



Sibel SOYCAN ÖNEÇ¹ *  , Tuğçe EKSI¹ 

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Namık Kemal, Tekirdağ, 59100, Türkiye

Use of Chitosan and Chitosan oligosaccharides in Ruminant Nutrition

ABSTRACT

Chitosan, a naturally occurring linear cationic polysaccharide, is a partially deacetylated polymer of acetylglucosamine obtained by alkaline deacetylation of chitin. It is a combination of glucosamine and N-acetylglucosamine. It is widely used in many fields such as medicine, tissue engineering, agriculture and animal husbandry due to its biocompatibility, biodegradability, immunogenicity, antibacterial properties, non-toxicity, high water permeability, sensitivity to chemical modification and cost effectiveness. In animal production, many studies have been conducted in both monogastric and ruminant animals to demonstrate the effects of chitosan and chitosan-based compounds as feed additives. This review discusses the use of chitosan and chitosan oligosaccharides in ruminant nutrition.

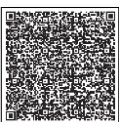
Keywords: Chitosan, oligosaccharide, ruminant, fattening, milk composition

Kitosan ve Kitosan oligosakkaritlerinin Ruminant Hayvan Beslemede Kullanımı

Öz

Doğal olarak oluşan doğal bir katyonik polisakkarit olan kitosan, kitinin alkalik deasetilasyonu yoluyla elde edilen asetil glukozaminin kısmen deasetillenmiş polimeridir. Glukozamin ve N-asetil glukozaminin bir bileşimidir. Biyoyumluluğu, biyobozunurluğu, immünojenik ve antibakteriyel özellikleri, toksik olmaması, suya karşı yüksek geçirgenliği, kimyasal modifikasyonlara duyarlılığı ve maliyet etkinliği nedeniyle ilaç, doku mühendisliği, tarım ve hayvancılık gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvansal üretimde, kitosan ve kitosan bazı bileşiklerin yem katkı maddesi olarak etkilerini ortaya koymak için hem tek mideli hem de ruminant hayvanlarda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu derlemede amaç, kitosan ve kitosan oligosakkaritlerinin ruminant hayvan beslemede kullanımını irdelemektir.

Anahtar Kelimeler: Kitosan, oligosakkarit, ruminant, besi, süt kompozisyonu



How to cite:

Soycan Öneç S, Eksi T. (2024). Ten years with the red mite (*Dermanyssus gallinae*). Journal of Animal Production, Vol: 65 (1): 186-195, <https://doi.org/10.29185/hayuretim.1501192>





GİRİŞ

Hayvansal üretimde, yem katkı maddeleri hayvan sağlığını ve verimliliğini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son 20 yıldır yem katkı maddesi olarak kullanılan antibiyotiklerin insan ve hayvan sağlığı için geniş çaplı kullanımı, hayvansal ürünler ve atıklar üzerinde kalıntı bırakması, patojenik mikroorganizmalara dirençli suşların gelişimi ve çevresel kirlenme nedeniyle tavsiye edilmemektedir (Uyanga ve ark., 2023). Yirminci yüzyılın sonlarında, antibiyotiklere dirençli bakteri türlerinin ortaya çıkması nedeniyle, geleneksel antibiyotiklerin tedavi amaçlı kullanıldığında etkisi azalmaya başlamıştır. Dolayısıyla, bakteriyel enfeksiyonlarla mücadele için yeni antibiyotiklerin ve tedavilerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar günümüzde büyük önem taşımaktadır (Haldorai ve Shim, 2013). Bununla birlikte, tüketicilerin protein talebini ve üreticilerin de protein arzını karşılamak, başka bir ifadeyle sürdürülebilir gıda güvencesinin temini için hayvansal üretimde geleneksel olmayan, doğal ve ucuz rasyon bileşenlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durum, hastalıklara karşı direnci artıracak, verimliliği yükseltebilecek ve hayvan sağlığını koruyabilecek antibiyotiklere alternatif arayışını artırmıştır (Uyanga ve ark., 2023). Hayvan beslemede genellikle kullanılan yem katkı maddeleri organik asitler, yem enzimleri, prebiyotikler ve bitki ekstraktlarıdır (Soycan Önenç ve Açıkgoz, 2005). Oysa kitosan yeni ve hayvanların beslenmesinde daha az kullanılan bir katkı maddesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Shah ve ark., 2022).

Doğal olarak oluşan bir polisakkarit olan kitosan, kitinin alkali deasetilasyonu yoluyla elde edilen asetil glukozaminin kısmen deasetillenmiş polimeridir. Glukozamin ve N-asetil glukozaminin bir bileşimidir. Kitosan, pH değiştirilerek geri dönüşümlü olarak ayarlanabilen bir çözünürlüğe sahip, uyarıya duyarlı bir polimerdir. Biyouyumluluğu, biyobozunurluğu, immünojenik ve antibakteriyel özellikleri, toksik olmaması, suya karşı yüksek geçirgenliği, kimyasal modifikasyonlara duyarlılığı ve maliyet etkinliği nedeniyle ilaç, doku mühendisliği, tarım ve hayvancılık gibi pekçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca biyomedikal araştırmalarda, genetik mühendisliğinde, gıda sektöründe, kirlilik kontrolünde, su arıtmada, kağıt üretiminde ve fotoğrafçılıkta da kullanılmaktadır (Anggraeni ve ark., 2022; Uyanga ve ark., 2023). Organik antimikrobiyal ajanlar genellikle daha az karardır ve bu nedenle inorganik metal oksit ile kompozit oluşumu, kararlılığını ve antibakteriyel aktivitesini arttırır (Haldorai ve Shim, 2013). Hayvansal üretimde, kitosan ve kitosan bazlı bileşikler prebiyotik olarak kabul edilir (Tufan ve ark., 2015). Yem katkı maddesi olarak etkilerini ortaya koymak için hem tek mideli (Tufan ve ark., 2015; Chang ve ark., 2020) hem de ruminant hayvanlarda pek çok araştırma yapılmıştır (Goiri ve ark., 2009; Dias ve ark., 2017; Uyanga ve ark., 2023). Bu derlemede kitosan ve kitosan oligosakkaritinin ruminantlarda etki mekanizması ile ruminant beslemede yem katkı maddesi olarak kullanılabilirliği irdelenecektir.

