



## Katı Kültür Fermantasyonu: Hayvan Beslemede Güncel Biyoteknolojik Uygulamalar<sup>A</sup>

Roukaya GHORBEL<sup>\*1</sup>, Nedim KOŞUM<sup>2</sup>

**Öz:** Dünya çapında artan nüfus ile birlikte hayvansal gıdalara (et, süt ve yumurta gibi) talep de artmaktadır. Dolayısıyla hayvansal üretim verimliliğinin artırılmasında yeni ve verimli stratejilerin uygulanması önem taşımaktadır. Geleneksel hayvancılık ıslah yöntemleri, şu anki üretimi sürdürmez; bu yüzden, üretkenliği artırmak için biyoteknoloji dahil olmak üzere yeni yoğun ve güncel tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Yem fiyatları, çiftçilik sistemlerinin karşılaştığı en önemli kısıtlamalardan biridir. Fiyat dalgalanmaları ve sürekli artan yem fiyatları nedeniyle beslenme uzmanları, yerel yem kaynaklarından yararlanmak için alternatif biyoteknolojik uygulamalara dikkat çekmiştir. Bu sınırlamaları kaldırmak için, katı kültür fermantasyonu (KKF) harika bir biyoteknolojik çözüm olarak bildirilmiştir. Aslında besin biyo-yararlanımını artırmak, bağırsak patojenik bakterilerini sınırlamak ve yem kaynaklarında anti-besin faktörlerini azaltmak için kullanılmaktadır.

Bu makale, biyoteknolojinin güncel uygulamalarından biri 'Katı Kültür Fermantasyonu'na odaklanarak, hayvan besleme ve yem teknolojisinde biyoteknolojinin önemini göstermeyi amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoteknoloji, Katı kültür fermantasyonu, Alternatif yem maddeleri.

<sup>A</sup> Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır

<sup>\*</sup> **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** <sup>1</sup> Dr. Roukaya Ghorbel, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, İzmir, Türkiye, [roukayaghorbel@gmail.com](mailto:roukayaghorbel@gmail.com), [OrcID 0000-0002-6173-074X](https://orcid.org/0000-0002-6173-074X)

<sup>2</sup> Prof. Dr. Nedim Koşum, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, İzmir, Türkiye, [nkosum@gmail.com](mailto:nkosum@gmail.com), [OrcID 0000-0002-7873-849X](https://orcid.org/0000-0002-7873-849X)

## Solid State Fermentation: Current Biotechnological Applications in Animal Nutrition

**Abstract:** With the increasing population worldwide, the demand for the animal products (such as meat, milk and eggs) is also increasing. Therefore, it is important to implement new and efficient strategies to increase animal production yield efficiency. Traditional livestock breeding methods cannot sustain current production. Therefore, new intensive and up-to-date techniques, including biotechnology, are needed to increase productivity. Feed prices are one of the most important constraints facing farming systems. Due to fluctuating and constantly rising feed prices, nutritionists have drawn attention to alternative biotechnological applications to take advantage of local feed sources. To overcome these limitations, solid-state fermentation (SSF) has been reported as a great biotechnological solution. It is actually used to increase nutrient bioavailability, limit intestinal pathogenic bacteria, and reduce anti-nutritional factors in feed sources.

This article aims to show the importance of biotechnology in animal nutrition and feed technology by focusing on one of the current applications of biotechnology; Solid State Fermentation.

**Keywords:** Biotechnology, Solid state fermentation, Alternative feedstuffs.

### Giriş

Dünya’da nüfus artış hızı yılda ortalama %2.5 oranında olup, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık 10 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN, 2019). Bu durumda artan gıda talebini karşılamak için gıda üretiminin 2050 yılına kadar iki katına çıkarılması gerektiği söylenmektedir (FAO, 2018). Ancak gıda talebi artarken gıda üretimi için mevcut kaynaklar azalmaktadır. Bu, özellikle COVID-19 pandemisinden sonra artan gıda güvensizliğine yol açmaktadır (HLPE, 2020). Dünya çapında artan nüfus ile birlikte hayvansal gıdalara (et, süt ve yumurta gibi) da talep artmaktadır. Dolayısıyla hayvansal üretim verimliliğinin artırılmasında yeni ve verimli stratejilerin uygulanması önem taşımaktadır (Parmar ve ark., 2019, Ghorbel ve ark., 2021).

Geleneksel hayvancılık ıslah yöntemleri, geçmişte hayvan verimliliğini artırma amacına hizmet etmiştir. Ancak bu seçenekler artık üretim artışını istenen oranda sürdürülemez; bu yüzden, üretkenliği artırmak için biyoteknoloji dahil olmak üzere yeni yoğun ve güncel tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Modern biyoteknoloji, yoksulluğu azaltmak, gıda güvenliğini ve beslenmeyi iyileştirmek ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek amacıyla gelişmiş hayvancılık verimliliği elde etmek için yeni fırsatlar sağlama potansiyeline sahiptir (Asmare, 2014).

Aslında biyoteknoloji hayvansal üretimde önemli bir role sahiptir. Biyoteknolojik uygulamaları, özellikle besin değerinin iyileştirmesi, hayvanın performansının artırılması, hayvansal ürün veriminin artırılması ve hayvan sağlığı ve refahının geliştirilmesi gibi ana amaçları hedeflemektedir.

