

## 2. BÖLÜM

### İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI YEŞİL KALKAN: KÜÇÜK TANELİ TAHİL SİLAJLARI

Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE<sup>1</sup>

Zeki MUT<sup>2</sup>

Hanife MUT<sup>3</sup>

Dişar ARİS<sup>4</sup>

#### Giriş

Tarımsal üretim ve ruminant besleme sistemlerinde kaba yem arzının yıl boyunca kesintisiz, kaliteli ve sürdürülebilir bir şekilde sağlanması hayvancılık ekonomisinin temel taşııı oluşturmaktadır. Küresel iklim değışikliğı ve su kıtlığı tarımsal üretimin ve hayvancılık sistemlerinin sürdürülebilirliğini güvence altına almak amacıyla kaba yem kaynaklarının çeşitlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Buğday, arpa, yulaf, çavdar ve tritikale gibi küçük taneli tahıllar; otlatma, yeşil ve kuru ot üretimi ile silaj formunda değeriendirilebilen çok yönlü ve stratejik kaba yem alternatifleridir (Matt ve ark., 2026). Bu bağlamda, söz konusu yem kaynaklarının silaj teknolojisiyle korunması ve depolanması günümüzde modern bir teknik olarak kabul edilse de kökeni M.Ö. 3000-1000 yıllarına Antik Mısır ve Kartaca medeniyetlerine kadar uzanan köklü bir tarımsal geçmişe sahiptir (Muck ve ark., 2020; Yimin ve Kazuo, 2025). Günümüzde ise bu tahıllar, özellikle iklim değışikliğinin sebep olduğu düzensiz yağış rejimleri ve kuraklık süreçlerinde, ruminant hayvan beslemesinde yıl boyunca stabil, esnek ve besleyici bir kaba yem kaynağı sağlama görevi üstlenmektedir

---

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0429-3325

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1465-3630

<sup>3</sup>Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5814-5275

<sup>4</sup>Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0009-0006-1432-0517

(Carrillo-Hernández ve ark., 2023; Ma ve ark., 2022). Modern tarım sistemlerinde bu tahıllar, kış aylarında toprağın yüzeyini kaplayarak su ve rüzgâr erozyonunu en aza indiren, yabancı ot istilasını baskılayan, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını iyileştiren, su tutma kapasitesini artıran ve biyolojik aktiviteyi teşvik eden çok yönlü "örtü bitkisi" olarak yaygın şekilde tercih edilmektedir (Pandey ve ark., 2025; Simons, 2025). İklim değişikliğinin getirdiği düzensiz yağış rejimlerine karşı önemli bir tarımsal adaptasyon mekanizması sunan küçük taneli tahıllar, kısa vejetasyon süreleri sayesinde özellikle kuraklık riski yüksek bölgelerde öne çıkmaktadır (Zamora-Juárez ve ark., 2024). Erken hasat edilen çavdar, tritikale, arpa ve buğday gibi tahılların silajı, özellikle sıcak stresinin yoğun olduğu dönemlerde hayvanların kuru madde alımını ve süt verimliliğini desteklemek için yüksek sindirilebilirlik oranları sunmaktadır (Tóthi ve ark., 2024). Ancak, çok erken evrelerde yapılan hasatlarda bitki nem oranının %80 civarında seyrettiği unutulmamalıdır; silaj amaçlı kullanılacak bu tahılların potansiyel fermantasyon risklerini önlemek adına tarlada ön soldurma uygulamasına tabi tutulması gereklidir. Özellikle mısırın yüksek su ihtiyacı göz önüne alındığında bu küçük taneli tahılların tercih edilmesi üretim döngüsünde su verimliliğini artırırken, mevsimsel kuraklık dönemlerinde oluşabilecek yem açıklarını gidermek için de kritik bir tampon görevi görmektedir (Álvarez-García ve ark., 2023). Düşük su gereksinimleri ve kışa dayanıklılıkları sayesinde iklimsel belirsizliklere karşı direnç gösteren bu ürünler süt hayvancılığı işletmelerinde ekonomik bir kaba yem alternatifi oluşturmaktadır (Celis-Álvarez ve ark., 2026; Vega-García ve ark., 2022). Bilhassa arpa ve çavdar gibi türlerin ikili karışımları veya tritikale ile zenginleştirilen üçlü silaj kombinasyonları yem kalitesini optimize ederek dış girdi maliyetlerini azaltan sürdürülebilir bir yönetim stratejisi olarak öne çıkmaktadır (Carrillo-Hernández ve ark., 2023).

Küçük taneli tahılların silaj formundaki kullanımı, dünyadaki farklı iklim ve coğrafi şartlara göre çeşitli bölgesel stratejiler şeklinde uygulanmaktadır (Şekil 1). Kuzey Amerika: Amerika Birleşik Devletleri'nin Nebraska ve Idaho gibi yoğun bitkisel tarım ve hayvancılık yapılan eyaletlerinde, kışa dayanıklı olan küçük taneli tahıllar, sığır rasyonlarında geleneksel mısır silajını tamamlayıcı stratejik ve güvenli bir kaba yem kaynağı olarak çok yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Pandey ve ark., 2025; Sartin ve ark., 2023).

Asya Bölgesi: Çin sınırları içerisinde yer alan aşırı düşük sıcaklıklara ve zorlu iklim koşullarına sahip Qinghai-Tibet Platosu gibi yüksek rakımlı alanlarda, tritikale, çavdar ve yulaf silajları kış aylarında ortaya çıkan devasa kaba yem açığını kapatmakta hayati bir rol oynamaktadır (Ma ve ark., 2022). Japonya'da ise atıl durumdaki ve kullanılmayan çeltik tarlalarının değerlendirilmesi amacıyla, modern inokulant teknolojileriyle desteklenen tam bitki çeltik silajı üretimi aktif olarak yapılmaktadır (Matsuyama ve Kim, 2025).



**Şekil 1. Dünya Genelinde Küçük Taneli Tahıl Silajlarının Kullanım Stratejileri ve Bölgesel Yaklaşımlar**

Latin Amerika: Meksika gibi tarımsal iklim açısından kırılgan bölgelerde bulunan küçük ölçekli süt sığırcılığı işletmeleri, iklim değişikliğinin getirdiği risklere uyum sağlayabilmek adına tek tür ekimi yerine üçlü tahıl karışımlarını (örneğin arpa-çavdar-tritikale) silaj formunda kullanmayı stratejik olarak tercih etmektedir (Carrillo-Hernández ve ark., 2024).