Kimyasal Yapısı ve Antimikrobiyal Etki Mekanizması

Kitin, -N-asetil-D-glukozamin polimeri olan selüloz gibi yapısal bir homopolisakkarittir (Anggraeni ve ark., 2022). Dünya'da yıllık kitin üretimi 1010-1012 ton olarak gerçekleşmektedir (Shah ve ark., 2022). Kitinin moleküler ağırlığının ve viskozitesinin yüksek, çözünürlüğünün düşük ve allerjik olması, hayvan beslemede yem katkı maddesi olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (Tufan ve ark., 2015). En kullanışlı kitin türevidir, serbest bir amino grubuna sahip olan kitosandır. Kitosan ve selüloz arasındaki fark, kitosanın C-2 pozisyonunda bir amin (-NH₂) grubunun, selülozun ise bir hidroksil (-OH) grubunun bulunmasıdır (Anggraeni ve ark., 2022). Yapısal olarak kitosan, β-(1-4) glikozidik bağlarla bağlanmış N-asetil-2-amino-2-D glukopiranoz ve 2-amino-2-deoksi-D-glukopiranozdan oluşur (Uyanga ve ark., 2023). Kitinin deasetilasyon süreci, N-asetil-D-glukozamin veya kitosan polimerinin oluşumuyla sonuçlanır (Pereira ve ark., 2022; Uyanga ve ark., 2023). Ayrıca, kitosan toksik değildir ve biyolojik olarak da parçalanabilir. ABD Gıda ve İlaç Dairesi tarafından gıdalarda kullanım için güvenli olarak tanımlanmıştır (Dias ve ark., 2017). Anılan bileşikler, tıp ve gıdaların korunmasında geniş uygulama potansiyeline sahip olmasından dolayı büyük ilgi görmüştür (Goiri ve ark., 2009; Uyanga ve ark., 2023). Kitin ve kitosan arasındaki fark deasetilasyon derecesine bağlıdır (Dias ve ark., 2017). Deasetilasyon, türe bağlı olarak %44.1 ile %98.0 arasında değişmektedir (Anggraeni ve ark., 2022). Örneğin, tüm yengeç türlerinin kabuklarından elde edilen kitosan, yengeçlerin bacaklarından elde edilenlerden daha fazla çözünürlük göstermektedir (Byun ve ark., 2013). Bununla birlikte, sıvı veya katı gıdalara eklendiğinde antibakteriyel özelliklerinin önemli ölçüde yükseldiği belirtilmektedir (Uyanga ve ark., 2023). Kitosan iskeletine yeni fonksiyonel gruplar ekleme ve işlevselliğini geliştirmeye yönelik çeşitli modifikasyonlar (kitosan glutamat, karboksimetil kitosan ve hidroksipropil trimetil amonyum klorür kitosan vb.) yapılabilir (Deng ve ark., 2021; Chen ve ark., 2019). Kimyasal ve enzimatik hidroliz ile kitosandan kitosan oligosakkariti (KOS) elde edilmektedir. KOS ise düşük polimerizasyon derecesine sahip toksik olmayan doğal bir polisakkarittir (Zou ve ark., 2016; Ayman ve ark., 2022). Kitosan oligomeri olan



KOS'un, moleküler ağırlığı ve viskozitesi kitosandan daha düşük, suda çözünürlüğü ve biyolojik aktivitesi ise çok daha yüksek olmasından dolayı hayvansal üretimde antibiyotik alternatifi olarak önerilmektedir (Zhou ve ark., 2009; Li ve ark., 2019). KOS bağırsak fonksiyonlarını düzenlemek, büyümeyi desteklemek ve hayvansal üretimde verimliliği arttırmak, stres ve oksidasyonun olumsuz etkilerini önlemek, bağışıklık sistemini güçlendirmek, enflamasyonu azaltmak için yem katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Chang ve ark., 2020; Ayman ve ark., 2022; Pereira ve ark., 2022; Uyanga ve ark., 2023).

Bakteri ve mantarlara karşı kitosanın etki mekanizmaları araştırılmış, antimikrobiyal özellikleri, C-3 ve C-6 pozisyonlarındaki reaktif hidroksil gruplarının dışında; kitosanın yapısı, fizikokimyasal özellikleri ve çevre koşullarıyla büyük ölçüde ilişkilendirilmiştir. Kitosanın etki mekanizması etki gösterdiği bölgeye göre; hücre dışı, hücre içi veya hem hücre dışı hem de hücre içi olarak sınıflandırılmaktadır (Ke ve ark., 2021). Ancak, antimikrobiyal etki mekanizması karmaşıktır (Rey ve ark., 2023) ve tam olarak aydınlatılamamıştır. Hücre içi sızıntı mekanizması bilimsel olarak en çok kabul gören teori olmuştur (Helander ve ark., 2001; Kong ve ark., 2010). Bu teoriye göre; pozitif yüklü kitosanın bakterilerin negatif yüklü çift katmanlı fosfolipid membranına bağlanarak membran geçirgenliğini değiştirmesiyle (peptidoglikanların hidrolizi) hücre membranının bariyer görevi kaybolur. Bu durum da hücre içi bileşenler kolayca hücre dışına geçer ve hücrenin ölümüne neden olur (Helander ve ark., 2001; Kong ve ark., 2010; Ardean ve ark., 2021).

