

BİYOKİMYA – I

Editör

Yeter DEĞER



© Copyright 2025

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kayıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN	Sayfa ve Kapak Tasarımı
978-625-375-509-6	Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı	Yayıncı Sertifika No
Biyokimya-I	47518
Editör	Baskı ve Cilt
Yeter DEĞER	Vadi Matbaacılık
ORCID iD: 0000-0001-9346-3685	Bisac Code
Yayın Koordinatörü	MED089000
Yasin DİLMEN	DOI
	10.37609/akya.3681

Kütüphane Kimlik Kartı
Biyokimya - I / ed. Yeter Değer.
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2025.
254 s. : şekil, tablo. ; 160x235 mm.
Kaynakça var.
ISBN 9786253755096

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Biyokimya, canlıların moleküler düzeyde anlaşılmasını sağlayan temel bilim dallarından biridir. Bu bağlamda hazırlanan "Biyokimya-I" kitabımızda, canlıların yapısını oluşturan temel moleküllerin yapıları, biyolojik işlevleri ve organizmadaki rolleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Bu eser, sağlık bilimleri alanında lisans ve lisansüstü düzeyde eğitim gören öğrencilere yönelik temel bir başvuru kaynağı olarak hazırlanmıştır. Öğrencilerin biyokimyasal kavramları yalnızca ezberlemekle kalmayıp aynı zamanda anlayarak öğrenmeleri, bu bilgileri klinik uygulamalarda yorumlayabilmeleri ve araştırma yaparken sağlam bir temel oluşturmaları amaçlanmaktadır.

Kitabın içeriği hazırlanırken sade, anlaşılır ve sistematik bir dil kullanmaya özen gösterilmiştir. Konuların sunumunda güncel bilimsel veriler ışığında, görsellerle desteklenmiş bir anlatım tercih edilmiştir.

Bu kitabın ortaya çıkmasında farklı üniversitelerde görev yapan, alanında uzman çok sayıda akademisyen katkı sunmuştur. Hocalarımız, hem kendi uzmanlık alanlarındaki bilgi birikimlerini hem de eğitim deneyimlerini kitabın içeriğine yansıtarak, öğrenci merkezli bir kaynak oluşturulmasına önemli katkılar sağlamışlardır.

Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm değerli hocalarımıza özverili katkılarından dolayı içten teşekkür ederim. Bu eserin, öğrencilerimiz için yararlı ve ilham verici bir kaynak olmasını temenni ederim.

Bilim yolculuğunda başarı ve kolaylıklar dilerim.

Prof. Dr. Yeter DEĞER

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Veteriner Fakültesi

Biyokimya AD.

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1	Biyofiziksel Kimya	1
	<i>Mahire BAYRAMOĞLU AKKOYUN</i>	
Bölüm 2	Karbonhidratlar	29
	<i>Meryem ŞENTÜRK</i>	
	<i>Barış DENK</i>	
Bölüm 3	Lipitler	65
	<i>Burcu Menekse BALKAN</i>	
	<i>Mustafa İLERİTÜRK</i>	
Bölüm 4	Amino Asit ve Proteinler	101
	<i>Özkan DURU</i>	
Bölüm 5	Enzimler ve Enzim Kinetiği	157
	<i>Kıvanç İRAK</i>	
	<i>Emre KAYA</i>	
Bölüm 6	Nükleik Asitlerin Yapı ve Fonksiyonları	191
	<i>Filiz KAZAK</i>	
Bölüm 7	Elementler	223
	<i>Sedat ÇETİN</i>	
	<i>Sinan VICİL</i>	

YAZARLAR

Doç. Dr. Mahire BAYRAMOĞLU AKKOYUN
Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi,
Biyokimya AD.

Doç. Dr. Filiz KAZAK AKÇAKAVAK
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD.

Doç. Dr. Burcu Menekşe BALKAN
Burdur Mehmet Akif Ersoy
Üniversitesi, Veteriner Fakültesi,
Biyokimyası AD.

Doç. Dr. Barış DENK
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD.

Doç. Dr. Sedat ÇETİN
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,
Sağlık Hizmetleri Meslek
Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü

Doç. Dr. Özkan DURU
Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner
Fakültesi, Biyokimya AD.

Doç. Dr. Mustafa İLERİTÜRK
Atatürk Üniversitesi, Horasan Meslek
Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü

Prof. Dr. Kıvanç İRAK
Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi,
Biyokimya AD.

Doç. Dr. Emre KAYA
Fırat Üniversitesi, Veteriner
Fakültesi, Biyokimya AD.

Doç. Dr. Meryem ŞENTÜRK
Erciyes Üniversitesi, Veteriner
Fakültesi, Biyokimya AD.

Dr. Öğr. Üyesi Sinan VICİL
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi, Biyokimyası AD.



BÖLÜM 1

BİYOFİZİKSEL KİMYA

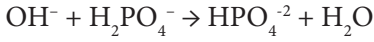
Mahire BAYRAMOĞLU AKKOYUN¹

GİRİŞ

Biyokimya kavramı “canlı kimyası, canlılık kimyası” anlamına gelir. Daha geniş bir tanım olarak ‘Biyokimya’ canlı organizmalarda gerçekleşen kimyasal olayları süreçleri ve bununla ilişkili olarak canlı organizmaların yapısında yer alan bileşenleri ve bu bileşenlerin fonksiyonlarını inceleyen bir bilim dalı olarak ifade edilir. Canlı anlamına gelen Biyokimya yunanca “bios” sözcüğünden türemiştir. Canlı organizmaların yapısında bulunan cansız maddelerin organizmadaki fonksiyonlarını kimyasal olarak açıklar. Temel olarak biyoloji ve kimya bilimlerinin çalışma alanı olan biyokimya günümüzde tıp, veteriner, diş hekimliği, eczacılık, ziraat, gıda, vb. pekçok bilim dalının çalışma alanı içerisine girmiştir. Biyokimya terimi Biyolojik Kimya kavramının kısaltılması ile ortaya çıkmış ve 19. Yüzyılda kullanılmaya başlanmıştır. Alman kimyacı Carl Neuberg, Biyokimya terimini 1903 yılında literatüre eklemiştir. Biyokimyanın bugünkü haline gelmesinde 1900’lü yıllar hatta daha öncesinde yapılan çalışmalarının büyük katkısı

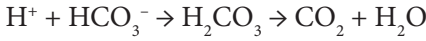
¹ Doç. Dr., Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., mahireakkoyun@siirt.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-5150-5402

Bazik ortamda çalışma prensibi;

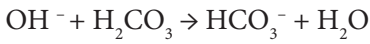


Karbonik asit/hidrojen karbonat sistemi; Kandaki pH' nın korunmasında oldukça önemlidir. Kan plazmasındaki karbonik asit(H_2CO_3)/hidrojen karbonat(HCO_3^-) dengesi oldukça güçlü bir tamponlama sağlar. Karbonik asit hidrojen vericisi olarak görev yaparken, hidrojen karbonat hidrojen alıcısıdır. H^+ , hidrojen karbonat tarafından tüketilirken, OH^- karbonik asit tarafından tüketilir.

Asidik ortamda çalışma prensibi;



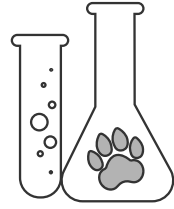
Bazik ortamda çalışma prensibi;



KAYNAKLAR

- Aydın S. *İnsan Anatomisi ve Fizyolojisi*. Türkiye: T.C. Anadolu Üniversitesi; 2000.
- Alpaydın S, Şimşek A. *Genel Kimya*. Türkiye: Eğitim Kitabevi. 2014.
- Atkins PW. *Chemistry: a very short introduction*. Oxford: Oxford University Press. 2015.
- Chemistry Formation Metallic Bond Stock Vector (Royalty Free) 1440912644 | Shutterstock
- Çelebi F. *Fizyoloji Akıl Notları*. Güneş Tıp Kitapevleri. 2024
- Gürdöl F, Ademoğlu E., *Biyokimya*. Nobel Tıp Kitapevleri; 2. Baskı 2010.
- Gözükara EM. *Biyokimya İstanbul*. Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. 5. Baskı 2011.
- Güneş N, Tanrıverdi M, Polat Ü. *Temel Veteriner Biyokimya*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Web-Ofset; 2011.
- Kalaycıoğlu L, Serpek B, Nizamlioğlu M, Başpınar N, Tiftik MA. *Biyokimya*. Nobel Akademik Yayıncılık EğitimDanışmanlık Ltd.Sti. 2013.
- Keha E, Küfrevioğlu Öİ. *Biyokimya Aktif yayınevi* 2 baskı 2000.
- Ionic Vs Covalent Bonds Ionic Bond Stock Vector (Royalty Free) 1913000563 | Shutterstock
- Mert H, Mert N. *Veteriner Klinik Biyokimya*. İstanbul: Marmara Nobel Tıp Kitapevleri San. ve Tic. Ltd. Şti; 2023.
- Pütün E. *Labaratuar Teknikleri ve Gereçleri*. Anadolu Üniversitesi. 1996.
- Üstdal M, Donma O, Kuş S, Çimen B. *Genel ve Klinik Biyokimya I*. İstanbul Tıp Kitabevi. Birinci baskı. 1998.
- Üstdal M, Karaca L, Türköz Y, Testereci H, Kuş S, Paşaoğlu H, *Biyokimya*. Medipres. 2003
- https://tr.wikipedia.org/wiki/Metalik_bağ
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/157523/mod_resource/content/1/Asit-Baz%20Den-gesi.pdf
- [https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/atomic elements-showing-nucleus-shells-numbers-1555863596](https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/atomic-elements-showing-nucleus-shells-numbers-1555863596)
- <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/water-molecule-molecular-bonding-structure-hydrogen-1152455690>
- <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/vector-illustration-hydrogen-bonding-water-molecule-2467279525>
- <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/vector-illustration-hydrogen-bond-covalent-water-2460709689>
- <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/van-der-waals-force-distancedependent-interac>

tion-2289302537
<https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/water-solubility-sodium-chloride-nacl-salt-2416972187>
<https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/ph-scale-chart-indicator-diagram-value-2566912077>