Avrupa: Kıta genelinde, özellikle Akdeniz kuşağında derinleşen yaz kuraklıkları ile Orta ve Kuzey Avrupa'yı etkileyen sıcaklık dalgaları, geleneksel mısır silajı üretiminde ani verim ve nişasta kayıplarına yol açmaktadır (Alltech, 2026). Bu agroekolojik baskılar karşısında Avrupa tarım sistemleri, kışlık ve erken ilkbahar vejetasyon döneminden maksimum düzeyde yararlanan küçük taneli tahıllara yönelmektedir (Alltech, 2026; Ávila ve Carvalho, 2020).

Türkiye: Ülkedeki kaliteli kaba yem açığı ve çayır-mera kaynaklarının aşırı ve erken otlatılması nedeniyle yetersiz kalması, hayvancılık sektörünün en önemli problemlerinden biridir (Gökkuş ve Hanoğlu Oral, 2022). Türkiye'de mısır silajı ana ve ikinci ürün olarak yaygınlığını korusa da yüksek su tüketimi üreticileri alternatif arayışlara sevk etmektedir. Bu doğrultuda, serin iklim tahılları, özellikle kışlık ekimle vejetasyon dönemindeki yağışları optimize ederek ilkbahar başında (süt-olum döneminde) yüksek kaliteli silaj üretimine olanak tanımaktadır (Karaevli ve Baytekin, 2018; Kılıç, 1997). Türkiye'deki modern işletmelerde bu tahıllar, silaj kalitesini ve ham protein içeriğini artırmak amacıyla genellikle yem bezelyesi veya fiğ gibi baklagillerle karışım halinde de ekilmekte ve böylece birim alandan alınan besin değeri en üst düzeye çıkarılmaya çalışılmaktadır (Kızılşimşek, 2005).

### Hasat Dönemleri

Biçim zamanındaki fenolojik dönem, bitkinin besinsel kompozisyonu ile silajın rasyon formülasyonundaki ekonomik konumunu doğrudan belirleyebilen temel bir faktör olup, küçük taneli tahıllarda silaj verimi ve besleme değeri biçim dönemindeki fenolojik olgunluk derecesine bağlı olarak şekillenmektedir (Wang ve ark.,2024; Ferreira ve ark., 2025). Bu olgunluk evrelerinin standardizasyonu ve takibinde literatürde en yaygın kabul gören yöntem, 0 ile 99 arasında bir kodlama ile gösterilen Zadoks Büyüme Skalasıdır (Zadoks ve ark., 1974). Bu skala Tablo 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Tahıllarda Zadoks Büyüme Skalası ve Fenolojik Dönemler

| Zadoks Skalası | Dönem Adı                    |
|----------------|------------------------------|
| GD 00 - 09     | Çimlenme                     |
| GD 10 - 19     | Yaprak Gelişimi              |
| GD 20 - 29     | Kardeşlenme                  |
| GD 30 - 39     | Sapa Kalkma                  |
| GD 40 - 49     | Gebecik                      |
| GD 50 - 59     | Başak Gösterme               |
| GD 60 - 69     | Çiçeklenme-Tozlanma          |
| GD 70 - 79     | Süt Olum                     |
| GD 80 - 89     | Sarı (Hamur) Olum            |
| GD 90 - 99     | Olgunluk / Hasat (tane için) |

GD: Gelişim dönemi

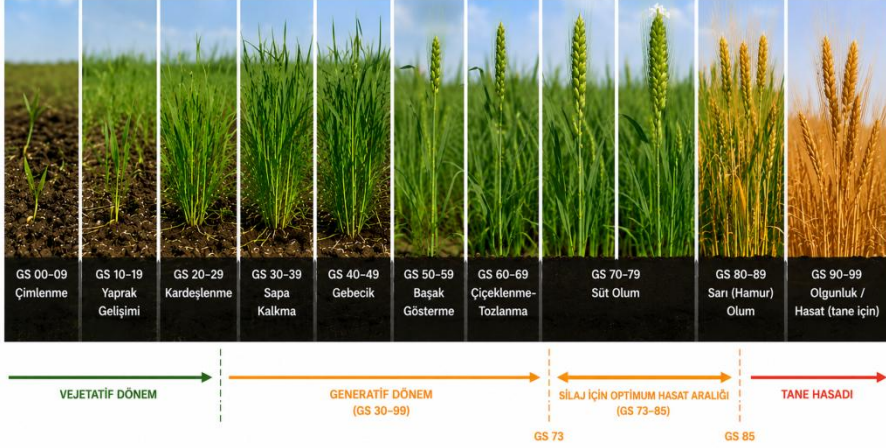
Küçük taneli tahıllar genellikle gebecik döneminden hamur olum dönemine kadar silaj amaçlı biçilmektedir. Bu ürünlerin farklı gelişim evrelerinde fenolojik takibiyle hasat edilen kaba yemin ham protein verimi ve besin sindirilebilirliği arasındaki kritik değişim dengesini en uygun düzeyde tutmak temel hedeftir (Mohajer, 2012). Bu amaçla kullanılabilecek en doğru yöntemlerden birisi Zadoks skalasına göre değerlendirme yapılmasıdır.

**Zadoks 40-49 Arasındaki Gebecik/Kın Aşaması:** Bu dönem, başağın yaprak kını içinde büyüdüğü, şişmeye başladığı ve dışarı çıkmadan hemen önceki kritik evreyi kapsar. Bu çok erken evrede yapılan hasat, bitkinin hücresel düzeyde en yüksek ham protein konsantrasyonuna (genellikle %15.4 ile %25.9 arası) ve en yüksek sindirilebilir organik madde içeriğine ulaşmasını sağlar (Pandey ve ark., 2025; Sartin ve ark., 2023). Bu dönemde henüz yoğun lignin birikmediği için kuru madde sindirilebilirliği ve protein oranı en yüksek seviyededir. Yüksek verimli süt sığırları gibi en yüksek (premium) kalitede kaba yeme ihtiyaç duyan hayvanlar için rasyon performansını doğrudan artırır (Xie ve ark., 2012). Ancak bu aşamada birim alandan elde edilen toplam kuru madde verimi çok düşüktür (Ferreira ve ark., 2025). Ayrıca nem oranı %80 civarında olduğundan bütirik asit fermentasyonunu önlemek için silaj öncesi tarlada %30-35 kuru maddeye ulaşınca kadar ön soldurma yapılması gerekmektedir.

**Zadoks 50-69 Arasındaki Başaklanma ve Çiçeklenme Dönemi:** Başağın kından tamamen çıkış döneminden tozlanmanın tamamlanmasına kadar olan dönemi kapsar. Başaklanma döneminde yapılan biçimde ham protein ve lif fraksiyonları arasında orta düzeyde bir denge sağlanır (Li ve ark., 2025). Bu fenolojik dönemde kuru madde içeriği kademeli olarak artarken ham protein oranı %13.3-17.9 seviyelerine geriler. Çevresel faktörlerin protein fraksiyonlarının doku içerisindeki dağılımı üzerindeki belirleyici etkisi dikkate alındığında, bölgenin iklim koşulları ile hasat zamanının dengelenmesi kaba yemin besleme değerinde standardizasyonu belirler (Nielsen ve ark., 2021).

