerin özelliklerine ait korelasyonlar incelendiğinde Sertlik ile Zeleny (0.6267), BEM (0.4324), PM (0.5664) ve AGR.E değeri (0.4514) arasında  $p<0.01$  düzeyinde, protein (0.3148) ile  $p<0.05$  düzeyinde pozitif korelasyon tespit edilmiştir. PMT ile bin tane (0.3171) arasında  $p<0.05$  düzeyinde pozitif korelasyon bulunurken, BEM (-0.5958) ve AGR.E değeri (-0.3770) arasında negatif ilişki tespit edilmiştir ( $p<0.01$ ).

BEM değeri ile Zeleny sedimantasyon (0.4039), AM (0.5581), PM (0.7124) ve AGR.E değeri (0.8328) arasında pozitif ( $p<0.01$ ) ilişki bulunmuştur. AM değeri ile Zeleny sedimantasyon (0.2898) ve protein (0.3275) arasında  $p<0.05$  düzeyinde, PM (0.5629) ve AGR.E değeri (0.6416) arasında  $p<0.01$  seviyesinde pozitif korelasyon bulunmuştur. PM ile Zeleny sedimantasyon (0.6080) ve AGR.E değeri (0.7796) arasında pozitif korelasyon belirlenmiştir ( $p<0.01$ ). AGR.E değeri ile Zeleny sedimantasyon (0.4629) ve protein (0.4289) değerleri arasında da  $p<0.01$  düzeyinde önemli korelasyon bulunmuştur.

2.8 mm elek üstünde kalan çeşitlerin özelliklerine ait korelasyonlar Tablo 7'de belirtilmiştir. Protein ile Zeleny sedimantasyon (0.5067), sertlik (0.5502), PM (0.4868) ve AGR.E değeri (0.4029) arasında pozitif korelasyon bulunurken ( $p<0.01$ ), BEM (0.3299) ile  $p<0.05$  düzeyinde pozitif önemli korelasyon belirlenmiştir. Sertlik ile Zeleny sedimantasyon (0.7298), PM (0.5780) ve AGR.E değerleri (0.4897) arasında  $p<0.01$  düzeyinde pozitif önemli, BEM (0.3399) ile  $p<0.05$  düzeyinde pozitif önemli korelasyon belirlenmiştir. BEM değeri ile Zeleny sedimantasyon (0.5344), AM (0.4335), PM (0.5951) ve AGR.E değeri (0.7079) arasında  $p<0.01$  düzeyinde pozitif önemli korelasyon bulunurken, PMT (-0.3120) değeri ile arasında  $p<0.05$  düzeyinde negatif korelasyon belirlenmiştir. AM değeri ile AGR.E değeri (0.3719) arasında pozitif önemli ilişki tespit edilmiştir ( $p<0.01$ ). PM ile Zeleny sedimantasyon (0.6616) ve AGR.E değeri (0.6538) arasında  $p<0.01$  düzeyinde pozitif korelasyon tespit edilmiştir.

Her üç elek grubunda da Zeleny sedimantasyon değeri ve Sertlik, BEM ve PM değerleri arasında, AGR.E değeri ile protein, sertlik, BEM, AM ve PM değerleri arasında, BEM ile PM ve AM değerleri arasında, PM ile sertlik arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Bin tane ile sertlik, Zeleny sedimantasyon ve protein arasındaki korelasyon ile PMT değeri ile Zeleny sedimantasyon, AM ve protein arasındaki ve AM ile sertlik arasındaki korelasyon ise istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur.

Tüm çeşitlerin incelenen özelliklerine ait genel korelasyon sonuçları değerlendirildiğinde protein ile Zeleny