BÖLÜM 2

KARBONHİDRATLAR

*Meryem ŞENTÜRK¹
Barış DENK²*

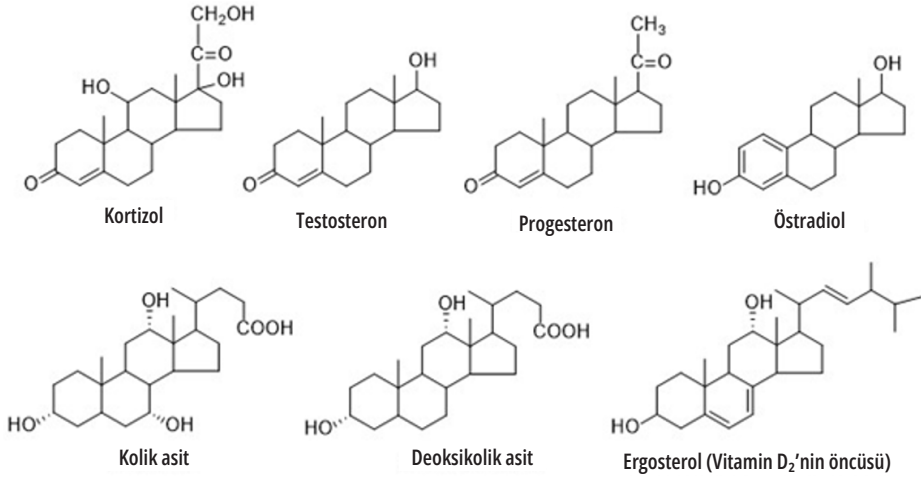
GİRİŞ

Organik moleküllerin üçüncü büyük grubunu oluşturan karbonhidratlar, doğada en yaygın bulunan makromoleküller arasında yer almaktadır. Diyetin temel bileşenlerinden biri olan karbonhidratlar, canlı organizmalar için başlıca enerji kaynağı olarak işlev görmektedir. Sakkaritler veya şekerler olarak da adlandırılan bu bileşikler, yalnızca enerji üretiminde değil, aynı zamanda hücresel yapıların sürdürülebilirliğinde ve gastrointestinal sağlığın desteklenmesinde çeşitli biyolojik roller üstlenmektedir.

Karbonhidratlar, monosakkaritlerden başlayarak oligosakkarit ve polisakkaritlere kadar uzanan geniş bir yapısal çeşitliliğe sahiptir. Şeker fosfatları, amino şekerler, deoksi şekerler ve şeker asitleri gibi monosakkarit türevleri; enerji me-

¹ Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., meryemgultekin@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3763-8310

² Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., bdenk@aku.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7586-0895



Şekil 3.22 Kolesterolde türetilen birkaç önemli sterolün yapıları

KAYNAKLAR

- Adams, R, Reed, B. Steroid Metabolism and Hormonal Regulation, London: Cambridge University Press; 2021.
- Albers SV, Meyer B H. The archaeal cell envelope. *Nature Reviews Microbiology*. 2011; 9(6): 414-426.
- Alberts, B, Johnson, A, Lewis, J, Morgan, D, Raff, M, Roberts, K, Walter, P. *Molecular Biology of the Cell*. 2015; 6th edition. Garland Science.
- Allen TM, Cullis PR. Liposomal drug delivery systems: from concept to clinical applications. *Adv Drug Deliv Rev*. 2013; 65(1): 36-48.
- Anderson, R, Miller, G, Roberts, H. *Prostaglandins and Their Clinical Applications*, Hoboken: Wiley; 2021.
- Balla T. Phosphoinositides: tiny lipids with giant impact on cell regulation. *Physiol Rev*. 2013; 93(3): 1019-137.
- Bazan NG. Synaptic signaling by lipids in the life and death of neurons. *Mol Neurobiol*. 2005; 31(1-3): 219-30.
- Bendelac A, Savage PB, Teyton L. The biology of NKT cells. *Annu Rev Immunol*. 2007; 25:297-336.
- Berg, JM, Tymoczko, J.L, Gatto Jr, GJ, Stryer, L. *Biochemistry*. 2015; 8th Edition, W.H. Freeman & Company, New York, NY.
- Bochkov VN, Oskolkova OV, Birukov KG, Levonen AL, Binder CJ, Stöckl J. Generation and biological activities of oxidized phospholipids. *Antioxid Redox Signal*. 2010; 12(8): 1009-59.
- Brites P, Waterham HR, Wanders RJ. Functions and biosynthesis of plasmalogens in health and disease. *Biochim Biophys Acta*. 2004; 1636(2-3): 219-31. doi: 10.1016/j.bbalip.2003.12.010.
- Brown DA, London E. Structure and function of sphingolipid – and cholesterol-rich membrane rafts. *J Biol Chem*. 2000; 275(23): 17221-4.
- Brown, P, Johnson, L, Davis, R. *Lipid Mediators and Their Roles in Inflammation*, Amsterdam: Elsevier; 2018.
- Chaurasia B, Summers SA. Ceramides in Metabolism: Key Lipotoxic Players. *Annu Rev Physiol*. 2021; 83:303-330. doi: 10.1146/annurev-physiol-031620-093815.

- Chicco AJ, Sparagna GC. Role of cardiolipin alterations in mitochondrial dysfunction and disease. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2007; 292(1): C33-44.
- Christie WW, Han X. *Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification, and Lipidomic Analysis*. 2010; 4th Edition. The Oily Press.
- Dendrou CA, Fugger L, Friese MA. Immunopathology of multiple sclerosis. *Nature Reviews Immunology*. 2015; 15(9): 545-58.
- Dennis EA, Norris PC. Eicosanoid storm in infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*. 2015; 15(8): 511-23.
- Devaux PF. Static and dynamic lipid asymmetry in cell membranes. *Biochemistry*. 1991; 30(5): 1163-73.
- Di Paolo G, De Camilli P. Phosphoinositides in cell regulation and membrane dynamics. *Nature*. 2006; 443(7112): 651-7.
- Fahy E, Subramaniam S, Murphy RC, Nishijima M, Raetz CR, Shimizu T, Spener F, van Meer G, Wakelam MJ, Dennis EA. Update of the LIPID MAPS comprehensive classification system for lipids. *J Lipid Res*. 2009; 50 Suppl(Suppl): S9-14. doi: 10.1194/jlr.R800095-JLR200.
- Farooqui AA, Horrocks LA. Plasmalogens: workhorse lipids of membranes in normal and injured neurons and glia. *Neuroscientist*. 2001; 7(3): 232-45.
- Favilla AB, Horning M, Costa DP. Advances in thermal physiology of diving marine mammals: The dual role of peripheral perfusion. *Temperature (Austin)*. 2021; 9(1): 46-66.
- Frayn KN. Adipose tissue as a buffer for daily lipid flux. *Diabetologia*. 2002; 45(9): 1201-10.
- Fruman DA, Chiu H, Hopkins BD, Bagrodia S, Cantley LC, Abraham RT. The PI3K Pathway in Human Disease. *Cell*. 2017; 170(4): 605-635. doi: 10.1016/j.cell.2017.07.029.
- Garrett, RH, Grisham, CM. *Biochemistry*, 7th edition. Boston, USA: Cengage Publishing; 2023.
- Ginsberg HN, Fisher EA. The ever-expanding role of degradation in the regulation of apolipoprotein B metabolism. *J Lipid Res*. 2009; 50 Suppl(Suppl): S162-6. doi: 10.1194/jlr.R800090-JLR200.
- Gurr MI, Harwood JL, Frayn KN. *Lipid Biochemistry: An Introduction* (6th ed.). Wiley-Blackwell, 2016.
- Hakomori S. Glycosphingolipids in cellular interaction, differentiation, and oncogenesis. *Annu Rev Biochem*. 1981; 50:733-64.
- Han X, Gross RW. The foundations and development of lipidomics. *Journal of Lipid Research*. 2022; 63(2): 100164. doi: 10.1016/j.jlr.2021.100164.
- Hannun YA, Obeid LM. Sphingolipids and their metabolism in physiology and disease. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2018; 19(3): 175-191.
- Harayama T, Riezman H. Understanding the diversity of membrane lipid composition. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2018; 19(5): 281-296.
- Harris, D, Williams, B, Lee, M. *Bioactive Terpenes in Natural Products Research*. Amsterdam: Elsevier; 2022.
- Houtkooper RH, Vaz FM. Cardiolipin, the heart of mitochondrial metabolism. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2008; 65(16): 2493-506.
- Ishii S, Shimizu T. Platelet-activating factor (PAF) receptor and genetically engineered PAF receptor mutant mice. *Prog Lipid Res*. 2000; 39(1): 41-82.
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) Guidelines
- Jones, T, & Green, S. *Eicosanoids and Their Biological Functions*, New York: Academic Press; 2019.
- Kathleen M. Botham, Peter A. Mayes. Chapter 21: Lipids of Physiologic Significance in: Kennelly PJ, Botham K.M, McGuinness O.P, Rodwell V.W, Weil P(Eds.), *Harper's Illustrated Biochemistry*, 32nd Edition. McGraw Hill Education.
- Kharkwal SS, Arora P, Porcelli SA. Glycolipid activators of invariant NKT cells as vaccine adjuvants. *Immunogenetics*. 2016; 68(8): 597-610.
- Kim HY, Huang BX, Spector AA. Phosphatidylserine in the brain: metabolism and function. *Progress in Lipid Research*. 2014; 56:1-18.