Hayvan beslemede yerli yem kaynaklarının kullanılması daha ekonomik ve sürdürülebilir bir hayvansal üretime yardımcı olmaktadır. Yaygın kullanılan protein ve enerji kaynaklarında bulunan anti-besleme faktörler (ANF) nedeniyle bir çok yem hammaddelerinden yararlanma sınırlı düzeydedir. Bu yüzden ANF'i kaldırmak için ısıtma işlemi, enzim ile parçalama ve fermantasyon gibi teknikler uygulanmaktadır. Isıtma işlemi en ucuz ve kolay uygulanabilir bir yöntem olmasına rağmen etkinlik açısından en iyi yöntem fermantasyondur. (Karaçil ve Acar Tek., 2013)

Bu makale, biyoteknolojinin güncel uygulamalarından biri 'Katı Kültür Fermantasyonu'na odaklanarak, hayvan besleme ve yem teknolojisinde biyoteknolojinin önemini göstermeyi amaçlamaktadır.

## Fermantasyonun tanımı ve tipleri

M.Ö. 6000 yıllarında Sümerler ve Babiller bira yapmak amacıyla fermantasyon kullanmaya başlamışlardır. Ayrıca, M.Ö. 4000 yıllarında Mısırlıların ekmeğin mayası kullanarak fermantasyon tekniğini uyguladıkları ortaya çıkmıştır. Bugün biyoteknolojinin yoğurt, ekmeğin, peynir, antibiyotikler, alkoller, organik asitler gibi diğer ürünlerin üretimine girdiği tespit edilmiştir. (Altop ve ark., 2016)

Fermantasyon, kompleks substratları daha basit bileşiklere dönüştürmek için mikroorganizmaların, substratların ve çevresel koşulların kontrollü kullanımını içeren dinamik bir süreçtir (Niba ve ark., 2009). Fermantasyon sonuçları kullanılan substratların tipleri ve özelliklerine göre değişmektedir (Canibe ve Jensen, 2012; Subramaniyam ve Vimala, 2012). Sıcaklık, pH, substrat yapısı ve bileşimi, çözünmüş O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>, işletim sistemleri, öncül madde eklenmesi, karışımlar ve fermantasyon sürecinin uzunluğu gibi koşullar, fermantasyon oranını ve fermente ürünlerin kalitesini etkileyebilir (Renge ve ark., 2012). Fermantasyonda her mikroorganizma her substrata farklı şekilde tepki verebilir, bu yüzden mikroorganizmaların türüne göre laktik asit, etanol veya asetik asit gibi farklı son ürünlerin oluşmasına sebep olur. *Lactobacillus* laktik asit üretirken, mantar/küf sitrik asit, mayalar etanol ve CO<sub>2</sub> üretir (Couto ve Sanroman, 2006).

Aslında, iki fermantasyon tekniği vardır: katı kültür fermantasyonu (KKF) ve Batık fermantasyon (BF)'dur. Bu iki biyo-işlem arasındaki temel farklılık substrattaki serbest su miktarıdır (Sargın, 2003).

KKF serbest su bulunmayan nemlendirilmiş katı substratlar üzerinde mikroorganizma gelişimini ve metabolik faaliyeti ifade eder, mikroorganizma gelişimi için gerekli suyu substratın içindeki nemden karşılamaktadır (Mitchell ve ark., 2006; Sargın, 2003).

KKF yönteminden farklı olarak, BF yaklaşımı et suyu ortamı, melas, peynir altı suyu ve ıslak damıtıcı tahılları gibi serbest akışlı sıvı substratlar gerektirir (Missotten ve ark., 2010; Sugiharto ve ark., 2015).

Genelde, BF tekniği, fermente edilecek yem gıda endüstrisinin sıvı yan ürünleri veya su ile karıştırıp, fermente sıvı yem (FSY) üretmek için uygulanır (Canibe ve Jensen, 2003). BF yaklaşımı, probiyotiklerin araştırma ve endüstride yayılması için ciddi etkileri olan bir tekniktir (Shim ve ark., 2010). Günümüze kadar kanatlı kümes hayvanlarının beslenmesinde fermente yemlerin kullanımı üzerine yapılan çalışmalarda

(Missotten ve ark., 2013) her iki yöntem de (KKF ve BF) kullanılmıştır (Sun ve ark., 2013b; Supriyati ve ark., 2015).

Ancak, KKF daha yüksek verim ve daha iyi ürün özellikleri ürettiği için daha fazla ilgi görmüştür (Shim ve ark., 2010). BF ile hazırlanan yüksek su içerikli fermente yemlerin etlik piliçlerde pratik yemleme ve altlık kalitesi açısından uygun olmayacağı bildirilmiştir (Engberg ve ark., 2009). Performansı ve bağırsak sağlığını iyileştirme açısından KK fermente yemlerin etlik piliçlerin beslenmesinde kullanımı artan ilgi kapsamındadır (Alshelmani ve ark., 2016; Sugiharto ve Samir, 2019).

Literatürde KKF'dan sonra yemin besin madde kompozisyonu ve anti-besleme faktörler ANF içeriklerindeki değişim ile ilgili yeterli bir bilgiye rastlanılmamıştır. KK fermente edilmiş yemlerin hayvan beslenmesinde kullanımı için bu değişimlerin ortaya konması önem taşımaktadır.