Yüksek moleküler ağırlıktaki kitosan genellikle hücre duvarına ve hücre membranına nüfuz edemediğinden, potansiyel antimikrobiyal etkileri esansiyel metallerle şelat oluşturmayı, besin maddelerinin hücre içine alınmasını önlemeyi ve hücre geçirgenliğini değiştirmeyi içermektedir. Bununla birlikte, düşük moleküler ağırlıktaki kitosan sadece hücre dışı antimikrobiyal aktiviteye değil, aynı zamanda hücre içi antimikrobiyal aktiviteye de sahiptir. Hücre içi antimikrobiyal aktivitesi RNA oluşumunu (transkripsiyon), protein sentezini ve mitokondrilerin fonksiyonlarını değiştirerek ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, kitosanın antimikrobiyal etkisi büyük ölçüde hedef mikroorganizmanın türüne bağlı olarak değişmektedir (Ke ve ark., 2021). Ancak, bazı kitosan oligomerlerinin (<5 kDa) hücre duvarına nüfuz ettiği ve DNA/RNA veya protein sentezini etkilediği, bazılarının ise (≤50 kDa) hücre duvarından geçebildiğini ve DNA'nın RNA'ya transkripsiyonunu inhibe edebildiği bildirilmiştir (Kravanja ve ark., 2019). Bu nedenle, kitosanın moleküler boyutu hedeflemede önemli rol oynamasına rağmen, kitosanın moleküler ağırlığından çok yapısı; hücre dışı, hücre içi veya hem hücre dışı hem de hücre içi antibakteriyel aktivitesini belirler (Ke ve ark., 2021).

Kitosan ve Kos Kullanımının Etkileri

Yem katkı maddesi olarak kullanılan kitosan yem tüketimini, yemden yararlanmayı, besin maddelerinin sindirimi ile emilimini, rumen fermantasyonu ve enterik metan oluşumunu etkilemektedir (Henry ve ark., 2015; Harahap ve ark. 2020). Ayrıca, rasyona kitosan ilavesi bağırsak mikrobiyal dengesini düzenler, ince bağırsaklarda kalsiyum ve fosforun sindirilebilirliğini artırır. Bunların yanı sıra antibiyotik uygulamasını sınırlandırarak ilaçlara olan direnci azaltır (Uyanga ve ark., 2023).

Orta laktasyondaki ineklere kitosan verildiğinde, kuru madde (KM) ve ham protein sindirilebilirliği artmış, azot ve enerjinin etkin kullanımını sağlamış, bunların yanı sıra sütte çoklu doymamış yağ asitleri konsantrasyonunu artırmıştır (Del Valle ve ark., 2017). Başak bir çalışmada, kaba yem ağırlıklı rasyon verilen düvelerde kitosan ilavesiyle nötr deterjan lif (NDF), asit deterjan lif (ADF) ve KM sindirilebilirliğinde iyileşmeler olduğu bildirilmiştir (Henry ve ark., 2015). Koyunlarda %50 kaba yem ve %50 yoğun yem içeren rasyona kitosan (136 mg/kg CA) ilavesi, rumen fermentasyonunu olumlu yönde etkilemiş, organik madde sindirilebilirliğini düşürmeden enerjinin etkin kullanılmasını sağlamıştır (Goiri ve ark., 2010). Soysal (2019)'un çalışmasında, karma yeme farklı düzeylerde (100 mg/kg, 200 mg/kg) katılan kitosanın oğlaklarda; besi performansı, bazı kan ve rumen parametreleri üzerinde önemli bir fark yaratmadığı belirlenmiştir. Keçilerde KOS ilavesiyle yapılan başka bir çalışmada; canlı ağırlık, yemden yararlanma, total protein ve lenfosit sayısında artış, trigliserit ve lökosit sayısında azalma olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar keçi rasyonlarına KOS ilave edilmesinin sindirim sistemi mikrobiyal popülasyonunu olumlu etkilediğini belirtmişlerdir (Nakthong ve ark., 2012). Araújo ve ark., (2015) ineklerde farklı oranlarda (50, 100, 150 mg/kg) kitosan ilavesinin besin madde sindirimini, kuru madde tüketimini, rumende sindirilebilirliği önemli ölçüde arttırdığını, asetat/propiyonat oranının azaldığını, toplam uçucu yağ asitlerinin (UYA)'nın ise etkilenmediğini bildirmiştir. Ayrıca, plazma glikoz düzeyi artmış, ancak toplam protein ve üre düzeyleri kitosandan etkilenmemiştir.



Kitosanın süt ineklerinde besin madde sindirimi, kan parametreleri, süt verimi kompozisyonuna etkilerini belirlemek için Mingoti ve ark., (2016); orta laktasyondaki Holstein ineklerin yemlerine sırasıyla 0, 50, 100, 150 mg/kg kitosan ilave etmişlerdir (Çizelge 1).

Table 1. Effects of chitosan on nutrient digestion, blood parameters, milk yield and milk composition in cows.

Tablo 1. Kitosanın ineklerde besin madde sindirimi, kan parametreleri, süt verimi ve kompozisyonuna etkileri

