



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**D VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ
İÇEREN İZOTONİK SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİNDE
NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA DENEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel KOŞAR

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192324006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sibel KOŞAR tarafından hazırlanan “**D VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ İÇEREN İZOTONİK SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİNDE NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA DENEMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr.Özen ÖZBAY ÖZBAŞ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof.Dr. Mahir TURHAN

Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 01/07/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Mehmet ALİ HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Sibel KOŞAR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlamamdaki her aşamasında çok değerli katkılarıyla beni yönlendiren, bilgi ve deneyimlerinden faydalanma şansı bulduğum çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT ‘a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim sürecimde beni destekleyen değerli hocam Prof. Dr. Özen ÖZBOY ÖZBAŞ ‘a ve Dr. Öğr. Üyesi Rahmi UYAR ‘a ve her anımda yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sibel KOŞAR
AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1 Sporcu Beslenmesi.....	4
2.2 Sporcu İçeceği Nedir?.....	7
2.3 Sporcu İçeceğinin Besin Değeri ve Bileşimi.....	8
2.4 D Vitamini.....	10
2.5 Türkiye ve Dünyada D Vitamini Eksikliği.....	13
2.6 D Vitamininin Sporcu Sağlığına ve Performansına Etkisi.....	15
2.7 D Vitamini Takviyesi Karar Ağacı.....	18
2.8 D Vitamini ile Zenginleştirilmiş Besinler.....	21
2.9 Nanoemülsiyon Yöntemi.....	24
2.10 Keçiboynuzu.....	31
3.MALZEME ve YÖNTEM.....	36
3.1 Malzeme.....	36
3.1.1 Keçiboynuzu özütü.....	36
3.1.2 D vitamini.....	36
3.1.3 Tween 80.....	37
3.1.4 Zeytinyağı.....	37
3.2 Yöntem.....	37
3.2.1 Deneysel tasarımlar ve istatistiksel analizler.....	37
3.2.2 Emülsiyon hazırlama.....	40
3.2.3 Zeta potansiyel ve parçacık boyutu analizi.....	41
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	42
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	62

YÜKSEK LİSANS TEZİ

D VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ İÇEREN İZOTONİK SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİNDE NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA DENEMESİ

Sibel KOŞAR

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

ÖZET

Bu çalışmada, zeytinyağı içerisinde D vitaminin su ve keçiboynuzu özütünden oluşan su fazındaki nanoemülsiyonu oluşturma denemeleri, Tween 80 (hacimce %1-3) konsantrasyonu ve sonikasyon süresinden (120 s - 360 s) oluşan iki faktör ve üç düzeyli merkezi tümleşik deneme deseni kullanılarak yanıt yüzey yöntemiyle belirlenen koşullarda yapılmıştır. Nano emülsiyon oluşturmak için yüksek enerji gerektiren yöntemlerden biri olan laboratuvar koşullarında ulaşım, uygulama kolaylığı olan ultrasonik homojenizasyon cihazı ile belirlenen sürelerde sonikasyon işlemi yapıp son örneklerde zeta potansiyel ve parçacık boyutu analizleri yapılmıştır.

Analizler sonucunda, nanoemülsiyonların damlacık boyutlarının 88 ile 491 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bir emülsiyona nano emülsiyon diyebilmek için parçacık boyutunun 20 ila 200 nm arasında olması gerekliliğini kabul edersek bu aralıkta hatta 100 nm'nin altında dahi parçacık elde edebilmiş olmamız sebebiyle emülsiyonun nano boyuta indirilebildiği görülmektedir. Deneyde elde edilen en büyük parçacık boyutu Tween 80'in % 2 konsantrasyonda kullanıldığı ve toplamda 70,3 s boyunca sonikasyonun yapıldığı örnekte 490,8 nm olurken en küçük parçacık boyutu ise % 2 Tween 80 ve 360 s'lik sonikasyon süresinde 88,14 nm olarak tespit edilmiştir. Parçacık boyutuna istatistiksel olarak tek önemli etki zaman olmuş ve zamana bağlı doğrusal olarak parçacık çapı ters orantılı olarak doğrusal bir şekilde değişmiştir. Parçacık boyutunu 200 nm'nin altına düşürebilmek için, Tween 80 konsantrasyonundan bağımsız olarak sonikasyonun süresinin 300 s üzerinde olması gerektiği gözlenmiştir. Emülsiyonun kararlılığı hakkında bilgi veren zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığı hakkında bilgi verirken bu değer tüm koşullarda 20 mV altında kalmıştır. Sonuç olarak emülsiyon kararlılığı zayıf bulunmuştur. Parçacık boyutunun tersine zeta potansiyeli ise Tween 80 konsantrasyonu ile doğrusal olarak değişmiştir. Kullanılan yöntemle nano boyutlara parçacık boyutları düşürülmüş dolayısıyla nanoemülsiyon elde edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: D vitamin, Nanoemülsiyon, Sporcu içeceği, Keçiboynuzu.