Bu yöntemle kötü koku giderilerek, ham protein (HP) içeriği artırılarak, sindirim enzimlerinin üretimi artırılarak ve substratlardaki ANF'inin düzeyi azaltılarak yemin besin değerinin iyileştirileceği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2013; Salgado ve ark., 2015; Wang ve ark., 2018a; Sugiharto ve ark., 2019).

## **Katı kültür fermantasyonunun mikro-organizmaları ve substratları**

Başlangıç nemi, partikül boyutu, pH, sıcaklık, mikroorganizma türü, substrat hali, karıştırma, sterilizasyon, inokulum yoğunluğu ve oranı gibi parametreler KKF sürecinde fermente edilmiş nihai ürünlerin kalitesini kontrol etmektedir. Bununla birlikte, mikroorganizma ve substrat, KKF işleminin başarısını elde etmek için hayati unsurlardır.

KKF yaklaşımı, serbest akışlı sıvı yokluğunda tahıllar, pirinç, pirinç kepeği ve buğday kepeği gibi katı substratları kapsamaktadır (Couto ve Sanroman, 2006). Bu nedenle, KKF genellikle tam tahıl gibi temel yem karışımlarına eklenebilen fermente kuru yem (FKY) üretimi için kullanılır. Bu FKY kıvrımlı veya toz formda olabilir.

KKF'de katı substratı parçalama yeteneğine sahip olan mikroorganizmanın uygun şekilde seçilmesi çok değer taşımaktadır. Fermantasyon için *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Enterococcus faecium* gibi bakteri kültürleri ile *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* ve *Saccharomyces cerevisia* gibi fungus kültürleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Düşük nem içeriği nedeniyle, KKF yöntemi sınırlı sayıda mikroorganizma tarafından gerçekleştirilebilir. *Lactobacillus spp.* gibi bazı bakterilerin farklı KKF uygulamalarında kullanıldığı bilinmesine rağmen, *Aspergillus spp.* ve *Rhizopus spp.* gibi mantarlar hala KKF'de en yaygın kullanılan organizmalardır. (Supriyati ve ark., 2015).

**Çizelge 1.** KKF’da kullanılan Mikroorganizmalar ve substratlar. (Parmar ve ark., 2019)

Mikroorganizmalar	Substratlar
<b>Bakteri</b>	
<i>Amycolatopsis Mediterranean</i> MTCC 14	Yerfıstığı yağ keki GOC, Hindistan cevizi yağ keki COC
<i>Pseudomonas spp.</i> BUP6	GOC, COC, SOC ve CSC
<i>Bacillus licheniformis</i> MTCC 1483	Buğday samanı, şeker kamışı küspesi, mısır samanı ve çeltik samanı
<i>Bacillus sp.</i>	Pirinç kepeği
<i>Bacillus sp.</i>	Mısır kepeği
<i>Pseudomonas notatum</i>	Buğday kepeği ve portakal kabuğu
<i>Peudomonas aeruginosa</i>	Keten tohum küspesi (LOC)
<b>Fungus</b>	
<i>Aspergillus niger</i>	Pirinç kepeği, buğday kepeği, siyah gram kepek, GOC ve COC, meyve kabuğu atıkları, portakal kabuğu
<i>Aspergillus oryzae</i>	Soya küspesi (atık), Hindistan cevizi yağ keki (COC)
<i>Rhizopus arrhizus</i> ve <i>Mucorsubtillissimus</i>	Caorn koçanı manyok kabuğu, soya fasulyesi, buğday kepeği ve turuncgil posası
<i>Candida rugosa</i>	yerfıstığı yağ keki (GOC)
<i>Aspergillus terreus</i>	Palmiye yağı keki

## Katı kültür fermantasyon uygulamaları

Katı kültür fermantasyonu, gıda ve mayalanma endüstrilerinde uzun bir uygulama geçmişine sahip bir biyoişlem teknolojisidir. KKF uygulaması gıda endüstri, ilaç ve tarım endüstrisi, farmasötik, tekstil ve biyoyakıtlar gibi sektörlerde yaygındır.

KKF enzim üretimi, amino asitler, antibiyotik, biyoaktif metabolitler, organik asit üretimi, vitaminler, agro-endüstriyel atıkların biyolojik detoksifikasyonu, yem katkı maddeleri ve yan ürünlerin anti-besleme faktörlerinin biyo-degradasyonu gibi çok sayıda uygulamaya sahiptir (Behera ve Ray, 2016; Soccol ve ark., 2017).

**Çizelge 2.** Katı kültür fermantasyonunun hayvan beslenmesindeki uygulamaları (Parmar ve ark., 2019)

Ekonomik sektörü	Uygulamalar	Örnek
<b>Endüstriyel fermantasyon</b>	Enzim üretimi	Amilazlar, amiloglukosidaz, selülozlar, proteazlar, pektinazlar, ksilanazlar, glukoamilazlar
	Biyoaktif ürünler	Mikotoksinler, gibberellinler, alkaloidler, antibiyotikler, hormonlar
	Organik asit üretimi	Sitrik asit, fumarik asit, itakonik asit, laktik asit
	Biyoyakıt	Etanol üretimi
	Çeşitli bileşikler	Pigmentler, biyo yüzey aktif maddeler, vitaminler, ksantam
<b>Tarım-Gıda Endüstrisi</b>	Bitkisel kalıntılarının biyotransformasyonu	Fermente edilmiş geleneksel gıda (Koji, sake, ragi, tempeh), protein zenginleştirme ve tek hücreli protein üretimi, mantar üretimi.
	Gıda katkı maddeleri	Aroma bileşikler, boya maddeleri, temel yağ ve organik asitler
<b>Çevresel kontrol</b>	Tehlikeli biyolojik iyileştirme ve biyolojik remedasyon	Kafeinli bileşikler kalıntıları, pestisitler, poliklorlu bifeniller (PCB'ler)
	Tarımsal endüstriyel atıkların biyolojik detoksifikasyonu	Kahve posası, manyok kabuğu, kanola unu, kahve kabuğu

