

TÜRKİYE VE DÜNYADA VETERİNER ANATOMİSİ

Editör: Prof.Dr. Sevinç ATEŞ

yaz
yayınları

Türkiye ve Dünyada Veteriner Anatomisi

Editör

Prof.Dr. Sevinç ATEŞ

yaz
yayınları

2025

Türkiye ve Dünyada Veteriner Anatomisi

Editör: Prof.Dr. Sevinç ATEŞ

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8678-88-8

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

**Vasküler Kastlar Üzerinden Damar Morfolojisinin
Tanımlanması ve Değerlendirilmesi.....**

Baran ERDEM

**Veteriner Anatomisinde Dalak: Yapısal ve Fonksiyonel
Yaklaşımlar.....**

Baran ERDEM

Veteriner Anatomide 3-Boyutlu Baskı Teknolojisi.....

Remzi Orkun AKGÜN, Çağdaş OTO

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

VASKÜLER KASTLAR ÜZERİNDEN DAMAR MORFOLOJİSİNİN TANIMLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Baran ERDEM¹

1. GİRİŞ

Vasküler kast teknikleri, damar sisteminin üç boyutlu organizasyonunu ortaya koymak açısından son derece değerli yöntemler arasında yer almaktadır. Günümüzde bu tekniklerde kullanılan yüksek çözünürlüklü vasküler kast materyalleri, yalnızca temel damar tiplerinin (arterler, venler ve kapillerler) değil, aynı zamanda özel damarsal yapıların da ayrıntılı biçimde görselleştirilmesine olanak tanımaktadır (Cornillie, Casteleyn, von Horst, & Henry, 2019; Walocha & Miodoński, 2013).

Oluşturulan vasküler kastların taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi sonucunda, damar yüzeyinde endotel hücrelerine ait çekirdek izleri ve hücre sınırları açıkça gözlemlenebilir hâle gelmektedir. Bu sayede, arteriyel ve venöz damarlar morfolojik olarak güvenilir biçimde ayırt edilebilmektedir. Kapiller damarlar çaplarına göre kolaylıkla tanımlanabilirken, sinüzoid gibi özel yapılar ise özgün morfolojik özellikleri temel alınarak sınıflandırılmaktadır (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012).

Vasküler kastlar yalnızca damar tiplerinin ayırt edilmesinde değil; aynı zamanda venöz kapakçıklar, intraarteriel yastıkçıklar, sfinkter yapıları ve aterosklerotik plaklar gibi damar

¹ Arş. Gör. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veterinerlik Anatomisi Ana Bilim Dalı, s.baran.erdem@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3319-6586.

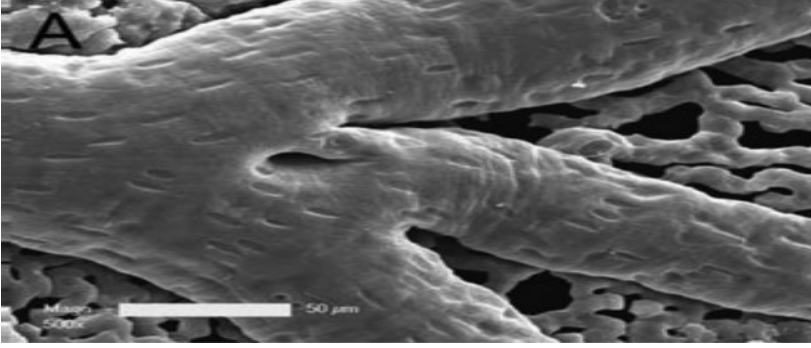
içi oluşumların tanımlanmasında da önemli bir araçtır. Ek olarak, mikrovasküler kastların yüzeyinde gözlenen hücresel yapılar, özellikle damar duvarının düz kas hücreleri gibi bileşenlerinin organizasyonu hakkında değerli bilgiler sunmaktadır (Cornillie et al., 2019; Walocha & Miodoński, 2013; Aharinejad & Lametschwandtner, 2012).

Bu bölümde, korozyon kast teknikleriyle elde edilen damar yapılarına ilişkin ayırt edici özellikler sistematik biçimde ele alınacak ve bu yapıların morfolojik yorumlanmasına dair güncel bilgiler sunulacaktır.

2. DAMAR TİPLERİNİN AYRIMI

2.1. Arteriyel Damarlar

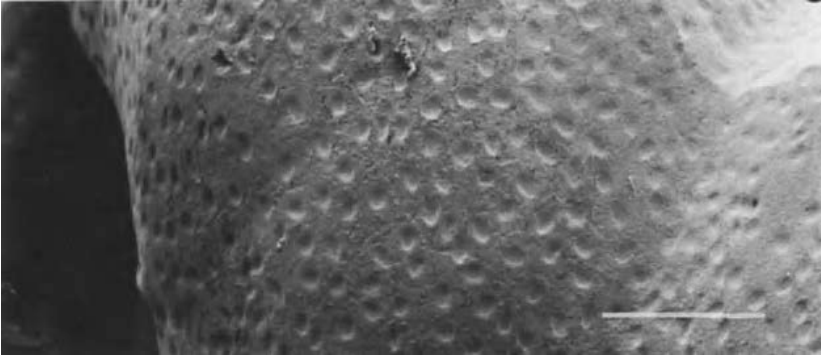
Damar duvarında bulunan endotel hücreleri kast yüzeyinde yer alan tipik çekirdek izleri sayesinde kolayca tanınabilmektedir (Şekil 1). Arterlerde endotel hücre çekirdek izleri oval veya hafifçe uzamış şekilde ve damarların uzun eksenine paralel bir yönelim göstermektedir. Endotel hücresinin kendine özgü şekli ve yönelimi bazı özel boyama yöntemleri ile işaretlenerek morfometrik parametrelerin (hücre alanı, çevre uzunluğu, yönelim açısı vb.) ölçülmesi sağlanabilmektedir (Nerem, Levesque, & Cornhill, 1981a; Nerem, Levesque, & Cornhill, 1981b). Arterlerde damar çapları oldukça düz seyirlidir ve bifurkasyon düzeyinde belirgin dallanmalar göstermektedir (Nerem et al., 1981a; Nerem et al., 1981b; Ackermann & Konerding, 2014). Yapılan çalışmalarda (Nerem et al., 1981a; Nerem et al., 1981b; Cornhill et al., 1980) endotel hücre sınırlarını detaylı incelemek amacıyla damar içine reçine enjeksiyonu öncesinde % 0,15’lik gümüş nitrat solüsyonu ile damarın yıkanması gerektiği ifade edilmektedir.



Şekil 1. Arteriyel Endotel Hücrelerine Ait Çekirdek İzleri
(Ackermann & Konerding, 2014)

2.2. Venöz Damarlar

Venöz damarlara ait endotel çekirdek izleri ise yuvarlağa daha yakın veya oval şekilli olup belirli bir yönelim göstermezler (Şekil 2) Bu karakteristik hücre izleri gümüş nitratla daha belirgin hale getirilebilir. Venöz damarlar genellikle arteriyel karşılıklarına nazaran daha geniş çapta, daha büyük ve yassı görüntüsüyle ayırt edilmektedir (Walocha & Miodoński, 2013; Nerem et al., 1981a; Ackermann & Konerding, 2014).

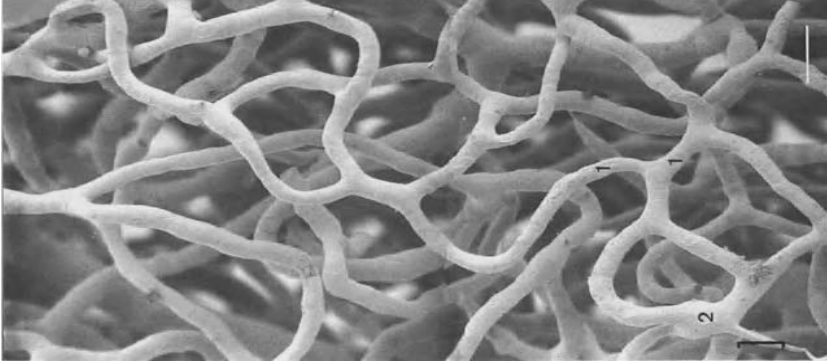


Şekil 2. Venöz Endotel Hücrelerine Ait Çekirdek İzleri
(Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

2.3. Kapillar Damarlar

Uygun reçine enjeksiyonu sonucu oluşan kast örneklerinde endotel hücre çekirdeklerine ait iz desenleri oldukça

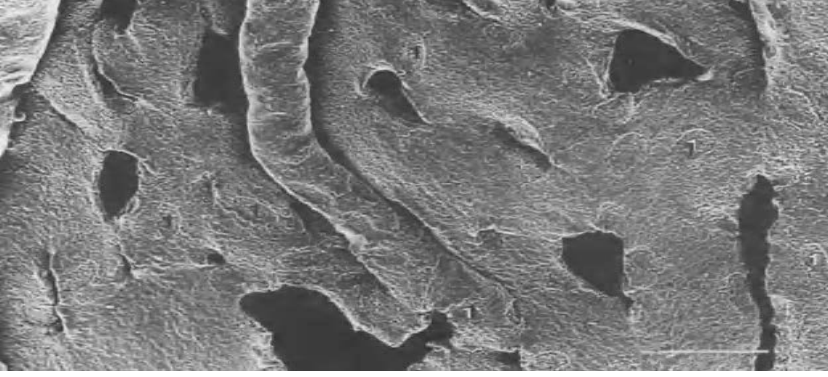
korunmuş bir şekilde gözlemlenebilmektedir (Şekil 3). Çekirdek izleri kapillar yatakların arteriyel kısmından venöz uca doğru geçerken aynen arteriyel ve venöz damarlarda olduğu gibi çekirdek izlerinde bir yönelim görülmektedir (Christofferson, 1990; Christofferson & Nilsson, 1988).



Şekil 3. Kapillar Endotel Hücre Çekirdek İzlerinde Ovalden Yuvarlağa Değişim, 1 Oval, 2: Yuvarlak (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

2.4. Sinüzoidler

Sinüzoidler, endotel ile kaplı ince duvarlı ve oldukça geniş lümenli kan damarlarıdır. Bu damar yapısı, özellikle omurgasızlar ve alt omurgalılarda, ayrıca bazı üst omurgalıların ise belirli organlarında iyi gelişmiştir. Sinüzoidlerin reçine enjeksiyonu öncesinde temizlenmesi oldukça güç olduğundan, kan hücreleri genellikle donmuş reçine içinde sıkışmış halde kalabilmekte veya bu yapılar üzerinde iz bırakabilmektedir (Şekil 4) (Walocha & Miodoński, 2013; Aharinejad & Lametschwandtner, 2012).



Şekil 4. Sinüzoidlerde Endotel Çekirdek Hücre İzleri, 1: Çekirdek İzi (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

3. VASKÜLER KOROZYON KAST TEKNİĞİYLE ÖZGÜN DAMARSAL YAPILAR

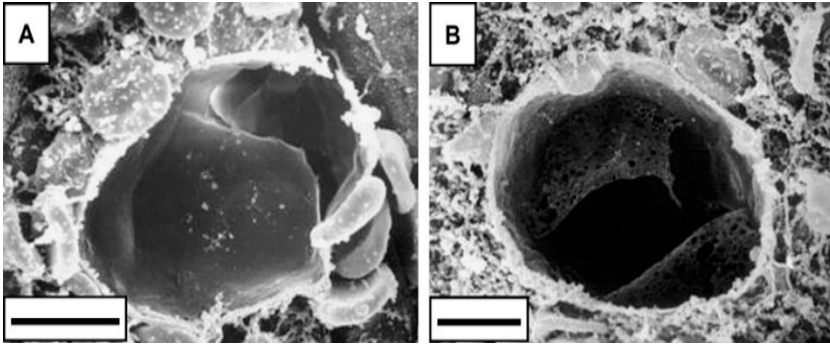
3.1. Venöz Kapakçıklar

Venöz kapakçıklar (valvula venosa) genellikle damar duvarının iki yanından lümene doğru uzanan bir çift intimal kıvrımdan oluşmaktadır. Genellikle her bir kapakçık iki tunica intima uzantısından oluşur ve bu uzantılar yaprakçık (leaflet) olarak adlandırılır. Bağ dokusundan oluşan yaprakçıkların her birinin serbest ucu kan akımı yönünde olacak şekilde uzanır ve iki yüzü de endotel hücreleri ile kaplıdır. Venöz kapakçıklar taşıdıkları yaprakçık sayılarına göre (monoküspit, biküspit, triküspit ve kuadriküspit) farklı tiplere ayrılmaktadır (Maros, 1981; Caggiati, Phillips, Lametschwandtner, & Allegra, 2006). Venöz kapakçıkların başlıca işlevi kanın geri kaçışını engellemek ve damar uzunluğunu daha küçük alt segmentlere ayırarak yerçekimi etkisinden oluşan basıncı azaltmaktır (Caggiati et al., 2006).

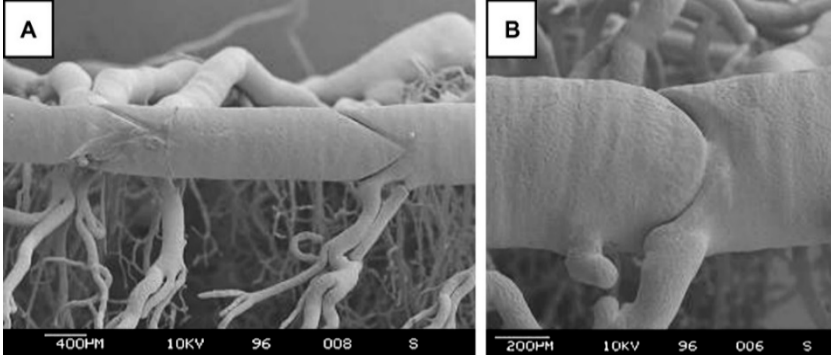
Mikrovasküler korozyon kast tekniği ile incelenen herhangi doku veya organa ait venöz kapakçıkların genel yerleşimi, sayıları, türleri ve yaprakçık yönelimlerini belirlemek

oldukça kolaylaşmaktadır. Mikrovasküler korozyon kast tekniği ile oluşturulmuş damarların SEM aracılığıyla incelenmesi ile venöz kapakçıkların anatomisi ve morfometrik parametreleri ayrıntılı bir biçimde ortaya koyulabilmektedir (Caggiati et al., 2006; Castenholz, 1989; Hossler, 1986).

Korozyon kast tekniği ile elde edilen venöz kapakçıklar, SEM grafilinde iki farklı morfolojik özellik sergilemektedir. Kapakçıkta bulunan yaprakçıklarının bulunduğu bölgeden alınan görüntülerde, bu yapılar kast yüzeyinde derin bir çizgi ya da yarık şeklinde izlenmektedir. Buna karşılık, kapakçık sinüslerinin – yani kapakçığın arka kısmında yer alan cep benzeri yapılarının – bulunduğu bölgelerden alınan görüntülerde ise, bu alanlar yüzeyde hafif dışa doğru kabarıklıklar şeklinde görünmektedir (Şekil 5, Şekil 6). Eğer kast kapakçık bölgesinden kırılırsa bu durumda hem medial hem de lateral yüzeylerdeki endotel hücre çekirdeğinin iz desenleri incelenebilmektedir. Ayrıca bu iz desenleri diğer venöz yüzeylerde bulunan iz desenleriyle; desenin yönelimi, birim alandaki çekirdek sayısı ve çekirdek boyutları gibi yapısal özellikler açısından karşılaştırılabilmektedir (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012; Christofferson & Nilsson, 1988; Hossler & West, 1988).



Şekil 5. Venöz Kapakçık Sinüslerinin Görünümü (biküspit)
(Caggiati et al., 2006)



Şekil 6. Yarıık Şeklinde Venöz Kapakçık İzleri (Caggiati et al., 2006)

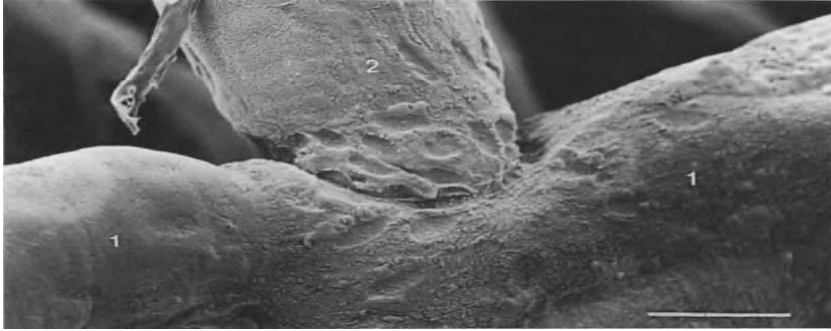
Korozyon kast tekniğıyle elde edilen venöz kapakçıkların morfolojik görünümü, döküm işlemi sırasında damar içerisindeki reçine akış yönü hakkında da bilgi vermektedir. Kalbe doğru gerçekleşen (ortograd) akış, kapakçığın tam yapısal replikasının oluşmasını sağlarken; ters yöndeki (retrograd) bir akış, kapakçık yaprakçıklarının kapanmasına yol açar. Bu durumda yalnızca kapakçık sinüsleri kast yüzeyinde izlenebilmekte ve vasküler yapı kapakçık seviyesinde sonlanmaktadır (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012).