sedimantasyon değeri (0.3314), sertlik (0.4508), BEM (0.2422), PM (0.2895) ve AGR.E değeri (0.3244) arasında  $p<0.01$  düzeyinde, AM (0.1989) ile  $p<0.05$  düzeyinde pozitif ilişki bulunmuştur. Benzer korelasyonların elde edildiği bir başka Glutopack çalışmasında Marti vd. (2014), protein içeriği ve maksimum pik arasında  $p<0.01$  seviyesinde anlamlı pozitif bir korelasyon ( $r = 0.70$ ) gözlemlemiştir. Sertlik ile Zeleny sedimantasyon (0.6432), BEM (0.4119), PM (0.5090) ve AGR.E değeri (0.4205) arasında  $p<0.01$  düzeyinde pozitif, PMT (-0.1744) ile  $p<0.05$  düzeyinde negatif korelasyon belirlenmiştir. Bu sonuçlarla paralellik arz eden bir başka çalışmada Sertlik ile PMT arasında negatif ( $r=-0.6659$ ,  $p < 0.01$ ), BEM değeri ile de pozitif güçlü korelasyon ( $r=0.7776$ ,  $p < 0.01$ ) tespit edilmiştir (Güçbilmez vd., 2019). PMT değeri ile bin tane (-0.3648), BEM (-0.5358), PM (-0.2227) ve AGR.E değeri (-0.3978) arasında  $p<0.01$  düzeyinde negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. BEM değeri ile AM (0.5157), AGR.E değeri (0.7920) ve Zeleny sedimantasyon (0.3567) değerleri arasında ( $p<0.01$ ) düzeyinde, bin tane (0.2050) ile de  $p<0.05$  düzeyinde pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Gür (2022) 10 adet tescilli ekmeklik buğday çeşidinin bazı kalite parametrelerinin Glutopack cihazı ile değerlendirdiği çalışmasında BEM ile PM (0.93) ve AGR.E değeri (0.89) arasında pozitif ve önemli ( $p<0.01$ ), PMT ile (-0.72) negatif önemli ( $p<0.05$ ) korelasyon olduğunu belirtmiştir. AM değeri ile, PM (0.3871) ve AGR.E değeri (0.5808) arasında  $p<0.01$  düzeyinde, bin tane (0.1964) ve Zeleny sedimantasyon değerleri (0.1676) ile de  $p<0.05$  düzeyinde pozitif korelasyon ortaya çıkmıştır. Şanal vd. (2018) da bu bulgularla benzer bir şekilde AM ve Zeleny sedimantasyon değerleri arasında önemli korelasyon tespit etmişlerdir. PM değeri ile bin tane (0.1993) ( $p<0.05$ ) ve AGR.E değeri (0.6887) ( $p<0.05$ ) arasında da pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada AGR.E değeri ile bin tane (0.67;  $p<0.05$ ) ve protein (0.79;  $p<0.01$ ) arasında pozitif korelasyon belirlenirken (Gür, 2022), bu çalışmada da benzer şekilde AGR.E değeri ile bin tane (0.270) ve Zeleny sedimantasyon (0.343) değerleri arasında  $p<0.01$  düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiştir (Tablo 7).



### 3. Sonuç

Tane iriliği buğday kalitesinin belirlenmesinde önemli kriterlerden biridir. Buğdayın son ürüne işlenmesinde sanayici tarafından homojen iriliğe sahip buğdayların olması arzu edilir. Bu çalışmada elde edilen veriler de tane iriliğinin bazı kalite özelliklerini etkilediğini doğrular niteliktedir. Tane iriliği arttıkça çeşitlerin bin tane ağırlığı miktarının arttığı protein oranının ise azaldığı görülmektedir. Protein oranındaki azalışın tanenin artan iriliğe bağlı olarak nişasta miktarının artması ve protein miktarının da oransal olarak azaldığı düşünülmektedir. Karahan-99 çeşidi en yüksek bin tane ağırlığına sahip olurken, en yüksek protein oranı Selçuklu, en düşük protein oranı da Savatra çeşidinden elde edilmiştir. Selçuklu çeşidi Zeleny sedimantasyon değeri açısından her 3 irilik grubunda da en yüksek değerleri elde ederken zayıf gluten yapısındaki Aliağa çeşidi ise en düşük Zeleny sedimantasyon değerine sahip olmuştur. Dağdaş-94 çeşidi tane sertliği yönünden her üç grupta da en yüksek değerleri elde ederken Savatra ve Şehzade yumuşak grupta yer almıştır. Hara, Dağdaş-94 ve Malazgirt çeşitleri PMT değeri yönünden incelendiğinde düşük sonuçlar elde ederken Buhara ve Bayraktar-2002 çeşitleri yüksek PMT değerlerine sahip olmuşlardır. Bayındır çeşidi güçlü gluten özelliği göstererek yüksek BEM değeri elde ederken yumuşak grupta yer alan Savatra çeşidi de düşük BEM değeri elde etmiştir. Savatra çeşidi AM değeri bakımından da her üç tane iriliği grubunda da en düşük değerlere sahip olmuştur. PM değerleri göz önüne alındığında da Selçuklu çeşidi en yüksek değeri elde etmiştir. AGR.E değerleri incelendiğinde en düşük Savatra, en yüksek Bayındır çeşitleri ön plana çıkmıştır. Özellikler arasındaki korelasyonlar incelendiğinde PMT değeri bin tane, sertlik, BEM, PM ve AGR.E değerleriyle negatif yönde korelasyon göstermiştir. Her üç irilik grubu ve tüm çeşitler toplu olarak değerlendirildiğinde sertlik ile Zeleny sedimantasyon ve protein arasında, Zeleny sedimantasyon ile BEM ve PM değerleri arasında, BEM değeri ile sertlik, AM, PM ve AGR.E değerleri arasında, PM değeri ile sertlik ve AGR.E değeri arasında, AGR.E değeri ile protein, sertlik ve AM değerleri arasında pozitif yönde korelasyonlar tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda Glutopeak cihazından elde edilen parametrelerin çeşitlerin kalite özelliklerini