## Katı kültür fermantasyonunun genel işlem adımları

KKF susuz veya suyun az bulunduğu katı ortamlarda uygulanır. Mikroorganizmaların metabolizması ve büyümesi için substratın yeterli neme sahip olması gerekir. Mikroorganizmaların ve substratın seçimi, KKF yönteminde dikkat edilmesi gereken mühim noktalardan biridir.

Yöntemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bazı parametrelerin optimizasyonu ve ürünün izolasyonu ve saflaştırılması gerekmektedir (Altop ve ark., 2016).

Bu parametrelerin başında substratın parçacık büyüklüğü, ortamın ilk nem miktarı, pH, substratın ön işlemi, nispi nem, inkübasyon sıcaklığı ve süresi, çalkalama ve havalandırma, ekim miktarı ve zamanı, N, P ve C kaynaklarının eklenmesi gibi parametreler sayılabilir (Pandey, 2003, Elibol ve Moreira, 2005).

KKF işlem adımları, Şekil 1'de açıklanan birkaç adımı içerir. Bu süreç, büyük ölçüde enzimler ve ikincil metabolitlerin üretimi için kullanılan biyoreaktörleri içerir (Sfakianakis, 2011).



Şekil 1. KKF adımlarının şematik gösterimi.

## Hayvan beslemede katı kültür fermantasyonunun etkileri

### KKF yem değeri üzerine etkisi

Hayvan beslemede yaygın olarak kullanılan bazı yem kaynaklarının ANF içermeleri nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Bu sınırlamaları ortadan kaldırmak ve besin değerlerini arttırmak için son yıllarda katı kültür fermantasyon yöntemi uygulanmaktadır.

Fermantasyon sürecinde kullanılan bakteriyel veya fungal organizmalar yardımıyla üretilen enzimler, proteinleri aminoasit mikro ve peptidlere hidrolize ederek sindirilebilirliği yüksek proteinlerin oluşumuna ve dolayısıyla sindirime katkıda bulunmaktadırlar. KKF kullanılarak fermente edilen yemlerin besin kalitesinin

arttığı, tripsin inhibitörü içeriğinin azaldığı, yararlanılabilir proteinlerin arttığı, besinsel açıdan zenginleştiği, serbest amino asit içeriğinin arttığı, sindirilebilir enerji düzeyi, lignin, Nötral çözücülerde çözünmeyen lignin (NDF), ham selüloz (HS) ve fitat oranı azaldığı, Ham Kül ve sindirilebilir fosfor miktarının arttığı bildirilmiştir. Sonuç olarak KKF'nun yemlerin besin değerini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2010) (Amadou ve ark., 2010).