3.2. İntraarteriel Yastıkçıklar

Arteriyel intimanın dallanma noktalarında yer alan, uzunlamasına lokal kalınlaşmalara intimal kapakçıklar ya da yastıkçıklar adı verilmektedir (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012). İntraarteriel yastıkçıkların fonksiyonları tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Öne sürülen olası fonksiyonları arasında; ana damardan arılan yan dallara (kollateral dal) kan akımı sırasında hücre yönlendirilmesini (cell skimming) sağlamak, basit bir sfinkter görevi görmek, ya da kemoreseptör veya mekanoreseptör işlevleri görmek olarak sayılmaktadır (Fourman & Moffat, 1961; Rhodin, 1967; Nanda & Getty, 1972; Ninomiya, Inomata, & Kanemaki, 2008). İntraarteriel yastıkçıklar insan dahil birçok türde tanımlanmış olup,

mikrovasküler kastların SEM’de görüntülenmesi ile ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir (Fourman & Moffat, 1961; Rhodin, 1967; Nanda & Getty, 1972; Ninomiya et al., 2008; Casellas, Dupont, Lover, & Mimran, 1982). İntraarteriel yastıkçıkların memelilerle sınırlı kalmayıp omurgalılar arasında da yaygın bir şekilde görülmesi, yastıkçıkların tutarlı bir fonksiyonel öneme sahip olduğunu göstermektedir (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012). İntraarteriel yastıkçıklar; parsiyel yastıkçıklar (arteria renalis’in ana dalları çevresinde), açık yastıkçıklar, kapalı yastıkçıklar ve spiral yastıkçıklar (arteriyollerin çevresinde) olmak üzere dört farklı tipte sınıflandırmışlardır (Casellas et al., 1982).

Mikrovasküler korozyon dökümlerinde intraarteriel yastıkçıklar, çevre dokudan farklı endotel hücre çekirdeği iz desenleriyle birlikte belirgin çöküntüler olarak izlenmektedir (Şekil 7). Mikrovasküler korozyon kastlarının SEM ile görüntülenmesi, yastıkçıkların hem organ genelindeki dağılımının hem de mikromorfolojik ayrıntılarının incelenmesinde diğer yöntemlere kıyasla üstün bir görüntüleme sağlamaktadır. (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012).



Şekil 7. İntrararteriyel Yastıkçık, 1: Ana Damar, 2: Kollateral Dal (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

3.3. Endotel Hücre Yapısı

Son yıllarda mikrovasküler korozyon kast tekniğinde kullanılan polimer reçineler, yüksek replikasyon kalitesi sayesinde endotel hücre sınırlarını, endotel hücre çekirdeklerini ve lümen bakan endotel yüzey çıkıntılarını (filopodium, mikrovillus gibi) net bir şekilde yansıtabilmektedir. Bu yapılar, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile nitel olarak incelenebildiği gibi, daha sonra morfometrik ölçümler ve istatistiksel analizler için de kullanılabilirler (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012; Hossler & West, 1988).

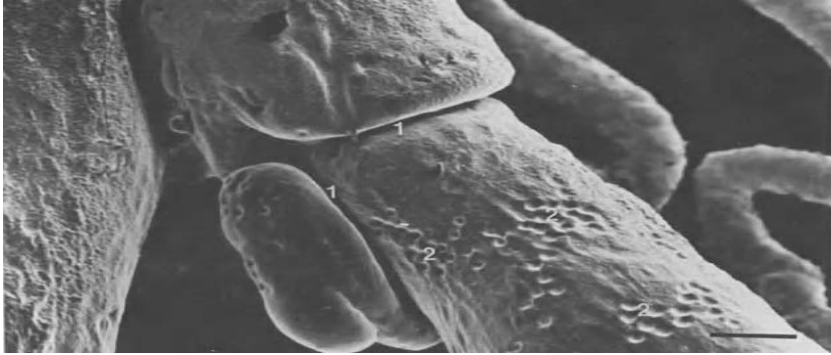
Mikrovasküler kastlar üzerinde korunan izler sayesinde, lenfoid dokular içerisinde bulunan yüksek endotelli venüller (peyer plakları, lenf düğümleri) de açık biçimde ayırt edilebilmektedir (Yamaguchi & Schoefl, 1983; Steeber, Erickson, Hodde, & Albrecht, 1987). Bu damarların çeşitli uyarılar (örneğin antijen stimülasyonu) altındaki yapısal değişimleri, diğer tekniklere göre daha hassas bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Steeber et al., 1987; Yamaguchi & Schoefl, 1983). Bununla birlikte mevcut reçineler, endotelyal porlar ya da fenestraların kopyalarını yapma konusunda henüz yeterli başarıya ulaşmamıştır (Hodde, 1981; Lametschwandtner, Lametschwandtner, & Weiger, 1990).

3.4. Reçine İçine Hapsolmuş Kan Hücreleri

Lökositlerin, damar lümeni boyunca hareket ederken zaman zaman damar duvarına sıkıca yapıştığı bilinmektedir. Bu hücreler, enjeksiyon sırasında reçine içinde hapsoldüklerinden, döküm yüzeyinde boyutlarına uygun izler şeklinde gözlemlenebilmektedir (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012; Castenholz, 1989).

Eritrositler, genellikle döküm işleminden önce damar sistemi serum fizyolojik ile yıkandığından damar içerisinden uzaklaştırılmaktadır. Ancak bazı organlarda —örneğin balıklarda

saccus vasculosus ya da alt omurgalıların hipofiz arka lobundaki geniş sinüzoidlerde — yapılan kapsamlı yıkamaya rağmen eritrositler kalabilmekte ve bunların izleri kast yüzeyinde görülebilmektedir (Şekil 8) (Castenholz, 1989; Kotrschal, Lametschwandtner, & Adam, 1985).



Şekil 8. Venöz Kapakçık ve Kan Hücresi, 1: Venöz Kapakçık, 2: Hapsolmuş Eritrosit İzi (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

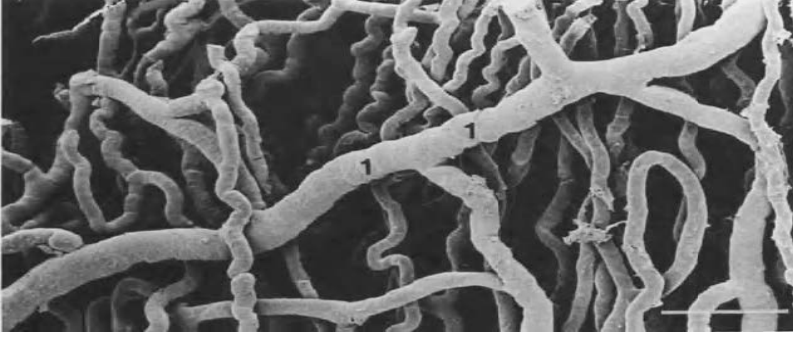
4. MİKROVASKÜLER KASTLARDA DAMAR DUVARI YAPILARININ YANSIMALARI

4.1. Damar Duvarında Bulunan Düz Kas Hücreleri

Damar duvarında bulunan düz kas hücreleri tek başlarına ya da gruplar halinde görülebilmektedir. Bazı kısımlarda ise belirli bir organize yapı oluşturarak sfinkter formuna dönüşebilmektedir. Düz kas hücreleri hem arteriyel (beyin (Bosman, de Wet, & le Roux, 1982; Motti, Imhof, Garza, & Yasargil, 1987)) hem de venöz ((akciğer (Schraufnagel & Patel, 1990; Aharinejad, Bock, Lametschwandtner, & Firbas, 1992; Aharinejad, Bock, Lametschwandtner, Franz, & Firbas, 1991), pankreas (Aharinejad, Franz, Böck, Lametschwandtner, Breiteneder, & Firbas, 1990)) damarlarda bulunmaktadır. Damar duvarı düz kas hücreleri yapıları sebebiyle periferik direncin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Sfinkter olarak

organize olmuş düz kas hücreleri, arter ve arteriyol düzeyinde sinir sisteminin kontrolü altında; prekapillar bölgede ise metabolik kontrol altında tutulmaktadır (Schneider, Siska, & Avram, 2012).

Mikrovasküler korozyon kastlarda düz kas hücreleri, dairesel (Şekil 9) veya spiral şekilde dizilmiş, mekik biçimli izler şeklinde görülmektedir (Şekil 10). Özellikle akciğer venlerinde bulunan sfinkterler, işlevsel açıdan dikkat çekici yapılar olarak değerlendirilmektedir (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012; Schraufnagel & Patel, 1990; Aharinejad et al., 1992; Aharinejad et al., 1991).



Şekil 9. Dairesel Düz Kas Hücre İzleri (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)



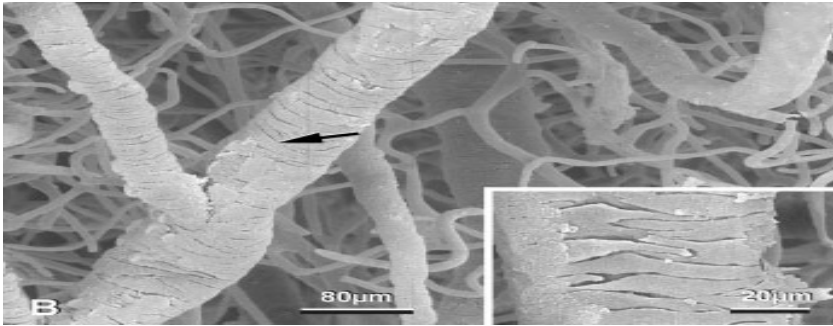
Şekil 10. Spiral Şekilli Düz Kas Hücre İzleri (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

4.2. Arteriyel Sfinkter ile İntraarteriel Yastıkçıkların Ayrımı

Arteriyel sfinkterler ile intraarteriel yastıkçıklar arasındaki ayrımı yalnızca mikrovasküler kastlar üzerinden yapmak mümkün değildir; bu yapıların ışık mikroskobu ya da transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile de incelenmesi gereklidir. Her iki yapı da kast yüzeyinde benzer negatif izler oluşturabilmektedir. Daha önce yayımlanmış sfinkter (Bosman et al., 1982) ve venöz yastıkçık (Kardon, Farley, Heidger, & van Orden, 1982) çalışmaları karşılaştırıldığında, özellikle kollateral dallanma bölgelerinde bu benzerlik belirginleşmektedir.

4.3. Plastik Şeritler

"Plastik şeritler" ilk olarak 1978 yılında tanımlanmıştır (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012). Vasküler korozyon kastlar etrafında dairesel veya spiral şekilde dizilmiş plastik bantlar olarak gözlemlenirler (Şekil 11). Mevcut bilgiler, bu yapıların damar duvarının tunica media'sına reçinenin sızması (kaçak) sonucu oluştuğunu göstermektedir. Bu durumda reçine, düz kas hücrelerinin yerini alarak onları taklit etmektedir (Lametschwandtner & Staindl, 1990; Castenholz, Zöltzer, & Erhardt, 1982; Castenholz, 1983). Ayrıca damarların tunica media'sında plastik şeritlerin oluşumuna rehberlik eden özel yönlendirici yapılardan söz edilmektedir (Hodde, 1981).



Şekil 11. Plastik Şeritler (Krucker, Lang, & Meyer, 2006)

4.4. Perisitler

Perisitler, kapiller ve postkapiller venüllerin etrafında bulunan, heterojen yapıya sahip hücrelerdir. Bu hücreler, hiçbir zaman bir damarı tamamen saran kesintisiz bir tabaka oluşturmazlar (Gaudio, Pannarale, & Marinozzi, 1985; Pannarale, Gaudio, & Marinozzi, 1986). Mikrovasküler kastlarda, taklit edilen perisitler düzensiz formlarda olup genellikle çok dallı, damar döküm yüzeyine sıkıca yapışmış plastik yapılar şeklinde görünmektedirler (Castenholz et al., 1982; Gaudio et al., 1985).

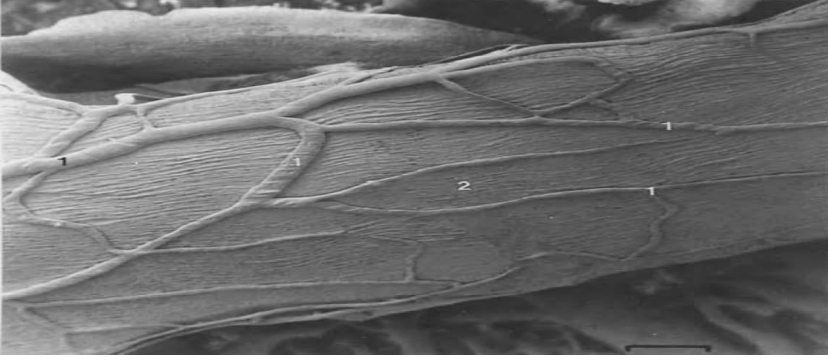
Standartlaştırılmış bir mikrovasküler korozyon kast protokolü kullanıldığında, kopya edilebilen myosit ve perisit yapılarının; yerleşim yeri, sayısı, şekli, büyüklüğü, uzanımı ve değişkenliği açısından ayrıntılı olarak incelenebilmektedir (Aharinejad et al., 1991; Aharinejad et al., 1990).

4.5. Bağ Doku Lifleri

Bazı özel durumlarda (örneğin reçine enjeksiyonu sırasında oluşan vazokonstriksiyon, damarların sert dokularla çevrili olup fazla gerilmesi gibi) mikrovasküler kast yüzeyinde düzensiz çizgiler görülebilmektedir. Bu çizgiler, damarın tunica adventitia tabasında bulunan kollajen lif demetlerinin oluşturduğu izler olarak yorumlanmaktadır (Aharinejad et al., 1990).

4.6. Vasa Vasorum

Büyük kan damarlarının kastlarında damar duvarını besleyen vasa vasorum yapılarının (Şekil 12) ya da ikincil segmental arterler sisteminin kolaylıkla kopyaları oluşturulabilmektedir. Korozyon kast üzerinden bu yapılar ayrıntılı bir biçimde incelenebilmektedir (Aharinejad & Lametschwandtnner, 2012; Caggiati et al., 2006; Aharinejad et al., 1990).



Şekil 12. Vasa vasorum, 1: Vasa vasorum, 2:Aorta (Aharinejad & Lametschwandtner, 2012)

5. SONUÇ

Mikrovasküler korozyon kast tekniği, damar yapılarının üç boyutlu morfolojisini yüksek doğrulukla ortaya koyan güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu teknik sayesinde yalnızca damar ağlarının topografyası değil, aynı zamanda damar duvarı yapılarının mikroskopik düzeydeki ayrıntıları da değerlendirilebilmektedir. Venöz kapakçıklar, kast yüzeyinde karakteristik izler bırakarak hem yapısal bütünlüklerini hem de akış yönüne bağlı kan akışı dinamiklerini ortaya koymaktadır. Kapakçıkların açık ya da kapalı konumda olması, reçine enjeksiyonunun akış yönüne bağlı olarak değişebilmekte ve bu durum, damar içi sıvı dinamiklerinin kast anatomisine nasıl yansıdığını göstermektedir.

Ayrıca, arteriyel sistemde gözlemlenen ancak işlevleri henüz tam olarak açıklığa kavuşmamış olan intraarteriyel yastıkçıklar, kas yüzeyinde çevre dokulardan farklı özellikler sergileyen çekirdek izleriyle ayırt edilebilen çöküntüler şeklinde gözlemlenebilmektedir. Bu yastıkçıkların kısmen açık, kapalı veya spiral yapılar şeklinde sınıflandırılabilmesi, söz konusu

oluşumların fizyolojik çeşitliliğini ve fonksiyonel farklılıklarını ortaya koymaktadır.

Tekniğin sağladığı yüksek çözünürlüklü yüzey kopyaları, endotelyal hücrelerin sınırlarını, çekirdeklerini ve yüzey uzantılarını (örneğin mikrovilluslar ve filopodlar) detaylı şekilde ortaya koymakta; ayrıca lenfoid dokulardaki yüksek endotelli venüller gibi özel yapıların ayırt edilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, fenestralı endotel gibi daha ince membran yapılarının reçine enjeksiyonu ile tam olarak kopyalanamadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Reçine enjeksiyonu sırasında sıkışan ve damar yüzeyinde iz bırakan lökositler, damar lümeninde hücre hareketliliğinin ve adezyon süreçlerinin bir göstergesi olarak değerlendirilmekte; bazı organlarda kırmızı kan hücrelerinin de dökümde gözlenebildiği rapor edilmektedir. Damar duvarında yer alan düz kas hücreleri, perisitler ve bağ dokusu lifleri gibi yapılar, mikrovasküler korozyon kast yüzeyinde özgün izler bırakarak damar duvarı mimarisinin ve kontraktıl yapıların değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak, mikrovasküler korozyon döküm tekniği; damar yapılarının anatomik organizasyonu, fonksiyonel mimarisi ve hücresel bileşenleri hakkında kapsamlı ve güvenilir veriler sunan, vasküler anatomi çalışmalarında vazgeçilmez bir araştırma yöntemidir.