- Kobayashi K, Endo K, Wada H. Roles of Lipits in Photosynthesis. *Subcell Biochem.* 2016; 86:21-49.
- Koga Y, Morii H. Recent advances in structural research on ether lipits from archaea including comparative and physiological aspects. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2005; 69(11): 2019-34. doi: 10.1271/bbb.69.2019. PMID: 16306681.
- Köfeler HC, Ahrends R, Baker ES, Ekroos K, Han X, Hoffmann N, Holčapek M, Wenk MR, Liebis- ch G. Recommendations for good practice in MS-based lipitomics. *Journal of Lipit Research.* 2021; 62:100138.
- Kritchevsky D. Diet and atherosclerosis. *Am Heart J.* 1999; 138(5 Pt 2): S426-30.
- Li Z, Vance DE. (2008). Phosphatidylcholine and choline homeostasis. *J Lipit Res.* 2008; 49(6): 1187-94.
- Lingwood D, Simons K. Lipit rafts as a membrane-organizing principle. *Science.* 2010; 327(5961): 46-50.
- Lipitomics Standards Initiative Consortium. Lipitomics needs more standardization. *Nature Me- tabolism.* 2019; 1(8): 745-747.
- Liu P, Zhu W, Chen C, Yan B, Zhu L, Chen X, Peng C. The mechanisms of lysophosphatidylcholine in the development of diseases. *Life Sciences.* 2020; 247, 117443.
- Liwanag, H. E, Berta, A, Costa, D. P, Abney, M, & Williams, T. M. Morphological and thermal properties of mammalian insulation: the evolutionary transition to blubber in pinnipeds. *Bio- logical Journal of the Linnean Society.* 2012; 107:774-787.
- Mahley RW, Huang Y. Apolipoprotein e sets the stage: response to injury triggers neuropathology. *Neuron.* 2012; 76(5): 871-85.
- Merrill AH Jr. (2011). Sphingolipit and glycosphingolipit metabolic pathways in the era of sphin- golipitomics. *Chem Rev.* 2011; 111(10): 6387-422.
- Miller, J, Thompson, D, Carter, W. *Androgen and Estrogen Pathways in Human Physiology*, 2021; Berlin: Springer; 2021.
- Mitchell, H, Scott, P. *Steroids in Human Biology: Cholesterol and Beyond*, 2020; New York: Aca- demic Press; 2020.
- Montrucchio G, Alloatti G, Camussi G. Role of platelet-activating factor in cardiovascular pathop- hysiology. *Physiological Reviews.* 2000; 80(4): 1669-99.
- Nagan N, Zoeller RA. Plasmalogens: biosynthesis and functions. *Progress in Lipit Research*, 2001; 40(3): 199-229. doi: 10.1016/s0163-7827(01)00003-0. PMID: 11275267.
- Nave KA, Werner HB. Myelination of the nervous system: mechanisms and functions. *The Annual Review of Cell and Developmental Biology.* 2014; 30:503-33.
- Nelson, D. L, Cox, M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman and Com- pany. 2021.
- Newton, A. C. Protein kinase C: perfectly balanced. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecu- lar Biology.* 2020; 55(3), 208-230.
- Parra E, Pérez-Gil J. Composition, structure and mechanical properties define performance of pulmonary surfactant membranes and films. *Chem Phys Lipits.* 2015; 185:153-75.
- Pfeiffer SE, Warrington AE, Bansal R. The oligodendrocyte and its many cellular processes. *Trends in Cell Biology*, 1993; 3(6): 191-7. D
- Prescott SM, Zimmerman GA, McIntyre TM. Platelet-activating factor. *J Biol Chem.* 1990; 265(29): 17381-4.
- Rader DJ, Hovingh GK. HDL and cardiovascular disease. *Lancet.* 2014; 384(9943): 618-625.
- Resh MD. Fatty acylation of proteins: The long and the short of it. *Progress in Lipit Research.* 2016; 63:120-31.
- Rodriguez, C, Patel, S. *Terpenes: Structure, Function, and Applications*, Berlin: Springer; 2018.
- Saher G, Simons M. Cholesterol and myelin biogenesis. *Subcellular Biochemistry.* 2010; 51:489- 508. doi: 10.1007/978-90-481-8622-8_18. PMID: 20213556.
- Sandhoff R, Sandhoff K. Emerging concepts of ganglioside metabolism. *FEBS Lett.* 2018; 592(23):

- 3835-3864. doi: 10.1002/1873-3468.13114. Epub 2018 Jun 16. PMID: 29802621.
- Schnaar RL. Glycosphingolipids in cell surface recognition. *Glycobiology*. 1991; 1(5): 477-85. doi: 10.1093/glycob/1.5.477. PMID: 1822229.
- Schouten, S, Hopmans, E. C, Damsté, J. S. S. The organic geochemistry of glycerol dialkyl glycerol tetraether lipids: A review. *Organic Geochemistry*. 2013; 54, 19-61.
- Sezgin E, Levental I, Mayor S, Eggeling C. The mystery of membrane organization: composition, regulation and roles of lipid rafts. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2017; 18(6): 361-374.
- Simons K, Ikonen E. Functional rafts in cell membranes. *Nature*. 1997; 387(6633): 569-72.
- Simons K, Ikonen E. How cells handle cholesterol. *Science*. 2000; 290(5497): 1721-6.
- Smith, J, & Murphy, K. *Arachidonic Acid Metabolism in Cellular Signaling*, Berlin: Springer; 2017.
- Sniderman AD, Thanassoulis G, Glavinovic T, Navar AM, Pencina M, Catapano A, Ference BA. Apolipoprotein B Particles and Cardiovascular Disease: A Narrative Review. *JAMA Cardiology*, 2019; 4(12): 1287-1295. doi: 10.1001/jamacardio.2019.3780.
- Taylor, K, Morgan, S, Adams, R. *Cholesterol: The Essential Molecule*, Hoboken: Wiley; 2016.
- van Meer G, Voelker DR, Feigenson GW. Membrane lipids: where they are and how they behave. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2008; 9(2): 112-24. doi: 10.1038/nrm2330.
- Vance JE, Steenbergen R. Metabolism and functions of phosphatidylserine. *Progress in Lipid Research*. 2005; 44(4): 207-34. doi: 10.1016/j.plipres.2005.05.001. PMID: 15979148.
- Vance JE, Tasseva G. Formation and function of phosphatidylserine and phosphatidylethanolamine in mammalian cells. *Biochim Biophys Acta*. 2013; 1831(3): 543-54.
- Vance, D. E, Vance, J. E. *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins, and Membranes* (5th ed.). Elsevier. 2008
- Wallner S, Schmitz G. Plasmalogens the neglected regulatory and scavenging lipid species. *Chem Phys Lipids*. 2011; 164(6): 573-89.
- White, N, Thompson, L. *Cyclooxygenase Pathways in Health and Disease*, Berlin: Springer; .
- Williams, R, Clark, M. *Endocrine Regulation of Steroid Hormones*. Oxford, Oxford University Press; 2019.
- Wilson, M, Carter, D. *Local Hormones: Mechanisms and Functions*, Oxford: Oxford University Press; 2020.
- Yeats TH, Rose JK. The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiol*. 2013; 163(1): 5-20.
- Zhang T, de Waard AA, Wuhrer M, Spaapen RM. The Role of Glycosphingolipids in Immune Cell Functions. *Front Immunol*. 2019; 10:90.



BÖLÜM 3

LİPİTLER

*Burcu Menekşe BALKAN¹
Mustafa İLERİTÜRK²*

GİRİŞ

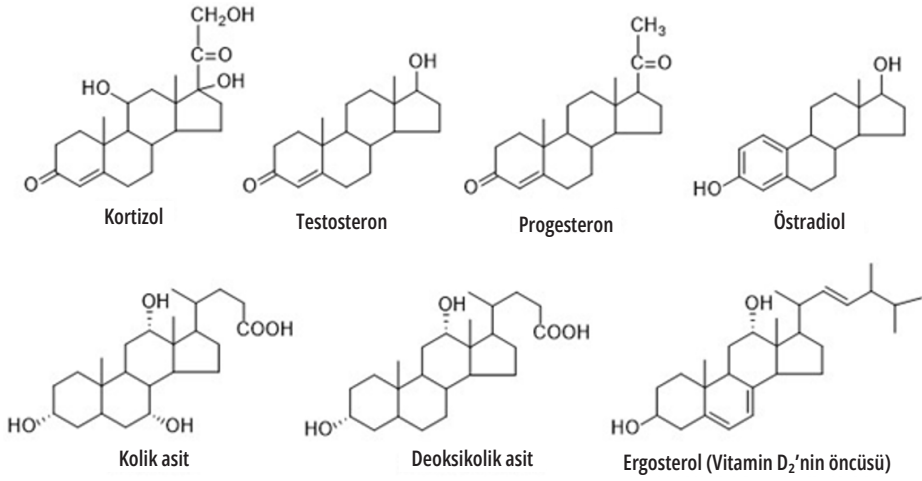
Lipitler, polar olmayan çözücülerde çözünebilen heterojen organik bileşikler grubudur. Lipitler, katı yağlar, sıvı yağlar, mumlar, steroidler, yağda çözünen vitaminler, prostaglandinler, gliserofosfolipitler, sfingolipitler ve terpenler gibi bileşikler içeren geniş bir molekül grubudur. Organik moleküller olan lipitlerin yapılarında başlıca karbon, hidrojen ve oksijen atomları bulunur. Yapısal olarak yağ asitlerinin esterleri veya amitleridir. Lipitler doğal olarak çoğu bitkide, hayvanda ve mikroorganizmada bulunur.