**Zadoks 70-79 Arasındaki Süt Olum Dönemi:** Döllenmenin ardından başlayan süt olum döneminde, fotosentez ürünleri taneye taşınmaya başlar ve danenin içi zamanla beyaz sütsü bir sıvı ile dolar. Bu evrede kuru madde verimi gebecik dönemine göre oldukça yüksektir. Erken süt olum döneminde hasat edilen bitkiler daha yüksek ham protein içeriği ile öne çıkarken, sarı

oluma doğru ilerleyen dönemlerde nişasta birikimi ve fermente edilebilir karbonhidrat dengesi silaj kalitesi üzerinde belirleyicidir (Nadeau, 2007). Bitki bu dönemde doğal olarak %28-32 kuru maddeye ulaştığı için hem fermentasyon kalitesi dengelidir hem de lif ve enerji oranı genel hayvan kullanımı için optimum seviyededir (Xu ve ark., 2024).



**Şekil 2.** Tahıllarda Zadoks Skalası'na Göre Fenolojik Gelişim Evreleri ve Silaj Hasat Aralığı

**Zadoks 80-89 Arasındaki Sarı (Hamur) Olum Dönemi:** Bu dönemde tanedeki nişasta birikimi hızlanarak tanenin su kaybetmesi ile tane hamur kıvamına gelir ve bitki sararmaya başlar. Hayvancılık işletmelerinin maksimum kuru madde verimi ve toplam enerji üretimi hedeflerine ulaşabilmesi için bu dönemin en uygun hasat aşaması olduğu öngörülmektedir (Pandey ve ark.,2025). Yumuşak hamur evresine doğru biçim yapıldığında bitkinin bünyesinde nişasta birikiminin arttığı, bu durumun ise enerji yoğunluğunun yükselmesine ve akabinde daha yüksek kuru madde verimi elde edilmesini sağladığı görülmektedir (Ferreira ve ark., 2025; Galyon ve ark., 2026). Yapılan çalışmalar yumuşak hamur aşamasında yapılan hasadın, gebecik aşamasına göre %107 ile %205 daha fazla kuru madde sağladığını bildirilmiştir (Ferreira ve ark., 2025). Kuru madde içeriği ideal silaj yapım aralığı olan %30-%35 aralığına ulaşarak tarlada soldurmaya gerek kalmaksızın doğrudan biçim yapılarak silaj yapılmasına olanak tanır (Simons, 2025).

Özellikle Zadoks 83-85 (yumuşak ve sert hamur) evresi, danedeki nişastanın %20-30 ile tepe noktasına ulaştığı, tahıl silajı için maksimum enerji ve maksimum kuru madde veriminin birleştiği en iyi dönemdir. Zadoks 85 sert hamur olum döneminde dane sıkıldığında parmak arasında şeklini korur ancak tırnak basıldığında iz bırakır. Kuru madde oranı %35-38'e ulaşır. Artan nişasta, saptaki kalitesiz lif oranını seyrelterek toplam kuru madde sindirilebilirliğini yeniden yükseltir. Bitki kendiliğinden ideal silaj nemine ulaştığı için de tarlada ön soldurma yapılmadan doğrudan biçilip silolanabilir.

### **Tür Seçimi, Özellikleri ve Karışım Sistemleri**

Kaliteli kaba yem üretimi için en uygun türün seçilmesi; yerel iklim koşullarına, toprağın fiziko-kimyasal yapısına ve hedeflenen hayvansal üretim modeline (süt veya et) göre optimize edilmelidir (Matt ve ark.,2026). Farklı fizyolojik olgunlaşma dönemlerine sahip türlerin veya çeşitlerin karışım halinde yetiştirilmesi, hasat dönemi aralığını genişleterek iklimsel değişkenliklere karşı tampon etkisi yaratmakta ve yem kalitesindeki besin değerlerini standardize etmektedir (Distel ve ark., 2020) (Şekil 3).

Tritikale: Küçük taneli tahıllar arasında en yüksek kuru madde (KM) ve biyokütle verim potansiyeline sahip tür olarak öne çıkmaktadır (Ma ve ark., 2022; Sartin ve ark., 2023). Bu bitkinin marjinal çevresel koşullara karşı sergilediği yüksek adaptasyon kabiliyeti çift amaçlı kullanım için önemli bir potansiyel barındırır (Cui ve ark., 2025). Biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı gösterdiği üstün direnç sayesinde asitli topraklar ve kurak bölgeler gibi zorlayıcı alanlarda dahi yüksek bir adaptasyon kabiliyeti sergiler (András ve ark., 2024; Martínez–Moreno ve ark., 2025). Özellikle tritikalenin fiğ ve yem bezelyesi gibi baklagil türleriyle belirli oranlarda karıştırılarak ekilmesi hem kuru madde verimini hem de elde edilen silajın ham protein içeriğini optimize eder. Bu tür karışım sistemleri azot kullanım etkinliğini artırarak kimyasal gübre ihtiyacını azaltmaktadır (Kchaou ve ark., 2022).

Çavdar: Erken ilkbaharda hızlı büyüme yeteneği sergilemesi ve kış aylarındaki soğuk stresine ve verimsiz toprak koşullarına karşı en yüksek genetik dayanıklılığı göstermesi ile öne çıkan bir türdür (Sartin ve ark., 2023). Çavdar ayrıca verimsiz topraklarda besin maddelerinin topraktan yıkanmasını önleyen bir örtü bitkisi olarak kullanılması durumunda azotun bir sonraki kültür bitkisi tarafından daha etkin değerlendirilmesini sağlar (Costanzo ve Bärberi, 2013). Düşük girdilerle ürün verebilmesi sayesinde sınırlı kaynaklara

sahip işletmelerde kaba yem açığını kapatmak için stratejik bir alternatiftir (Sadreddine, 2016). Bununla birlikte çavdarın en önemli agronomik dezavantajı çok hızlı ligninleşmesi ve biçim aralığının çok dar olmasıdır.

Arpa: Hızlı olgunlaşma yeteneği ve toprak tuzluluğuna karşı yüksek toleransı nedeniyle dikkate değer bir türdür (Barker ve ark.,2023; Matt ve ark.,2026). Arpa, düşük yağış alan bölgelerde erken olgunlaşma eğilimi ile kuraklık stresinden kaçınma stratejisi geliştirmekte ve silajlık üretimde istikrarlı bir verim güvencesi sunmaktadır. Erken dönemde yüksek besin değerine ulaşması, yüksek alkali topraklara olan toleransı ve hastalık döngülerini kırma kapasitesi ona önemli bir avantaj sağlamaktadır (Jedel ve ark., 1998). Silaj fermentasyonunu doğrudan etkileyen %10.8 nişasta ve %5.8 suda çözünür karbonhidrat değerleriyle mikrobiyal asidifikasyon hızı yüksektir.