KAYNAKÇA

- Ackermann, M., & Konerding, M. A. (2014). Vascular casting for the study of vascular morphogenesis. In *Vascular morphogenesis: Methods and protocols* (pp. 49–66). New York, NY: Springer.
- Aharinejad, S. H., & Lametschwandtner, A. (2012). *Microvascular corrosion casting in scanning electron microscopy: Techniques and applications*. Springer Science & Business Media.
- Aharinejad, S., Bock, P., Lametschwandtner, A., & Firbas, W. (1992). Scanning and transmission electron microscopy of venous sphincters in the rat lung. *Anatomical Record*, 233, 555–568.
- Aharinejad, S., Bock, P., Lametschwandtner, A., Franz, P., & Firbas, W. (1991). Sphincters in the rat pulmonary veins: Comparison of scanning electron and transmission electron microscopic studies. *Scanning Microscopy*, 5, 1091–1096.
- Aharinejad, S., Franz, P., Böck, P., Lametschwandtner, A., Breiteneder, H., & Firbas, W. (1990). Sphincterlike structures in corrosion casts. *Scanning*, 12(5), 280–289.
- Anderson, B. G., & Anderson, W. D. (1978). Shunting in intracranial microvasculature demonstrated by SEM of corrosion-casts. *American Journal of Anatomy*, 153(4), 617–624.
- Bosman, M. C., de Wet, P. D., & le Roux, C. (1982). The ultrastructure of the ‘peripheral resistance’ and the precapillary sphincters. *South African Medical Journal*, 62(23), 874–876.
- Caggiati, A., Phillips, M., Lametschwandtner, A., & Allegra, C. (2006). Valves in small veins and venules. *European*

Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 32(4), 447–452.

- Casellas, D., Dupont, M., Lover, B., & Mimran, A. (1982). Scanning electron microscopic study of arterial cushions in rats: A novel application of the corrosion-replication technique. *Anatomical Record*, 203, 419–428.
- Castenholz, A. (1983). Visualization of periendothelial cells in arterioles and capillaries by scanning electron microscopy of ultrasound-treated and plastoid-injected brains in rats. *Scanning Electron Microscopy, (Pt 1)*, 161–170.
- Castenholz, A. (1989). Interpretation of structural patterns appearing on corrosion casts of small blood and initial lymphatic vessels. *Scanning Microscopy*, 3(1), 33.
- Castenholz, A., Zöltzer, H., & Erhardt, H. (1982). Structures imitating myocytes and pericytes in corrosion casts of terminal blood vessels: A methodical approach to the phenomenon of “plastic strips” in SEM. *Mikroskopie*, 39(3–4), 95–106.
- Christofferson, R. H. (1990). *Angiogenesis as induced by trophoblast and cancer cells* [Doctoral dissertation, Uppsala University].
- Christofferson, R. H., & Nilsson, B. O. (1988). Microvascular corrosion casting with analysis in the scanning electron microscope. *Scanning*, 10(2), 43–63.
- Cornhill, J. F., Levesque, M. J., Herderick, E. E., Nerem, R. M., Kilman, J. W., & Vasko, J. S. (1980). Quantitative study of the rabbit aortic endothelium using vascular casts. *Atherosclerosis*, 35(3), 321–337.
- Cornillie, P., Casteleyn, C., von Horst, C., & Henry, R. (2019). Corrosion casting in anatomy: Visualizing the architecture

of hollow structures and surface details. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 48(6), 591–604.

Fourman, J., & Moffat, D. B. (1961). The effect of intra-arterial cushions on plasma skimming in small arteries. *Journal of Physiology*, 158(2), 374.

Gaudio, E., Pannarale, L., & Marinozzi, G. (1985). An SEM corrosion cast study on pericyte localization and role in microcirculation of skeletal muscle. *Angiology*, 36(7), 458–464.

Gottlob, R., & May, R. (2012). *Venous valves: Morphology, function, radiology, surgery*. Springer Science & Business Media.

Hodde, K. C. (1981). *Cephalic vascular patterns in the rat* [Doctoral dissertation, Rapodi, Amsterdam].

Hossler, F. E. (1986). Anatomy of venous valves—studies on the duckling using corrosion casting, SEM, and stereology. *Anatomical Record*, 214(4), 454–455.

Hossler, F. E., & West, R. F. (1988). Venous valve anatomy and morphometry: Studies on the duckling using vascular corrosion casting. *American Journal of Anatomy*, 181(4), 425–432.

Kardon, R. H., Farley, D. B., Heidger, P. M., Jr., & van Orden, D. E. (1982). Intraarterial cushions of the rat uterine artery: A scanning electron microscope evaluation utilizing vascular casts. *Anatomical Record*, 203(1), 19–29.

Kotrschal, K., Lametschwandtner, A., & Adam, H. (1985). Fine structure and vascular supply of the median eminence (ME) in *Acipenser ruthenus* (Chondrostei). *Hirnforschung*, 26, 333–354.

- Krucker, T., Lang, A., & Meyer, E. P. (2006). New polyurethane-based material for vascular corrosion casting with improved physical and imaging characteristics. *Microscopy Research and Technique*, 69(2), 138–147.
- Lametschwandtner, A., & Staindl, O. (1990). Zur Angioarchitektur des Keloids. *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde*, 38, 202–207.
- Lametschwandtner, A., Lametschwandtner, U., & Weiger, T. (1990). Scanning electron microscopy of vascular corrosion casts—technique and applications: Updated review. *Scanning Microscopy*, 4(4), 889–940.
- Maros, T. (1981). Data regarding the typology and functional significance of the venous valves. *Morphologie et Embryologie*, 27(3), 195–214.
- Motti, E. D., Imhof, H. G., Garza, J. M., & Yasargil, G. M. (1987). Vasospastic phenomena on the luminal replica of rat brain vessels. *Scanning Microscopy*, 1(1), 207–222.
- Nanda, B. S., & Getty, R. (1972). Intimal cushions of the cerebral arteries and their changes with age in the dog and pig. *Anatomischer Anzeiger*, 132(1), 79–85.
- Nerem, R. M., Levesque, M. J., & Cornhill, F. (1981). Vascular casting: A technique for studying the influence of hemodynamic forces on arterial endothelium. *Biorheology*, 18, 162.
- Nerem, R. M., Levesque, M. J., & Cornhill, J. F. (1981). Vascular endothelial morphology as an indicator of the pattern of blood flow. *Journal of Biomechanical Engineering*, 103, 172–176.
- Ninomiya, H., Inomata, T., & Kanemaki, N. (2008). Microvascular architecture of the rabbit eye: A scanning

- electron microscopic study of vascular corrosion casts. *Journal of Veterinary Medical Science*, 70(9), 887–892.
- Pannarale, L., Gaudio, E., & Marinozzi, G. (1986). Microcorrosion casts in the microcirculation of skeletal muscle. *Scanning Electron Microscopy*, (3), 30.
- Rhodin, J. A. (1967). The ultrastructure of mammalian arterioles and precapillary sphincters. *Journal of Ultrastructure Research*, 18(1–2), 181–223.
- Schneider, F. A., Siska, I. R., & Avram, J. A. (2012). *Clinical physiology of the venous system* (Vol. 15). Springer Science & Business Media.
- Schraufnagel, D. E., & Patel, K. R. (1990). Sphincters in pulmonary veins: An anatomic study in rats. *American Review of Respiratory Disease*, 141, 721–726.
- Steeber, D. A., Erickson, C. M., Hodde, K. C., & Albrecht, R. M. (1987). Vascular changes in popliteal lymph nodes due to antigen challenge in normal and lethally irradiated mice. *Scanning Microscopy*, 1(2), 41.
- Takci, L., Kürtül, İ., & Yilmaz, S. (2021). Functional and microvascular anatomy of the ocular bulb in wild pig: A scanning electron microscopic study. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 45(3), 437–446.
- Walocha, J. A., & Miodoński, A. J. (2013). Corrosion casting technique. In H. Schatten (Ed.), *Scanning electron microscopy for the life sciences* (pp. 16–32). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Yamaguchi, K., & Schoefl, G. I. (1983). Blood vessels of the Peyer's patch in the mouse: I. Topographic studies. *Anatomical Record*, 206(4), 391–401.

VETERİNER ANATOMİSİNDE DALAK: YAPISAL VE FONKSİYONEL YAKLAŞIMLAR¹

Baran ERDEM²

1. GİRİŞ

Çalışmalar Dalak, memeli vücudunda kritik hematopoetik, immün ve dolaşımsal işlevler üstlenen hayati bir organdır. Mezoderm kökenli bir organ olarak embriyonik gelişimi, dorsal mezogastrium ile yakından ilişkilidir; mezenkimal hücreler, başlangıçta dalak taslağını oluşturur ve daha sonra lobüller, parankima ve bağ dokusu yapıları olarak farklılaşır. Dalak gelişimi, mide rotasyonu ve çevresindeki sindirim organları ile etkileşim içinde ilerler; bu durum, anatomik oluşum ile fonksiyonel olgunlaşma arasındaki karmaşık ilişkiyi yansıtır.

Embriyolojik öneminin ötesinde, dalak türler arasında boyut, şekil, anatomik konum ve histolojik organizasyon açısından önemli farklılıklar gösterir; bu farklılıklar, çeşitli fizyolojik ve metabolik gereksinimlere adaptasyonları ortaya koyar. Otçullarda dalak, immün gözetim işleviyle daha ön planda iken, etçiller ve yüksek performanslı türler (ör. atlar) için eritrosit depolama ve hızlı mobilizasyon işlevi önemlidir.

Klinik açıdan dalak, travmalara, enfeksiyonlara, neoplastik değişikliklere ve vasküler bozukluklara karşı

¹ Bu bölüm, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen yazarın “Keçi Dalağının Arteriyel Mikrovaskülarizasyonu” başlıklı doktora tezinden türetilmiştir (Proje No: 21.D.011).

² Arş. Gör. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veterinerlik Anatomisi Ana Bilim Dalı, s.baran.erdem@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3319-6586.

duyarlılığı nedeniyle önem taşır. Veteriner uygulamalarda doğru tanı, cerrahi müdahale ve tedavi yönetimi için dalak anatomisi, histolojisi, vaskülarizasyonu ve innervasyonunun detaylı şekilde anlaşılması gerekir.

Bu bölüm, evcil memelilerde dalak embriyolojisi, makroskobik ve mikroskobik anatomisi, damar ve lenf sistemi, sinirsel innervasyonu, fonksiyonel özellikleri ve klinik önemi üzerine kapsamlı bir değerlendirme sunmayı, ayrıca türler arası karşılaştırmalı ve güncel yaklaşımları ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. DALAĞIN ANATOMİSİ VE HİSTOLOJİSİ

Dalak, mezoderm kökenli bir organ olup embriyonik gelişimi sırasında mesogastrium dorsale'nin iki yaprağı arasında yer alan mezenkimal hücrelerin kümelenmesiyle şekillenmektedir. Bu hücrelerin oluşturduğu kitle başlangıçta küçük lobüller hâlinde dalak taslağını meydana getirir. Daha sonraki evrelerde bu lobüller birleşerek sol mezogastrium tabakasının altından dışa doğru uzanan tek bir kitleye dönüşür ve olgun dalak dokusunu oluşturur. Dalak kapsülü ile parankimasi mezenkimal hücrelerden köken alırken, periton örtüsü ise sölom (coelom) kökenli mezotel hücreleri tarafından meydana getirilir (Yıldız & Kalkan, 2022; Solmaz & Dursunoğlu, 2022).

Mezenkimal hücrelerin varlığı nedeniyle dalağın embriyolojik gelişimi sindirim sistemi organlarıyla birlikte değerlendirilmelidir. İntrauterin dönemin beşinci ve altıncı haftalarında mesogastrium dorsale genişleyerek omentum majus'u oluştururken, dalak taslağı bu mezenterik genişleme içinde kalır. Ancak dalak taslağı omentum'un aşağıya yönelimini takip etmez; mide rotasyonu ile sola yer değiştirir. Dalak gelişiminin tüm evresi regio hypochondriaca sinistra'da tamamlanır. İlk hematopoetik hücreler sıçanlarda gebeliğin 17.

gününde gözlenirken (Losco, 1992), farelerde dalak dokusu 12. günde, hematopoetik hücreler ise 17. günde ışık mikroskopunda ayırt edilebilir hâle gelir (Seymour, Sundberg, & HogenEsch, 2006). Köpeklerde lenfositler gebeliğin 52. gününde görülmeye başlar; kemirgenlerde ise beyaz pulpa doğumda ya hiç bulunmaz ya da çok az miktarda gelişmiştir (HoganEsch et al., 2001; Van Rees, Sminia, & Dijkstra, 1996).

İnsanda gestasyonun ikinci ayında lobüllü yapıdaki embriyonik dalak ve ona ait ilkel damar yapıları seçilebilir. Üçüncü aydan itibaren bu lobüller kaynaşarak dalak daha belirgin bir organ görünümüne kavuşur. Kaynaşma sürecinde bazı lobüller birleşmeyip bağımsız şekilde fonksiyonel gelişim gösterebilir; bu yapılar lien accessorius olarak tanımlanır. Dalağın üst sınırında görülen çentikler ile iç damar segmentasyonu, embriyonik lobüller organizasyonun izlerini yansıtmaktadır (Yıldız & Kalkan, 2022; Bergman, Heidger, & Scott-Conner, 2002; Endo et al., 2015; Chadburn, 2000; Jones, 1983). Dalak fonksiyonları ratlarda ergenlikle birlikte en yüksek seviyeye ulaşırken (Losco, 1992), köpeklerde bu süreç yaşamın ilk altı ayında tamamlanmaktadır (HoganEsch et al., 2001).

İntrauterin dönemin 8. haftasında gelişen damar halkaları, ilkel dalağın süngerimsi retiküler hücre ağı içinde ortaya çıkar. Dokuzuncu haftada bu damar halkaları, sinüslere açılan belirgin kanallar hâline dönüşür. Kırmızı ve beyaz pulpanın ayrışması ise 13. haftaya kadar uzanır (Bergman et al., 2002; Endo et al., 2015; Jones, 1983).

Dalak, dolaşım sisteminin bir parçası olarak, embriyonik dönemde eritrosit üretiminde görev alırken yetişkin bireylerde lenfosit üretimi, eritrosit yıkımı ve demir depolanması gibi işlevler üstlenir. Köpek, at, koyun, keçi ve kedi gibi türlerde kontraksiyon yoluyla eritrositçe zengin kanın dolaşıma katılmasını sağlayarak oksijen taşıma kapasitesini artırır. Ayrıca

septisemi ile seyreden hastalıklarda özgül antikor üretimi, paraziter ve bakteriyel ajanların tanınarak uzaklaştırılması gibi bağışıklık fonksiyonları da yerine getirir. Bu nedenle dalak, fonksiyonlarının yanında topografik ve didaktik gerekçelerle sindirim sistemi organları içinde incelenmektedir (Radostits et al., 2000; Nickel, Schummer, Seiferle, & Sack, 1979; Reece, Erickson, Goff, & Uemura, 2015).

2.1. Dalağın Makroskopik Anatomisi

Dalak, karın boşluğunun sol tarafında, diyaframın kaudalinde ve midenin büyük kurvatürünün dorsalinde yer alan, yassı ve genellikle oval biçimli bir organdır. Türler arasında şekil, büyüklük ve pozisyon bakımından farklılıklar görülse de genel topografik yerleşimi sindirim sistemiyle yakın ilişki içindedir (Nickel et al., 1979; Reece et al., 2015).

Dış yüzeyi periton ile örtülüdür ve bu örtü, organın bağ dokusundan oluşan kapsülü ile devamlılık gösterir. Kapsülden parankima içine uzanan trabeküller, damarların ve sinirlerin dalak dokusu içerisine girişine aracılık eder. Dalak hilusu, arteria lienalis ve vena lienalis'in giriş-çıkış yaptığı bölgede yer almakta olup, lenf damarları ve sinir lifleri de bu bölgede bulunur (Reece et al., 2015).

Dalak parankiması, pulpa rubra (kırmızı pulpa) ve pulpa alba (beyaz pulpa) olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Kırmızı pulpa, retiküler bağ dokusu ağı içerisinde yerleşmiş sinüzoidlerden meydana gelir ve eritrositlerin depolanması, yıkımı ile demir metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynar. Beyaz pulpa ise lenfoid folliküller ve periarterioler lenfoid kılıflardan oluşur; immün yanıtın başlatılmasında ve antikor üretiminde işlev görür (Eurell & Frappier, 2013; Dellmann & Brown, 1976).

Türlere göre makroskopik farklılıklar dikkate değerdir. Örneğin atlarda dalak, orak şeklinde olup karın boşluğunun sol

tarafında geniş bir alan kaplar; köpeklerde ise daha küçük, üçgenimsi formdadır ve mide ile yakın ilişki içindedir. Sığır ve küçük ruminantlarda dalak, yassı yapısıyla rumen ve sol karın duvarı arasında yer alır. Kedilerde ise daha uzamış, dar ve esnek bir yapıya sahiptir (Nickel et al., 1979; Hecksher-Sørensen et al., 2004).

Evcil memeli hayvanlarda dalak boyutları ve ağırlığı canlının yaşına, cinsiyetine, cüssesine ve ırkına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte genel ortalamaları Tablo 1’de özetlenmiştir (Nickel et al., 1979).