Lipitler genel olarak kimyasal özelliklerine göre tanımlanır:

Çözünürlük: Lipitler, polar olmayan (diğer bir deyişle hidrofobik yani suyu sevmeyen) yapıları nedeniyle suda çözünmeyen ancak kloroform, eter ve benzen gibi polar olmayan organik çözücülerde çözünen bileşiklerdir. Bu hidrofobik-

¹ Doç. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veterinerlik Biyokimyası AD., bmabalkan@mehmetakif.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0206-6455

² Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Horasan Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, m.ileritirk@atauni.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-4581-4492



Şekil 3.22 Kolesterolde türetilen birkaç önemli sterolün yapısı

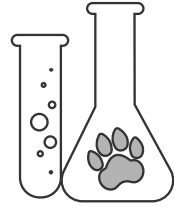
KAYNAKLAR

- Adams, R, Reed, B. Steroid Metabolism and Hormonal Regulation, London: Cambridge University Press; 2021.
- Albers SV, Meyer B H. The archaeal cell envelope. *Nature Reviews Microbiology*. 2011; 9(6): 414-426.
- Alberts, B, Johnson, A, Lewis, J, Morgan, D, Raff, M, Roberts, K, Walter, P. *Molecular Biology of the Cell*. 2015; 6th edition. Garland Science.
- Allen TM, Cullis PR. Liposomal drug delivery systems: from concept to clinical applications. *Adv Drug Deliv Rev*. 2013; 65(1): 36-48.
- Anderson, R, Miller, G, Roberts, H. *Prostaglandins and Their Clinical Applications*, Hoboken: Wiley; 2021.
- Balla T. Phosphoinositides: tiny lipids with giant impact on cell regulation. *Physiol Rev*. 2013; 93(3): 1019-137.
- Bazan NG. Synaptic signaling by lipids in the life and death of neurons. *Mol Neurobiol*. 2005; 31(1-3): 219-30.
- Bendelac A, Savage PB, Teyton L. The biology of NKT cells. *Annu Rev Immunol*. 2007; 25:297-336.
- Berg, JM, Tymoczko, J.L, Gatto Jr, GJ, Stryer, L. *Biochemistry*. 2015; 8th Edition, W.H. Freeman & Company, New York, NY.
- Bochkov VN, Oskolkova OV, Birukov KG, Levonen AL, Binder CJ, Stöckl J. Generation and biological activities of oxidized phospholipids. *Antioxid Redox Signal*. 2010; 12(8): 1009-59.
- Brites P, Waterham HR, Wanders RJ. Functions and biosynthesis of plasmalogens in health and disease. *Biochim Biophys Acta*. 2004; 1636(2-3): 219-31. doi: 10.1016/j.bbalip.2003.12.010.
- Brown DA, London E. Structure and function of sphingolipid – and cholesterol-rich membrane rafts. *J Biol Chem*. 2000; 275(23): 17221-4.
- Brown, P, Johnson, L, Davis, R. *Lipid Mediators and Their Roles in Inflammation*, Amsterdam: Elsevier; 2018.
- Chaurasia B, Summers SA. Ceramides in Metabolism: Key Lipotoxic Players. *Annu Rev Physiol*. 2021; 83:303-330. doi: 10.1146/annurev-physiol-031620-093815.

- Chicco AJ, Sparagna GC. Role of cardiolipin alterations in mitochondrial dysfunction and disease. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2007; 292(1): C33-44.
- Christie WW, Han X. *Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification, and Lipidomic Analysis*. 2010; 4th Edition. The Oily Press.
- Dendrou CA, Fugger L, Friese MA. Immunopathology of multiple sclerosis. *Nature Reviews Immunology*. 2015; 15(9): 545-58.
- Dennis EA, Norris PC. Eicosanoid storm in infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*. 2015; 15(8): 511-23.
- Devaux PF. Static and dynamic lipid asymmetry in cell membranes. *Biochemistry*. 1991; 30(5): 1163-73.
- Di Paolo G, De Camilli P. Phosphoinositides in cell regulation and membrane dynamics. *Nature*. 2006; 443(7112): 651-7.
- Fahy E, Subramaniam S, Murphy RC, Nishijima M, Raetz CR, Shimizu T, Spener F, van Meer G, Wakelam MJ, Dennis EA. Update of the LIPID MAPS comprehensive classification system for lipids. *J Lipid Res*. 2009; 50 Suppl(Suppl): S9-14. doi: 10.1194/jlr.R800095-JLR200.
- Farooqui AA, Horrocks LA. Plasmalogens: workhorse lipids of membranes in normal and injured neurons and glia. *Neuroscientist*. 2001; 7(3): 232-45.
- Favilla AB, Horning M, Costa DP. Advances in thermal physiology of diving marine mammals: The dual role of peripheral perfusion. *Temperature (Austin)*. 2021; 9(1): 46-66.
- Frayn KN. Adipose tissue as a buffer for daily lipid flux. *Diabetologia*. 2002; 45(9): 1201-10.
- Fruman DA, Chiu H, Hopkins BD, Bagrodia S, Cantley LC, Abraham RT. The PI3K Pathway in Human Disease. *Cell*. 2017; 170(4): 605-635. doi: 10.1016/j.cell.2017.07.029.
- Garrett, RH, Grisham, CM. *Biochemistry*, 7th edition. Boston, USA: Cengage Publishing; 2023.
- Ginsberg HN, Fisher EA. The ever-expanding role of degradation in the regulation of apolipoprotein B metabolism. *J Lipid Res*. 2009; 50 Suppl(Suppl): S162-6. doi: 10.1194/jlr.R800090-JLR200.
- Gurr MI, Harwood JL, Frayn KN. *Lipid Biochemistry: An Introduction* (6th ed.). Wiley-Blackwell, 2016.
- Hakomori S. Glycosphingolipids in cellular interaction, differentiation, and oncogenesis. *Annu Rev Biochem*. 1981; 50:733-64.
- Han X, Gross RW. The foundations and development of lipidomics. *Journal of Lipid Research*. 2022; 63(2): 100164. doi: 10.1016/j.jlr.2021.100164.
- Hannun YA, Obeid LM. Sphingolipids and their metabolism in physiology and disease. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2018; 19(3): 175-191.
- Harayama T, Riezman H. Understanding the diversity of membrane lipid composition. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2018; 19(5): 281-296.
- Harris, D, Williams, B, Lee, M. *Bioactive Terpenes in Natural Products Research*. Amsterdam: Elsevier; 2022.
- Houtkooper RH, Vaz FM. Cardiolipin, the heart of mitochondrial metabolism. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2008; 65(16): 2493-506.
- Ishii S, Shimizu T. Platelet-activating factor (PAF) receptor and genetically engineered PAF receptor mutant mice. *Prog Lipid Res*. 2000; 39(1): 41-82.
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) Guidelines
- Jones, T, & Green, S. *Eicosanoids and Their Biological Functions*, New York: Academic Press; 2019.
- Kathleen M. Botham, Peter A. Mayes. Chapter 21: Lipids of Physiologic Significance in: Kennelly PJ, Botham K.M, McGuinness O.P, Rodwell V.W, Weil P(Eds.), *Harper's Illustrated Biochemistry*, 32nd Edition. McGraw Hill Education.
- Kharkwal SS, Arora P, Porcelli SA. Glycolipid activators of invariant NKT cells as vaccine adjuvants. *Immunogenetics*. 2016; 68(8): 597-610.
- Kim HY, Huang BX, Spector AA. Phosphatidylserine in the brain: metabolism and function. *Progress in Lipid Research*. 2014; 56:1-18.

- Kobayashi K, Endo K, Wada H. Roles of Lipids in Photosynthesis. *Subcell Biochem.* 2016; 86:21-49.
- Koga Y, Morii H. Recent advances in structural research on ether lipids from archaea including comparative and physiological aspects. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2005; 69(11): 2019-34. doi: 10.1271/bbb.69.2019. PMID: 16306681.
- Köfeler HC, Ahrends R, Baker ES, Ekroos K, Han X, Hoffmann N, Holčápek M, Wenk MR, Liebisch G. Recommendations for good practice in MS-based lipidomics. *Journal of Lipid Research.* 2021; 62:100138.
- Kritchevsky D. Diet and atherosclerosis. *Am Heart J.* 1999; 138(5 Pt 2): S426-30.
- Li Z, Vance DE. (2008). Phosphatidylcholine and choline homeostasis. *J Lipid Res.* 2008; 49(6): 1187-94.
- Lingwood D, Simons K. Lipid rafts as a membrane-organizing principle. *Science.* 2010; 327(5961): 46-50.
- Lipidomics Standards Initiative Consortium. Lipidomics needs more standardization. *Nature Metabolism.* 2019; 1(8): 745-747.
- Liu P, Zhu W, Chen C, Yan B, Zhu L, Chen X, Peng C. The mechanisms of lysophosphatidylcholine in the development of diseases. *Life Sciences.* 2020; 247, 117443.
- Liwanag, H. E, Berta, A, Costa, D. P, Abney, M, & Williams, T. M. Morphological and thermal properties of mammalian insulation: the evolutionary transition to blubber in pinnipeds. *Biological Journal of the Linnean Society.* 2012; 107:774-787.
- Mahley RW, Huang Y. Apolipoprotein E sets the stage: response to injury triggers neuropathology. *Neuron.* 2012; 76(5): 871-85.
- Merrill AH Jr. (2011). Sphingolipid and glycosphingolipid metabolic pathways in the era of sphingolipidomics. *Chem Rev.* 2011; 111(10): 6387-422.
- Miller, J, Thompson, D, Carter, W. *Androgen and Estrogen Pathways in Human Physiology*, 2021; Berlin: Springer; 2021.
- Mitchell, H, Scott, P. *Steroids in Human Biology: Cholesterol and Beyond*, 2020; New York: Academic Press; 2020.
- Montrucchio G, Alloatt G, Camussi G. Role of platelet-activating factor in cardiovascular pathophysiology. *Physiological Reviews.* 2000; 80(4): 1669-99.
- Nagan N, Zoeller RA. Plasmalogens: biosynthesis and functions. *Progress in Lipid Research*, 2001; 40(3): 199-229. doi: 10.1016/s0163-7827(01)00003-0. PMID: 11275267.
- Nave KA, Werner HB. Myelination of the nervous system: mechanisms and functions. *The Annual Review of Cell and Developmental Biology.* 2014; 30:503-33.
- Nelson, D. L, Cox, M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman and Company. 2021.
- Newton, A. C. Protein kinase C: perfectly balanced. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 2020; 55(3), 208-230.
- Parra E, Pérez-Gil J. Composition, structure and mechanical properties define performance of pulmonary surfactant membranes and films. *Chem Phys Lipids.* 2015; 185:153-75.
- Pfeiffer SE, Warrington AE, Bansal R. The oligodendrocyte and its many cellular processes. *Trends in Cell Biology*, 1993; 3(6): 191-7. D
- Prescott SM, Zimmerman GA, McIntyre TM. Platelet-activating factor. *J Biol Chem.* 1990; 265(29): 17381-4.
- Rader DJ, Hovingh GK. HDL and cardiovascular disease. *Lancet.* 2014; 384(9943): 618-625.
- Resh MD. Fatty acylation of proteins: The long and the short of it. *Progress in Lipid Research.* 2016; 63:120-31.
- Rodriguez, C, Patel, S. *Terpenes: Structure, Function, and Applications*, Berlin: Springer; 2018.
- Saher G, Simons M. Cholesterol and myelin biogenesis. *Subcellular Biochemistry.* 2010; 51:489-508. doi: 10.1007/978-90-481-8622-8_18. PMID: 20213556.
- Sandhoff R, Sandhoff K. Emerging concepts of ganglioside metabolism. *FEBS Lett.* 2018; 592(23):