**Şekil 3.** Küçük Taneli Tahıllarda (Arpa, Buğday, Çavdar, Tritikale ve Yulaf) Silaj Üretim Sürecinin Şematik Gösterimi

Yulaf: Asidik topraklara karşı yüksek tolerans sergileyen, yüksek ot verimine sahip önemli bir bitkidir (Bharti ve ark., 2023; Niazi ve ark., 2023). Sert kış şartlarına ve kuraklığa karşı genetik toleransı serin iklim tahılları arasında en düşük düzeyde seyrettiğinden, dondurucu kış ekolojilerinde vejetatif hasar riskini azaltmak adına yazlık ekimi; Akdeniz kuşağı gibi ılıman kış şartlarına sahip bölgelerde ise sonbahar ekimi tercih edilmelidir.

Sonbaharda ekilen yulaf genotipleri, ilkbahar ekimlerine göre daha uzun bir büyüme döngüsü sunarak yıl boyunca kesintisiz kaba yem arzını güvence altına alır (Zhang ve ark., 2025). Yulafın karışık ekim sistemlerinde baklagil türleri ile yetiştirilmesi, besin maddelerinden yararlanmayı ve silaj kalitesini optimize eder (Liu ve ark., 2023; Shayakhmetova ve ark., 2024). Yulaf silajının en büyük problemi gövde yapısının içi boş ve kalın olması nedeniyle sıkıştırma zorluğudur. Sıkıştırma iyi yapılmazsa silo içinde hava kalır ve küflenme riski (aerobik stabilite kaybı) artar.

Buğday: Yarı kurak bölgelerde, kış aylarında gelişme yeteneği sayesinde hektara 10 tona yaklaşan kuru madde verimine ulaşabilen stratejik bir kaynaktır. Özellikle %7.0 gibi yüksek oranda suda çözünen karbonhidrat içeriği sayesinde silaj yapımı ve mikrobiyal fermentasyon başlangıcı için biyokimyasal açıdan çok avantajlıdır (Keshri ve ark., 2019). Rasyonlarda hamur olum döneminde hasat edilen buğday silajı, yüksek nişasta içeriği (%5.2) sayesinde enerji kullanım etkinliğini artırır. Ancak ilerleyen olgunluk evrelerinde sap dokularında artan ligninleşme sindirilebilirlik oranlarını düşürebilmektedir (Xu ve ark., 2024).

Bitkilerin tekli (monokültür) yetiştirilmesine nazaran arpa, çavdar, buğday, yulaf ve tritikalenin müşterek kullanımını içeren üçlü veya dörtlü polikültür karışımları, silajın ham protein içeriğinde artışa yol açmakta, sindirilebilirliği kısıtlayan NDF oranında düşüş sağlamakta ve daha dengeli bir biyokimyasal profil sergilemektedir (Carrillo-Hernández ve ark., 2023).

### **Hasat Fenolojisinin Besinsel Kalite ve Verim Üzerindeki Etkileri**

Küçük taneli tahılların besin kompozisyonu ile birim alandan elde edilen toplam biyokütlesi, hasat edildikleri fenolojik gelişim aşamasına göre dinamik ve birbirine zıt bir değişim paterni sergiler (Ferreira ve ark., 2025). Bitki vejetatif evreden generatif aşamaya geçip olgunluğa eriştikçe, sap ve yapraklardaki yapısal karbonhidrat birikimi (selüloz, hemiselüloz ve özellikle lignin) hız kazanır. Bu fizyolojik süreç, bitkinin toplam kuru madde verimini doğrusal bir ivmeyle artırırken, hücre duvarı elemanlarının kalınlaşması nedeniyle ham protein (CP) içeriği ve genel organik madde sindirilebilirliği oranlarının hızla azalmasına yol açar (Sartin ve ark., 2023) (Şekil 4).

| ÖZELLİK                                                                                                 | GS 40-49<br>GEBECİK | GS 50-69<br>BAŞAKLANMA | GS 70-79<br>SÜT OLUM   | GS 80-89<br>HAMUR OLUM |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  HAM PROTEİN (%)       | Çok yüksek<br>★★★★★ | Yüksek<br>★★★★★        | Orta<br>★★★★★          | Düşük<br>★★★★★         |
|  NDF (%)               | Düşük<br>★★★★★      | Orta<br>★★★★★          | Yüksek<br>★★★★★        | Çok yüksek<br>★★★★★    |
|  ADF (%)               | Düşük<br>★★★★★      | Orta<br>★★★★★          | Yüksek<br>★★★★★        | Çok yüksek<br>★★★★★    |
|  NIŞASTA (%)           | Çok düşük<br>★★★★★  | Düşük<br>★★★★★         | Orta<br>★★★★★          | Çok yüksek<br>★★★★★    |
|  SINDIRİLEBİLİRLİK     | Çok yüksek<br>★★★★★ | Yüksek<br>★★★★★        | Orta - Yüksek<br>★★★★★ | Orta<br>★★★★★          |
|  KURU MADDE VERİMİ (%) | Çok düşük<br>★★★★★  | Orta<br>★★★★★          | Yüksek<br>★★★★★        | Çok yüksek<br>★★★★★    |
|  SİLAJ KALİTESİ        | Premium kalite      | Dengeli kalite         | Optimum kalite         | Enerji odaklı kalite   |
|  EKONOMİK GETİRİ       | Düşük<br>★★★★★      | Orta<br>★★★★★          | Yüksek<br>★★★★★        | Çok yüksek<br>★★★★★    |
| KALİTE ODAKLI                                                                                           |                     | VERİM ODAKLI           |                        |                        |

**Şekil 4.** Küçük Taneli Tahıllarda Hasat Fenolojisine Bağlı Olarak Besinsel Kalite ve Kuru Madde Verimindeki Değişimler

Vejetatif aşamadaki (Zadoks 40-49) seyreltilmemiş hücresel içerik yüksek düzeyde azot barındırırken, generatif olgunlaşma sürecinde tanede depolanan nişasta yapısı lif oranını baskılayana kadar (Zadoks 83-85) besin değerinde geçici bir gerileme dönemi yaşanır. Bu nedenle hasat fenolojisinin dinamik takibi, birim alandan elde edilecek toplam besin maddesi verimliliği (kg/hektar) ile rasyon kalitesi arasındaki kritik dengenin korunmasında temel agronomik belirleyicidir.