Tablo 1. Evcil memelilerde lien ağırlık ve boyutları

Tür	Uzunluk (cm)	Genişlik (cm)	Ağırlık (gr)
At	40-67	17-22	950-2023
Sığır	41-50	11-14,5	665-1155
Koyun	8,5-14	6-11	46-133
Keçi	9,4-12,4	6,5-7	70
Köpek	9,7-24	2,5-4,6	8-147
Kedi	11,4-18,5	1,4-3,1	5,5-32
Domuz	24-45	3,5-12,5	90-335

Dalağın büyüklüğü, tür farklılıklarının yanı sıra dolaşımdaki kan hacmine göre de değişiklik gösterebilir. Özellikle at, köpek ve kedilerde dalak kapsülünde yer alan düz kas lifleri sayesinde organ kontrakte olup eritrositçe zengin kanı dolaşıma verebilir. Bu durum, egzersiz sırasında oksijen taşıma kapasitesini artırarak hayati bir fizyolojik avantaj sağlar (Reece et al., 2015; Dyce, Sack, & Wensing, 2009).

2.2. Dalağın Mikroskopik Anatomisi

Dalak, bağışıklık ve dolaşım sistemi arasında bir ara organ görevi görerek hem hematolojik hem de immünolojik işlevleri yerine getirir. Mikroskopik olarak dalak; kapsül, trabeküller ve parankimadan oluşur (Cesta, 2006).

Kapsül, yoğun bağ dokusundan yapılmıştır ve içerisinde düz kas hücreleri ile elastik lifler barındırır. Türlerle göre

değişmekle birlikte, özellikle köpek, kedi ve atlarda kapsüldeki düz kas lifleri belirgin gelişim göstermiştir. Bu yapı sayesinde dalak, dolaşımdaki kan hacmini hızla değiştirebilir. Kapsülden parankimaya uzanan trabeküller, damarlar ve sinirlerin organ içine girmesine aracılık ederek destek görevi üstlenir (Eurell & Frappier, 2013; Dellmann & Brown, 1976).

Parankima, makroskopik olarak tanımlanan kırmızı ve beyaz pulpadan meydana gelir. Beyaz pulpa, immün yanıtların merkezi olup periarterioler lenfoid kılıf (PALS), lenfoid folliküller ve marginal zon bölgelerinden oluşur. PALS, T lenfositlerin yoğunlaştığı alan iken; folliküllerde B lenfositler baskındır. Marginal zon, antijenlerin tanınması ve immün yanıtın başlatılmasında kritik öneme sahiptir (Weiss, 1990; Cesta, 2006).

Kırmızı pulpa, retiküler bağ dokusu ağı içerisinde yerleşmiş sinüzoidlerden ve kordonlardan meydana gelir. Sinüzoidler, endotelial hücrelerle çevrili olup dalak dolaşım sisteminin özgün yapısını oluşturur. Kırmızı pulpa, yaşlanan eritrositlerin yıkımı, demirin geri kazanımı ve trombositlerin depolanmasında temel işlev görür. Ayrıca makrofajlar aracılığıyla fagositoz gerçekleştirilir (Cesta, 2006; Phillips, 2006).

Dalak dolaşımı iki farklı model ile açıklanır: kapalı dolaşım ve açık dolaşım. Kapalı dolaşımda arteriyoller doğrudan sinüzoidlere açılırken, açık dolaşımda kan sinüzoidlerin dışına çıkar ve retiküler ağ içinde serbestçe dolaştıktan sonra tekrar venöz sisteme geri döner. Çoğu memelide her iki dolaşım tipi birlikte bulunmakla birlikte, türler arasında baskın olan dolaşım modeli farklılık gösterebilir (Weiss, 1990; Somanathan, 2022).

Histolojik olarak dalağın yapısı, embriyonik gelişim sürecine ve tür farklılıklarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kemirgenlerde beyaz pulpa doğumdan sonra gelişim gösterirken, köpeklerde doğum öncesi dönemde belirginleşir. İnsanlarda ise

gestasyonun ikinci trimesterinde kırmızı ve beyaz pulpanın ayrımı tamamlanır (Seymour et al., 2006; Chadburn, 2000).

3. DALAĞIN FONKSİYONLARI

Dalak hem immünolojik hem de hematolojik süreçlerde görev alan çok yönlü bir organdır. İşlevleri, embriyonik ve postnatal döneme göre farklılık göstermektedir. Embriyonik dönemde dalak, geçici bir hematopoetik organ olarak görev yapar ve eritrosit üretiminde rol üstlenir. Postnatal dönemde ise hematopoetik fonksiyon azalırken, immün yanıt ve kan hücrelerinin yıkımı ön plana çıkar (Weiss, 1990; Cesta, 2006).

3.1. Hematolojik Fonksiyonlar

Dalak, yaşlanan ya da hasar gören eritrositlerin dolaşımdan uzaklaştırılmasını ve parçalanmasını sağlar. Bu süreçte hemoglobinden açığa çıkan demir, makrofajlar tarafından geri kazanılarak depo edilir ve daha sonra eritropoez için kullanılır. Ayrıca dalak, trombositlerin önemli bir depolama alanıdır; özellikle köpek, at ve kedilerde dolaşım ihtiyacına göre kontraksiyon ile trombositler ve eritrositler dolaşıma salınabilir (Reece et al., 2015; Eurell & Frappier, 2013).

3.2. İmmün Fonksiyonlar

Beyaz pulpa yapıları, hem özgül (adaptif) hem de özgül olmayan (doğal) bağışıklıkta merkezi rol oynar. T ve B lenfosit bölgelerinde antijenlerin tanınması, lenfosit aktivasyonu ve antikor üretimi gerçekleşir. Marginal zon, antijenlerin dolaşımdan yakalanarak immün hücrelere sunulduğu kritik bölgedir. Bu yönüyle dalak hem sistemik immün yanıtların başlatılmasında hem de patojenlerin elimine edilmesinde etkin bir organdır (Cesta, 2006; Tracy et al., 2011).

3.3. Kan Depolama ve Dolaşım Düzenlenmesi

Bazı türlerde ( zellikle at, köpek ve kedi) dalak, kapsül ve trabeküllerdeki düz kas lifleri sayesinde eritrositçe zengin kanı depolayabilir ve fizyolojik ihtiyaç halinde dolaşıma geri verebilir. Bu mekanizma, egzersiz sırasında oksijen taşıma kapasitesini artırarak organizmaya avantaj sağlar (Nickel et al., 1979; Dyce et al., 2009).

3.4. Filtrasyon ve Fagositoz

Dalak, kan dolaşımındaki yabancı partiküllerin, bakterilerin, parazitlerin ve hücresel artıkların uzaklaştırılmasında görev yapar. Kırmızı pulpa makrofajları, fagositoz yoluyla dolaşımdaki patojenleri temizler. Bu  zellik, sepsisemi ile seyreden hastalıklarda immün savunmanın ilk basamaklarından birini oluşturur (Radostits et al., 2000; Weiss, 1990).

4. DALAğIN TOPOGRAFİK ANATOMİSİ

Dalak, karın boşluğunun sol tarafında, diyaframın kaudalinde ve mide ile yakın komşuluk içinde yer alan bir organdır. Türler arasında şekil ve konum bakımından farklılıklar bulunmakla birlikte, genel olarak regio hypochondriaca sinistra'da lokalizedir. Dalağın topografisi, hem sindirim sistemi organlarının anatomik özelliklerine hem de türlerin beslenme fizyolojisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Nickel et al., 1979; Dyce et al., 2009).

Atlarda dalak, orak biçiminde olup oldukça büyük bir y zeeye sahiptir. Midenin büyük kurvatürü boyunca uzanarak sol karın duvarıyla temas eder. Dalağın kaudal ucu pelvis girişine kadar uzanabilir. Bu türde dalak, özellikle egzersiz sırasında kontrakte olarak eritrositçe zengin kanı dolaşıma verir ve oksijen

kapasitesini artırır (Nickel et al., 1979; Reece et al., 2015; Phillips, 2006).

Sığırlarda dalak, yassı ve ovaldır; rumen ile sol karın duvarı arasında yer alır. Hilus bölgesi kraniodorsal yönde konumlanmış olup organın büyük bir kısmı sol kostaların altında korunmuştur. Bu türde dalak, bağışıklık ve eritrosit yıkımı fonksiyonlarının yanı sıra mekanik koruma açısından da güvenli bir pozisyonadadır (Nickel et al., 1979).

Koyun ve keçilerde dalak, sığırlara benzer şekilde rumenin sol yüzünde yer almakla birlikte daha küçüktür ve genellikle dilatasyon kapasitesi sınırlıdır. Bu nedenle kan depolama işlevi diğer türlere kıyasla daha az belirgindir (Nickel et al., 1979; Reece et al., 2015).

Köpeklerde dalak, uzun ve dar bir yapı gösterir. Mide ile yakın komşulukta olup, organın şekli mide doluluğuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kapsülündeki belirgin düz kas lifleri sayesinde önemli miktarda eritrosit depolayarak dolaşıma katabilir (Reece et al., 2015; Eurell & Frappier, 2013).

Kedilerde dalak, köpeğe göre daha küçük ve esnek yapıdadır. Uzamış ve dar formu sayesinde abdominal boşluk içinde farklı pozisyonlar alabilir. Bu hareketlilik, organın palpasyonunu klinik muayenede daha kolay hâle getirir (Nickel et al., 1979).

Topografik açıdan dalağın komşulukları klinik açıdan önemlidir. Örneğin atlarda dalak ile sol böbrek arasında ligamentum lienorenale bulunur. Bu bağ, klinikte kolik vakalarında nefrosplenik kolon deplasmanı gibi patolojilerin oluşumuna zemin hazırlayabilir (Nickel et al., 1979; Reece et al., 2015).

5. DALAĞIN VASKÜLER ANATOMİSİ

Dalak, yoğun vaskülarizasyon gösteren bir organ olup, fonksiyonlarının büyük bölümü bu zengin damar ağı sayesinde gerçekleşir. Organın kanlanması başlıca arteria lienalis ve vena lienalis aracılığıyla sağlanır. Bu damarlar, hilus bölgesinden dalak kapsülünün içine girerek parankima boyunca dallanır (Nickel et al., 1979; Bahadır & Yıldız, 2020).

Arteria lienalis, genellikle truncus coeliacus'tan ayrılarak dalağa ulaşır. Hilusa girdikten sonra birçok segmental dala ayrılır ve bu dallar beyaz pulpa ile ilişkili arteriola centralis yapılarını oluşturur. Arteriyoller, beyaz pulpa içerisinden geçtikten sonra kırmızı pulpa sinüzoidlerine açılır. Bu dağılım, dalakta immün yanıt ve eritrosit filtrasyonunun aynı anda gerçekleşmesini sağlar (Nickel et al., 1979; Eurell & Frappier, 2013; Weiss, 1990).

Vena lienalis, kırmızı pulpa sinüzoidlerinden toplanan kanı taşıyarak hilusta birleşir ve genellikle vena portae'ye katılır. Bu sayede dalaktan gelen venöz kan doğrudan karaciğere yönlendirilir. Karaciğer, dalakta yıkılan eritrositlerden açığa çıkan demirin depolanması ve bilirubinin metabolize edilmesinde merkezi rol oynar (Nickel et al., 1979; Eurell & Frappier, 2013).

Dalak dolaşımının histolojik özellikleri dikkate alındığında, iki farklı modelden söz edilir:

Kapalı dolaşım modelinde, arteriyoller doğrudan sinüzoidlere açılır ve kan hücreleri kontrollü bir şekilde venöz sisteme aktarılır.

Açık dolaşım modelinde ise arteriyoller kanı doğrudan retiküler dokuya boşaltır; hücreler retiküler ağ içinde serbest dolaştıktan sonra sinüzoidlere geri döner. Çoğu memelide bu iki dolaşım modeli birlikte bulunur ve türler arasında baskınlık açısından farklılık gösterebilir (Cesta, 2006; Somanathan, 2022).

Dalak, vasküler yapısının zenginliği nedeniyle travmalarda kanama açısından yüksek risk taşır. Bu nedenle klinik uygulamalarda splenik rüptür, internal hemorajiye yol açarak yaşamı tehdit eden acil durumlara neden olabilir (Chadburn, 2000; Pernar & Tavakkoli, 2019).

6. DALAĞIN LENFATİKLERİ VE SİNİRLERİ

Dalak, bağışıklık sisteminin merkezi organlarından biri olduğundan hem lenfatik damarlar hem de otonom sinir lifleri ile yoğun bir şekilde ilişkilidir.

Dalakta afferent lenf damarları bulunmaz; bu özellik onu diğer lenf düğümlerinden ayırır. Lenf sıvısı, beyaz pulpa ve kırmızı pulpa içinde süzülerek yalnızca efferent lenf damarları aracılığıyla kapsül ve trabeküller boyunca organı terk eder. Bu damarlar hilus bölgesinde toplanarak bölgesel lenf düğümlerine (çoğunlukla pankreatik ve gastrik lenf düğümleri) drene olur (Nickel et al., 1979; Dursun, 2008). Bu anatomik özellik, dalağın dolaşımdaki antijenlerin doğrudan filtrasyonunda uzmanlaşmış bir organ olduğunu göstermektedir.

Dalak sinirsel olarak esasen plexus coeliacus kökenli sempatik liflerle innerve edilir. Bu lifler nervus splanchnicus aracılığıyla dalağa ulaşır. Sempatik sinir lifleri, özellikle kapsül ve trabeküllerde bulunan düz kas hücrelerini uyararak dalak kontraksiyonunu düzenler. Bu mekanizma, başta köpek ve at olmak üzere bazı türlerde eritrositlerin hızla dolaşıma verilmesine olanak tanır (Reece et al., 2015; Pernar & Tavakkoli, 2019).

Parasempatik innervasyon ise daha sınırlıdır ve esas olarak nervus vagus üzerinden sağlanır. Ancak dalağın fonksiyonel kontrolünde sempatik sistemin baskın olduğu kabul edilmektedir (Eurell & Frappier, 2013).

Dalak sinirlerinin immün yanıt üzerinde de dolaylı etkileri olduğu düşünülmektedir. Nöral uyarılar, özellikle beyaz pulpadaki lenfoid hücrelerin aktivitesini ve sitokin üretimini modüle ederek nöroimmünolojik etkileşimlere aracılık edebilir (Weiss, 1990; Cesta, 2006).

7. DALAĞIN TÜRLER ARASI KARŞILAŞTIRMALI ANATOMİSİ

Dalak, memeli türleri arasında morfoloji, büyüklük, konum ve fonksiyonel özellikler açısından belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, türlerin beslenme fizyolojisi, metabolik gereksinimleri ve dolaşım özellikleri ile yakından ilişkilidir (Nickel et al., 1979; Reece et al., 2015).

Atlarda dalak, orak şeklinde ve oldukça büyük bir organdır. Karın boşluğunun sol tarafında, diyaframın kaudalinde ve mide ile yakın komşulukta bulunur. Kapsül ve trabeküllerindeki yoğun düz kas lifleri sayesinde önemli miktarda eritrosit depolayabilir. Bu özellik, egzersiz sırasında dolaşıma ani eritrosit salınımı ile oksijen taşıma kapasitesini artırır ve atlara fizyolojik bir avantaj sağlar (Reece et al., 2015; Pernar & Tavakkoli, 2019).

Sığırlarda dalak, daha yassı ve ovaldır. Rumenin sol yüzü ile karın duvarı arasında yerleşmiştir. Kapsülündeki düz kas lifleri zayıf gelişmiştir, bu nedenle kan depolama kapasitesi sınırlıdır. Daha çok eritrositlerin parçalanması ve immün yanıt fonksiyonları ön plandadır (Nickel et al., 1979; Dyce et al., 2009).

Koyun ve keçilerde dalak, sığırlara benzer şekilde rumen ile sol karın duvarı arasında bulunur. Boyut olarak daha küçüktür ve kan depolama işlevi minimal düzeydedir. Ancak immünolojik işlevleri belirgin şekilde gelişmiştir (Nickel et al., 1979).

Köpeklerde dalak, uzun ve dar yapısıyla abdominal boşluğun sol tarafında yer alır. Mide doluluğuna bağlı olarak pozisyonu değişkenlik gösterebilir. Kapsül ve trabeküllerdeki kas lifleri iyi gelişmiştir, bu nedenle eritrosit depolama kapasitesi yüksektir. Egzersiz ve stres sırasında dalak kontrakte olarak eritrositleri dolaşıma verir (Reece et al., 2015; Eurell & Frappier, 2013).

Kedilerde dalak, köpeğe kıyasla daha küçük ve daha esnek bir yapıdadır. Karın boşluğunda farklı pozisyonlar alabilme özelliği, palpasyonda kolaylık sağlasa da kan depolama kapasitesi sınırlıdır. Daha çok immün fonksiyonlar ön plana çıkmaktadır (Nickel et al., 1979).

Domuzlarda dalak, dar ve uzun yapısıyla mide boyunca uzanır. Göreceli olarak iyi gelişmiş düz kas yapısı sayesinde kan depolama kapasitesi köpeklere benzer şekilde dikkate değerdir (Nickel et al., 1979; Dyce et al., 2009).

Genel olarak, etçil türlerde (köpek, kedi) dalak daha çok eritrosit depolama ve dolaşım düzenlenmesinde etkin rol oynarken; otçul türlerde (sığır, koyun, keçi) bu işlev daha sınırlıdır, immün fonksiyonlar daha belirgin hâle gelmiştir. Atlar ise yüksek performans gerektiren egzersiz koşullarına uyum sağlayacak şekilde, her iki fonksiyonun da güçlü olduğu en gelişmiş dalak yapısına sahiptir. Dalağın türler arasındaki karşılaştırması Tablo 2’de belirtilmektedir.