Parametre	Kitosan mg/kg CA				SEM	P-değeri	
	0	50	100	150		LIN	QUA
KMT kg/gün	24.49	24.82	24.26	24.07	0.44	0.34	0.55
KMS,%	67.22	70.91	69.51	69.35	0.70	0.28	0.05
OMS, %	67.99	71.88	70.61	70.06	0.81	0.25	0.03
HPS, %	78.79	80.92	81.29	81.53	0.57	0.01	0.18
NDFS, %	56.44	62.13	60.28	58.84	0.93	0.36	0.01
Azot dengesi							
Azot tüketimi, g/gün	645.33	655.07	639.83	638.45	10.8	0.47	0.61
İdrar azotu, g/gün	283.73	300.28	289.03	290.40	5.48	0.76	0.24
Gübre azotu, g/gün	137.36	126.37	120.39	120.48	4.52	0.02	0.31
Süt azotu, g/gün	142.23	141.20	141.59	147.44	2.21	0.24	0.26
Azot dengesi, g/gün	82.14	87.55	88.55	80.00	84.5	0.82	0.21
Süt azotu/ Azot tüketimi	22.30	21.70	22.40	23.40	0.39	0.03	0.04
BUN, mg/dl	38.59	40.16	41.94	44.35	1.05	0.01	0.79
Mikrobiyal protein g/gün	1818.6	1860.1	1776.6	1766.2	36.2	0.33	0.64
Süt verimi, kg/gün	29.71	29.38	29.46	29.85	0.51	0.73	0.27
%3.5 FCM, kg/gün	26.11	26.23	27.00	27.31	0.55	0.12	0.88
Yağ, kg/gün	0.82	0.83	0.87	0.89	0.02	0.16	0.91
Protein, kg/gün	0.90	0.89	0.90	0.94	0.01	0.28	0.25
Yağ, %	2.75	2.86	2.98	2.97	0.08	0.19	0.65
Protein, %	3.07	3.08	3.06	3.16	0.02	0.25	0.35
MUN, mg/dl	8.20	8.59	8.63	10.33	0.25	<0.01	0.15
CA, kg	616	632	604	614	7.26	0.29	0.70
VKP (1-5)	2.7	2.7	2.7	2.7	0.05	0.69	0.24
SYA g/100 g TYA							
TUSFA	29.28	28.67	28.79	27.04	0.46	0.06	0.46
TSFA	65.15	65.55	65.66	66.61	0.52	0.30	0.72
TUSFA/TSFA	0.45	0.44	0.44	0.40	0.01	0.09	0.46
USFA, C18	27.52	26.90	27.08	25.28	0.45	0.06	0.45
SFA, C18	13.50	13.97	14.72	13.47	0.33	0.79	0.13
USFA/SFA, C18	2.06	1.96	1.89	2.00	0.04	0.48	0.21

Mingoti ve ark., 2016

KMT: Kuru madde tüketimi, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS:Ham protein sindirilebilirliği,NDFS:Nötral deterjan lif sindirilebilirliği, BUN:Kan üre azotu, MUN:Süt üre azotu, FCM:Yağa göre düzeltilmiş süt, VKP:Vücut kondüsyon puanı, SYA:Süt yağ asitleri, TYA:Toplam yağ asitleri, TUSFA:Toplam doymamış yağ asitleri, TSFA:Toplam doymuş yağ asitleri, USFA:Doymamış yağ asitleri, SFA: Doymuş yağ asitleri.

Kitosan KM tüketimini etkilememiş (Çizelge 1) ancak KM, organik madde, ham protein ve NDF sindirimini arttırmıştır. Rasyona kitosan ilavesiyle kan üre azotu (BUN) konsantrasyonu artmıştır. Kitosanın süt yağı, süt verimi ve süt kompozisyonuna olumlu bir etkisi olmamıştır. Orta laktasyondaki süt ineklerinde kitosan, verim performansını ve süt yağ asidi profilini değiştirmeden besin maddelerinin sindirilebilirliğini iyileştirmiştir. Sonuçlar, kitosan ilavesinin en iyi düzeylerinin 100 ila 150 mg/kg CA arasında olduğunu göstermektedir (Mingoti ve ark., 2016).

Aynı çalışmada, kitosanın BUN ve süt üre azotunu (MUN) artırdığı, azot dengesini ve mikrobiyal protein sentezini etkilemeden dışkı ile azot atılımını azalttığı bildirilmiştir. Bu durum, idrar ve fekal atılımla birlikte azot bileşiklerinin karaciğer metabolizmasıyla ilişkili olarak protein sindirilebilirliğindeki artışla ilişkilendirilmiştir



(Mingoti ve ark., 2016). Ayrıca, kitosan ilavesiyle dışkı ile N atılımının azalması, kitosanın rumen fermantasyonunu değiştirmesi ve ince bağırsaklardan amino asit azotunun daha iyi emilimesinden kaynaklanmış olabilir. Bu da protein sindirilebilirliğindeki iyileşme ile ilişkilidir. Ruminantlarda, yemden gelen protein sindirilebilirliğinin mikrobiyal kaynaklı protein sindirilebilirliğinden yüksek olması, ince bağırsak tarafından amino asit emilimini arttırabilir (Ruiz ve ark., 2001).

de Paiva ve ark. (2016) kitosanın süt verimini arttırdığını bu etkinin besin madde sindirilebilirliği ve ruminal fermantasyondaki iyileşmelerle, özellikle de süt üretimi için daha fazla enerji sağlayan ruminal propiyonatin artmasıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Başka bir çalışmada (Zeng ve ark., 2021), rasyona kitosan eklenmesi süt üretimini, süt protein üretimini ve kan üre azotunu arttırmış, bu sonuçların da artan KM tüketiminden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Kitosan ve KOS'un rumen fermantasyonu üzerine etkileri