### Silaj Fermantasyonu, Kuru Madde Yönetimi ve İnokulantların Rolü

**Silaj Fermantasyonu:** Başarılı bir silaj fermantasyonunun gerçekleştirilmesi, büyük ölçüde ürünün paketlenme anındaki kuru madde (KM) oranı, otların parçalanma büyüklüğü ve silonun oksijenden tamamen arındırılması gibi kritik faktörlere bağlıdır (Muck ve ark., 2020). Silajın bozulma riskini azaltmak ve istenmeyen mikroorganizma gelişimini baskılamak adına, özellikle düşük şeker içerikli tahıllarda laktik asit bakterisi içeren mikrobiyal silaj katkı maddelerinin kullanımı stratejik öneme sahiptir (Wang ve ark., 2024). Silaj materyalinin ideal kuru madde seviyesinde hasat edilmesi, fermantasyon sırasında laktik asidifikasyonu optimize ederek pH değerinin hızlı düşüşünü kolaylaştırır (Rossi ve ark., 2023).

### ***Kuru Madde Yönetimi Sapmaları ve Risk Faktörleri***

**Düşük Kuru Madde Riski (< %30 KM):** Eğer bitkiler kın aşamasında çok erken biçilirse kuru madde içeriği %15-20 gibi çok düşük seviyelerde kalabilir (Simons, 2025). Çok nemli paketlenen materyallerde anaerobik ortam, laktik asit bakterileri yerine bütirik asit üreten zararlı *Clostridia* bakterilerin çoğalmasına uygun bir zemin oluşturur (Muck ve ark., 2020; Simons, 2025). Bütirik asit fermentasyonu, kaliteli bitki proteinlerinin parçalanmasına (amonyak azotu birikimi), dayanılmaz kötü koku oluşumuna ve ciddi hücresel enerji kayıplarına neden olur (Muck ve ark., 2020; Simons, 2025). Araştırmalar, bütirik asit oluşumu görülen ıslak silajların, ideal kuru madde aralığındakilere göre üç kat daha fazla enerji kaybettiğini bildirmişlerdir (Simons, 2025). Bu nedenle, erken aşamalarda biçilen bitkilerin silolamadan önce mutlaka tarlada soldurma işlemine tabi tutulması zorunluluk arz etmektedir (Simons, 2025).

**Yüksek Kuru Madde Riski (> %40 KM):** Hasat işleminin çok gecikip materyalin aşırı kuruması durumunda, silaj partiküllerinin mekanik olarak yeterli oranda sıkıştırılması güçleşir (Muck ve ark., 2020; Simons, 2025). Sıkışmayan kütleler içinde hapsolan oksijen, silaj ortamında aerobik bozulmaya, maya ve küf faaliyetlerine bağlı aşırı ısınmaya, pH düşüşünün yavaşlamasına ve nihayetinde çürüme riskinin artmasına yol açmaktadır (Muck ve ark., 2020; Simons, 2025). Ayrıca yüksek kuru madde, mikrobiyal inokulant etkinliğini azaltarak silajın depo ömrünün kısalmasına neden olur.

### ***Mikrobiyal Katkı Maddelerinin Fonksiyonu:***

Silajda kendiliğinden gerçekleşen asit üretimi bitki yüzeyindeki doğal (epifitik) bakteriler tarafından sağlansa da fermentasyon kalitesinin temini amacıyla laktik asit bakterilerini içeren inokulantların kullanımı küresel ölçekte bir gerekliliktir (Muck ve ark., 2020; Yimin ve Kazuo, 2025). Uygun mikrobiyal katkı kombinasyonlarının rasyonel kullanımı, silaj ortamındaki fermentasyon pH'ını hızlıca 4.0-4.5 aralığına düşürerek bütirik asit üreten *Clostridium* türleri mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini inhibe etmekte ve protein yıkımı sonucu şekillenen amonyak azotu birikimini baskılamaktadır (Ma ve ark., 2022). Özellikle *Lentilactobacillus buchneri* gibi heterofermentatif suşların inokulant kombinasyonlarına dahil edilmesi, laktik asidin asetik aside dönüşümünü sağlayarak silajın aerobik stabilitesini geliştirmekte; maya ve küf gelişimini sınırlayarak silajın açıldıktan sonraki

döneminde ikincil fermentasyon kayıplarını en aza düşürmektedir (Kleinschmit ve Kung, 2006; Romero ve ark., 2017). Bunun yanı sıra inokulant formülasyonlarına dahil edilen amilaz ve selüloz gibi dışsal enzimler, karmaşık bitki hücresi duvarı bileşenlerini ve nişastayı biyokimyasal olarak parçalayarak hem fermentasyon için kullanılabilir çözünür şeker miktarını artırmakta hem de silajın organik madde sindirilebilirliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir (Ma ve ark., 2022; Yimin ve Kazuo, 2025). Depolama sürecinde silonun hava ile temasını en aza indirecek şekilde sızdırmazlığın sağlanması ve hasat sonrası işlemlerin geciktirilmeksizin tamamlanması çok önemlidir. Nitekim, hasat ile kapatma arasında 24 saati aşan teknolojik gecikmeler, solunum ve mikroorganizma faaliyetlerine bağlı olarak kuru madde kayıplarını hızlandırmakta; bu durum silajın hem aerobik stabilitesini hem de hijyenik kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Jatkauskas ve ark., 2024).

### **Hasat Döneminin Biyokütle Verimi ve İşletme Kârlılığı Üzerine Etkisi**

Tarımsal ekonomi analizleri, özellikle sulu koşullarda yetiştirilen arpa, yulaf ve buğdayın hamur olum döneminde hasat edilmesinin, birim alandan elde edilen yüksek biyokütle ve kuru madde verimi sayesinde işletme kârlılığını maksimize ettiğini göstermektedir (Matt ve ark., 2026; Simons, 2025). Silajlık materyalin erken hasat edilmesi yüksek bir ham protein oranı sunmasına karşın; bu dönemdeki düşük biyokütle üretimi, vejetatif aksam verimini düşürerek işletmelerin birim alandaki ekonomik rasyonelliğini ve kârlılığını olumsuz etkilemektedir. Daha önce bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar Tablo 2 ve 3’de özetlendiği gibi kuru madde düzeyi arttıkça sindirilebilirliğin azalması ile birim alandan elde edilen toplam enerji verimi arasında ters bir ilişki bulunduğunu göstermektedir (Serva ve ark., 2024; Tabacco ve ark., 2011).

Bitkinin vejetatif dönemden generatif döneme geçişinde, seyreltme etkisiyle ham protein içeriğinde kademeli bir azalma meydana gelse de; uygun katkı maddeleriyle desteklenen silajlarda hem bu değerlerin hem de mikro besin bileşenlerinin başarıyla korunması mümkündür (Yıldız ve ark., 2022; Karnatam ve ark., 2023).