Tablo 2. Memeli Türlerinde Dalak: Morfolojik ve Fonksiyonel Karşılaştırma

Tür	Şekil / Boyut	Kapsül Yapısı	Kırmızı Pulpa Özelliği	Beyaz Pulpa / Lenfoid Yapı	Fonksiyonel Öne Çıkan Yönü
At	Orak biçimli, geniş	Kalın, düz kas lifleri belirgin	Yüksek eritrosit depolama kapasitesi	Belirgin lenfoid foliküller	Kan depolama ve eritrosit mobilizasyonu
Köpek	Uzun ve dar	Elastik ve kontrakte olabilir	Orta düzey eritrosit depolama	PALS ve foliküller iyi gelişmiş	Hem kan depolama hem immün yanıt
Kedi	Küçük ve esnek	İnce, esnek kapsül	Sınırlı eritrosit depolama	Lenfoid yapılar baskın	İmmün yanıt ön planda
Sığır / Koyun / Keçi	Yassı, sınırlı alan	Orta kalınlıkta	Düşük eritrosit depolama	Beyaz pulpa baskın	Bağışıklık ve patojen temizliği
Domuz	Uzun ve dar	Orta kalınlıkta	Orta-yüksek eritrosit depolama	Lenfoid foliküller mevcut	Eritrosit depolama ve immün fonksiyon dengesi

8. DALAĞIN KLİNİK ÖNEMİ VE PATOLOJİLERİ

Dalak hem hematolojik hem de immünolojik işlevleri nedeniyle klinik açıdan büyük öneme sahiptir. Farklı hayvan türlerinde dalak patolojileri, klinik semptomların çeşitliliği ve teşhis yöntemlerinin farklılıklarıyla veteriner hekimlikte sık karşılaşılan durumlar arasında yer almaktadır (Chotivanich et al., 2002; Pabst, 1993; Dijkstra & Veerman, 1990). Ayrıca organın fonksiyonlarındaki bozulmalar, immün yanıtın zayıflaması, eritrosit yıkımında artışa bağlı anemi ve trombositopeni gibi klinik tablolarla sonuçlanabilir. Splenektomi sonrası bireylerde enfeksiyonlara karşı duyarlılığın artması, organın immün fonksiyonlarının önemini açıkça göstermektedir (Chadburn, 2000; Reece et al., 2015).

Travmatik lezyonlar, özellikle karın boşluğunda meydana gelen darbeler sonucu dalakta yırtılma veya hematoma oluşumuna neden olabilir. Atlar ve köpekler gibi dalak kapsülü kas lifleri açısından zengin türlerde, travmaya bağlı kan kaybı ani ve ciddi olabilir. Bu durum akut anemi ve hipovolemik şok ile sonuçlanabilir (Reece et al., 2015).

Splenomegali, dalağın büyümesi ile karakterize bir durumdur ve çeşitli nedenlere bağlı gelişebilir. Konjestif splenomegali, dolaşım bozukluklarına (örneğin portal hipertansiyon) bağlı olarak; hiperplastik splenomegali ise enfeksiyöz ve immünolojik uyarılara bağlı olarak şekillenir. Neoplastik süreçler de (hemangiosarkom, lenfoma vb.) splenomegaliye yol açabilmektedir (Chotivanich et al., 2002; Tracy et al., 2011).

Dalak tümörleri, özellikle köpeklerde sık görülmektedir. Hemanjiyosarkom, en yaygın malign tümörlerden biridir ve genellikle dalak rüptürü ile akut hemorajik tablolar oluşturur. Benign tümörler arasında hemangiom ve fibrom da tanımlanmıştır (Debnath & Valerio, 2002).

Splenektomi (dalağın cerrahi olarak çıkarılması), travmatik yırtıklar, tümörler veya ağır splenomegali vakalarında başvuru bir tedavi yöntemidir. Splenektomi sonrası immün fonksiyonların azalması nedeniyle hayvanlar enfeksiyonlara karşı daha duyarlı hâle gelir. Bu nedenle operasyon sonrası immünolojik destek önemlidir (Reece et al., 2015; Tracy et al., 2011).

Enfeksiyöz hastalıklar, dalağın histolojik yapısını ve fonksiyonlarını etkileyebilir. Örneğin, babesiosis ve anaplasmosis gibi hemoparaziter enfeksiyonlarda dalak hiperplazisi ve makroskobik büyüme gözlenir. Bakteriyel enfeksiyonlar (örn. salmonellozis) ve viral hastalıklar da dalakta nekroz ve lenfoid dejenerasyon gibi lezyonlara yol

açabilmektedir (Pernar & Tavakkoli, 2019; Chotivanich et al., 2002; Tracy et al., 2011).

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dalak, memelilerde hem hematolojik hem de immünolojik işlevleri ile kritik bir organdır. Türler arası morfolojik ve fonksiyonel farklılıklar, hayvanların fizyolojik gereksinimleri ve yaşam tarzlarıyla yakından ilişkilidir. Atlarda dalak, yüksek performans gerektiren egzersiz koşullarına uyum sağlamak için hem kan depolama hem de immün yanıt kapasitesi açısından gelişmiştir. Etçil türlerde (köpek, kedi) eritrosit depolama işlevi ön plana çıkarken; otçul türlerde (sığır, koyun, keçi) immünolojik fonksiyonlar daha belirgin rol oynamaktadır.

Klinik açıdan dalak, travma, enfeksiyon, neoplazi ve splenomegali gibi patolojik durumlarla sık ilişkilendirilen bir organdır. Dalakla ilgili hastalıkların tanısı ve yönetimi, türler arası anatomik ve fizyolojik farklılıkların bilinmesini gerektirir. Bu bilgiler, veteriner hekimlik pratiğinde doğru tanı koyma ve etkin tedavi planlama açısından önem taşır.

Sonuç olarak, dalağın morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinin detaylı olarak anlaşılması hem temel anatomik bilgi hem de klinik uygulamalar açısından gereklidir. Türler arası karşılaştırmalı çalışmalar, dalak patolojilerinin daha iyi anlaşılmasını ve hayvan sağlığının korunmasını desteklemektedir.

KAYNAKÇA

- Bahadır, A., & Yıldız, H. (2020). Veteriner anatomi, hareket sistemi ve iç organlar (10. baskı, ss. 273–275). Ezgi Kitabevi.
- Bergman, R. A., Heidger, P. M., Jr., & Scott-Conner, C. E. (2002). The anatomy of the spleen. In *The complete spleen: Structure, function, and clinical disorders* (pp. 3–9).
- Cesta, M. F. (2006). Normal structure, function, and histology of the spleen. *Toxicologic Pathology*, 34(5), 455–465.
- Chadburn, A. (2000). The spleen: Anatomy and anatomical function. *Seminars in Hematology*, 37, 13–21.
- Chotivanich, K., Udomsangpetch, R., McGready, R., Proux, S., Newton, P., et al. (2002). Central role of the spleen in malaria parasite clearance. *Journal of Infectious Diseases*, 185(10), 1538–1541.
- Debnath, D., & Valerio, D. (2002). A traumatic rupture of the spleen in adults. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh*, 47(1), 437–445.
- Dellmann, H. D., & Brown, E. M. (1976). *Textbook of veterinary histology*. Lea & Febiger.
- Dijkstra, C. D., & Veerman, A. J. P. (1990). Normal anatomy, histology, ultrastructure, rat. In *Hemopoietic system* (pp. 185–193). Springer.
- Dursun, N. (2008). Veteriner anatomi II (12. baskı). Medisan.
- Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2009). *Textbook of veterinary anatomy* (4th ed.). Elsevier.

- Endo, A., Ueno, S., Yamada, S., Uwabe, C., & Takakuwa, T. (2015). Morphogenesis of the spleen during the human embryonic period. *Anatomical Record*, 298(5), 820–826.
- Eurell, J. A., & Frappier, B. L. (2013). *Dellmann's textbook of veterinary histology*. Wiley.
- Hecksher-Sørensen, J., Watson, R. P., Lettice, L. A., Serup, P., Eley, L., De Angelis, C., ... Hill, R. E. (2004). The splanchnic mesodermal plate directs spleen and pancreatic laterality, and is regulated by Bapx1/Nkx3.2. *Development*, 131(19), 4665–4675. <https://doi.org/10.1242/dev.01364>
- HoganEsch, H., Hahn, F. F., Mohr, U., Carlton, W. W., Dungworth, D. L., et al. (2001). The lymphoid organs: Anatomy, development, and age-related changes. In *Pathobiology of the aging dog* (1st ed., pp. 127–135). Iowa State University Press.
- Jones, J. F. (1983). Development of the spleen. *Lymphology*, 16(2), 83–89.
- Losco, P. (1992). Normal development, growth, and aging of the spleen. In *Pathology of the aging rat* (pp. 75–94).
- Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E., & Sack, W. O. (1979). The viscera of the domestic mammals (Vol. 2, pp. 255–278). Paul Parey.
- Pabst, R. (1993). Anatomische und physiologische Voraussetzungen zur Erhaltung der postoperativen Milzfunktion nach milzerhaltenden Eingriffen. *Visc Med*, 9(2), 19–22.
- Pernar, L. I., & Tavakkoli, A. (2019). Anatomy and physiology of the spleen. In *Shackelford's surgery of the alimentary tract* (2nd ed., pp. 1591–1597). Elsevier.

- Phillips, C. (2006). Equine anatomy and physiology. In V. Aspinall (Ed.), *The complete textbook of veterinary nursing* (pp. 133–144). Elsevier Saunders.
- Radostits, O. M., Gay, C. C., Blood, D. C., & Hinchliff, K. W. (2000). Diseases of the spleen, lymphadenopathy and thymic disease. In *Veterinary medicine: A textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses* (9th ed.). WB Saunders.
- Reece, W. O., Erickson, H. H., Goff, J. P., & Uemura, E. E. (2015). *Dukes' physiology of domestic animals*. Wiley.
- Seymour, R., Sundberg, J. P., & HogenEsch, H. (2006). Abnormal lymphoid organ development in immunodeficient mutant mice. *Veterinary Pathology*, 43.
- Solmaz, M., & Dursunoğlu, D. (2022). Sindirim sisteminin embriyolojik gelişimi. In *Sağlık & Bilim 2022: Genel Embriyoloji-1* (p. 111).
- Somanathan, A. (2022). The role of interventional radiology in splenic trauma. *International Journal of Clinical Medicine*, 13(11), 548–559.
- Tracy, E. T., Haas, K. M., Gentry, T., Danko, M., Roberts, J. L., et al. (2011). Partial splenectomy but not total splenectomy preserves immunoglobulin M memory B cells in mice. *Journal of Pediatric Surgery*, 46(9), 1706–1710.
- Van Rees, E. P., Sminia, T., & Dijkstra, C. D. (1996). Structure and development of the lymphoid organs. In *Pathobiology of the aging mouse* (Vol. 1, pp. 173–187).
- Weiss, L. (1990). The spleen in malaria: The role of barrier cells. *Immunology Letters*, 25(1–3), 165–172.

Yıldız, H. T., & Kalkan, K. T. (2022). Lenfoid organların embriyolojik gelişimi. In Sağlık & Bilim 2022: Genel Embriyoloji-1 (p. 137).

VETERİNER ANATOMİDE 3-BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİ

Remzi Orkun AKGÜN¹, Çağdaş OTO^{2,3,4,5,6}

1. GİRİŞ

Üç boyutlu (3B) baskı teknolojisi, plastik, metal, seramik, toz, sıvı ve hatta canlı hücreler gibi çeşitli malzemelerin katmanlar hâlinde biriktirilmesi veya birleştirilmesi yoluyla fiziksel nesnelerin üretilmesini sağlayan yenilikçi bir katkı imalatı yöntemidir (Ngo et al., 2018). Katkı imalatı (Additive Manufacturing; AM), hızlı prototipleme (Rapid Prototyping; RP) ve katı-serbest biçimli üretim (Solid Freeform Fabrication; SFF) gibi kavramlarla da ifade edilen bu teknoloji, modern üretim süreçlerinin önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Gross et al., 2014).

3B baskı teknolojisinin temelleri, stereolitografi yöntemini ilk kez 1980’li yılların başında tanımlayan Charles Hull tarafından atılmıştır. Hull’un fotopolimer tabanlı üretim üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda 1984 yılında stereolitografi patenti alınmış ve bu gelişme, katkı imalatı teknolojilerinin

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Temel Bilimler AD, roakgun@karatekin.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-6648-7059

² Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Anatomi AD, coto@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2727-3768

³ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Medikal Tasarım Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEDİTAM), Ankara Üniversitesi, coto@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2727-3768

⁴ Prof. Dr., Bütünleşik Teknolojiler Araştırma Merkezi (BÜTAM), Ankara Üniversitesi, coto@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2727-3768

⁵ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Girişimsel MR Klinik Ar-Ge Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, coto@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2727-3768

⁶ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, coto@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2727-3768

yaygınlaşmasında kritik bir dönüm noktası olmuştur (Hull, 1986). Bu tarihten günümüze 3B baskı sistemleri; cihaz maliyetleri, baskı hızları, yazılım–donanım işlevselliği ve malzeme çeşitliliği açısından önemli ölçüde ilerleme göstermiştir (Ventola, 2014; Ngo et al., 2018).

Başlangıçta yüksek maliyetli bir üretim yöntemi olarak değerlendirilen 3B baskı teknolojisi, günümüzde çok daha erişilebilir hâle gelmiş ve otomotiv, havacılık, uzay, inşaat, mimarlık, moda ve gıda gibi birçok farklı endüstriyel ve tasarım alanında yaygınlaşmıştır (Ngo et al., 2018). Sağlık alanında da 3B baskı, özellikle 2000’li yılların başından itibaren protez, implant ve hasta spesifik modellerin üretimiyle klinik uygulamalarda kendisine önemli bir yer edinmiştir (Ventola, 2014). İnce kesit görüntüleme yöntemlerinden (BT, MRI) elde edilen veriler ile 3B modellerin üretilebilmesi, bu teknolojinin tıpta kullanımını daha da artırmıştır (Rengier et al., 2010; Jones et al., 2016; Yılgör Huri & Oto, 2022).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, 3B baskının; kemik, kıkırdak, kulak, trakea, mandibula, oküler yapı, damar dokusu ve çeşitli organ modellerinin oluşturulmasında etkin bir şekilde kullanılabildiğini göstermektedir (Liaw & Guvendiren, 2017; Murphy & Atala, 2014). Ayrıca biyobaskı (bioprinting) tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde hücre kültürleri, kök hücreler ve doku mühendisliği uygulamalarında 3B baskı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Murphy & Atala, 2014).

3B baskı teknolojisi yalnızca klinik uygulamalarda değil, sağlık eğitimi alanında da önemli kazanımlar sağlamaktadır. Özellikle anatomik yapıların yüksek doğruluk oranıyla yeniden üretilebilmesi, kadavra temininin zor olduğu durumlarda alternatif bir öğretim materyali geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (McMenamin et al., 2014). Hem insan hem de veteriner anatomi eğitiminde 3B yazıcılarla üretilen modellerin

öğrenme sürecini olumlu yönde etkilediği ve eğitimde tekrarlanabilirliği artırdığı bildirilmektedir (AbouHashem et al., 2015). Bu nedenle 3B baskı teknolojisi, modern anatomi ve tıp eğitiminde giderek daha yaygın kullanılan, pedagojik açıdan değerli bir araç hâline gelmiştir.

2. SAĞLIK ALANINDA KULLANILAN 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ

Sağlık alanında 3B baskı teknolojilerinin kullanım alanı giderek genişlemekte olup, özellikle anatomik modelleme, preoperatif planlama, cerrahi rehber üretimi ve eğitim amaçlı uygulamalarda önemli avantajlar sunmaktadır (Ventola, 2014; Sun, 2018). Bu alanda en yaygın kullanılan katkı imalatı yöntemleri Fused Deposition Modelling (FDM), Stereolithography (SLA) ve Selective Laser Sintering (SLS) sistemleridir. Söz konusu teknolojiler; üretim prensipleri, kullanılan malzemeler, maliyet düzeyi ve elde edilen çıktı kalitesi açısından birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Ngo et al., 2018; Yılğör Huri & Oto, 2022).

2.1. Fused Deposition Modelling (FDM)

Fused Deposition Modelling (FDM), Scott Crump tarafından 1980'li yılların sonlarında geliştirilmiş ve 1990 yılında ticari bir teknoloji olarak tanıtılmıştır (Gross et al., 2014). Katkı imalatı alanında kullanılan en eski, ekonomik ve yaygın yöntemlerden biri olarak kabul edilen FDM, kullanım kolaylığı, düşük ekipman maliyeti ve geniş malzeme yelpazesi nedeniyle günümüzde önemli bir konuma sahiptir (Ngo et al., 2018). Sağlık alanında 3B tıbbi modellerin üretimi ilk kez 1999 yılında FDM teknolojisiyle gerçekleştirilmiş ve daha sonra cerrahi planlama, eğitim ve araştırma amaçlı geniş uygulama alanları bulmuştur (Rengier et al., 2010; Dawood et al., 2015).