- 3835-3864. doi: 10.1002/1873-3468.13114. Epub 2018 Jun 16. PMID: 29802621.
- Schnaar RL. Glycosphingolipids in cell surface recognition. *Glycobiology*. 1991; 1(5): 477-85. doi: 10.1093/glycob/1.5.477. PMID: 1822229.
- Schouten, S, Hopmans, E. C, Damsté, J. S. S. The organic geochemistry of glycerol dialkyl glycerol tetraether lipids: A review. *Organic Geochemistry*. 2013; 54, 19-61.
- Sezgin E, Levental I, Mayor S, Eggeling C. The mystery of membrane organization: composition, regulation and roles of lipid rafts. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2017; 18(6): 361-374.
- Simons K, Ikonen E. Functional rafts in cell membranes. *Nature*. 1997; 387(6633): 569-72.
- Simons K, Ikonen E. How cells handle cholesterol. *Science*. 2000; 290(5497): 1721-6.
- Smith, J, & Murphy, K. *Arachidonic Acid Metabolism in Cellular Signaling*, Berlin: Springer; 2017.
- Sniderman AD, Thanassoulis G, Glavinovic T, Navar AM, Pencina M, Catapano A, Ference BA. Apolipoprotein B Particles and Cardiovascular Disease: A Narrative Review. *JAMA Cardiology*. 2019; 4(12): 1287-1295. doi: 10.1001/jamacardio.2019.3780.
- Taylor, K, Morgan, S, Adams, R. *Cholesterol: The Essential Molecule*, Hoboken: Wiley; 2016.
- van Meer G, Voelker DR, Feigenson GW. Membrane lipids: where they are and how they behave. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2008; 9(2): 112-24. doi: 10.1038/nrm2330.
- Vance JE, Steenbergen R. Metabolism and functions of phosphatidylserine. *Progress in Lipid Research*. 2005; 44(4): 207-34. doi: 10.1016/j.plipres.2005.05.001. PMID: 15979148.
- Vance JE, Tasseva G. Formation and function of phosphatidylserine and phosphatidylethanolamine in mammalian cells. *Biochim Biophys Acta*. 2013; 1831(3): 543-54.
- Vance, D. E, Vance, J. E. *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins, and Membranes* (5th ed.). Elsevier. 2008
- Wallner S, Schmitz G. Plasmalogens the neglected regulatory and scavenging lipid species. *Chem Phys Lipids*. 2011; 164(6): 573-89.
- White, N, Thompson, L. *Cyclooxygenase Pathways in Health and Disease*, Berlin: Springer; .
- Williams, R, Clark, M. *Endocrine Regulation of Steroid Hormones*. Oxford, Oxford University Press; 2019.
- Wilson, M, Carter, D. *Local Hormones: Mechanisms and Functions*, Oxford: Oxford University Press; 2020.
- Yeats TH, Rose JK. The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiol*. 2013; 163(1): 5-20.
- Zhang T, de Waard AA, Wuhrer M, Spaapen RM. The Role of Glycosphingolipids in Immune Cell Functions. *Front Immunol*. 2019; 10:90.



BÖLÜM 4

AMİNO ASİT VE PROTEİNLER

Özkan DURU¹

GİRİŞ

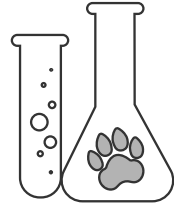
Amino asitler ve proteinler, canlılarda en fazla miktarda ve en fazla fonksiyona sahip, yaşamın biyokimyasal temellerini oluşturan biyomoleküllerdir. Vücudun kuru ağırlığının yaklaşık % 50'sini oluştururlar. Karbonhidrat ve yağlardan farklı olarak yapılarında azot (N) atomu bulunur. Bu azot atmosferden azot bağlayan bakteriler tarafından tutularak amonyağa çevrilir ve devamında nitrifikasyon sonucu nitrit ve nitratlara dönüşür. Bu nitrit ve nitratlar amino asitleri oluşturarak canlı yapısına katılırlar. Amino asit ve proteinler, hücresel ve dokusal yapılar, biyokimyasal metabolik süreçler ve biyolojik iletişim gibi tüm biyolojik fonksiyonların gerçekleşmesinde kritik roller oynar. Amino asitler, proteinlerin yapı taşları olarak organizmada yapı, işlev ve genetik bilgi aktarımı arasında köprü oluştururlar. Proteinler ise genetik bilgi ile sentezlenen ürünleridir ve bu yönü ile canlıların yapısal ve işlevsel çeşitliliğini sağlarlar.

¹ Doç.Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., ozkanduru@kku.edu.tr, ORCID iD : 0000-0002-8792-442X

rin yanlış katlanmasını veya agregasyon (birikme) oluşturmalarını önlerler. Enerji (ATP) kullanarak doğru katlanma yollarını desteklerler.

KAYNAKLAR

- Adam B, Yiğitoğlu R. Biyokimya ve Klinik Biyokimya (3. Baskı): Atlas Kitapçılık; 2003.
- Aksoy M. Beslenme Biyokimyası (7. Baskı) Ankara Nobel Tıp Kitapevleri; 2021
- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Molecular Biology of the Cell (6th ed.). Garland Science. 2014.
- Sakami W, Harrington H. Amino acid metabolism. Annual Review of Biochemistry. 1963; 32: 355-399. . <https://doi.org/10.1146/annurev.bi.32.070163.002035>
- Aktümsek A, Güler GÖ, Çakmak YS, Zengin G. Temel Biyokimya (1. Baskı). Nobel Akademik yayıncılık, 2022.
- Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. Biochemistry (9th ed.). W. H. Freeman. 2022.
- Henry J, Pownall, John B, Massey, James T, Sparrow Antonio M, Gotto JR. Chapter 3 Lipid-protein interactions and lipoprotein reassembly. New Comprehensive Biochemistry. 1987; 14:95-127.
- Can M, Güven B, Demirtaş S. Tıbbi Biyokimya ve Laboratuvar. Nobel Tıp Kitapevleri; 2018
- Devlin TM. Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations (7th ed.). Wiley. 2011.
- Elgün Ülkar S. Tıbbi Biyokimya, (1. Baskı) Hipokrat Kitapevi, 2017
- Canfield CA, Bradshaw PC. Amino acids in the regulation of aging and aging-related diseases. Translational Medicine of Aging. 2019; 3: 70-89.
- Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss M L. Clinical Biochemistry of Domestic Animals (6th ed.). Academic Press. 2008
- Nelson DL, Cox MM. Lehninger Principles of Biochemistry (8th ed.). W. H. Freeman. 2021
- Paşaoğlu H. Temel/Klinik Tıbbi Laboratuvar,(1.Baskı), Pelikan Yayınevi, 2018
- Radostits OM, Gay CC, Hinchcliff KW, Constable PD. Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs, and Goats (10th ed.). Saunders Ltd. 2006
- Reeds PJ, Garlick PJ. Protein and amino acid requirements and the composition of complementary foods. The Journal of Nutrition. 2001; 133(9):2953-2961.
- Sunguroğlu K. Biyokimya,(1. Baskı), Akademisyen Tıp Kitapevi, 2014.
- Üstdal M, Donma O, Kuş S, Çimen B. Genel ve Klinik Biyokimya.(1. Baskı), İstanbul Tıp Kitapevi, 2011
- Voet D, Voet JG, Pratt C W. Fundamentals of Biochemistry: Life at the Molecular Level (5th ed.). Wiley, 2016
- Wu G. Functional amino acids in nutrition and health. Amino Acids. 2013; 45 (3): 407-411.
- Yarat A, Akbay TT, Alturfan EI. Biyokimyada Temel ve Özel Konular (1. baskı), Akdemisyen Kitapevi, 2019
- Guoyao W, Bazer FW, Dai Z, Li D, Wang J, Zhenlong W. Amino Acid Nutrition in Animals: Protein Synthesis and Beyond. Annual Review of Animal Biosciences. 2014; 2: 387-417.
- Bequette BJ. Amino acid metabolism in animals: an overview In: JPE D'Mello, editor. Amino acids in animal nutrition. 2nd ed. United States: CABI Publishing, 2003: 87-101.