**Çizelge 3.** Katı Kültür Fermantasyonunun yem değeri üzerindeki etkileri. (Ghorbel ve Malayoğlu, 2021)

Yem Substrat	Mikroorganizma	Sonuçlar
Mısır		Fitat içeriğinin azalması
Manyok Kökleri, Kabuğu ve Küspesi	<i>A. charticola</i>	Lif içeriğinin azalması. Manyok küspesinde protein içeriğinin arttırması. Manyok köklerde ve kabukta siyanür içeriğinin azalması
Kolza Tohumu Küspesi	<i>L. fermentum</i> , <i>E. faecium</i> , <i>S. cerevisiae</i> ve <i>Bacillus subtilis</i>	Kuru Maddenin azalması. 119'dan 14 mmol/kg'a azaltılmış izotiyosiyanat miktarı (bir glukozinolat türevi)
	<i>Lactobacillus plantarum</i> ve <i>Bacillus subtilis</i>	Ham proteinin miktarının %37,1'den %58,4'e arttırması. Ham yağ içeriğinin arttırması. İzotiyosiyanat seviyelerinin 72,7'den 14,1 mmol/kg'a azalması.
	<i>L. fermentum</i> ve <i>Bacillus subtilis</i>	Ham yağ içeriğinin arttırması.
	<i>Lactobacillus salivarius</i>	Ham proteinin miktarının %41,2 den % 42,2'e arttırması. Ham selüloz %15 ile azaltması. Glukosinolatlar 22'den 13,6 mmol/g'a azaltması.
	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Candida utilis</i> ve <i>Enterococcus faecalis</i>	Ham protein içeriğinin %42,11'den %44,63'e yükselmesi. Ham lif içeriğinin azalması. küçük peptitlerin boyutunun arttırılması. Tanenlerin %1,32'den %0,84'e azalması.
	<i>A. niger</i>	Ham yağ içeriğinin azalması. Lif fraksiyonlarının (NDF, ADF, hemiselüloz ve lignin) miktarının azalması. Küçük peptidin içeriğini arttırması. Glukosinolatlar 41,91'den 23,86 mmol/g'a, izotiyosiyanat 2,48'den 1,10 mg/g'a, oksazolidition 1,88'den 1,04 mg/g'a; fitik asit %2,66'dan %0,37'ye gibi azalmalar gösterdi.
Pamuk Tohum Küspesi	<i>Bacillus subtilis BJ-1</i>	Ham protein içeriğinin %46,5'ten %50,5'e arttırması. Ham yağ içeriğinin azalması. Serbest gossipol 0,82'den 0,21 g/kg'a azalması.
	<i>C. utilis</i>	Ham selüloz içeriğinin azalması. Serbest gossipol 90'den 30 mg/kg'a azalması.
	<i>Bacillus subtilis ST-141</i> ve <i>Saccharomyces N5</i>	Kuru Maddenin azalması. Ham protein içeriğini %49,8'ten %51'e arttırması. Ham lif içeriğinin azalması.
Hurma Çekirdeği Keki	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Ham protein içeriğini %18,76'ten %32,79'e arttırması
	<i>A. niger</i> and <i>Rhizopus oryzae</i>	Ham protein içeriğini %18'ten %27'e arttırması.
	<i>P. polomyxa</i> and <i>P. curdolanolyticus</i> .	NDF, ADF, ADL, hemiselüloz ve selüloz içeriğinin azalması.
	<i>A. niger</i> , <i>A. oryzae</i> ve <i>A. awamori</i>	Ham yağ içeriğinin azalması.
Acı Bakla Unu	<i>C. utilis</i>	Rafinoz oligosakkaritlerin (RFO) tamamen kaldırılması
	<i>Lactobacillus spp.</i>	Fitik asit içeriğinin azalması Ham selüloz içeriğinin azalması Ham yağ içeriğinin azalması Fitik asit içeriğinin azalması Tanen içeriğinin azalması
	multi-preparation of <i>S. cerevisiae</i> , <i>E. faecium</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> ve <i>L. casei</i> bacteria.	Ham yağ içeriğinin azalması Ham selüloz, NDF ve ADF içeriğinin azalması Ham protein içeriğinin %38,23'ten %41,32'ye yükseltilmesi RFO'nun tamamen kaldırılması
	<i>S. cerevisiae</i>	Fitik asit içeriğinin azalması Ham protein içeriğinin %38,59'dan %50,08'e arttırması Fitik asit içeriğinin azaltması

## KKF hayvan performansı ve bağırsak florası üzerine etkisi

Fermente edilen yemlerin performansı iyileştirmesi, yem tüketimini arttırması , canlı ağırlığı arttırması, yemden yararlanma oranını iyileştirmesi, daha yüksek karkas verimleri, karaciğer ağırlığını arttırması gibi etkilere sahiptir. (Sugiharto ve Samir, 2019)

Fermente edilmiş yem hammaddelerin hayvan bağırsak morfolojisi ve bağırsak sağlığı üzerine olumlu etkilerde buldukları belirlenmiştir. (Alshelmani ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016).

KKF'nun ayrıca kan parametreleri, et kalitesi, yumurta iç ve dış kalitesi ve bağırsak florası üzerine pozitif etkide bulunduğu anlaşılmaktadır. (Ghorbel ve Malayoğlu, 2021)

## Kanatlı kümes hayvanları üzerine etkisi

Fermente edilmiş yem hammaddelerinin karma yeme eklenmesiyle etlik piliçlerde canlı ağırlık artışında ve yemden yararlanma oranında iyileşme göstermiştir (Chiang ve ark, 2010). Performanstaki iyileştirmeler, KKF sırasında ANF'deki azalmalar, besin kalitesindeki artışlar ve bağırsak sağlığındaki iyileşmeden kaynaklanmaktadır.( olukumaiya, 2019)

KKF villus yüksekliğinde artma, ileumda villus yüksekliği / kript derinliği oranında artış, morfolojik değişiklik veya spesifik patolojik lezyon insidansının yok olması ve besin kullanımını arttırması gibi olumlu etkilere sahiptir (Hu ve ark., 2016). Bu yüzden KKF ile fermente edilmiş yemlerin bağırsak morfometrisini ve morfolojiyi iyileştirdiği kanıtlanmaktadır.

Ayrıca KKF kolon ve çekada laktobasil büyümesini arttırarak, koliform sayısını azaltarak, dengeli bir mikrobiyal popülasyonu sağlayarak, bağırsak patojenini daha iyi kontrol ederek ve bağırsak sağlığını iyileştirerek bağırsak florası üzerine pozitif etkide bulunduğu anlaşılmaktadır. (Canibe ve Jensen, 2012)

**Çizelge 4.** Farkli Fermente Edilen Yemlerin Kümes Hayvanların Üzerindeki Etkileri

	<i>Hayvan</i>	<i>Mikroorganizma</i>	<i>Yem</i>	<i>Etkileri</i>
Supriyati ve ark., 2015	Etlik Piliç	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pirinç Kepeği	Yem karmalarında %15 düzeyinde hem canlı ağırlığı hem de yemden yararlanmayı iyileştirdi.
Yasar ve ark., 2016	Etlik Piliç	–	Buğday, Arpa ve yulaf	Canlı ağırlık artışı Yem tüketimi arttırması Yemden yararlanmayı iyileştirmesi