**Tablo 2.** Fenolojik Dönemlere Göre Tahılların Kalite ve Besleme Değerleri

| Fenolojik Dönem | HP (%)    | TSB (%)   | NDF (%)   | NYD     |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Gebecik (Kın)   | 15.4-25.9 | 59.4-63.2 | 47.4-52.9 | 161-184 |
| Başaklanma      | 13.3-17.9 | 54.5-59.1 | 50.6-57.1 | 95-116  |
| Süt Olum        | 7.5-16.5  | 42.8-59.5 | 54.9-64.0 | 62-118  |
| Yumuşak Hamur   | 5.4-14.9  | 45.3-57.7 | 55.1-63.6 | 53-130  |

Kaynak: Simons (2025) ve Matt ve ark. (2026), HP: Ham protein, TSB: Toplam sindirilebilir besinler, Asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), NYD: Nispi yem değeri

Silaj fermentasyon kalitesinin değerlendirilmesinde pH, laktik asit, bütirik asit ve  $\text{NH}_3\text{-N/TN}$  oranı temel kalite göstergeleri olarak kabul edilmektedir. pH değeri fermentasyonun etkinliğini ve silajın korunma düzeyini yansıtırken, laktik asit başarılı bir fermentasyonun temel ürünü olarak değerlendirilmektedir.

**Tablo 3.** Tahıl Cinslerinde Fenolojik Gelişim Evrelerine Bağlı Besin Kompozisyonu Değişimleri (% Kuru Madde Bazında)

| Kalite Özellikleri                                             | Tritikale | Arpa  | Yulaf | Buğday |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|--------|
| <b><u>Erken Dönem Zadoks 70-74 (Erken Süt Olum Dönemi)</u></b> |           |       |       |        |
| Ham Protein                                                    | 11.13     | 9.06  | 8.13  | 8.13   |
| Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif                                 | 53.20     | 55.80 | 58.70 | 57.50  |
| Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif                                 | 28.70     | 28.80 | 28.70 | 24.30  |
| Nişasta                                                        | 2.60      | 2.40  | 3.30  | 2.00   |
| Suda Çözünür Karbonhidrat                                      | 5.40      | 3.80  | 1.40  | 5.60   |
| Laktik Asit                                                    | 7.30      | 8.00  | 9.90  | 5.60   |
| Asetik Asit                                                    | 2.70      | 2.80  | 1.70  | 2.30   |
| <b><u>Geç Dönem Zadoks 80-84 (Erken Sarı Olum Dönemi)</u></b>  |           |       |       |        |
| Ham Protein                                                    | 9.13      | 7.75  | 7.63  | 7.25   |
| Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif                                 | 47.20     | 48.30 | 50.70 | 51.80  |
| Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif                                 | 29.50     | 29.40 | 33.10 | 33.40  |

|                           |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Niştasta                  | 13.60 | 23.20 | 17.70 | 20.90 |
| Suda Çözünür Karbonhidrat | 7.80  | 2.70  | 3.00  | 4.40  |
| Laktik Asit               | 5.10  | 5.80  | 4.70  | 2.60  |
| Asetik Asit               | 2.00  | 1.20  | 0.60  | 0.60  |

Kaynak: Nadeau, (2007), Simons (2025), Matt ve ark. (2026)

Buna karşılık bütirik asit istenmeyen Clostridial fermentasyonun göstergesi olup düşük düzeylerde bulunması arzu edilmektedir.  $\text{NH}_3\text{-N/TN}$  oranı ise proteinlerin fermentasyon sırasında ne ölçüde parçalandığını gösteren önemli bir parametre olup düşük değerler daha iyi protein korunumu ile ilişkilendirilmektedir (Kung ve Shaver, 2001; Kung ve ark., 2018) (Tablo 4).

**Tablo 4.** Silaj Fermantasyon Kalitesi Parametreleri

| Parametre                                      | İdeal Aralık | Süt Olum Aşaması |
|------------------------------------------------|--------------|------------------|
| pH Değeri                                      | 4.3 - 4.7    | 4.05 - 4.33      |
| Laktik Asit (% KM)                             | 6.0 - 10.0   | 1.46 - 1.87      |
| Bütirik Asit (% KM)                            | < 0.5        | < 0.01 - 0.02    |
| Amonyak Azotu ( $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ (%)) | 8.0 - 12.0   | 4.72 - 6.33      |

Kaynak: Ma ve ark. (2022), Sartin ve ark. (2023), Simons (2025)

## Sonuç

Arpa, buğday, yulaf, çavdar ve tritikale gibi küçük taneli tahıllar hayvancılık işletmeleri için sadece basit bir kaba yem alternatifi değil, kuraklık ve küresel iklim değişikliğinin neden olduğu çevresel zorluklarla başa çıkılmasında mısır silajına kıyasla daha düşük su tüketimi sunan, ekonomik, esnek ve sürdürülebilir bir sistemin merkezini teşkil etmektedir. Özellikle geviş getiren hayvanlarda enterik metan emisyonlarının azaltılması konusundaki rolleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Su kısıtının yoğun yaşandığı tarım havzalarında kışlık tahılların üretim desenine entegre edilmesi, harici yem kaynaklarına olan bağımlılığı minimize ederek işletmelerin iklimsel şoklara karşı ekonomik direncini artırmaktadır. Kışlık olarak yetiştirilen bu bitkiler erken ilkbahar aylarında biçilebildiklerinden dolayı yazlık ana ürünlerin ekim zamanını etkilemezler. Böylece aynı tarladan

yılda iki ürün alınmasına olanak tanıyarak toprağın verimliliğini ve üreticinin kazancını en yüksek seviyeye çıkarırlar. Besinsel kompozisyonları incelendiğinde; küçük taneli tahıl silajları, mısır silajına oranla daha yüksek ham protein konsantrasyonuna sahip olmalarının yanı sıra, barındırdıkları doğal (epifitik) laktik asit bakterileri sayesinde hızlı bir fermentasyon süreci geçirerek stabilitelerini uzun süre koruyabilmektedir. Ayrıca, lif (NDF) sindirilebilirliği ve suda çözünür karbonhidrat oranları bakımından mısır silajıyla rekabet edebilir profilde olmaları, bu ürünleri hayvan beslemede son derece nitelikli birer kaba yem seçeneği haline getirmektedir. Bu tahılların en kritik agronomik avantajlarından biri de fenolojik gelişim evresine göre şekillenen hasat zamanı esnekliğidir. Gebecik (kın) döneminde gerçekleştirilen erken hasat uygulamaları hücresel protein ve enerji konsantrasyonunu en üst düzeye çıkarırken; sarı olum aşamasında yapılan geç hasat, danede biriken nişastanın etkisiyle besin değerini korumakta ve birim alandan elde edilen toplam kuru madde verimini iki katına çıkarabilmektedir. Hasat edilen yeşil aksamın kuru ot yerine silaj formunda muhafaza edilmesi ise, kurutma esnasında olumsuz meteorolojik şartlardan, yaprak dökümü gibi mekanik işlemlerden ve nakliyeden doğabilecek besin maddesi kayıplarını neredeyse tamamen ortadan kaldırmaktadır. Küresel iklim krizinin tetiklediği kuraklık periyotlarında veya kaba yem arzının düştüğü kış aylarında, bu silajlar işletmeler için stratejik bir "yem güvencesi" işlevi üstlenmekte ve hayvanların gereksinimlerini kesintisiz biçimde karşılamaktadır. Agronomik ekoloji bağlamında ele alındığında; tarım alanlarının kış dormansisi süresince söz konusu tahıllarla kaplı tutulması toprağın organik madde rezervini zenginleştirmekte, yağış sularının infiltrasyonunu iyileştirmekte ve toprağın su tutma kapasitesini artırmaktadır. Aynı zamanda bitki örtüsü varlığı, ekstrem hava olaylarının neden olduğu su ve rüzgâr erozyonunu engellemekte, yabancı ot popülasyonlarını baskılamakta ve ardışık olarak ekilecek yazlık mahsulün sentetik gübre ve pestisit gibi dış girdi maliyetlerini düşürmektedir.