FDM, malzeme ekstrüzyonuna dayalı bir üretim prensibiyle çalışır. Süreç, termoplastik bir filamentin kontrollü bir

şekilde ısıtılarak eritilmesi ve bir nozuldan katmanlar hâlinde dışarı verilmesi esasına dayanır. Eritilen malzemenin soğuyarak katılaşması sonucunda 3B model oluşturulur (Chia & Wu, 2015). Bu sürecin basit, güvenilir ve düşük maliyetli olması nedeniyle FDM hem hızlı prototipleme hem de büyük hacimli nesnelerin üretilmesi için yaygın olarak tercih edilmektedir (Gross et al., 2014).

FDM yazıcılarda yaygın olarak kullanılan filament türleri arasında Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Polilaktik Asit (PLA) ve glikol modifiye polietilen tereftalat (PET-G) yer almaktadır (Ngo et al., 2018). Ayrıca esneklik gerektiren uygulamalarda Termoplastik Poliüretan (TPU) gibi elastomerik malzemeler de tercih edilebilmektedir. Filamentler genellikle 1,75 mm ve 3 mm çaplarında üretilmekte olup hammadde fiyatları 20–100 dolar/kg arasında değişmektedir (Wilhite & Wölfel, 2019). Baskı sıcaklığı, katman yüksekliği, nozul çapı ve malzeme türü gibi parametreler, modelin mekanik özellikleri ve boyutsal doğruluğu üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Chia & Wu, 2015; Stojković et al., 2023).

Üretim sürecinde birçok model için destek yapılarının kullanımı gereklidir; ancak baskı yönünün uygun seçilmesi, destek ihtiyacını azaltarak hem zaman tasarrufu sağlar hem de malzeme tüketimini düşürür (Gross et al., 2014). FDM yazıcıların maliyet aralığı 100 dolardan başlayıp endüstriyel sistemlerde 20.000 dolara kadar çıkabilmektedir. Bu geniş erişilebilirlik aralığı FDM’yi hem eğitim amaçlı anatomik modellerin hazırlanmasında hem de hasta spesifik klinik planlamada ekonomik ve pratik bir çözüm hâline getirmektedir (Rengier et al., 2010; Wilhite & Wölfel, 2019).

2.2. Stereolithography (SLA)

Charles “Chuck” Hull tarafından geliştirilen Stereolithography (SLA), ticari anlamda kullanılan ilk hızlı

prototipleme teknolojisi olup katkı imalatı alanında önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Gross et al., 2014; Gibson et al., 2021). SLA, fotopolimerizasyon prensibine dayanmakta ve sıvı haldeki reçinenin lazer ışını ile selektif olarak sertleştirilmesi yoluyla 3B nesnelerin katman katman oluşturulmasını sağlamaktadır (Ngo et al., 2018). Üretim tamamlandıktan sonra, modelin mekanik dayanımını, boyutsal kararlılığını ve yüzey kalitesini artırmak amacıyla ultraviyole (UV) ışık altında ek kürleme işlemi uygulanmaktadır (Melchels et al., 2010; Tian et al., 2021).

SLA sürecinde baskı sırasında destek yapıların kullanımı zorunludur; çünkü nesne, baskı boyunca reçine tankı içerisinde ters konumlandırılmış bir baskı platformu üzerinde oluşturulmaktadır (Gibson et al., 2021). FDM teknolojisinden farklı olarak SLA, 25 mikrona kadar ulaşan yüksek çözünürlük değerleri ve pürüzsüz yüzey kalitesi sunar. Bu yönüyle SLA, katman çizgilerinin belirgin olduğu FDM çıktılarından daha yüksek yüzey bütünlüğü sağlar (Wilhite ve Wölfel, 2019). Bu avantajları nedeniyle SLA, özellikle detaylı yüzey topografisi gerektiren dental modeller, anatomik yapılar ve cerrahi kılavuz üretimi gibi yüksek doğruluk gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Rengier et al., 2010).

2.3. Selective Laser Sintering (SLS)

Carl Deckard ve Joseph Beaman tarafından 1980'li yılların ortalarında Texas Üniversitesi Austin Kampüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen Selective Laser Sintering (SLS), toz bazlı katkı imalatı tekniklerinin öncülerinden biri olup 3B model üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Gross et al., 2014). SLS, toz halindeki hammaddenin lazer veya elektron ışını gibi yüksek enerji kaynakları tarafından seçici olarak ısıtılarak eritilmesi veya sinterlenmesi prensibine dayanmakta ve malzeme partiküllerinin katmanlar hâlinde

birleştirilmesiyle 3B yapıların oluşturulmasını sağlamaktadır (Dawood et al., 2015; Gibson et al., 2021).

SLS teknolojisinin en önemli avantajlarından biri, geniş malzeme yelpazeşiyle uyumlu olmasıdır. Polikarbonat (PC), polivinil klorür (PVC), ABS, naylon, reçine ve polyester gibi polimerlerin yanı sıra metal ve seramik tozları da bu yöntemle işlenebilmektedir (Ngo et al., 2018; Pillai et al., 2021). Ayrıca SLS sürecinde bağlayıcı bir sıvı malzemeye gereksinim duyulmaması, yöntemin hem esnekliğini hem de ekonomik uygulanabilirliğini artırmaktadır. Bu teknik; yüksek geometrik doğruluk, karmaşık yapıların üretilebilirliği ve üstün mekanik özellikler sunması nedeniyle mühendislik, tıp, havacılık ve otomotiv gibi birçok disiplinde tercih edilmektedir (Fina et al., 2017; Matuš et al., 2023).

SLS yönteminde üretim sırasında toz yatağı doğal bir destek görevi gördüğünden, ek destek yapılarına ihtiyaç duyulmaması önemli bir avantajdır (Gross et al., 2014; Gibson et al., 2021). Bununla birlikte, tüm katkı imalatı tekniklerinde olduğu gibi, bir uygulama için uygun baskı yönteminin seçimi; kullanılacak malzeme türü, hedeflenen mekanik dayanım, üretim maliyeti ve nihai ürünün fonksiyonel gereksinimleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Guo & Leu, 2013).

Medikal alanda en çok kullanılan FDM, SLA ve SLS teknolojilerinin bazı avantaj ve dezavantajları tabloda ifade edilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. 3B yazıcı teknolojilerinin bazı avantaj ve dezavantajları (Dawood et al., 2015; Khorsandi et al., 2021; Pillai et al., 2021)

3B Baskı Teknolojisi	Avantajları	Dezavantajları
-------------------------	-------------	----------------

SLA	• Parça başına yüksek maliyet • Karmaşık ve zahmetli son işlem gerektirmesi • Biyotehlike oluşturabilen reçine materyallerinin kullanılması • Yüksek güçlü lazer gerektirmesi • Yalnızca ışıkla kürlenebilen sıvı polimerlerle çalışabilmesi • Destek malzemesi kullanımının zorunlu olması
SLS	• Parça başına düşük maliyet • Fonksiyonel prototipleme için üstün mekanik özellikler • Geniş malzeme çeşitliliği • Destek malzemesi gerektirmemesi • Malzemelerin toz formunda olması zorunluluğu • Büyük parçalar için uygun olmaması • Üretim sırasında zararlı gazların açığa çıkması • Malzeme israfının görece yüksek olması

FDM	• Düşük maliyetli teknoloji • Karmaşık yapıların üretimine uygunluk • Geniş malzeme yelpazesi • Toksik olmayan malzemelerle çalışma imkânı	• Düşük ürün çözünürlüğü ve doğruluğu • Katmanlar arasında çizgi görünümünün oluşması • Ürünlerin ek yüzey düzeltme işlemi gerektirmesi • Destek malzemesi kullanım gereksinimi
------------	---	--

3. 3 BOYUTLU BASKI SÜRECİ

3B baskı süreçlerinde üretilecek modele ilişkin 3B dijital verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler çeşitli yöntemlerle elde edilebilmektedir. En temel yöntemlerden biri, çevrimiçi veri kaynaklarından BT veya MRI veri setlerinin yahut hazır 3B modellerin indirilmesidir. 3B veriye ulaşmanın bir diğer yolu, optik veya lazer tabanlı 3B tarayıcıların kullanılmasıdır. Bu tarayıcılar yalnızca yüzey topografisine ilişkin veri sağlayabilmekte, bu nedenle iç anatomik detayların modellenmesi için yeterli olmamaktadır. İç yapıya ilişkin yüksek doğruluk gerektiren modeller için BT veya MRI gibi tıbbi görüntüleme yöntemlerinden elde edilen ham verilerin işlenmesi gerekir (Wilhite & Wölfel, 2019; Yılgör Huri & Oto, 2022). Özellikle küçük anatomik örneklerde mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) gibi sistemler yüksek çözünürlükleri nedeniyle tercih edilmektedir (Metscher, 2009; Akgün et al., 2021).

Tıbbi görüntüleme verilerinin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan yazılımlar arasında Pixmeo's OsiriX (<https://www.osirix-viewer.com>), 3D Slicer

(<http://www.slicer.org>) ve Materialise's Mimics (<https://www.materialise.com/en/healthcare/mimics/mimics-viewer>) bulunmaktadır (Rosset et al., 2004; Fedorov et al., 2012; Wilhite & Wölfel, 2019). Kullanılan yazılım programı değişse de 3B modelleme süreci genel olarak benzer aşamalar içerir. İlk olarak ham 2 boyutlu (2B) kesit görüntüleri DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında yazılıma aktarılır. Ardından ilgili doku veya yapının otomatik veya manuel segmentasyonu yapılır. Segmentasyon sonucunda elde edilen 3B maskeler kullanılarak yazılım tarafından 3B dijital modeller oluşturulur. Son aşamada model yüzey ağını tanımlayan STL (Surface Tessellation Language) formatında dışa aktarılır. 3B baskı öncesi son adım, STL modelinin dijital dilimleme yazılımlarında işlenmesidir. Bu yazılımlar aracılığıyla duvar kalınlığı, dolgu yoğunluğu, katman yüksekliği gibi baskı parametreleri belirlenir ve gerek duyulursa destek yapıları eklenir. Baskıya hazır hâle getirilen model, G-code formatına dönüştürülerek hafıza kartı veya USB aracılığıyla yazıcıya aktarılır ve üretim süreci başlatılır (Rengier et al., 2010; Wilhite & Wölfel, 2019; Yılıgör Huri & Oto, 2022).

4. VETERİNER ANATOMİ ALANINDA 3B BASKI TEKNOLOJİSİNİN YERİ

Anatomi eğitimi, sağlık bilimleri alanındaki birçok disiplin için temel bir bileşen olup veteriner hekimliği öğrencileri açısından da kritik bir öneme sahiptir. Veteriner anatomi dersleri; morfolojik yapıların tanımlanması, organ sistemleri arasındaki mekânsal ilişkilerin kavranması ve fizyolojik süreçlerin anlaşılması için kapsamlı bir temel sunar. Bu yönüyle anatomi, tanımlayıcı niteliği baskın, fakat aynı zamanda yoğun pratik uygulama gerektiren bir disiplindir. Anatomik bilgi, öğrencilerin büyük hayvan fizyolojisini ve patolojisini anlamalarına, klinik karar verme ve problem çözme becerilerinin gelişmesine doğrudan katkı sağlar. Geleneksel veteriner anatomi eğitiminde

kadavra kullanımı, diseksiyon uygulamaları ve canlı hayvan örnekleri uzun yıllar boyunca merkezi bir rol üstlenmiştir (Li et al., 2018). Diseksiyonun doğrudan dokunsal deneyim sunması, yapıların 3B ilişkilerini doğal hâliyle göstermesi ve cerrahi becerileri desteklemesi nedeniyle altın standart olarak kabul edildiği bildirilmektedir (Sugand et al., 2010). Bununla birlikte, formaldehit ve fenol gibi kimyasalların kullanıldığı kadavra koruma süreçlerinin kanserojen etkileri hem çevresel hem de sağlık açısından önemli riskler oluşturmaktadır (IARC, 2012; McMenamin et al., 2014). Ayrıca kadavra temini, saklanması ve bertarafına ilişkin etik, mali ve lojistik güçlükler birçok eğitim kurumunu alternatif öğretim materyallerine yöneltmektedir (Schirone et al., 2025). Son yıllarda biyolojik örnek kullanımındaki azalmanın da etkisiyle, daha sürdürülebilir öğretim stratejileri öne çıkmıştır. Özellikle 2B görseller ve yazılı materyaller birçok kurumda temel kaynak hâline gelmiş olsa da bu yöntemlerin bilişsel yükü artırabildiği ve özellikle mekânsal algı becerisi düşük öğrencilerde öğrenme performansını olumsuz etkileyebildiği rapor edilmiştir (Nicholson et al., 2006). Bu nedenle eğitimciler plastinasyon, sanal anatomi, 3B görüntüleme ve vücut boyama gibi alternatif yöntemlere yönelmiştir. Plastinasyon, kokusuz ve dayanıklı örnekler sağlaması açısından avantajlı olmakla birlikte yüksek maliyet, uzun işlem süresi ve teknik zorluklar nedeniyle geniş uygulama alanı bulmakta güçlük yaşamaktadır (Li et al., 2018). Bu gelişmeler ışığında, eğitim, araştırma ve klinik uygulamalar dâhil olmak üzere pek çok biyomedikal alanda hızla yaygınlaşan 3B baskı teknolojileri dikkat çekmektedir. 3B baskı, bilgisayar ortamında oluşturulan dijital modelleri hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukla fiziksel nesnelere dönüştüren yenilikçi bir üretim yöntemidir. Anatomik eğitimde 3B baskı ile üretilen modellerin ulaşılabilir, düşük maliyetli ve yüksek doğrulukta olması, bu teknolojiyi özellikle veteriner anatomi eğitiminde değerli bir araç hâline getirmiştir (McMenamin et al., 2014). Ayrıca, materyal erişiminin kısıtlı

olduğu durumlarda veya öğrencilerin zorlandığı spesifik konularda öğretim üyelerinin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş anatomik modeller üretilebilmesi, yöntemin uygulanabilirliğini artırmaktadır (Keenan & Ben Awadh, 2019). Üretim öncesi dijital modeller üzerinde ölçeklendirme, modifikasyon ve sadeleştirme yapılabilmesi, teknolojinin en önemli avantajları arasındadır. Bu sayede küçük anatomik yapıların büyütülmesi, büyük organların ise taşınabilir hâle getirilmesi mümkün olmakta; bu durum hem lojistik zorlukların azaltılmasını hem de karmaşık yapıların mekânsal algısının iyileştirilmesini sağlamaktadır (Manzano et al., 2015; Azer & Azer, 2016). Aynı zamanda 3B baskı, gerçek biyolojik dokulara erişimde karşılaşılan etik sorunları azaltarak daha sürdürülebilir bir eğitim yaklaşımı sunmaktadır (AbouHashem et al., 2015; Keenan & Ben Awadh, 2019).

4.1. Veteriner Anatomi Eğitim ve Araştırmalarında 3B Baskı Teknolojisi

Veterinerlik alanında 3B baskı araştırmacılara her geçen gün daha fazla fırsat sunmakta ve anatomi eğitimlerinde farklı 3B baskı tekniklerinin kullanılmasına yönelik birçok araştırma mevcuttur (Wilhite & Wölfel, 2019).

Preece et al. (2013), 3B baskı modellerinin öğrencilerin at ayağının karmaşık anatomisine yönelik görsel-uzamsal farkındalığını anlamlı ölçüde artırabileceğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar, fiziksel 3B modellerle çalışan öğrencilerin, yalnızca anatomi ders kitapları veya bilgisayar tabanlı 3B modeller kullanan öğrencilere kıyasla, edindikleri anatomik bilgileri uygulamada daha üstün performans sergileyeceği hipotezini test etmiştir. Çalışmada, at ayaklarına ait MRI görüntülerinden kemikler, toynak kıkırdakları, tendonlar, bağlar, dijital yastık ve toynak kapsülü gibi yapılar manuel segmentasyon yoluyla modellenmiş; 3B baskıda kemik doku için sert, bağ ve tendon yapıları için ise esnek malzemeler kullanılmıştır. Elde

edilen bulgular, 3B baskı modellerinin at ayağının karmaşık anatomik yapısının öğretilmesinde önemli avantajlar sağladığını göstermiştir. Benzer şekilde Bakıcı et al. (2021), atların parmak iskeletine yönelik 3B baskı modeller geliştirmiştir. Çalışmada, parmak bölgesine ait BT görüntülerinden segmentasyon ile kemik yapılar modellenmiş; üretim sürecinde ise FDM baskı teknolojisi ve polimer malzeme olarak PLA tercih edilmiştir. Araştırmacılar, 3B dijital modelleme ve 3B baskı teknolojilerinin anatomi eğitimine kolaylıkla entegre edilebileceğini belirtmiş, ayrıca düşük maliyetli üretim sayesinde eğitim kurumlarındaki materyal eksikliklerinin giderilebileceğini ifade etmişlerdir.