belirlemede daha az numuneye kısa sürede daha hızlı sonuç verebileceği, son kullanım amacına göre buğday seçiminde yardımcı olabileceği düşünülmektedir. İleriki zamanlarda Glutopeak cihazıyla yapılacak olan çalışmaların artırılması bazı reolojik analizlerle olan farklı korelasyonların da değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

### Kaynaklar

- Anjum, F.M. & Walker, C.E. (1991). Review on the significance of starch and protein to wheat kernel hardness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 56: 113.
- Anonim, (2000). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, tenth ed. Methods 26-95, 39-11, 55-31, 56-61A, Minnesota, USA.
- Anonim, (2023), <https://www.anamed.com.tr/brabender/kalite-kontrol-sistemleri/glutopeak-brabender-glutopeak>. Erişim tarihi 03.03.2023
- Akın, A. (2022). *Tescil Ettirilmiş Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Beslenme ve Teknolojik Kalite Bakımından Değerlendirilmesi* (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Akıncı, C., Yıldırım, M. & Bahar, B. (2008). The effects of seed size on emergence and yield of durum wheat. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(2): 234
- Atlı, A. (1999). Buğday ve Ürünleri Kalitesi. *Orta Anadolu'da Hububat Tarımının Sorunları Ve Çözüm Yolları Sempozyumu*, 498-506: 8-11 Haziran 1999, Konya.
- Aydoğan, S., Şahin, M., Akçacık, A.G. & Yakışır, E. (2014). Farklı tane iriliğinin ekmeklik buğday kalitesine etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 1(1): 27-33.
- Chandi, G. K. & Seetharaman, K. (2012). Optimization of gluten peak tester: A statistical approach. *Journal of Food Quality*, 35(1): 69-75.
- Chastain, T. G. & Wysocki, K. J. (1995). Stand establishment responses of soft white winter wheat to seedbed residue and seed size, *Crop Science*, 35: 214-218.
- Çağlayan, M. & Elgün, A. (1999). Değişik çevre şartlarında