## KAYNAKLAR

- Alltech. (2026). Global feed survey and European crop resilience report. Alltech Insights.
- András, B., Fițiu, A., Ács, P., Vasile, H., Rac, I. and Duda, M. (2024). The influence of sowing rate and foliar fertilization on the yield of some triticale varieties in the context of climate change in northwest Romania. *Agriculture*, 14(12), 2155. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122155>
- Álvarez-García, C. D., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G. and López-González, F. (2023). Wheat or maize silage in feeding strategies for cows in small-scale dairy systems during the dry season. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(4), 398–407. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392023000400398>
- Ávila, C. L. S. and Carvalho, B. F. (2020). Silage fermentation updates focusing on conservation efficiency. *Grass and Forage Science*, 75(3), 251–264.
- Barker, B., Cardon, G., Yost, M., Stock, M., Creech, E. and Gale, J. (2023). Managing saline and sodic soils and irrigation water. Utah State University Extension.
- Bharti, A., Khajuria, V., Kumar, V., Sharma, B. C. and Radotra, S. (2023). Effect of cutting management on productivity, profitability and quality of dual purpose oat (*Avena sativa*) cultivars in Shiwalik foothill plains. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(11).
- Celis-Álvarez, M. D., Medina-Gómez, Z., López-González, F., Arriaga-Jordán, C. M. and Ramírez, A. S. (2026). Respuesta a la inclusión de ensilado de centeno-triticale para vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29(1).
- Carrillo-Hernández, S., Álvarez-García, C. D., Velarde-Guillén, J., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M. (2024). Effect of harvest date on botanical, morphological, and nutritional composition of mixed crops of small-grain cereals for silage. *Agro Productividad*, 17(2), 99–108. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i2.2689>
- Carrillo-Hernández, S., López-González, F., Velarde-Guillén, J. and Arriaga-Jordán, C. M. (2023). Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical, morphological and chemical composition. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 50(3), 98–110. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v50i3.2483>
- Costanzo, A. and Bárberi, P. (2013). Functional agrobiodiversity and agroecosystem services in sustainable wheat production. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 327–348. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0178-1>
- Cui, L., Xu, L., Wang, H., Fan, X., Yan, C., Zhang, Y., Jiang, C., Zhou, T., Guo, Q., Sun, Y., Yang, F. and Li, H. (2025). Evaluation of dual-purpose triticale: Grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. *Agronomy*, 15(4), 881. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040881>
- Distel, R. A., Arroquy, J. I., Lagrange, S. and Villalba, J. J. (2020). Designing diverse agricultural pastures for improving ruminant production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.596869>

- Ferreira, G., Teets, C. L., Galyon, H., Cappellina, A. L., Schultz, M. E., Payne, K. M., Stewart, S. L. and Thomason, W. E. (2025). Effect of maturity at harvest of small-grain grasses on the nutritional composition of forage and ration formulation. *Journal of Dairy Science*, 108(5), 4934–4945. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26020>
- Galyon, H., Robinson, L., Corl, B. A., Payne, K. M., Stewart, S., Thomason, W. E. and Ferreira, G. (2026). Production performance, nutrient digestibility, and enteric methane emissions of lactating Holstein cows fed triticale silage of different maturities in different dietary forage inclusions. *Journal of Dairy Science*, 109(3), 2621–2634. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27138>
- Gökkuş, A., and Hanoğlu Oral, H. (2022). An Important Forage Source for Animals: Small Grain Pastures. *Acta Natura et Scientia*, 3(1), <https://doi.org/10.29329/actanatsci.2022.351.01>
- Jatkauskas, J., Vrotniakienė, V., Amaral, R. C. D., Witt, K. L. and Cappellozza, B. I. (2024). Influence of ensiling timing and inoculation on whole plant maize silage fermentation and aerobic stability. *Plants*, 13(20), 2894. <https://doi.org/10.3390/plants13202894>
- Jedel, P. E., Helm, J. H., & Burnett, P. A. (1998). Yield, quality and stress tolerance of barley mixtures in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 78(3), 429–436. <https://doi.org/10.4141/P97-137>
- Karaevli, A. ve Baytekin, H. (2018). Farklı vejetasyon dönemlerinde hasat edilen serin iklim tahıl silajlarının yem değeri ve fermentasyon özellikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(3), 241–250.
- Karnatam, K. S., Mythri, B. A., Nisa, W. U., Sharma, H., Meena, T. K., Rana, P., Vikal, Y., Gowda, M., Dhillon, B. S. and Sandhu, S. (2023). Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development—perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*, 14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1150132>
- Kchaou, R., Youssef, S. B., Jebari, S., Harbaoui, K. and Berndtsson, R. (2022). Forage potential of cereal–legume mixtures as an adaptive climate change strategy under low input systems. *Sustainability*, 15(1), 338. <https://doi.org/10.3390/su15010338>
- Keshri, J., Chen, Y., Pinto, R., Kroupitski, Y., Weinberg, Z. G. and Sela, S. (2019). Bacterial dynamics of wheat silage. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01532>
- Kılıç, A. (1997). Silo yemi (Tekniği, biyokimyası, mikrobiyolojisi, kalitesi). Bilgehan Basımevi.
- Kızılsimşek, M. (2005). Farklı karışım oranlarında ekilen serin iklim tahılları ve baklagillerinin ot verimi ile silaj kalitesinin belirlenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 45–54.
- Kleinschmit, D. H. and Kung, L. (2006). A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 4005–4013. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72444-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4)