## Ruminant hayvanlar üzerine etkisi

Katı kültür fermantasyonu, yem ve tarım atıklarının besin değerlerini artırarak hayvan besleme endüstrisinde alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

KKF, yemlerdeki nişasta, selüloz ve lignin gibi kompleks karbonhidratları ve proteinleri bakteri ve mantarları aracılığıyla parçalanır. Bu parçalanmış maddeler, rumende bulunan mikroorganizmalar tarafından daha hızlı ve etkin bir şekilde sindirilebilir. Dolayısıyla, hayvanların daha yüksek miktarda enerji ve protein almasına yardımcı olur. (Zhu ve ark., 2017)

KKF rumen pH'ını ve amonyak-nitrojenini etkilemeden nitrojen (N) dönüşümü artırır. Bu sebeple, ruminal konsantrasyonlarında toplam uçucu yağ asitleri, asetat, propiyonat ve bütirat oranını artırır. (Yan ve ark., 2022)

Rasyona ruminal fermantasyon değiştiricilerin ilavesinin düşük kaliteli yemlerin yemden yararlanmasını en üst düzeye çıkarmasına yol açmaktadır. KKF'nun süt üretimini iyileştirmede uygun maliyetli ve güvenli bir yolu olduğu ortaya çıkmaktadır. (Parmar ve ark., 2019)

Ayrıca, katı kültür fermantasyonu, yemlerdeki ANF (örneğin, tanenler, fitatlar ve oksalatlar) azaltılmasına ve sindirim sırasında ortaya çıkan gaz üretiminin azaltılmasına yardımcı olabilir. Böylece KKF hem tarımsal yan ürünlerin değerlendirilmesini hem metan üretiminde azalmayı da sağlar. (Azalan ve ark., 2017)

Yapılan çalışmalar, geniş getiren ve geniş getirmeyen hayvanların rasyonlarına KKF ile fermente edilmiş yemlerin % 5-20 oranında katılmasının, büyümeyi, üretimi, hayvanların genel sağlık durumunu iyileştirirken metan üretimi ve besleme maliyetini azalttığını göstermektedir. (Parmar ve ark., 2019)

Bu nedenle, katı kültür fermantasyonu, hayvan besleme endüstrisinde yem kaynakları olarak kullanılan bazı tarım atıklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve aynı zamanda hayvanların sağlığını da olumlu yönde etkileyebilmektedir.

**Çizelge 5.** Farklı Fermente Edilen Yemlerin Ruminantların Üzerindeki Etkileri

Kaynak	Hayvan	Mikroorganizma	Yem	Sonuçlar
Shahzad ve ark., 2016	Nili Ravi manda buzağuları		Toplam karışık rasyon içeren fermente buğday samanı	Daha yüksek günlük ağırlık kazanç ortalaması, besin sindirilebilirliği ve yemden yararlanma. Yem ekonomisi ve yem maliyetinin düşürülmesi
Zhu ve ark., 2017	Süt inekleri	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ile fermente edilmiş ürünleri (SCFÜ)	Süt üretiminin artırılması İşkembe pH'ını ve Amonyak-N'yi etkilemeden N dönüşümünün artırılması Ruminal toplam uçucu yağ asitleri, asetat, propiyonat ve bütirat konsantrasyonlarının artırılması
Pan ve ark., 2018	Barbados Koyunları	<i>Trichoderma</i>	Pirinç samanı	KM, NDF ve ADF'ın sindirilebilirliği ve besin kullanımını artırması

## Sonuç ve Öneriler

Biyoteknolojideki son gelişmeler, özellikle Katı kültür fermantasyonu, hayvansal üretimde çok sayıda potansiyel uygulamaya sahiptir. Sonuç olarak, Katı kültür fermantasyonu, yem hammaddeleri ile tarımsal sanayi yan ve atık ürünlerinin besleme değerini iyileştirmek için düşük maliyetli bir biyoisleme tekniği gibi görünmektedir.

KKF lignoselüloz miktarını azaltarak ve diğer besinlerin sindirilebilirliğini artırarak lifli mahsul artıklarının sindirilebilirliğini artırmak ve kalitesini iyileştirmek için kullanılan değerli bir yöntemdir.

Bununla birlikte, daha ekonomik bir şekilde büyük miktar üretmek için, metodolojik geliştirmeye ve araştırmaya ihtiyaç vardır. Bunu ortaya çıkarmak için detaylı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Konu ile ilgili yapılacak detaylı çalışmalar fermente yemlerin karma yeme eklenmesinin potansiyelini ortaya koyacaktır.