- yetiştirilen ekmeklik buğday hat ve çeşitlerinin bazı teknolojik özellikleri üzerinde araştırmalar. *Orta Anadolu'da Hububat Tarımının Sorunları ve Çözüm Yolları Sempozyumu*, 513-518, 8-11 Haziran, Konya.
- Çakmak, M. (2010). *Ekmeklik buğday (T. aestivum L.) genotiplerinde başaklanma sonrası bazı fenolojik, fizyolojik ve bitkisel özellikler ile verim, kalite unsurları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Konya.
- Çeliker, G. (2019). *TS 2974 buğday standardına göre aynı kategoride yer alan ekmeklik buğday çeşitlerinin farinograf ve ekstensograf özelliklerinin belirlenerek TMO hububat alım kriterleri ile uyumluluğunun incelenmesi ve glutopik analizinin bu sınıflandırma ve değerlendirme çerçevesinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. & Kotancılar, H.G. (2012). *Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu*. 4. Basım. Atatürk Üniversitesi. Yayın No: 867.
- Gaines C.S. (1986). Texture (hardness and softness) variation among individual soft and hard wheat kernels. *Cereal Chemistry*, 63: 479-484.
- Gaines C.S. Finney P.F., Fleege L.M. & Andrews L.C. (1996). Predicting a hardness measurement using the single-kernel characterization system. *Cereal Chemistry* 73: 278283.
- Güçbilmez, Ç. M., Şahin, M., Akçacık, A. G., Aydoğan, S., Demir, B., Hamzaoğlu, S. & Yakışır, E. (2019). Evaluation of GlutoPeak test for prediction of bread wheat flour quality, rheological properties and baking performance. *Journal of Cereal Science*, 90, 102827.
- Gür, S. (2022). *Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Teknolojik, Reolojik ve Ekmeklik Özellikleri ile Glutopik Parametreleri Arasındaki İlişkiler*, (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon
- Hruskova M. & Famera O. (2003). Prediction of wheat and flour zeleny sedimentation value using NIR technique, *Czech Journal of Food Science*, 21: 91-96.
- Kaplan Evlice, A. K., Pehlivan, A., Külen, S., Keçeli, A., Şanal, T., Karaca, K. & Salantur, A. (2016). Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde ekmek hacmi ve bazı kalite parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel Sayı-1): 12-18.
- Karaduman, Y., Akın, A., Türkölmez, S., Tunca, Z.S., Belen, S.O. & Server, B.B. (2017). Ekmeklik buğday ıslah programında teknolojik kalite parametreleri yönü ile yapılan değerlendirmeler. *XII. Tarla Bitkileri Kongresi*, Poster Bildiri, 12-15 Eylül, Kahramanmaraş.
- Karaduman, Y., Akın, A., Yılmaz, E., Doğan, S. & Belen, S. (2021). Ekmeklik buğday ıslah programlarında gluten kalitesinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 141-151.
- Lafond, G.P. & Baker, R. J. (1986). Effects of genotype and seed size on speed of emergence and seedling vigor in nine spring wheat cultivars, *Crop Science*, 26: 341-345.
- Main, M.A.R. & Nafziger, E.D. (1994). Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. *Crop Science*, 36: 169-171.
- Malegori, C., Grassi, S., Ohm, J. B., Anderson, J. & Marti, A. (2018). GlutoPeak profile analysis for wheat classification: Skipping the refinement process, *Journal of Cereal Science*, 79: 73-79.
- Marti, A., D'egidio, M.G., Dreisoerner, J. & Ambrogina, M. (2014). Durum wheat semolina characterization by means of a rapid shear-based method, Department of Food, Environmental and Nutritional Science, es, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - C.R.A., Rome, Italy, 542-547.
- Melnyk, J. P., Dreisoerner, J., Bonomi, F., Marcone, M. F. & Seetharaman, K. (2011). Effect of the Hofmeister series on gluten AGR.Eegation measured using a high shear-based technique. *Food Research International*, 44(4): 893-896.
- Morris, C.F. (2002). Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Molecular Biology*, 48(5-6): 633-647.
- Onar, D. (2018). *Türkiye'de yetiştirilen buğdaylarda gluten kalitesinin değerlendirilmesinde glutopik parametrelerinin*

- kullanım olanaklarının araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi) Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Şahin, M., Akçacık, A. & Aydoğan, S. (2011). Bazı ekmeklik buğday genotiplerinin tane verimi ile kalite özellikleri arasındaki ilişkiler ve stabilite yetenekleri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 39-48.
- Şahin, M., Akçacık, A. G., Aydoğan, S. & Özer, E. (2013). Ekmeklik buğday tane boyutunun kalite özellikleri üzerine etkisi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 23(2): 1-8.
- Şahin, M., Akçacık, A. G., Aydoğan, S., Demir, B., Mecitoğlu Güçbilmez, Ç., Hamzaoğlu, S., Gür, S. & Yıldırım, T. (2020). Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) genotiplerinin gluten kalitesinin glutopik cihazı ile değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(2): 151-164.
- Şanal, T., Evlice, A.K., Pehlivan, A. & Külen, S. (2018). The relationship between some quality characteristics and GlutoPeak parameters in bread wheat. *Proceedings of the 13th International Gluten Workshop*. March 14–17, 2018. Mexico.
- Turnbull, K.M. & Rahman, S. (2002). Endosperm texture in wheat. *Journal of Cereal Science* 36: 327-337.
- Uluöz, M. (1965). *Buğday, Un ve Ekmek Analiz Metodları*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:57.
- Williams P., El-Haramein, J.F., H.Nakkoul & Rihawi, S. (1988). *Crop Quality Evaluation Methods and Guidelines*, International Center For Agricultural Research in The Dry Areas (ICARDA), Syria.