Rumende metan (CH⁴) oluşumu yemin bakteri, protozoa ve mantarlar tarafından parçalanarak fermantasyonu ile gerçekleşir. Fermantasyonun sonucu olarak da, rumende UYA oluşur ve hayvana enerji sağlarken hidrojen açığa çıkarır. Rumende metanogenez için bakteriyel fermantasyonun son ürünlerinden asetik asit, formik asit ve metil bileşikler substrat olarak kullanılsa da temelde, hidrojen (H²) ve karbondioksit (CO²) ön planda yer alır. Dolayısıyla, rumende mikrobiyal fermantasyon süreci, bunların H² üretimi ve rumendeki metanojenik bakteriler tarafından CH⁴ oluşumu arasında güçlü bir ilişki vardır (Janssen, 2010). Kitosanın, rumen fermantasyonunu modifiye etme potansiyeli bulunmaktadır. Bu durum enerji (Belanche ve ark., 2016) ve protein (Dias ve ark., 2017) kullanım etkinliğini arttırır. Ruminant rasyonlarına kitosan eklenmesi, NH³ ve CH⁴'ün ruminal konsantrasyonlarının azaltılmasını teşvik eder, böylece propiyonik asit üretimini artırır (Araújo ve ark., 2015; de Paiva ve ark., 2017). *In vivo* denemelerde, ruminal fermantasyondaki değişikliklerden, özellikle de propiyonik asit oranının artması ve asetik-propiyonik asit oranının azalmasından kaynaklanan olumlu etkiler bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2022). Ayrıca, metabolik hidrojen üretimindeki teorik azalma (Belanche ve ark., 2016), enerjinin etkin kullanılmasını sağlayabilir. Bu nedenle de, süt koyunlarında (Garcia-Rodriguez ve ark., 2015) ve ineklerde (Del Valle ve ark., 2017; Zanferari ve ark., 2018) kitosan ilavesi ile yemden yararlanmanın arttığı bildirilmiştir. Kitosanın enterik CH₄ emisyonları üzerindeki etkisiyle ilgili çelişkili sonuçlar bildirilmiştir. Bu bağlamda, *in vitro* çalışmalar (Belanche ve ark., 2016; Goiri ve ark., 2009) ile CH₄ emisyonlarında önemli bir azalma (%42- 43) ortaya çıkarken, Henry ve ark. (2015) kitosanın sığırlarda enterik CH₄ üretimi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını bildirmiştir. Benzer şekilde Çizelge 2'den de kitosanın CH₄ üretiminde azalmaya etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir (Rey ve ark., 2023).

Table 2. Effect of chitosan supplementation on the yield and composition of milk and methane production.

Tablo 2. Kitosan ilavesinin süt verimi ve bileşimi ile metan üretimi üzerine etkisi

Parametre	Holstein Frisian		Brown Swiss		SEM	P-değeri	
	Kontrol	Kitosan	Kontrol	Kitosan		Irk	Kitosan
Verim kg/gün							
Süt	25.8	26.2	26.0	27.3	1.52	0.718	0.562
Enerjiye göre düzeltilmiş süt	26.7	24.0	28.3	29.3	2.25	0.160	0.709
Yağ	1.22	0.757	1.13	1.16	0.1536	0.355	0.167
Protein	1.05	0.912	0.944	0.993	0.1048	0.921	0.664
Laktoz	1.49	1.32	1.29	1.34	0.1233	0.539	0.627
Kompozisyon,%							
Yağ	4.68	3.61	4.09	4.00	0.306	0.742	0.080
Protein	3.54	3.54	3.65	3.62	0.094	0.882	0.358
Laktoz	4.83	4.73	4.73	4.90	0.069	0.588	0.640
CH ₄							
ppm	1605	1770	2325	1924	329.2	0.271	0.727
g/gün	214	206	290	234	45.3	0.337	0.498
g/kg süt	9.54	9.14	10.85	9.51	2.242	0.740	0.694

Rey ve ark., 2023

SEM: Ortalamanın standart hatası



Kitosanın rumen UYA profiline etkisi değişiklik göstermektedir. Genellikle (Çizelge 2) propiyonik asit oranında artış olduğu (Rey ve ark., 2023), süt ineklerinde (de Paiva ve ark., 2017; Rey ve ark., 2023), besi sığırlarında (Dias ve ark., 2017) ve koyunlarda yapılan (Goiri ve ark., 2009) çalışmalarda ortak sonuç olarak bildirilmiştir. Buna karşılık, asetik asit oranında azalma olduğunu bildiren çalışmalar da (Araújo ve ark., 2015; Vendramini ve ark., 2016; Zanferari ve ark., 2018) bulunmaktadır. Rumen UYA oranındaki değişikliğe bağlı olarak; asetik-propiyonik ve asetik/bütirik-propiyonik asit oranları düşmüştür. Kitosan ilavesiyle, artan propiyonik asit ve azalan asetik asit ile ortaya çıkan UYA oranlarındaki bu değişim, hem in vitro hem de in vivo çalışmalarda en güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlardan biri olmuştur (Harahap ve ark., 2020; Shah ve ark., 2022). Bunun nedeni kitosanın gram-pozitif bakterilere (selülitik ve hemiselülitik bakteriler) karşı daha belirgin bir antimikrobiyal etki göstermesi ve amilolitik bakterilerin baskın olmasıyla açıklanabilir (Belanche ve ark., 2016; Del Valle ve ark., 2017). Ayrıca Belanche ve ark., (2016), kitosan ilavesiyle rumende amilaz aktivitesinin arttığını, ortaya çıkan substratların bazı bakteriler tarafından karbon kaynağı olarak kullanılabilceğini ve bunun da propiyonik asit üretimindeki artışı açıklayabileceğini belirtmişlerdir.

Gandra ve ark., (2016), kitosanın rumende mikrobiyal protein sentezini azattığını belirtmişler, bu etkiyi yoğun yem oranı yüksek rasyonların rumen pH'sını düşürmesine bağlı olarak mikrobiyal protein sentez etkinliğinin düşmesiyle ilişkilendirmişlerdir. Bununla birlikte, kitosan katkısının laktasyondaki süt ineklerinde, nükleik asitlerin yapı taşı olan pürin türevleri veya mikrobiyal sentez üzerinde etki göstermediğini bildiren çalışmalarda (de Paiva ve ark., 2017; Del Valle ve ark., 2017; Seankamsorn ve ark., 2021; Rey ve ark., 2023) bulunmaktadır. Ayrıca, Rey ve ark. (2023)'nin araştırmasının koşullarında kitosan ilavesi, laktasyondaki süt inekleri için mikrobiyal protein sentezi üzerinde herhangi bir olumsuz etki göstermemiştir.