## Teşekkür Bilgi Notu

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yayında 1. Yazar %70 oranında ve 2. Yazar %30 oranında katkı sağlamıştır. Yazarlar arasında her hangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Alshelmani, MI., Loh, TC., Foo, HL., Sazili, AQ. and Lau, WH.2016. Effect of feeding different levels of palm kernel cake fermented by *Paenibacilluspolymyxa* ATCC 842 on nutrient digestibility, intestinal morphology, and gut microflora in broiler chickens. *Anim Feed Sci Technol*; 216:216e24.
- Altop, A., Güngör, E. ve Erener, G. 2016. Katı Kültür Fermentasyonu Uygulanan Yem Hammaddelerinin Kanatlı Beslemede Kullanılabilirliği. Ulusal Kümes Hayvanları Kongresi-5-8 Ekim 2016 Samsun.Turkey.
- Amadou, I., Kamara, M.T. and Tidjani, A. 2010. Physicochemical and nutritional analysis of fermented soybean protein meal by *Lactobacillus plantarum* Lp6. *World J. Dairy Food Sci.* 5: 114-118.
- Asmare, B. 2014. Biotechnological Advances for Animal Nutrition and Feed Improvement. *World Journal of Agricultural Research*, 2014, Vol. 2, No. 3, 115-118 Available online at <http://pubs.sciepub.com/wjar/2/3/5> © Science and Education Publishing DOI:10.12691/wjar-2-3-5
- Azlan, PM., Jahromi, FM., Ariff, MO., Ebrahimi, M., Candyrine, SCL., Liang, JB. 2017. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhanced feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health Production*.
- Behera, SS. And Ray, RC. 2016. Solid state fermentation for production of microbial cellulases: Recent advances and improvement strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*. Volume 86. Pages 656-669. ISSN 0141-8130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.090>.

- Bonneau, M. and Laarveld, B. 1999. Biotechnology in animal nutrition, physiology and health. *Livestock Production Science* Volume 59, Issues 2–3, June 1999, Pages 223-241
- Canibe, N. and Jensen, BB. 2012. Fermented liquid feed-Microbial microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Anim Feed Sci Technol*;173: 17e40.
- Canibe, N. and Jensen, BB. 2003. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance. *J Anim Sci*;81:2019e31.
- Chen, C.C., Shih, Y.C., Chiou, P.W.S. and Yu, B. 2010. Evaluating nutritional quality of single stage- and two stage-fermented soybean meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23: 598- 606
- Couto, SR. and Sanroman, MA. 2006. Application of solid-state fermentation to food industry-a review. *J Food Eng*; 76:291e302.
- Elibol, M. and Moreira, AR. 2005. Optimizing some factors affecting alkaline protease production by a marine bacterium *Teredinobacter turnirae* under solid substrate fermentation. *Process Biochemistry*. Volume 40, Issue 5. Pages 1951-1956. ISSN 1359-5113. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.07.010>.
- Engberg, RM., Hammershøj, M., Johansen, NF., Abousekken, MS., Steinfeldt, S. and Jensen, BB. 2009. Fermented feed for laying hens: effects on egg production, egg quality, plumage condition and composition and activity of the intestinal microflora. *Br Poult Sci*;50:228e39.
- FAO. 2018. “The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050”, Summary version. Rome, 60 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Ghorbel, R. and Malayoğlu, HB. 2021, Impact of Solid-State Fermentation in Animal Nutrition-a Review, 2-3-4 october,7th International Student Symposium, Samsun, Turkey. page 213.  
<http://www.internationalstudentsymposium.com/dosya/7-uos-4.pdf>.
- HLPE. 2020. Impacts of COVID-19 on food security and nutrition: developing effective policy responses to address the hunger and malnutrition pandemic. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1000en>
- Hu, Y., Wang, Y., Li, A., Wang, Z., Zhang, X., Yun, T., Qiu, L., Yin, Y. 2016. Effects of fermented rapeseed meal on antioxidant functions, serum biochemical parameters and intestinal morphology in broilers. *Food Agric Immunol* 02016;27:182e93
- Karaçıl, MŞ. ve ACAR TEK N. 2013. Dünyada Üretilen Fermente Ürünler: Tarihsel Süreç ve Sağlık ile İlişkileri U. Ü. ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ, 2013, Cilt 27, Sayı 2, 163-173 (Journal of Agricultural Faculty of Uludag University).
- Missotten, JA., Michiels, J., Dierick, NL., Owyn, A., Akbarian, A. and De Smet S. 2013. Effect of fermented moist feed on performance, gut bacteria and gut histo-morphology in broilers. *Br Poult Sci*;54:627e34.
- Missotten, JAM., Michiels, J., Owyn, A., De Smet, S. and Dierick, NA. 2010. Fermented liquid feed for pigs. *Arch Anim Nutr*;64:437e66
- Mitchell, DA., Berovic, M., Krieger, N. 2006. *Solid-State Fermentation Bioreactors, Fundamentals of Design and Operation*, pp. 1-44. Germany: Springer.