BÖLÜM 5

ENZİMLER VE ENZİM KİNETİĞİ

Kıvanç İRAK¹
Emre KAYA²

GİRİŞ

Enzimler, besin maddelerinin parçalanarak enerji ve biyomoleküler yapı taşlarına dönüştürülmesi; bu yapı taşlarının proteinler, DNA, zarlar, hücreler ve dokular halinde bir araya getirilmesi; hücre hareketliliği, sinirsel işlev ve kas kasılmasına güç sağlamak için enerjinin kullanılması gibi yeryüzünde yaşamı mümkün kılan kimyasal reaksiyonları katalize eden biyolojik moleküllerdir. Katalizörler olarak, reaksiyonda kendileri tüketilmeden kimyasal reaksiyonun hızını artırır. Enzimler her ne kadar katalizör olsalar da bazı özellikler bakımından anorganik katalizörlerden farklılık gösterir. Enzimler kendileri için özel olan belirli maddeler üzerine etki gösterirler ve aktiviteleri sırasında az çok tahrip olduklarından vücutta devamlı sentezlenmeleri gerekir. Anorganik katalizörler ise çok çeşitli reaksiyonları katalize ederler, reaksiyon tarafından değiştirilmezler ve reaksiyon sonunda kantitatif olarak yeniden elde edilebilirler.

¹ Prof. Dr., Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., kivancirak@siirt.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-9765-0330

² Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., emrekaya@firat.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7445-3091

KAYNAKLAR

- Abali EE, Cline SD, Franklin DS, Viselli SM. Lippincott® Illustrated Reviews: Biochemistry. 8th ed. NY: Wolters Kluwer; 2022.
- Devlin TM. Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations. NY: John Wiley & Sons; 2011.
- Gözükara EM. Biyokimya. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti; 2011.
- Güneş N, Tanrıverdi M, Polat Ü. Temel Veteriner Biyokimya. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Web-Ofset; 2011.
- Gürdöl F, Ademoğlu E. Biyokimya. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti; 2010.
- Kalaycıoğlu L, Serpek B, Nizamlioğlu M, Başpınar N, Tiftik AM. Biyokimya. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti; 2013.
- Karagül H, Altıntaş A, Fidancı UR, Sel T. Klinik Biyokimya. Ankara: Medisan; 2000.
- Kennely PJ, Botham KM, McGuinness OP, Rodwell VW, Weil PA. Harper's Illustrated Biochemistry. 32nd Ed. McGraw Hill, LLC.; 2023.
- Lieberman M, Peet A. Marks' Basic Medical Biochemistry, A Clinic Approach. 5th ed. NY:Wolters Kluwer; 2018.
- Mert H, Mert N. Veteriner Klinik Biyokimya. İstanbul: Marmara Nobel Tıp Kitabevleri San. ve Tic. Ltd. Şti; 2023.
- Moore JT, Langley RH. Biochemistry for Dummies. 2nd ed. USA: Wiley Publishing; 2011.
- Patadiya N, Panchal N, Vaghela V. A review on enzyme inhibitors. The International Research Journal of Pharmacy, 2021;12(6): 60-66. doi: 10.7897/2230-8407.1206145
- Sözbilir Bayşu N, Bayşu N. Biyokimya. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti; 2008.
- <https://images.app.goo.gl/KVZ4sHJL3x7GocyN7> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 10.11.2024
- <https://images.app.goo.gl/9CFcuCZNzDFvBqjh8> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 10.11.2024
- <https://images.app.goo.gl/F8JZXnBp56rE971r8> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 11.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/CZVXFu3RW8Zqu39dA> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 15.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/aSVMkmoLE9L7Gk7TA> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 15.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/mr2aX7pydpCfrMBdA> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 15.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/qGWykVZm3oa7y6UA9> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 15.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/3t1yxZroJHywU1kn9> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 18.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/QMYgEfj5W6UshRsCA> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 18.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/wGVUsJrvva1ftNU18> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 19.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/dBsczGg8nGfPaQEC7> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 19.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/C4UxRJWifRVomW4Z8> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 20.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/Gs1kGfwuraC3budHA> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 22.12.2024
- <https://images.app.goo.gl/oJAXNHT8wqREE8vh6> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 23.12.2024

<https://images.app.goo.gl/C4UxRJWifRVomW4Z8> adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 23.12.2024

(<https://images.app.goo.gl/eg88ibWeLmdGo4uw8>) adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 23.12.2024

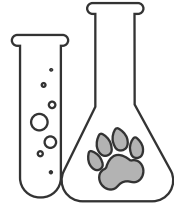
(<https://images.app.goo.gl/ccPMkDifyoZKRxCr8>) adresinden alınarak modifiye edilmiştir. Erişim Tarihi: 23.12.2024

<https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/biological-diagram-show-mechanism-enzyme-substrate-2099621680>, Erişim Tarihi: 05.12.2024

<https://www.shutterstock.com/image-vector/diagram-showing-catalytic-reaction-energy-level-2405956145>, Erişim Tarihi: 05.12.2024

<https://www.passeidireto.com/arquivo/25019614/enzimas>, Erişim Tarihi: 07.12.2024

<https://www.shutterstock.com/image-vector/scientific-poster-show-biochemistry-explain-about-1713857293>, Erişim Tarihi: 12.12.2024



BÖLÜM 6

NÜKLEİK ASİTLERİN YAPI VE FONKSİYONLARI

Filiz KAZAK AKÇAKAVAK¹

GİRİŞ

Nükleik asitler, ilk olarak nükleustan izole edildiğinden nükleik asitlere nüklein adı verilmiştir. Nükleik asitler genetik bilgiyi taşıyan biyopolimerlerdir. Nükleik asitler, genlerin taşıyıcısı ve protein biyosentezinin anahtar maddeleridir. Yani, nükleik asitler, kalıtsal bilgiyi taşıyan ve bu bilgiyi protein sentezine aktarmaktan sorumlu makro moleküllerdir. Ayrıca nükleik asitler hücre sinyalizasyonu, doğru amino asidi ileten transfer ribonükleik asitleri tarafından protein trans-lasyonu veya bileşen yapı taşlarını kullanarak çoğaltma süreçleri gibi çok sayıda hücrel süreçte de rol oynarlar.

Nükleik asitler, nükleus, ribozom, sitoplazma ve mitokondrilerde bulunurlar. DNA'nın bakteri hücresine veya ökaryotik çekirdeğe sığması için oldukça yoğun olması gerekir. Ökaryotlarda, histon proteinleri DNA'yı kromatine yoğunlaştırmak için kullanılır. Kromatinin temel yapısı nükleozomdur. Bir nükleozom, histon oktamersinin etrafına neredeyse iki kez sarılmış DNA içerir. Yaklaşık 147 bp

¹ Doç. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., drfilizkazak@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-9065-394X

çekirdek promotörde bir araya getirecek ve transkripsiyonun başlatılmasını yönlendirecektir. Transkripsiyon faktörleri aynı zamanda genin tamamındaki kromatin yapısının transkripsiyon için uygun bir konformasyonda olmasını da sağlayacaktır. Baskılayıcıların normalde transkripsiyon kompleksinin çekirdek promoterde toplanmasını bloke etmesi gerekmez, ancak karmaşık çok hücreli organizmalarda ihtiyaç duyulan düzenleyici modellerde önemlidirler. Ökaryotlar, belirli bir aktivatörün etkisini bloke edebilen ve aktivatörün yalnızca gerektiğinde aktif olmasını sağlayabilen baskılayıcı proteinlere sahiptir. Baskılayıcılar, DNA'ya bağlanma ve aktivatörün DNA'ya bağlanmasını bloke etme, aktivatörün transkripsiyon için gerekli diğer proteinlerle etkileşimini durdurma veya aktivatöre bağlanarak aktivatörü sitoplazmada tutma gibi çeşitli şekillerde çalışabilir.

TRANSLASYON

Translasyon, RNA'nın proteinlere çevirisidir. Protein sentezindeki anahtar oyuncu, RNA ve proteinlerden oluşan karmaşık bir yapı olan ribozomdur. Ribozom, mRNA ve tRNA'nın doğru konumlandırılmasını ve genetik kodun çözülmesini sağlayan bir çerçeve sağlar. Küçük alt birim rRNA bir ribozimdir, enzimlerinkine benzer katalitik özelliklere sahip bir RNA molekülüdür. rRNA, iki amino asit arasında bir peptit bağı oluşturabilir. Protein sentezi sırasında ribozom, amino asit yüklü tRNA ile mRNA'yı bir araya getirir, kodon ve antikodon eşleştirilir ve amino asitler doğru sırayla birleştirilir. Bu sürecin üç aşaması vardır: Ribozomun mRNA üzerinde toplandığı başlangıç, üçlü kodun okunduğu ve büyüyen peptid zincirine amino asitlerin eklendiği uzama ve protein sentezinin durduğu sonlandırma.

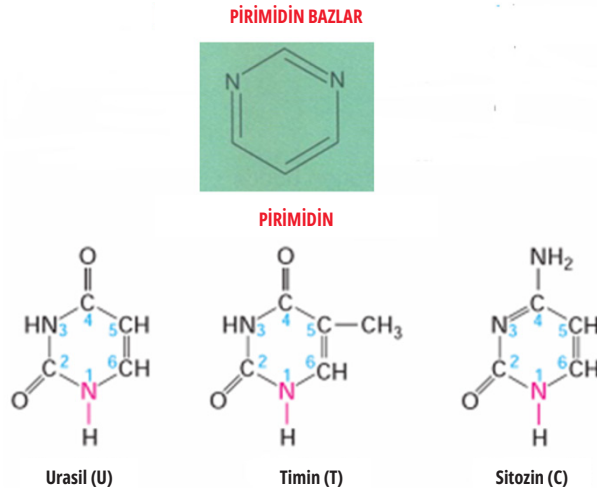
KAYNAKLAR

- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Molecular Biology of the Cell. 4th edition. New York: Garland Science; 2002. The Structure and Function of DNA. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26821/>
- Arimbasseri AG, Rijal K, Maraia RJ. Transcription termination by the eukaryotic RNA polymerase III. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2013;1829(3-4): 318–330. doi: 10.1016/j.bbagr.2012.10.006
- Austin WR, Armijo AL, Campbell DO, Singh AS, Hsieh T, Nathanson D, Herschman HR, Phelps ME, Witte ON, Czernin J, Radu CG. Nucleoside salvage pathway kinases regulate hematopoiesis by linking nucleotide metabolism with replication stress. *Journal of Experimental Medicine*. 2012;209(12): 2215–2228. doi: 10.1084/jem.20121061
- Bacolla A, Cooper DN, Vasquez KM. DNA structure matters. *Genome Medicine*. 2013;5(6): 51. doi: 10.1186/gm455
- Balzarini J, Gago F, Kulik W, van Kuilenburg AB, Karlsson A, Peterson MA, Robins MJ. Introduction of a fluorine atom at C3 of 3-deazauridine shifts its antimetabolic activity from inhibition