Zanferari ve ark. (2018) doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir rasyona kitosan eklendiğinde süt üretiminde bir düşüş olduğunu bildirmiş, ancak kitosanın doymamış yağ asitleri içermeyen bir rasyona eklendiğinde süt verimi üzerinde herhangi bir etki gözlenmemiştir. Aksine, Zheng ve ark. (2021) kitosan ilavesinin, süt üretimini ve düzeltilmiş süt yağını doğrusal olarak artırdığını bildirmiştir. Her iki araştırmacı da, artan üretimi daha yüksek yem tüketim miktarı ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bazı araştırmacılar (Del Valle ve ark., 2017; Seankamsorn ve ark., 2021; Rey ve ark., 2023) ise kitosan ilavesinin süt verimini veya bileşimini etkilemediğini bildirmiştir (Çizelge 2).

Süt ineklerinin rasyonlarında, herhangi bir besin maddesinin eksikliği süt verimini azaltabilir. Ancak, besin maddeleri arasından enerji ve protein miktarı sınırlayıcı olması bakımından ön planda yer almaktadır.

Table 3. Effect on ruminal volatile fatty acid ratios of chitosan supplementation

Tablo 3. Kitosan ilavesinin ruminal uçucu yağ asidi oranları üzerine etkisi

UYA	Holstein Frisian		Brown Swiss		SEM	P-değeri	
	Kontrol	Kitosan	Kontrol	Kitosan		Irk	Kitosan
Toplam UYA, mM	62.9	66.6	69.8	68.4	5.04	0.418	0.823
Asetik asit, mol/100mol	65.0	62.5	64.3	64.1	0.60	0.444	0.046
Propionik asit,	16.7	18.8	16.6	18.2	0.57	0.533	0.008
Bütirik asit	14.2	14.3	15.2	14.1	0.52	0.493	0.376
İzobütirik asit	0.956	0.832	0.872	0.784	0.0775	0.430	0.210
Valerik asit	1.28	1.25	1.29	1.26	0.054	0.877	0.635
İzovalerik asit	1.87	2.25	1.69	1.56	0.161	0.022	0.477
Dallı zincirli UYA	2.83	3.08	2.56	2.34	0.220	0.046	0.945
C ² /C ³	3.93	3.34	3.92	3.54	0.159	0.569	0.013
C ² +C ⁴ /C ³	4.84	4.15	4.89	4.36	0.195	0.522	0.011

Rey ve ark., 2023

SEM: ortalamanın standart hatası; UYA: Uçucu yağ asitleri; C²/C³: Asetik asit/ Propiyonik asit oranı, C² + C⁴/C³: Asetik +Bütirik asit/ Propiyonik asit oranı

Çizelge 3'den de görüldüğü gibi, kitosan ilavesi, propiyonik asit oranını %11.2 arttırmış ve asetik/propiyonik asit oranını %12.2 oranında azaltarak rumen fermantasyonu üzerinde olumlu etki göstermiştir (Rey ve ark., 2023). Ancak çalışmada (Rey ve ark., 2023), CH⁴ emisyonunu düşürmemesinden dolayı enerji kayıplarını önlemede etkili olmamıştır.



Pekçok araştırmada, kitosan mikrobiyal N akışını artırmamıştır. İnce bağırsaklardan absorbe edilen proteinler, karaciğerde insülin benzeri büyüme faktörü -1'in (IGF-1) transkripsiyonu ve ekspresyonunu (sekresyonunu) düzenlemek için önemli bir besleme faktörüdür (Wan ve ark. 2017). Plazma IGF-1 ise, amino asitlerin ve glikozun hücre membranlarından geçişini uyarak süt üretimini sağlamaktadır (Cohick ve ark., 1998). Bu nedenle, kitosan ilavesi fermantasyon etkinliğini artırsa da, hayvanların performansında bir iyileşme sağlayamamıştır.

Kitosan ilavesinin farklı etkiler göstermesini; kitosanın deasetilasyon derecesi ve moleküler ağırlığı (Mima ve ark., 1983; Ke ve ark., 2021), kitosan düzeyi ve fizikokimyasal özellikleri, rasyonun bileşimi ve doymamış yağ içeriği (Goiri ve ark., 2009) ile açıklanmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalar irdelendiğinde; bir grup araştırmacının (Mingoti ve ark., 2016; Del Valle ve ark., 2017; Zanferari ve ark., 2018) %87 deasetilasyon derecesine sahip ticari kitosanı 50-150 mg/kg CA düzeylerinde kullanıldığı görülmüştür. Başka bir araştırmacının (Seankamsorn ve ark., 2021) ise %98 deasetilasyonlu kitosan bazlı ekstrakt ve %90 deasetilasyonlu ticari bir kitosanın %2 KM miktarının (651 mg/kg CA) etkisini incelerken, Pereira ve ark. (2022)'nin %85'in üzerinde deasetilasyon derecesine sahip kitosanın 136-272 mg /kg CA düzeyini incelemiştir. Rey ve ark., (2023)'nin çalışmasında, %95 deasetilasyon derecesine sahip kitosanın 135 mg/kg CA miktarının etkisini araştırmıştır.

Zanferari ve ark., (2018) kitosan ilavesinin süt ineklerinde yağ asitlerinin rumen biyohidrojenasyonu ile ilgili olarak *Butyrivibrio* grubu ve *B. proteoclasticus* gibi bakteri türlerinde bir azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Ruminal ortamdaki değişikliklerin et kalitesi üzerinde önemli sonuçları vardır (Pereira ve ark., 2022).

SONUÇ

Hayvan beslemede, hayvan sağlığını ve verimliliğini iyileştirmek için yem katkı maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kitosan yeni ve hayvan beslemede daha az kullanılan bir katkı maddesidir. Ülkemizin denizlerle çevrili olması nedeniyle kitosan ve kitosan içeren yem katkı maddelerinin üretimi için gereken hammaddeye sahip olmak büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle hem in vitro hem de in vivo araştırmalarla konunun daha ayrıntılı araştırılması yerinde olacaktır.