- Niba, AT., Beal, JD., Kudi, AC. and Brooks, PH. 2009. Potential of bacterial fermentation as a biosafe method of improving feeds for pigs and poultry. *Afr J Biotechnol*;8: 1758e67.
- Özcan, BD. ve Ayaşan, T. 2009. Hayvan Beslemede Biyoteknoloji Uygulamaları. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*.
- Pan, YG., Lin, WC., Lo, TC., Chang, SC., Yu, B., Ta, T. 2018. Effects of substitution of Bermuda grass hay with *Trichoderma* fermented rice straw on growth, blood, and rumen fluid parameters in Barbados sheep. *Journal of Applied Animal Research*. 2018; 46(1):1162-1168.
- Pandey, A. 2003. Solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.* 13:81-84
- Parmar, AB., Patel, VR., Usadadia, SV., Rathwa, SD. and Prajapati, DR. 2019. A solid state fermentation, its role in animal nutrition: A review. *International Journal of Chemical Studies* 2019; 7(3): 4626-4633
- Renge, VC., Khedkar, SV. and Nandurkar, NR. 2012. Enzyme synthesis by fermentation method: a review. *Sci Rev Chem Comm* 2012;2:585e90
- Salgado, JM., Abrunhosa, L., Venâncio, A., Domínguez, JM. and Belo, I. 2015. Enhancing the Bioconversion of Winery and Olive Mill Waste Mixtures into Lignocellulolytic Enzymes and Animal Feed by *Aspergillus uvarum* Using a Packed-Bed Bioreactor. *J. Agric. Food Chem.* 2015, 63, 42, 9306–9314
- Sargin, S., 2003, Katı Kültür Fermantasyonu ile Ksilanaz Enzim Üretiminin Optimum Koşullarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sfakianakis, V. 2011. Solid state fermentation of soybean residues. master thesis. School of Chemical Engineering and Analytical Science. University of Manchester.
- Shahzad, F., Abdullah, M., Chaudhry, AS., Bhatti, JA., Jabbar, MA., Ahmed, F. 2016. Effects of varying levels of fungal (*Arachniotus* sp.) treated wheat straw as an ingredient of total mixed ration on growth performance and nutrient digestibility in Nili Ravi buffalo calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 3(29), 359-364. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0429>
- Shim, YH., Shinde, PL., Choi, JY., Kim, JS., Seo, DK. and Pak, JI. 2010. Evaluation of multimicrobial probiotics produced by submerged liquid and solid substrate fermentation methods in broilers. *Asian Australias J Anim Sci*;23:521e9
- Socol, CR., da Costa, ESF., Letti, LAJ., Karp, SG., Woiciechowski, AL. and de Souza Vandenberghe, LP. 2017. Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnol Res* 2017;1:52e71
- Subramaniyam, R., Vimala R. 2012. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int J Sci Nat* 2012;3:480e6.
- Sugiharto, S., Lauridsen, C. and Jensen, BB. 2015. Gastrointestinal ecosystem and immunological responses in *E. coli* challenged pigs after weaning fed liquid diets containing whey permeate fermented with different lactic acid bacteria. *Anim Feed Sci Technol* 2015;207:278e82.
- Sugiharto, S. and Samir, R. 2019. Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. 2019, animal nutrition.

- Sugiharto, S., Endang, W., Isroli, I., Turrini, Y., Tri, AS. and Hanny, IW. 2019. Effect of feeding fermented mixture of cassava pulp and Moringa oleifera leaf meal on immune responses, antioxidative status, biochemistry indices, and intestinal ecology of broilers *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916 Available at [www.veterinaryworld.org/Vol.13/February-2020/23.pdf](http://www.veterinaryworld.org/Vol.13/February-2020/23.pdf)
- Sun, H., Tang, JW., Yao, XH., Wu, YF., Wang, X. and Feng, J. 2013. Effects of dietary inclusion of fermented cottonseed meal on growth, cecal microbial population, small intestinal morphology, and digestive enzyme activity of broilers. *Trop Anim Health Prod* 2013;45:987e93.
- Supriyati, HT., Susanti, T. and Susana, IWR. 2015. Nutritional value of rice bran fermented by *Bacillus amyloliquefaciens* and humic substances and its utilization as a feed ingredient for broiler chickens. *Asian Australas J Anim Sci* 2015;28: 231e8
- United Nations. 2019. “World urbanization prospects: the 2019 revision, highlights”, Department of Economic and Social Affairs; 2019.
- Wang, J., Cao, F., Su, E., Wu, C., Zhao, L. and Ying, R. 2013. “Improving Flavonoid Extraction from Ginkgo Biloba Leaves by Prefermentation Processing.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61 (24): 5783–5791.
- Wang, JH., Cao, FL., Zhu, ZL., Zhang, XH., Sheng, QQ. and Qin, WS. 2018a. Improvement of quality and digestibility of Moringa oleifera leaves feed via solid-state fermentation by *Aspergillus Niger*. *Int J Chem React Eng.* (2018) 6:1–14. doi: 10.1515/ijcre-2018-0094
- Wang, J., Cao, F., Su, E., Zhao, L. and Qin, W. 2018b. “Improvement of Animal Feed Additives of Ginkgo Leaves through Solid-State Fermentation Using *Aspergillus Niger*.” *International Journal of Biological Sciences* 14 (7): 736–747
- Yan, Q., Lin, M., Huang, Y., Datsomor, O., Wang, K., Zhao, G. 2022. Effects of Solid-State Fermentation Pretreatment with Single or Dual Culture White Rot Fungi on White Tea Residue Nutrients and In Vitro Rumen Fermentation Parameters. *Fermentation* 2022, 8, 557. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100557>
- Yasar, S., Gok, MS., Gurbuz, Y. 2016. Performance of broilers fed raw or fermented and redried wheat, barley and oat grains. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science.* 2016; 40:313-322.
- Zhang, J., Zhu, J., Sun, J., Li, Y., Wang, P., Jiang, R. 2016. Effect of fermented feed on intestinal morphology, immune status, carcass and growth performance of Emei Black chickens. *FASEB J* 2016;30(Suppl):lb240.
- Zhu, W., Wei, Z., Xu, N., Yang, F., Yoon, L., Chung, Y. 2017. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on performance and rumen fermentation and microbiota in dairy cows fed a diet containing low quality forage. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 2017; 8:36.