Bejdic et al. (2021), sinir dokusuna ait organların 3B baskı süreci ve maliyet analizine odaklandıkları çalışmalarında kedi, koyun ve sığır beyinlerinin 3B baskı modellerini üretmişlerdir. Sığır beynine ait 3B dijital model el tarayıcısı ile elde edilirken, kedi ve koyun beyni modelleri çevrimiçi açık erişimli kaynaklardan temin edilmiştir. Üretim sürecinde FDM teknolojisi kullanılmış ve esnek polimer yapısına sahip TPU filament tercih edilmiştir. Araştırmacılar, personel giderleri de dahil olmak üzere toplam üretim maliyetlerini değerlendirmiş ve 3B baskı teknolojilerinin anatomik model üretiminde genel olarak ekonomik bir seçenek sunduğunu, ancak nihai maliyet değerlendirmesinde işçilik gibi ek faktörlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bakıcı et al. (2019), at, sığır, köpek, kedi ve domuzda ait dil kemiklerinin 3B baskı modellerini geliştirmiştir. Segmentasyon işlemleri, söz konusu türlere ait BT görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 3B yeniden yapılandırma için ücretsiz erişilebilen 3D Slicer yazılımı tercih edilmiştir. FDM yazıcılar ve PLA filament kullanılarak üretilen modellerin baskı süreleri küçük boyutlu yapılar için 10–30 dakika, büyük yapılar için ise 2–3,5 saat arasında değişmiştir. Baskı maliyetlerinin 0,1–1 Euro aralığında olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, elde edilen

modellerin orijinal dil kemiklerine kıyasla daha dayanıklı olduğunu, ancak eklem bölgelerinin detaylı şekilde ayırt edilemediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca 3B baskı teknolojisinin, veteriner anatomi uygulamalarında kırılğan ve temini güç dil kemiklerinin hızlı biçimde replike edilmesine önemli katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Güvener & Oto (2024), at, sığır ve domuz türlerine ait 3B baskı kafatası modelleri üretmişlerdir. Çalışmada organik kafataslarına ait BT görüntülerinin segmentasyonu 3D Slicer yazılımı ile yapılmış ve elde edilen 3B modeller PLA filament kullanılarak FDM yöntemiyle basılmıştır. Araştırmacılar, baskı modellerinin yüksek anatomik doğruluğa sahip olduğunu belirtmekle birlikte, tarama ve baskı kalitesine bağlı olarak kemikler arası suture çizgileri ile 2 mm'den küçük bazı deliklerin modellenmesinde sınırlılıklar bulunduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, 3B baskı kafataslarının organik örneklerle kıyasla oldukça hafif olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen modellerin veteriner anatomi eğitiminde etkili şekilde kullanılabileceği, ayrıca baskı teknolojilerinin gelişmesiyle daha ayrıntılı anatomik yapıların üretilebileceği bildirilmiştir.

Wilhite & Wölfel (2019), çalışmalarında farklı 3B baskı teknolojilerinin veteriner anatomi eğitiminde kullanımını örneklerle açıklamışlardır. Araştırmada, atlarda hiyoid aparat ve guttural keselere ait 3B baskı modelleri üretilmiştir. 3B verilerin elde edilmesinde, at kafası ve proksimal boyun bölgesine ait BT görüntüleri kullanılarak Mimics (Materialise) programında segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Modellerin üretiminde PETG filament ile FDM yazıcı kullanılmıştır. Üretilen modellerin veteriner birinci sınıf öğrencilerinin eğitiminde kullanıldığı ve özellikle guttural keselerin boyut ve şekillerini anlamada öğrencilere önemli katkı sağladığı belirtilmiştir. Buna ek olarak, araştırmada fleksör manikalı köpek metakarpal ve parmak kemiklerine ait bir 3B baskı modelinin üretimi de anlatılmıştır.

Metakarpal, sesamoid ve parmak kemiklerinin yanı sıra derin ve yüzeysel fleksör tendonları içeren bu model, SLA (Form2, Formlabs) yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen modelin, veteriner birinci sınıf öğrencilerinin derin ve yüzeysel fleksör tendonların fleksör manika seviyesindeki ilişkilerini anlamalarında oldukça olumlu bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Li et al. (2018), sığırların femur, 5. kaburga (costa) ve 6. boyun omuruna (cervical vertebra) ait 3B baskı modelleri üretmişlerdir. 3B dijital veriler, organik kemik materyallerinin 3B ışık tarayıcı ile taranmasıyla elde edilmiştir. Baskı işlemi için FDM teknolojisi ve PLA filament tercih edilmiştir. Çalışmada, 3B baskı kemik modeller ile organik kemiklerin anatomik özellikleri karşılaştırılmış, besleyici delikler (foramen nutricium) dışında, 3B baskı modellerin organik kemiklerdeki anatomik özellikleri büyük ölçüde yansıttığı belirtilmiştir. Ayrıca, öğrencilere uygulanan anket sonuçlarına göre, 3B baskı kemik modellerin veteriner anatomi eğitiminde organik kemiklere alternatif bir eğitim materyali olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Rocha-Martínez et al. (2023), yaban hayvanlarına ait 3B baskı kafataslarının veteriner anatomi eğitimlerindeki etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmada, 3B baskı kafataslarını eğitim materyali olarak kullanan öğrencilerin, kullanmayanlara kıyasla daha yüksek akademik performans sergiledikleri belirlenmiş ve bu modellerin veteriner öğrencileri için umut vadeden bir eğitim aracı olabileceği vurgulanmıştır.

Di Donato et al. (2021), FDM teknolojisi kullanarak sığır, köpek, at ve domuzlara ait 3B baskı dil modelleri üretmişlerdir. 3B dijital veriler, organların 3B tarayıcı ile taranmasıyla elde edilmiştir. Baskı için termoplastik malzeme olarak ABS tercih edilmiş ve her bir dil modeli için baskı süresinin yaklaşık 4 saat

40 dakika olduğu belirtilmiştir. Araştırmada, organlara ait anatomik yapıların 3B baskı modellerde kolaylıkla tanımlanabildiği bildirilmiştir.

Hackmann et al. (2019), köpek midesi örneklerini 3B olarak dijitalleştirmiş ve fiziksel modellerini 3B yazıcılar ile üretmişlerdir. Elde edilen modellerdeki anatomik özellikler, orijinal organlarla karşılaştırıldığında kolaylıkla tanımlanabilir nitelikte bulunmuştur. Bu bulgular, köpek midесinin 3B dijitalleştirilmesi ve basılması, organın temel anatomik özelliklerini doğru şekilde yansıtan eğitim materyalleri sağlayarak veteriner anatomi öğretimine anlamlı ve güçlü bir katkı sunduğunu göstermektedir.

Massari et al. (2021), hacimsel rekonstrüksiyon için BT görüntülerinden yararlanarak, geleneksel osteotekniğe tamamlayıcı nitelikte brachycephalic ve dolichocephalic köpek başlarına ait 3B baskı modellerin oluşturulmasını amaçlamışlardır. Üretilen modellerde diş yapılarında bazı kusurlar tespit edilmesine rağmen, yüksek kaliteli 3B baskı kemik replikalarının veteriner hekimliği eğitimine değerli bir tamamlayıcı didaktik materyal sunduğu belirtilmiştir.

Torres et al. (2024), 3B modelleme ve baskı teknolojilerini kullanarak koyun midесine ait anatomik modeller geliştirmiş ve bu modellerin eğitim amaçlı kullanım potansiyelini ortaya koymuşlardır. Çalışmada retilen 3B yapılar, organın hem diş hem de i morfolojik özelliklerinin ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak tanımiş, böylece geleneksel kadavra temelli ğretim yöntemlerine önemli bir tamamlayıcı materyal sunmuştur. Literatürde bildirildiği üzere, gerçek organ örnekleriyle birlikte kullanıldığında bu tür sentetik modeller, öğrencilere çok boyutlu bir öğrenme deneyimi kazandırmakta ve anatomik yapıların mekânsal ilişkilerinin daha iyi kavranmasını sağlamaktadır. Ayrıca, Torres et al.'nın alışması 3B baskı

teknolojilerinin düşük maliyetli, hızlı üretilebilir ve farklı ölçeklerde çoğaltılabilir olması nedeniyle veteriner anatomi eğitiminde önemli bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir.

Ekim et al. (2024), köpek beyin ventriküler sisteminin 3B baskı modeller aracılığıyla görselleştirilmesinin, veteriner nöroanatomi ve nöroloji eğitimindeki potansiyel katkılarını değerlendirmiştir. Çalışmada ayrıca, bu modellerin oluşturulma süreci ayrıntılı biçimde sunulmuş; 3 Tesla MR görüntülerinden başlayan dijital rekonstrüksiyonun, FDM tabanlı 3B baskı ile fiziksel bir modele dönüştürülmesine kadar tüm aşamalar özetlenmiştir. Araştırmada dört mezosefalik köpeğe ait MR görüntüleri kullanılmış ve ventriküler sistemin 3B rekonstrüksiyonu yarı otomatik segmentasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dijital modeller daha sonra bir FDM yazıcıda somut 3B baskı modellere dönüştürülmüştür. Literatürde bildirilen bulgulara göre üretilen modellerin kolay işlenebilir, tekrarlanabilir, uygun maliyetli ve uzun süre saklanabilir nitelikte olduğu ifade edilmektedir. Eğitimsel açıdan değerlendirildiğinde, öğrencilere uygulanan geri bildirim anketleri, 3B baskı model kullanımının ventriküler sistemin mekânsal organizasyonunun anlaşılmasını belirgin şekilde kolaylaştırdığını; dolayısıyla nöroanatomi öğreniminde önemli bir pedagojik araç olarak görüldüğünü göstermiştir.

Da Silveira et al. (2021), veteriner anatomi eğitiminde 3B baskı teknolojisinin kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla köpek kafataslarının 3B tarama ve baskı süreçlerini standardize etmiş ve bu modellerin öğretim etkinliğini incelemiştir. Çalışmada, seçilen köpek kafataslarında ABS malzemesi kullanılarak FDM yöntemiyle 3B baskı anatomik modeller oluşturulmuştur. Literatürde aktarıldığı üzere, 3B baskı ile üretilen kafataslarının anatomik doğruluğunun gerçek kafataslarına büyük ölçüde benzer olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, gerçek materyal ile 3B basılı modeller üzerinde test edilen

öğrencilerin başarı puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bulgu, 3B baskılı anatomik modellerin öğretim açısından gerçek kadavra materyallerine etkili bir alternatif oluşturabileceğini desteklemektedir. Çalışma aynı zamanda, farklı köpek türlerine ait kafataslarının karşılaştırmalı anatomisi için dinamik ve dijital olarak arşivlenebilir bir 3B model koleksiyonu oluşturulmasına olanak tanımıştır. Da Silveira et al. (2021)'in çalışması, dijitalleştirilmiş ve 3B basılmış kafataslarının veteriner anatomi eğitiminde güvenilir, tekrarlanabilir ve erişilebilir bir eğitim materyali olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Schoenfeld-Tacher et al. (2017), veteriner nöroanatomi eğitiminde plastine edilmiş veya formalinle fikse edilmiş beyin örneklerine alternatif olarak 3B baskı modellerinin kullanım potansiyelini değerlendirmiştir. Araştırmada kullanılan modeller, bir köpek beyninin mikro-manyetik rezonans görüntülemesine (mikro-MRG) dayalı olarak üretilmiş ve dayanıklılık, düşük uzun dönem maliyeti ve hayvan kullanımının azaltılması gibi çeşitli pratik avantajlar sunmuştur. Bu yönleriyle 3B baskı teknolojisinin eğitim ortamındaki sürdürülebilirliğine dikkat çekilmiştir. Genel olarak çalışmanın sonuçları, 3B baskı ile elde edilen köpek beyin modellerinin veteriner nöroanatomi eğitiminde plastine edilmiş örneklerle uygulanabilir ve pedagojik açıdan etkili bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, 3B baskı teknolojisinin etik, ekonomik ve pratik avantajları dikkate alındığında, eğitim materyali çeşitliliğinin artırılmasında önemli bir katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Neves et al. (2020), köpeklerde epidural anestezi öğretimine yönelik 3B bir anatomik modelin geliştirilmesini ve bu modelin, canlı hayvanlar üzerinde uygulamaya geçilmeden önce eğitim sürecindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada geliştirilen 3B model, öğrencilerin

lumbosakral bölgenin temel anatomik yapılarını daha kolay tanımlamasını sağlamayı hedeflemiştir. Model, öğrencilerin anatomik belirteçleri doğru lokalize edebilmesini kolaylaştırmış ve dolayısıyla epidural girişim sırasında hata payını azaltmıştır. Bu durum, 3B modellerin klinik beceri kazandırma sürecinde özellikle başlangıç seviyesindeki öğrenciler için önemli bir tamamlayıcı eğitim aracı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Larguier et al. (2019), 3B yazıcılarla üretilen anatomik modellerin doğruluk düzeyini değerlendirmek amacıyla, FDM teknolojisi ile basılan pelvik modellerden elde edilen ölçümleri BT görüntülerinden elde edilen verilerle karşılaştırmıştır. Çalışmada, 10 köpeğe ait pelvik BT görüntüleri kullanılarak anatomik özellikleri koruyan 3B modeller üretilmiş hem BT verileri hem de basılı modeller üzerinde dört farklı pelvik segment ölçülmüştür. Üç bağımsız gözlemci tarafından iki tekrarlı şekilde gerçekleştirilen ölçümler, küçük varyasyonlar dışında 3B basılı modellerin BT verilerini yüksek doğrulukla yansıttığını göstermiştir. Bu bulgular, 3B baskı teknolojisinin anatomik yapıların fiziksel olarak yeniden oluşturulmasında güvenilir bir yöntem olduğunu ve veteriner anatomi, eğitim, preoperatif planlama ve araştırma uygulamalarında kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Mendaza-Deca & Rojo (2021), yüzey ve topografik anatominin öğrenilmesini desteklemek amacıyla koyun midesinin 3B baskı modelinin FDM yöntemiyle oluşturulmasını ve bu modelin eğitimdeki etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmada, koyun midesi bir 3B yüzey tarayıcısı ile taranarak yüzey verilerine dayalı dijital model elde edilmiş ve bu veriler FDM yöntemi kullanılarak fiziksel bir 3B modele dönüştürülmüştür. Modelin eğitimsel etkinliği, birinci sınıf veteriner fakültesi öğrencilerinin hem gerçek organı hem de 3B basılı modeli inceledikleri uygulamalı oturumların ardından doldurdıkları anketlerle değerlendirilmiştir. Bulgular, morfolojik

açından gerçek organ ile 3B basılı model arasında anlamlı bir fark olmadığını ve öğrencilerin model üzerindeki anatomik bölmeleri ve yapıları benzer doğrulukla tanımlayabildiklerini göstermiştir. Öğrenciler ayrıca midenin mekânsal konumunu ve komşu yapılarla ilişkilerini anlamada 3B modelin öğrenme sürecini kolaylaştırdığını belirtmiştir. Çalışmada, 3B basılı modelin dayanıklılık, kullanım kolaylığı, erişilebilirlik ve kadavra kullanımının azaltılması gibi önemli avantajlara sahip olduğu vurgulanmıştır. Bu bağlamda, yüzey taramasına dayalı olarak üretilmiş 3B koyun mide modelinin yüzey ve topografik anatomi eğitimini destekleyen, düşük maliyetli, pratik ve etkili bir öğretim aracı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bakıcı et al. (2025), veteriner anatomi eğitiminde 3B baskı modeller ile geleneksel biyolojik örneklerin pedagojik etkinliğini değerlendirmek amacıyla 132 birinci sınıf öğrencisiyle karma yöntemli bir çalışma yürütmüştür. Organik kemiklerin taranarak 3B yazdırıldığı araştırmada, ön test–son test analizleri her iki materyalin de öğrenme çıktılarında anlamlı artış sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, organik kemiklerle çalışan öğrenciler son testte küçük fakat anlamlı bir üstünlük sergilemiştir. Anket verileri, öğrencilerin 3B modelleri hijyen, erişilebilirlik ve yapısal tutarlılık açısından avantajlı; biyolojik örnekleri ise gerçekçilik ve dokunsal geri bildirim bakımından daha yararlı gördüğünü ortaya koymuştur. Bulgular, her iki materyalin tamamlayıcı özellikleri nedeniyle hibrit kullanımın veteriner anatomi eğitiminde en dengeli ve etkili yaklaşımı sunduğunu göstermektedir.

Bogdanov et al. (2025) tarafından sunulan çalışma, 3B baskı Wistar sıçan modeli geliştirilmesini ayrıntılı biçimde tanımlamakta olup, tıp ve veterinerlik eğitiminde 3B modellemenin potansiyelini ortaya koyan önemli bir örnek oluşturmaktadır. Elde edilen fiziksel model, Wistar sıçanının ayrıntılı anatomik yapısını güvenilir bir şekilde yeniden üreterek

hem kemirgen anatomisinin öğretiminde hem de klinik öncesi araştırmalarda prosedür simülasyonlarında kullanılabilecek pratik bir araç sunmaktadır. Çalışma bulguları, gelişmiş görüntüleme yöntemleri ile 3B baskı teknolojilerinin birleşiminin, uygun maliyetli, ölçeklenebilir ve etik açıdan uygulanabilir eğitim materyalleri üretilmesini mümkün kıldığını göstermektedir. Bu yaklaşım hem teorik öğrenmenin desteklenmesine hem de uygulamalı anatomik keşiflerin erişilebilir hâle getirilmesine katkı sağlayarak disiplinler arası kullanım alanlarını genişletmektedir. Üretilen 3B baskı model, karşılaştırmalı anatomi, cerrahi eğitim ve araştırma uygulamaları için değerli ve yeniden üretilebilir bir kaynak sunmakta olup modern tıp ve veterinerlik eğitiminde 3B baskının artan önemini vurgulamaktadır.