Teşekkürler: -

Veri kullanılabilirliği: Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları: Makalenin hazırlanmasında tüm yazarlar eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar çatışması: Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur

Etik Beyan: Yazarlar, bu derleme makalesi için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan eder.

Finansal destek: -

Makale Açıklaması: Bu makale Editör Çağrı KANDEMİR tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Araújo APC, Venturelli BC, Santos MCB, Gardinal R, Cônsolo NRB, Calomeni GB, Freitas JE, Barletta RV, Gandra JR, Paiva PG. 2015. Chitosan affects total nutrient digestion and ruminal fermentation in Nellore steers. *Animal Feed Science Technology* 206:114-118.
- Anggraeni A S, Jayanegara A , Laconi E B, Kumalasari NR, Sofyan A. 2022. Marine by-products and insects as a potential chitosan source for ruminant feed additives. *Czech Journal of Animal Science* 67(8): 295-317.
- Ardean C, Davidescu CM, Nemes NS, Negrea A, Ciopec M, Duteanu N, Negrea P, Dudaseiman D, Musta V. 2021. Factors influencing the antibacterial activity of chitosan and chitosan modified by functionalization. *International Journal of Molecular Sciences* 22(14):7749.
- Ayman U, Akter L, Islam R, Bhakta S, Rahman MA, Islam MR, Sultana N, Sharif A, Jahan MR, Rahman MS, Haque Z. 2022. Dietary chitosan oligosaccharides improves health status in broilers for safe poultry meat production. *Annals of Agricultural Sciences* 67(1):90-98.



- Belanche A, Pinloche E, Preskett D, Newbold CJ. 2016. Effects and mode of action of chitosan and ivy fruit saponins on the microbiome, fermentation and methanogenesis in the rumen simulation technique. *FEMS Microbiology Ecology* 92(1):1-13.
- Byun SM, No HK, Hong JH, Lee SI, Prinyawiwatkul W. 2013. Comparison of physicochemical, binding, antioxidant and antibacterial properties of chitosans prepared from ground and entire crab leg shells. *International Journal of Food Science and Technology* 48(1):136-142.
- Chang Q, Lu Y, Lan R. 2020. Chitosan oligosaccharide as an effective feed additive to maintain growth performance, meat quality, muscle glycolytic metabolism, and oxidative status in yellow-feather broilers under heat stress. *Poultry Science* 99:4824-4831.
- Chen R, Ding Y, Xi J, Lu G, Xiao W, Ding Y, Qian L, Lin Z, Gong W. 2019. NKG2D-IL-15 fusion protein encapsulated in N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride retards melanoma growth in mice. *Translational Cancer Research* 8(6):2230-2241.
- Cohick WS. 1998. Role of the insulin-like growth factors and their binding proteins in lactation. *Journal Dairy Science* 81:1769-1777.
- Deng W, Tan Y, Riaz Rajoka MS, Xue Q, Zhao L, Wu Y. 2021. A new type of bilayer dural substitute candidate made up of modified chitin and bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 256:117577.
- de Paiva PG, Jesus EF, Del Valle TA, Almeida GF, Costa AGBVB, Consentini CE, Zanferari F, Takiya CS, Bueno ICS, Rennó FP. 2016. Effects of chitosan on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition of dairy cows. *Animal Production Science* 57:301.
- Dias A O C, Goes R H T B, Gandra J R, Takiya C S, Branco A F, Jacaúna A G, Oliveira RT, Souza C J S, Vaz M S M. 2017. Increasing doses of chitosan to grazing beef steers: Nutrient intake and digestibility, ruminal fermentation, and nitrogen utilization. *Animal Feed Science Technology* 225:73-80.
- Del Valle TA, de Paiva PG, de Jesus EF, de Almeida GF, Zanferari F, Costa AGBVB, Bueno ICS, Rennó FP. 2017. Dietary chitosan improves nitrogen use and feed conversion in diets for mid-lactation dairy cows. *Livestock Science* 201: 22-29.
- Gandra JR, Takiya CS, de Oliveira ER, de Paiva PG, de Tonissi RH, de Goes B, Gandra ERS, Araki HMC. 2016. Nutrient digestion, microbial protein synthesis, and blood metabolites of Jersey heifers fed chitosan and whole raw soybeans. *Revista Brasileira Zootecnia* 45(3):130-137.
- García-Rodríguez A, Arranz J, Mandaluniz N, Beltrán-de-Heredia I, Ruiz R, Goiri I. 2015. Short-communication: Production performance and plasma metabolites of dairy ewes in early lactation as affected by chitosan. *Spanish Journal Agricultural Research* 13(4): e06SC04.
- Goiri I, Oregui LM, García-Rodríguez A. 2009. Dose-response effects of chitosans on in vitro rumen digestion and fermentation of mixtures differing in forage to concentrate ratios. *Animal Feed Science Technology* 151:215-227.
- Haldorai Y, Shim JJ. 2013. Chitosan-zinc oxide hybrid composite for enhanced dye degradation and antibacterial activity. *Composite Interfaces*, 20(5):365-377.
- Harahap RP, Setiawan D, Nahrowi, Suharti S, Obitsu T, Jayanegara A. 2020. Enteric methane emissions and rumen fermentation profile treated by dietary chitosan: A meta-analysis of in vitro experiments. *Tropical Animal Science Journal* 43:233-239.
- Helander IM, Nurmiaho-Lassila EL, Ahvenainen R, Rhoades J, Roller S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 71:235-244.
- Henry DD, Ruiz-Moreno M, Ciriaco FM, Kohmann M, Mercadante VR, Lamb GC, Dilorenzo N. 2015. Effects of chitosan on nutrient digestibility, methane emissions, and in vitro fermentation in beef cattle. *Journal of Animal Science* 93:3539-3550.