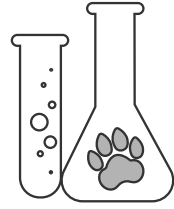
- of CTP synthetase to inhibition of orotidylate decarboxylase, an early event in the de novo pyrimidine nucleotide biosynthesis pathway. *Journal of Biological Chemistry*. 2012;287(36): 30444–30454.
- Boison D, Yegutkin GG. Adenosine Metabolism: Emerging Concepts for Cancer Therapy. *Cancer Cell*. 2019;36(6): 582–596. doi: 10.1016/j.ccell.2019.10.007
- Bzowska A, Kulikowska E, Shugar D. Purine nucleoside phosphorylases: properties, functions, and clinical aspects. *Pharmacology & Therapeutics*. 2000;88(3): 349–425. doi: 10.1016/s0163-7258(00)00097-8
- Condrat CE, Thompson DC, Barbu MG, Bugnar OL, Boboc A, Cretoiu D, Suciu N, Cretoiu SM, Voinea SC. miRNAs as biomarkers in disease: Latest findings regarding their role in diagnosis and prognosis. *Cells*. 2020;9(2): 276. doi: 10.3390/cells9020276
- Cooper TA, Wan L, Dreyfuss G. RNA and disease. *Cell*. 2009;136(4): 777–793. doi: 10.1016/j.cell.2009.02.011
- Dahm R. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. *Human Genetics*. 2008;122(6): 565–581. doi: 10.1007/s00439-007-0433-0
- Dana H, Chalbatani GM, Mahmoodzadeh H, Karimloo R, Rezaiean O, Moradzadeh A, Mehdandoost N, Moazzen F, Mazraeh A, Marmari V, Ebrahimi M, Rashno MM, Abadi SJ, Ghara-gouzlo E. Molecular Mechanisms and Biological Functions of siRNA. *International Journal of Biomedical Science* 2017;13(2): 48–57.
- Denning EJ, MacKerell AD Jr. Intrinsic contribution of the 2'-hydroxyl to RNA conformational heterogeneity. *Journal of the American Chemical Society*. 2012;134(5): 2800–2806. doi: 10.1021/ja211328g
- Dickerson RE, Drew HR, Conner BN, Wing RM, Fratini AV, Kopka ML. The anatomy of A-, B-, and Z-DNA. *Science*. 1982;216(4545): 475–485. doi: 10.1126/science.7071593
- Soter de Mariz E Miranda L, Schroeder Borges Gonçalves R, Uziel J, Obika S, Lubin-Germain N. Editorial: Nucleosides, nucleotides and nucleic acids: chemistry and biology. *Frontiers in Chemistry* 2024;12: 1401510. doi:10.3389/fchem.2024.1401510
- Ehrenberg M. Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry. 2009 Structure and Function of the Ribosome, The Royal Swedish Academy of Sciences, <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advancedchemistryprize2009.pdf>
- Ekundayo B, Bleichert F. Origins of DNA replication. *PLoS Genetics*. 2019;15(9): e1008320. doi: 10.1371/journal.pgen.1008320
- Evans DR, Guy HI. Mammalian pyrimidine biosynthesis: fresh insights into an ancient pathway. *Journal of Biological Chemistry*. 2004;279(32): 33035–33038. doi: 10.1074/jbc.R400007200
- Fridman A, Saha A, Chan A, Casteel DE, Pilz RB, Boss GR. Cell cycle regulation of purine synthesis by phosphoribosyl pyrophosphate and inorganic phosphate. *Biochemistry Journal*. 2013;454(1): 91–99. doi: 10.1042/BJ20130153
- Garner AL. Nucleosides, Nucleotides and nucleic acids as therapeutics: a virtual special issue. *ACS Pharmacology & Translational Science*. 2021;4(6): 1714–1715.
- Gavrilov K, Saltzman WM. Therapeutic siRNA: principles, challenges, and strategies. *Yale Journal of Biology Medicine*. 2012;85(2): 187–200.
- Gerstein MB, Bruce C, Rozowsky JS, Zheng D, Du J, Korbelt JO, Emanuelsson O, Zhang ZD, Weissman S, Snyder M. What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome Research*. 2007; (6):669–681. doi: 10.1101/gr.6339607
- Ghannam JY, Wang J, Jan A. Biochemistry, DNA Structure. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
- Gooding JR, Jensen MV, Dai X, Wenner BR, Lu D, Arumugam R, Ferdaoussi M, MacDonald PE, Newgard CB. adenylosuccinate is an insulin secretagogue derived from glucose-induced purine metabolism. *Cell Reports* 2015;13(1): 157–167. doi: 10.1016/j.celrep.2015.08.072
- Huang RM, Chen YN, Zeng Z, Gao CH, Su X, Peng Y. Marine nucleosides: structure, bioactivity,

- synthesis and biosynthesis. *Marine Drugs*. 2014;12(12): 5817–5838. doi:10.3390/md12125817
- Huang Z, Xie N, Illes P, Di Virgilio F, Ulrich H, Semyanov A, Verkhatsky A, Sperlagh B, Yu SG, Huang C, Tang Y. From purines to purinergic signalling: molecular functions and human diseases. *Signal Transduction Target and Therapy*. 2021; 6(1):162. doi: 10.1038/s41392-021-00553-z
- Ishii KJ, Akira S. Potential link between the immune system and metabolism of nucleic acids. *Current Opinion in Immunology*. 2008;20(5): 524–529. doi: 10.1016/j.coi.2008.07.002
- Jensen KF, Dandanell G, Hove-Jensen B, Willemoës M. Nucleotides, nucleosides, and nucleobases. *EcoSal Plus*. 2008. 3(1). doi: 10.1128/ecosalplus.3.6.2
- Johnson ZL, Lee JH, Lee K, Lee M, Kwon DY, Hong J, Lee SY. Structural basis of nucleoside and nucleoside drug selectivity by concentrative nucleoside transporters. *Elife*. 2014;3:e03604. Published 2014 Jul 31. doi:10.7554/eLife.03604
- Kornberg R. The molecular basis of eukaryotic transcription (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*. 2007;46(37): 6956–6965. doi: 10.1002/anie.200701832.
- Krueger AT, Kool ET. Model systems for understanding DNA base pairing. *Current Opinion in Chemical Biology*. 2007;11(6): 588–594. doi:10.1016/j.cbpa.2007.09.019
- Kumar S, Chinnusamy V, Mohapatra T. Epigenetics of modified DNA bases: 5-methylcytosine and beyond. *Frontiers in Genetics*. 2018; 9:640. doi: 10.3389/fgene.2018.00640
- Lane AN, Fan TW. Regulation of mammalian nucleotide metabolism and biosynthesis. *Nucleic Acids Research*. 2015;43(4): 2466–2485. doi: 10.1093/nar/gkv047
- Liyanage VR, Jarmasz JS, Murugesan N, Del Bigio MR, Rastegar M, Davie JR. DNA modifications: function and applications in normal and disease States. *Biology (Basel)*. 2014;3(4): 670–723. doi: 10.3390/biology3040670
- Löffler M, Fairbanks LD, Zameitat E, Marinaki AM, Simmonds HA. Pyrimidine pathways in health and disease. *Trends in Molecular Medicine*. 2005;11(9): 430–437. doi: 10.1016/j.mol-med.2005.07.003
- Ma J, Wang MD. DNA supercoiling during transcription. *Biophys Rev*. 2016;8(Suppl 1): 75–87. doi: 10.1007/s12551-016-0215-9
- Mikkola S, Lönnberg T, Lönnberg H. Phosphodiester models for cleavage of nucleic acids. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. 2018;14: 803–837. doi: 10.3762/bjoc.14.68
- Minchin S, Lodge J. Understanding biochemistry: structure and function of nucleic acids. *Essays Biochemistry*. 2019;63(4): 433–456. doi: 10.1042/EBC20180038
- Minchin SD, Busby SJW. Transcription factors. In *Brenner's encyclopedia of genetics* (Maloy S. and Hughes K., eds), 2013, Elsevier, U.S.A.
- O'Brien J, Hayder H, Zayed Y, Peng C. Overview of MicroRNA biogenesis, mechanisms of actions, and circulation. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018;9:402. doi: 10.3389/fendo.2018.00402
- O'Donnell M, Langston L, Stillman B. Principles and concepts of DNA replication in bacteria, archaea, and eukarya. *Cold Spring Harbor Perspectives Biology*. 2013;5(7): a010108. doi: 10.1101/cshperspect.a010108
- Raina M, Ibba M. tRNAs as regulators of biological processes. *Frontiers in Genetics*. 2014;5: 171. doi:10.3389/fgene.2014.00171
- Rios AC, Tor Y. On the origin of the canonical nucleobases: an assessment of selection pressures across chemical and early biological evolution. *Israel Journal of Chemistry*. 2013;53(6-7): 469–483. doi:10.1002/ijch.201300009
- Roberts MAJ. Recombinant DNA technology and DNA sequencing. *Essays Biochemistry* 2019;63(4): 457–468. doi: 10.1042/EBC20180039
- Rudolph FB. The biochemistry and physiology of nucleotides. *Journal of Nutrition*. 1994;124(1Suppl):124S–127S. doi: 10.1093/jn/124.suppl_1.124S
- Saenger W. Structure and function of nucleosides and nucleotides. *Angewandte Chemie International Edition*. 1973;12(8): 591–601. doi: 10.1002/anie.197305911