Santos et al. (2025), lisans düzeyindeki veterinerlik öğrencilerinin nöroanatomik öğrenmede 3B baskı beyin modeline ilişkin algılarını değerlendirmiştir. Çalışmada 3B baskı köpek beyni modelinin üretimi FDM yazıcıda PLA filament kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen model nöroanatomisi derslerinde uygulanmış ve öğrencilerin görüşleri, 20 ifadeden oluşan bir Likert ölçeği anketi aracılığıyla toplanmıştır. Genel olarak öğrenciler, 3B baskı beyin modelini nöroanatomisi eğitiminde değerli bir tamamlayıcı araç olarak görmüştür. Modelin, önemli anatomik yapıların uzamsal olarak görselleştirilmesini kolaylaştırdığı ve kavramsal öğrenmeyi desteklediği belirtilmiştir. Bununla birlikte, çoğu öğrenci 3B modellerin doğal anatomik materyallerin yerini tamamen alamayacağını, ancak öğrenme sürecini destekleyen etkili bir yardımcı materyal olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Çalışmanın bulguları, 3B baskı modellerin veteriner nöroanatomisi eğitiminde pedagojik değeri olduğunu, ancak özellikle doku benzerliği açısından daha da geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Fidancı & Orhan (2025), 3B baskı teknolojisinin veteriner anatomi eğitimine entegrasyonunu inceleyen çalışmalarında, kedi scapula ve humerus'una ait anatomik modellerin geliştirilmesi ile eğitimde uygulanmasını değerlendirmiştir. Araştırmada, 3B tarama ve baskı teknikleri kullanılarak yüksek doğrulukta anatomik kopyalar üretilmiş ve bunların uygulamalı öğrenme süreçlerine katkısı incelenmiştir. Araştırma, 3B baskı teknolojisinin maliyet etkinliği, tekrar kullanılabilirlik ve doğal materyallerle ilişkili temin, muhafaza veya etik kısıtların azaltılması gibi önemli avantajlara sahip olduğunu vurgulamaktadır. Genel olarak çalışma, 3B baskı teknolojisinin veteriner anatomi ve tıp eğitiminde uzamsal kavrayışı, yapıların görselleştirilmesini ve pratik becerilerin geliştirilmesini destekleyen yenilikçi bir araç olduğunu göstermektedir.

Hadžiomerović et al. (2025), 3B baskı modellerin veteriner nöroanatomi müfredatına entegrasyonunun etkinliğini ve öğrenciler tarafından nasıl değerlendirildiğini incelemiştir. Çalışmada, veteriner fakültesi birinci sınıf öğrencileri deney grubunu oluşturmuştur. Nöroanatomi dersi bu grupta 15 saat boyunca 3B baskı modeller kullanılarak işlenmiş, ek olarak üç saatlik bir oturumda formalinle korunmuş beyin örneklerinden yararlanılmıştır. Elde edilen bulgular, aynı dersi yalnızca formalinle korunmuş materyallerle gören önceki iki kohortun performanslarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, deney grubunun nöroanatomi test puanlarının her iki kontrol grubuna kıyasla belirgin biçimde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Öğrenciler 3B yazdırılmış modellerin kullanımına ilişkin olumlu görüş bildirmiş, bu modelleri öğrenmeyi destekleyen, motive edici ve memnuniyet verici araçlar olarak değerlendirmiştir. Ayrıca, modellerdeki renklendirilmiş anatomik bölümlerin yapıların tanınabilirliğini artırdığı ve 3B baskı materyallerin didaktik değerini güçlendirdiği ifade edilmiştir. Genel olarak çalışma, 3B baskı teknolojisinin nöroanatomi eğitimine önemli pedagojik

katkılar sunduğunu, öğrenci başarısını artırdığını ve yüksek düzeyde öğrenci memnuniyeti sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, 3B yazdırılmış modellerin geleneksel eğitim materyallerini tamamlayan güçlü ve yenilikçi eğitim araçları olduğunu desteklemektedir.

5. SONUÇ

3B yazıcı teknolojisi veteriner anatomi alanında hem eğitimsel hem klinik hem de araştırma odaklı pek çok yenilikçi uygulama sunmaktadır. Dijital görüntüleme yöntemleriyle uyumlu çalışması, maliyet etkinliği, yeniden üretilebilir olmaları ve öğrenci başarısına olumlu etkileri nedeniyle veteriner anatomi müfredatlarına entegre edilmesi giderek yaygınlaşmaktadır. Gelecekte biyobaskı ve gelişmiş çok malzemeli sistemler ile veteriner anatominin dijitalleşmesi daha da hızlanacaktır.

KAYNAKÇA

- AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical education online*, 20, 29847. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>.
- Akgün, R. O., Orhan, İ. Ö., & Ekim, O. (2021). Three-dimensional bone modeling of forelimb joints in New Zealand Rabbit: A Micro-Computed Tomography study. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 68(4), 355-363. <https://doi.org/10.33988/auvfd.762615>
- Azer, S.A., & Azer, S. (2016). 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Professions Education*, 2 (2) Article 4. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.05.002>.
- Bakıcı, C., Akgün, R. O., & Oto, Ç. (2019) The applicability and efficiency of 3 dimensional printing models of hyoid bone in comparative veterinary anatomy education. *Veteriner*

Hekimler Derneği Dergisi, 90(2), 71-75.
<https://doi.org/10.33188/vetheder.518909>.

Bakıcı, C., Güvener, O., & Oto, Ç. (2021) 3D printing modeling of the digital skeleton of the horse. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 92(2), 152-158.
<https://doi.org/10.33188/vetheder.882558>.

Bakıcı, C., Yunus, H. A., Batur, B., Yalcin, S., Ekim, O., & Oto, Ç. (2025). Evaluating the effectiveness of 3D-printed bone models as educational tools in veterinary anatomy: Insights from students and teachers. *Veterinary journal (London, England: 1997)*, 314, 106460.
<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2025.106460>.

Bejdić, P., Turkić, N., & Škaljić, E. (2021). Cost-effectiveness of 3d printing of anatomical models. *Veterinaria*, 70(Suppl 1), 9–14. <https://doi.org/10.51607/22331360.2021.70.S1.9>.

Bogdanov, T. G., Hikov, T. A., Sabit, Z. A., Tafradzhiyska-Hadzhiova, R., & Pencheva, D. T. (2025). Development of a 3D-Printed Wistar Rat Model From Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Data for Medical Education and Research Applications. *Cureus*, 17(1), e78012. <https://doi.org/10.7759/cureus.78012>.

Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015). Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of biological engineering*, 9, 4. <https://doi.org/10.1186/s13036-015-0001-4>.

da Silveira, E. E., da Silva Lisboa Neto, A. F., Carlos Sabino Pereira, H., Ferreira, J. S., Dos Santos, A. C., Siviero, F., da Fonseca, R., & de Assis Neto, A. C. (2021). Canine Skull Digitalization and Three-Dimensional Printing as an Educational Tool for Anatomical Study. *Journal of veterinary medical education*, 48(6), 649–655. <https://doi.org/10.3138/jvme-2019-0132>.

- Dawood, Andrew & Marti, Begoña & Sauret-Jackson, Veronique & Darwood, Alastair. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219, 521-529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>.
- Di-Donato, B.A., dos-Santos, A.C., da-Silveira, E.E., Pereira, H.C., Lisboa-Neto, A.F., Alcobaça, M.M., & Assis-Neto, A.C. (2021). Three-Dimensional Digitalized and Printed Tongue Models of the Cow, Dog, Pig, and Horse for Undergraduate Veterinary Education. *International Journal of Morphology*, 39(2), 436-440.
- Ekim, O., Bakici, C., Akçay, A., Algin, O., & Oto, Ç. (2024). The efficiency of 3D-printed dog brain ventricular models from 3 tesla (3T) magnetic resonance imaging (MRI) for neuroanatomy education. *Pakistan veterinary journal*, 44(2): 430-436. <http://dx.doi.org/10.29261/pakvetj/2024.168>.
- Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J. C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S., & Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic resonance imaging*, 30(9), 1323–1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>.
- Fidancı, S.G., & Orhan, I. (2025). The Role of 3D Laser Scanning and Printing in Veterinary Anatomy Education: A Study on Feline Scapula and Humerus. *Indian Journal of Animal Research*, 59(9), 1593-1598. doi: 10.18805/IJAR.BF-1986.
- Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2017). Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines. *International journal of pharmaceutics*, 529(1-2), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.06.082>.

- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive Manufacturing Technologies*. 3rd Ed. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7>.
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Analytical chemistry*, 86(7), 3240–3253. <https://doi.org/10.1021/ac403397r>.
- Guo, N., & Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215–243. <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>.
- Güvener, O., & Oto, Ç. (2024). 3d printing of skull models in horse, cattle and pig. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 95(2), 96-103. <https://doi.org/10.33188/vetheder.1439194>.
- Hackmann, C.H., dos-Reis, D.D., & de-Assis-Neto, A.C. (2019). Digital Revolution In Veterinary Anatomy: Confection of Anatomical Models of Canine Stomach by Scanning and Three-Dimensional Printing (3D). *International Journal of Morphology*, 37(2):486-490.
- Hadžimerović, N., Avdić, R., Muminović, A. J., Muftić, A., Pandžić, A., Tandir, F., Vejzović, A., Gündemir, O., & Hadžimerović, A. I. (2025). Enhancing student performance with multicolored 3D printed neuroanatomical models in veterinary education. *BMC medical education*, 25(1), 1323. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07908-y>.
- Hull, C. W. (1986). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. Patent No. US4575330A.

- IARC-International Agency for Research on Cancer. (2012). Chemical agents and related occupations: Volume 100F. WHO Press.
- Jones, D. B., Sung, R., Weinberg, C., Korelitz, T., & Andrews, R. (2016). Three-Dimensional Modeling May Improve Surgical Education and Clinical Practice. *Surgical innovation*, 23(2), 189–195. <https://doi.org/10.1177/1553350615607641>.
- Keenan, I. D., & Ben Awadh, A. (2019). Integrating 3D Visualisation Technologies in Undergraduate Anatomy Education. *Advances in experimental medicine and biology*, 1120, 39–53. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06070-1_4.
- Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., Saber, S. S., Seyedi, M., Ghanavati, S., Ahmad, A., De Stephanis, A. A., Taghavinezhaddilami, F., Leonova, A., Mohammadinejad, R., Shabani, M., Mazzolai, B., Mattoli, V., Tay, F. R., & Makvandi, P. (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta biomaterialia*, 122, 26–49. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.044>.
- Larguier, L., Hespel, A. M., Jamet, N., Mercier, E., Jouan, D., Jardel, N., & Larrat, S. (2019). Accuracy and precision of measurements performed on three-dimensional printed pelvises when compared to computed tomography measurements. *Journal of veterinary science*, 20(3), e22. <https://doi.org/10.4142/jvs.2019.20.e22>.
- Li, F., Liu, C., Song, X., Huan, Y., Gao, S., & Jiang, Z. (2018). Production of accurate skeletal models of domestic animals using three-dimensional scanning and printing technology. *Anatomical sciences education*, 11(1), 73–80. <https://doi.org/10.1002/ase.1725>.

- Liaw, C. Y., & Guvendiren, M. (2017). Current and emerging applications of 3D printing in medicine. *Biofabrication*, 9(2), 024102. <https://doi.org/10.1088/1758-5090/aa7279>.
- Manzano, B. L., Means, B. K., Begley, C. T., & Zechini, M. (2015). Using Digital 3D Scanning to Create “Artifictions” of the Passenger Pigeon and Harelip Sucker, Two Extinct Species in Eastern North America: The Future Examines the Past. *Ethnobiology Letters*, 6(2), 232–241. <http://www.jstor.org/stable/26423628>.
- Massari, C.H., Carvalho, Y.K., & Miglino, M.A. (2021). 3D printing of brachycephalic and dolichocephalic canine skulls and mandibles: a complement to traditional osteotechnique. *Acta Veterinaria Brasilica*, 15, 173-179. <https://doi.org/10.21708/avb.2021.15.2.9842>.
- Matuš, M., Bechný, V., Joch, R., Drbúl, M., Holubják, J., Czán, A., Novák, M., & Šajgalík, M. (2023). Geometric Accuracy of Components Manufactured by SLS Technology Regarding the Orientation of the Model during 3D Printing. *Manufacturing Technology Journal*, 23(2), 233-240. doi: 10.21062/mft.2023.027.
- McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical sciences education*, 7(6), 479–486. <https://doi.org/10.1002/ase.1475>.
- Melchels, F. P., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121–6130. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>.
- Mendaza-Decal, R. M., & Rojo, C. (2021). 3D-printed model of the ovine stomach by surface scanning: Evaluation for

teaching veterinary anatomy. *International Journal of Morphology*, 39(5), 1480-1486.

Metscher B. D. (2009). MicroCT for comparative morphology: simple staining methods allow high-contrast 3D imaging of diverse non-mineralized animal tissues. *BMC physiology*, 9, 11. <https://doi.org/10.1186/1472-6793-9-11>.

Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature biotechnology*, 32(8), 773–785. <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>.

Neves, E.C., Pelizzari, C., Oliveira, R.S., Kassab, S., Lucas, K.D., & Carvalho, Y.K. (2020). 3D anatomical model for teaching canine lumbosacral epidural anesthesia. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 35(6), e202000608. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-865020200060000008>.

Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>.

Nicholson, D. T., Chalk, C., Funnell, W. R., & Daniel, S. J. (2006). Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model. *Medical education*, 40(11), 1081–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02611.x>.

Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., Lee, K. T., Harb, I., Zhou, S., Wang, Y., & Tran, S. D. (2021). Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers*, 13(1), 157. <https://doi.org/10.3390/polym13010157>.

- Preece, D., Williams, S. B., Lam, R., & Weller, R. (2013). "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical sciences education*, 6(4), 216–224. <https://doi.org/10.1002/ase.1345>.
- Rengier, F., Mehndiratta, A., von Tengg-Kobligk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H. U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 5(4), 335–341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>.
- Rocha-Martínez, N., López-Ordaz, R., Rendón-Franco, E., & Muñoz-García, C. I. (2023). 3D wildlife skull models for wildlife veterinary training. *Anatomical sciences education*, 16(6), 1073–1078. <https://doi.org/10.1002/ase.2321>.
- Rosset, A., Spadola, L., & Ratib, O. (2004). OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images. *Journal of digital imaging*, 17(3), 205–216. <https://doi.org/10.1007/s10278-004-1014-6>.
- Santos, B. B. G., Casoni, F. T. N., Weber, S. H., Brancher, J. A., Torres, M. F., & Farias, E. L. P. (2025). Perception of Veterinary Medicine Students Regarding the Use of a 3D Model of the Canine Brain in Learning Neuroanatomy: a Pilot Study. *Archives of Veterinary Science*, 30(2), <https://doi.org/10.5380/avs.v30i2.98315>.
- Schirone, R., Schmedding, M., Weigner, J., Werner, M., Corte, G. M., Ehlers, J. P., Klass, L. G., & Bahramsoltani, M. (2025). The Impact of Low-Fidelity Three-Dimensional-Printed Models of the Equine Distal Limb and the Canine Forelimb in Teaching Veterinary Anatomy in Practical Classes. *Animals: an open access journal from MDPI*, 15(10), 1380. <https://doi.org/10.3390/ani15101380>.

- Schoenfeld-Tacher, R. M., Horn, T. J., Scheviak, T. A., Royal, K. D., & Hudson, L. C. (2017). Evaluation of 3D Additively Manufactured Canine Brain Models for Teaching Veterinary Neuroanatomy. *Journal of veterinary medical education*, 44(4), 612–619. <https://doi.org/10.3138/jvme.0416-080R>.
- Stojković, J. R., Turudija, R., Vitković, N., Górski, F., Păcurar, A., Pleșa, A., Ianoși-Andreeva-Dimitrova, A., & Păcurar, R. (2023). An Experimental Study on the Impact of Layer Height and Annealing Parameters on the Tensile Strength and Dimensional Accuracy of FDM 3D Printed Parts. *Materials*, 16(13), 4574. <https://doi.org/10.3390/ma16134574>.
- Sugand, K., Abrahams, P., & Khurana, A. (2010). The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anatomical sciences education*, 3(2), 83–93. <https://doi.org/10.1002/ase.139>.
- Sun Z. (2018). 3D printing in medicine: current applications and future directions. *Quantitative imaging in medicine and surgery*, 8(11), 1069–1077. <https://doi.org/10.21037/qims.2018.12.06>.
- Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E. S., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 9950131. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>.
- Torres, M. F. P., Arce, C. P., Franco, F. M., Denadai, B. B., Lisboa, L. E. O., Machado, M., Lajarin, F. S., & Foggiatto, J. A. (2024). Production of 3D-printed ovine stomach models for animal anatomy education. *Contribuciones a las ciencias sociales*, 17(1), 1339–1352. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-073>.

- Ventola C. L. (2014). Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *P & T: a peer-reviewed journal for formulary management*, 39(10), 704–711.
- Wilhite, R., & Wölfel, I. (2019). 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. *Anatomia, histologia, embryologia*, 48(6), 609–620. <https://doi.org/10.1111/ahe.12502>.
- Yılğör Huri, P., & Oto, Ç. (2022). 3D Printing in Veterinary Medicine. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 69(1), 111-117. <https://doi.org/10.33988/auvfd.871933>.

**TÜRKİYE VE DÜNYADA
VETERİNER ANATOMİSİ**

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com