- Kung, L., & Shaver, R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13): 1–5.
- Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., & Schmidt, R.J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101: 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Li, W., Xiao, Q., Fang, Z., Zheng, Q., Li, H. and Li, Z. (2025). The half-heading stage may represent the optimal harvest time for the first cut of tall wheatgrass. *Agronomy*, 15(4), 763. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040763>
- Liu, W., Zhao, L., Chen, Y., Shen, Y., Luo, Z., Chen, Y., Evans, A. C. O. and Bu, D. (2023). Soil properties and silage quality in response to oat and pea seeding ratios and harvest stage on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1182774>
- Ma, J., Dai, H., Liu, H. and Du, W. (2022). Effects of cutting stages and additives on the fermentation quality of triticale, rye and oat silage in Qinghai-Tibet Plateau. *Agronomy*, 12, 3113. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123113>
- Martínez-Moreno, F., Özberk, İ., Özberk, F. and Solís, I. (2025). Triticale in Mediterranean cereal farming: Opportunity or reality? *Agronomy*, 15(9), 2175.
- Matsuyama, H. and Kim, J. G. (2025). Forage rice production. Y. Cai and K. Ataku (Ed.), *Cultural history and modern production technology of silage içinde*. Springer Nature.
- Matt, Y., Baker, M., Creech, E., Clawson, J., Pace, M., Taylor, K., Farnsworth, C., Hadfield, J., Ransom, C., Price, S., Nischwitz, C. and Anderson, C. (2026). Small grain forage production guide. Digital Commons - Utah State University Extension.
- Mohajer, S. (2012). Effect of different harvest time on yield and forage quality of three varieties of common millet (*Panicum miliaceum*). *Scientific Research and Essays*, 7(34).
- Muck, R. E., Kung, L., Jr. and Collins, M. (2020). Silage production. K. J. Moore and ark. (Ed.), *Forages: The science of grassland agriculture (Cilt II, 7. baskı, s. 767-787) içinde*. John Wiley & Sons Ltd.
- Nadeau, E. (2007). Effects of plant species, stage of maturity and additive on the feeding value of whole-crop cereal silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(5), 789–801.
- Niazi, I. A. K., Aslam, M. A., Nadeem, M., Hanif, M., Hayat, S., Ahmed, R., Jamil, M., Basit, A., Hussain, A., Raza, A., Ahmad, G., Khan, A. A., Kalyar, M. T. A. and Raza, S. (2023). Barkat: A new high fodder yielding oat (*Avena sativa* L.) variety with better nutritional value. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 20(2), 185–191.
- Nielsen, C., Stødtkilde, L., Jørgensen, U. and Lærke, P. E. (2021). Effects of harvest and fertilization frequency on protein yield and extractability from flood-tolerant perennial grasses cultivated on a fen peatland. *Frontiers in Environmental Science*, 9.
- Pandey, J., Spackman, J. A., Sagers, J., Findlay, R. and Bevan, J. (2025). Optimizing small grain forage yield, nutrient composition, and economics via strategic harvest timing. *Agronomy Journal*, 117(2), e70051.

- Romero, J. J., Zhao, Y., Balseca-Paredes, M. A., Tiezzi, F., Gutiérrez-Rodríguez, E. and Castillo, M. S. (2017). Laboratory silo type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 1812–1828.
- Rossi, L. G., Andrade, M. E. B., Rabêlo, C. H. S., Siqueira, G. R., Vicente, E. F., Silva, W. L. D., Silva, M. M. and Reis, R. A. (2023). Flint corn silage management: influence of maturity stage, inoculation with *Lentilactobacillus buchneri*, and storage time on fermentation pattern, aerobic stability, and nutritional characteristics. *Frontiers in Microbiology*, 14.
- Sadreddine, B. (2016). Yield and quality of dual-purpose barley and triticale in a semi-arid environment in Tunisia. *African Journal of Agricultural Research*, 11(30), 2730–2735.
- Sartin, A. M., Calus, K. J., Grabau, M. T., Kuhn, A. K., Drewnoski, M. E. and Redfearn, D. D. (2023). Effect of species and maturity on small grain silage yield and quality. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 48-51.
- Serva, L., Marchesini, G., Magrin, L., Peker, A. and Segato, S. (2024). The effects of harvesting period and inoculant on second-crop maize silage fermentative quality. *Agronomy*, 14(5), 982.
- Shayakhmetova, A., Bakirov, A., Savenkova, I., Nasiyev, B., Akhmetov, M., Useinov, A., Temirbulatova, A., Zhanatalapov, N., Bekkaliyev, A., Mukanova, F. and Auzhanova, M. (2024). Optimization of productivity of fodder crops with green conveyor system in the context of climate instability in the North Kazakhstan region. *Sustainability*, 16(20), 9024.
- Simons, A. R. (2025). Small cereal grain silage producer practices and key factors to consider for operations (Yüksek lisans tezi). University of Nebraska-Lincoln.
- Tabacco, E., Righi, F., Quarantelli, A. and Borreani, G. (2011). Dry matter and nutritional losses during aerobic deterioration of corn and sorghum silages as influenced by different lactic acid bacteria inocula. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1409–1419.
- Tóthi, R., Orosz, S., Somfalvi-Tóth, K., Babinszky, L. and Halas, V. (2024). Effect of climate change on strategy of forage feeding in cattle farms under dry continental conditions. *Veterinary Medicine and Science içinde*. IntechOpen.
- Vega-García, J. I., López-González, F., Morales-Almaráz, E. and Arriaga-Jordán, C. M. (2022). Secondary growth rye or triticale silage: Small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(1), 31–42.
- Wang, S., Zhang, Q., Sun, L., Pang, H., Li, P. and Khan, N. A. (2024). Editorial: Evaluation of preharvest and postharvest factors on forage crop quality, physiology, and ensiling characteristics. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1421788.
- Xie, Z., and ark. (2012). Nutritional value optimization of boot stage small grain silages. *Journal of Dairy Science Research*, 28(1), 44–52.

- Xu, L., Tang, G., Wu, D., Han, Y., and Zhang, J. (2024). Effects of tillage and maturity stage on the yield, nutritive composition, and silage fermentation quality of whole-crop wheat. *Frontiers in Plant Science*, 15.
- Yıldız, S., Deniz, S., Özkan, F. and Kale, Ç. (2022). Forage turnip (*Brassica rapa*) harvested in different phases of vegetative stage and ensiled with the additives of molasses and barley and the effects of additives on silage quality, in vitro digestibility, and energy content. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 46(3), 475–482.
- Yimin, C. and Kazuo, A. (2025). Cultural history and modern production technology of silage. Springer Nature.
- Zamora-Juárez, Y. G., Arias-Ávila, M., Arriaga-Jordán, C. M., Martínez-García, C. G. and López-González, F. (2024). Urea treatment of mature whole-crop cereal mixtures as salvage forage for small-scale dairy systems in the dry season. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2).
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Kozank, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.