- Janssen, PH. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science Technology* 160:1-22.
- Ke C L, Deng, F. S., Chuang, C Y, Lin, C H. 2021. Antimicrobial actions and applications of chitosan. *Polymers* 13(6):904.
- Kravanja G, Primožic M, Knez Z, Leitgeb M. 2019. Chitosan-based (Nano) materials for novel biomedical applications. *Molecules* 24:1960.
- Kong M, Chen XG, Xing K, Park HJ. 2010. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. *International Journal of Food Microbiology* 144:51-63.
- Li J, Cheng Y, Chen Y, Qu H, Zhao Y, Wen C, Zhou Y. 2019. Dietary chitooligosaccharide inclusion as an alternative to antibiotics improves intestinal morphology, barrier function, antioxidant capacity, and immunity of broilers at early age. *Animals*. 9:493.
- Mima S, Miya M, Iwamoto R, Yoshikawa, S. 1983. Highly deacetylated chitosan and its properties. *Journal of Applied Polymer Science* 28:1909-1917.
- Mingoti RD, Freitas JE, Gandra JR, Gardinal R, Calomeni GD, Barletta RV, Vendramini THA, Paiva PG, Renno FP. 2016. Dose response of chitosan on nutrient digestibility, blood metabolites and lactation performance in Holstein dairy cows. *Livestock Science* 187:35-39.
- Nakthong C, Taksinoros S, Wongsawaong W. 2012. Effects of feeding chitooligosaccharide on growth performance, immunity and serum composition in goats. *Journal of Applied Animal Science* 5(2):27-33.
- Pereira FM, Magalhães TS, de Freitas Júnior JE, Santos SA, Pinto LF, Pina DS, Mourão GB, Pires AJ, Júnior FJC, Mesquita BMC. 2022. Qualitative profile of meat from lambs fed diets with different levels of chitosan Part II. *Livestock Science* 104975.
- Rey J, Díaz de Otálora X, Atxaerandio R, Mandaluniz N, García-Rodríguez A, González-Recio O, López-García A, Ruiz R, Goiri I. 2023. Effect of chitosan on ruminal fermentation and microbial communities, methane emissions, and productive performance of dairy cattle. *Animals* 13:2861.
- Ruiz R, Albrecht GL, Tedeschi LO, Jarvis G, Russell JB, Fox DG. 2001. Effect of monensin on the performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows consuming fresh forage. *Journal Dairy Science* 84:1717-1727.
- Seankamsorn A, Cherdthong A, So S, Wanapat M. 2021. Influence of chitosan sources on intake, digestibility, rumen fermentation, and milk production in tropical lactating dairy cows. *Tropical Animal Health Production* 53:241.
- Shah AM, Qazi IH, Matra M, Wanapat, M. 2022. Role of chitin and chitosan in ruminant diets and their impact on digestibility, microbiota and performance of ruminants. *Fermentation* 8, 549.
- Soycan Önenç, S., Açıkgöz, Z. 2005. Aromatik bitkilerin hayvansal ürünlerde antioksidan etkileri. *Hayvansal Üretim* 46 (1): 50-55.
- Soysal Z. 2019. Oğlak rasyonlarına kitosan ilave edilmesinin besi performansı, kan ve rumen parametrelerine etkisi. *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, Burdur*.
- Tufan T, Arslan C, Sarı M, Önk K, Deprem T, ÇELİK E. 2015. Effects of chitosan oligosaccharides addition to japanese quail's diets on growth, carcass traits, liver and intestinal histology, and intestinal microflora. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 21 (5):661-665.
- Uyanga VA, Onome E, Lambo MT, Alowakenu M, Alli YA, Ere-Richard A A, Min L, Zhao J, Wang X, Jiao H, Onagbesan OM, Lin H. 2023. Chitosan and chitosan-based composites as beneficial compounds for animal health: impact on gastrointestinal functions and biocarrier application. *Journal of Functional Foods* 104:105520.
- Vendramini THA, Takiya CS, Silva TH, Zanferari F, Rentas MF, Bertoni JC, Consentini, C.E.C, Gardinal, R, Acedo TS, Rennó FP. 2016. Effects of a blend of essential oils, chitosan or monensin on nutrient intake and digestibility of lactating dairy cows. *Animal Feed Science Technology* 214:12-21.



- Wan J, Jiang F, Xu Q, Chen D, Yu B, Huang Z, He J. 2017. New insights into the role of chitosan oligosaccharide in enhancing growth performance, antioxidant capacity, immunity and intestinal development of weaned pigs. *RSC Adv.* 7:9669-9679.
- Zanferari F, Vendramini THA, Rentas MF, Gardinal R, Calomeni GD, Mesquita LG, Takiya CS, Rennó FP. 2018. Effects of chitosan and whole raw soybeans on ruminal fermentation and bacterial populations, and milk fatty acid profile in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101:10939-10952.
- Zheng Y G, Zhang B Q, Qi J Y, Zhao Y L, Guo X Y, Shi B L, Yan S.M. 2021. Dietary supplementation of chitosan affects milk performance, markers of inflammatory response and antioxidant status in dairy cows. *Animal Feed Science Technology* 277:114952.
- Zou P, Chen Y, Yoo J, Huang Y, Lee J, Jang H, Shin S, Kim H, Cho J, Kim I. 2009. Effects of chitooligosaccharide supplementation on performance, blood characteristics, relative organ weight, and meat quality in broiler chickens. *Poultry Science* 88:593-600.
- Zou P, YangX, Wang J, Li YF, Yu HL, Zhang YX, Liu GY. 2016. Advances in characterisation and biological activities of chitosan and chitosan oligosaccharides. *Food Chemistry.* 190:1174-1181.