- Simpson B, Tupper C, Al Aboud NM. Genetics, DNA Packaging. 2023 May 29. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
- Smith JL. Glutamine PRPP amidotransferase: snapshots of an enzyme in action. *Current Opinion in Structural Biology*. 1998;(6): 686-94. doi: 10.1016/s0959-440x(98)80087-0
- Szabat M, Pedzinski T, Czapik T, Kierzek E, Kierzek R. Aspects of the antiparallel and parallel duplexes formed by DNA, 2'-o-methyl RNA and RNA oligonucleotides. *PLoS One*. 2015;10(11): e0143354. doi: 10.1371/journal.pone.0143354
- Travers A, Muskhelishvili G. DNA structure and function. *FEBS Journal*. 2015;282(12): 2279-95. doi: 10.1111/febs.13307
- Valadkhan S, Gunawardane LS. Role of small nuclear RNAs in eukaryotic gene expression. *Essays Biochemistry*. 2013;54: 79-90. doi: 10.1042/bse0540079
- Walter NG, Engelke DR. Ribozymes: catalytic RNAs that cut things, make things, and do odd and useful jobs. *Biologist (London)*. 2002;4(5): 199-203.
- Wang D, Farhana A. Biochemistry, RNA Structure. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2023.
- Wang F, Li P, Chu HC, Lo PK. Nucleic acids and their analogues for biomedical applications. *Biosensors (Basel)*. 2022;12(2): 93. doi: 10.3390/bios12020093
- Wang L. Mitochondrial purine and pyrimidine metabolism and beyond. *Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids*. 2016;(10-12): 578-594. doi: 10.1080/15257770.2015.1125001
- Zhao H, Chiaro CR, Zhang L, Smith PB, Chan CY, Pedley AM, Pugh RJ, French JB, Patterson AD, Benkovic SJ. Quantitative analysis of purine nucleotides indicates that purinosomes increase de novo purine biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*. 2015;290(11): 6705-6713. doi: 10.1074/jbc.M114.628701
- Zhao Y, Zuo X, Li Q, Chen F, Chen YR, Deng J, Han D, Hao C, Huang F, Huang Y, Ke G, Kuang H, Li F, Li J, Li M, Li N, Lin Z, Liu D, Liu J, Liu L, Liu X, Lu C, Luo F, Mao X, Sun J, Tang B, Wang F, Wang J, Wang L, Wang S, Wu L, Wu ZS, Xia F, Xu C, Yang Y, Yuan BF, Yuan Q, Zhang C, Zhu Z, Yang C, Zhang XB, Yang H, Tan W, Fan C. *Nucleic Acids Analysis*. *Sci China Chemistry*. 2021;64(2): 171-203. doi: 10.1007/s11426-020-9864-7



Şekil 6.1 Pirimidin bazların yapıları.



BÖLÜM 7

ELEMENTLER

Sedat ÇETİN¹
Sinan VICİL²

GİRİŞ

Elementler, memelilerin yaşam döngüsünde temel bir yer tutan ve biyolojik süreçlerin işleyişinde kritik roller üstlenen inorganik bileşiklerdir. Bu bileşikler, vücutta enerji üretiminden hücrel iletişime, bağışıklık sisteminin düzenlenmesinden kemik mineralizasyonuna kadar geniş bir yelpazede görev alır. Hücrel homeostazın korunmasında anahtar rol oynayan mineraller, biyokimyasal süreçlerde kofaktör olarak işlev görür ve enzim aktivitesini destekler. Çinko, kalsiyum, magnezyum, fosfor, potasyum ve selenyum gibi mineraller hem fizyolojik süreçlerin sürdürülmesinde hem de organizmanın stres faktörlerine karşı korunmasında hayati öneme sahiptir.

Metabolik süreçlerde mineraller, enzimlerin katalitik aktivitesini artırarak biyokimyasal reaksiyonların hızlanmasını sağlar. Örneğin, çinko, protein sentezi

¹ Doç. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, sedatcetin@aybu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-6102-85712

² Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Biyokimya AD., svicil@nku.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0444-4771

Kobalt eksikliğinde özellikle genç hayvanlarda büyüme yavaşlar kilo kaybı, çabuk yorulma ve en önemlisi de kanda alyuvar sayısı azalması ile karakterize pernisiöz anemi şekillenir. Kobaltın fazlalığı da polisitemiye yol açabilir.

KAYNAKLAR

- Anderson P. The highs and lows of electrolytes part 1: sodium, chloride and potassium. *The Veterinary Nurse*. 2020; 11(10): 452. <https://doi.org/10.12968/vetn.2020.11.10.452>
- Anderson P. The highs and lows of electrolytes part 2: calcium, phosphate and magnesium. *The Veterinary Nurse*. 2021; 12(1): 20. <https://doi.org/10.12968/vetn.2021.12.1.20>
- Esadi M, Toğdori A, Hatemi M, Lee H. Milk supplemented with organic iron improves performance, blood hematology, iron metabolism parameters, biochemical and immunological parameters in suckling dalagh lambs. *Animals*. 2022; 12(4): 510. <https://doi.org/10.3390/ani12040510>
- Atmaca G. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Medical Journal*. 2004; 45(5): 776. <https://doi.org/10.3349/ymj.2004.45.5.776>
- Bampidis V, Azimonti G, Bastos M, Dusemund B, Kouba M, Durjava M, Ramos F. Safety and efficacy of iron chelates of lysine and glutamic acid as feed additive for all animal species. *EFSA Journal*. 2019; 17(7): 5792. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5792>
- Churio O, Durán E, Guzmán-Pino SA, Valenzuela C. Use of encapsulation technology to improve the efficiency of an iron oral supplement to prevent anemia in suckling pigs. *Animals*. 2018; 9(1): 1. <https://doi.org/10.3390/ani9010001>
- Costa JM, Sartori M, Nascimento NF, Kadri SM, Ribolla PEM, Pinhal D, Pezzato LE. Inadequate dietary phosphorus levels cause skeletal anomalies and alter osteocalcin gene expression in zebrafish. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19(2): 364. <https://doi.org/10.3390/ijms19020364>
- El Din MK, Wahba MEK. Novel validated spectrofluorimetric methods for the determination of taurine in energy drinks and human urine. *Luminescence*. 2015; 30(2): 137. <https://doi.org/10.1002/bio.2703>
- Goselink R, Bannink A, Dijkstra J. Phosphorus in transition cows: a dairy cow trial on phosphorus metabolism in the transition period. 2019. <https://doi.org/10.18174/510336>
- Holtzclaw JD, Grimm PR, Sansom SC. Intercalated cell BK- α/β 4 channels modulate sodium and potassium handling during potassium adaptation. *Journal of the American Society of Nephrology*. 2010; 21(4): 634. <https://doi.org/10.1681/ASN.2009080817>
- Iannaccone M, Ianni A, Elgendy R, Martino C, Giantin M, Cerretani L, Martino G. Iodine supplemented diet positively affects immune response and dairy product quality in Friesian cow. *Animals*. 2019; 9(11): 866. <https://doi.org/10.3390/ani9110866>
- Ingenbleek Y, Kimura H. Nutritional essentiality of sulfur in health and disease. *Nutrition Reviews*. 2013; 71(7): 413. <https://doi.org/10.1111/nure.12050>
- Islam D, Rahaman A, Jannat F. Assessment of micro and macro nutrients in poultry feeds available in Dhaka city, Bangladesh. *Journal of Scientific Agriculture*. 2017; 1: 264. <https://doi.org/10.25081/jsa.2017.v1.871>
- Jones GB, Tracy BF. Evaluating seasonal variation in mineral concentration of cool-season pasture herbage. *Grass and Forage Science*. 2013; 70(1): 94. <https://doi.org/10.1111/gfs.12094>
- Karagül H, Altıntaş A, Fidancı UR, Sel T. *Klinik Biyokimya*. Ankara: Medisan Kitabevi; 2000; p. 229.
- Kurosawa R, Sugimoto R, Imai H, Atsui K, Yamada K, Kawano Y, Suzuki K. Impact of spaceflight and artificial gravity on sulfur metabolism in mouse liver: sulfur metabolomic and transcriptomic analysis. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): 21786. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01129-1>

- Kwak HC, Kim Y, Oh SJ, Kim SK. Sulfur amino acid metabolism in Zucker diabetic fatty rats. *Biochemical Pharmacology*. 2015; 96(3): 256. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2015.05.014>
- Leong W, Bowlus CL, Tallkvist J, Lönnerdal B. DMT1 and FPN1 expression during infancy: developmental regulation of iron absorption. *AJP Gastrointestinal and Liver Physiology*. 2003; 285(6): G1153-G1161. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00107.2003>
- Masters DG. Practical implications of mineral and vitamin imbalance in grazing sheep. *Animal Production Science*. 2018; 58(8): 1438. <https://doi.org/10.1071/an17761>
- McArt JAA, Oetzel GR. A stochastic estimate of the economic impact of oral calcium supplementation in postparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(10): 7408. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9479>
- McClure ST, Chang AR, Selvin E, Rebholz CM, Appel LJ. Dietary sources of phosphorus among adults in the United States: results from NHANES 2001–2014. *Nutrients*. 2017; 9(2): 95. <https://doi.org/10.3390/nu9020095>
- Meléndez-Lazo A, Tvarijonaviciute A, Cerón JJ, Planellas M, Pastor J. *Journal of Comparative Pathology*. 2015; 152(4): 304. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2015.01.008>
- Strachan S. Trace elements. *Current Anaesthesia & Critical Care*. 2010; 21(1): 44. doi:10.1016/j.cacc.2009.08.004
- Yang H, Zheng H, Pan Y, Zhang W, Yang M, Du H, & Zhou Z. Quantitative proteomic analysis of the effects of dietary deprivation of methionine and cystine on A549 xenograft and A549 xenograft-bearing mouse. *Proteomics*, 2021; 21(20): e2100007. <https://doi.org/10.1002/pmic.202100007>