Haziran, 2022; 62 sayfa

M.Sc THESIS

NANOEMULSION PREPARATION TRIAL IN THE DEVELOPMENT OF VITAMIN D FORTIFIED ISOTONIC DRINK CONTAINING CAROB EXTRACT FOR ATHLETES

Sibel KOŞAR

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Fatma ŞAHMURAT, PhD

ABSTRACT

In this study, experimental design was made by using Response Surface Methods two factors and a three-level Central Composit Design to evaluate the production of oil in water nanoemulsion of vitamin D. As the aqueous phase carob extract, water and Tween 80 were used and vitamin D was carried by olive oil in the oil phase. Tween 80 (1-3 %) concentration and sonication time (120 s - 360 s) were the factors selected. Sonication process was performed in the specified times with the ultrasonic homogenization device, which is one of the methods requiring high energy to create nano emulsion and has ease of transportation and application under laboratory conditions, and zeta potential and particle size analyzes were performed in the final samples.

As a result of the analyzes, it was determined that the droplet sizes of the nanoemulsions ranged from 88 to 491 nm. It has been accepted that the particle sizes between 20 and 200 nm of an emulsion. It may counted as nanoemulsion. We reached the particle size below 200 nm, even below 100 nm. The largest particle size obtained in the experiment was 490.8 nm in the sample where Tween 80 was used at a concentration of 2 % and sonicated for a total of 70.3 s, while the smallest particle size was determined as 88.14 nm at 2 % Tween 80 and 360 s sonication time. The only statistically significant effect on particle size has been found as the time, and the particle diameter has changed in a linear manner inversely proportional to time. In order to reduce the particle size below 200 nm, it was observed that the duration of sonication should be over 300 s, regardless of the concentration of Tween 80. While the magnitude of the zeta potential, which gives information about the stability of the emulsion this value is below 20 mV under all conditions. As a result, emulsion stability was found to be weak. The zeta potential, as opposed to the particle size, changed linearly with the concentration of Tween 80. With the method used in this study, particle sizes were reduced to nano scales and it can be said that nanoemulsion has been obtained.

Keyword: Vitamin D, Nanoemulsion, Sports drink, Carob.

June, 2022; 62 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. D vitamininin vücudumuzdaki döngüsü.....	11
Şekil 3.1. Yanıt yüzey yönteminin merkez ve faktöriyel noktası.....	38
Şekil 4.1. Örneklerin parçacık boyutu analizi (nm)	43
Şekil 4.2. (a) Parçacık boyutu için tahmini ve gerçek model değerlendirmesi, (b) Parçacık boyutu için tahmini ve farklar model değerlendirmesi.....	45
Şekil 4.3. (a) Parçacık boyutuna zamanın etkisi, (b) Parçacık boyutuna Tween 80'in etkisi.....	47
Şekil 4.4. Zaman ve Tween 80 derişimin parçacık boyutuna birlikte etkileri.....	48
Şekil 4.5. Örneklerin zeta potansiyeli değerleri (mV).....	49
Şekil 4.6. (a) Zeta potansiyel için tahmini ve gerçek model değerlendirmesi, (b) Zeta potansiyeli için tahmini ve farklar model değerlendirmesi	51
Şekil 4.7. (a) Zeta potansiyeline zamanın etkisi, (b) Zeta potansiyeline Tween 80'in etkisi	52

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 3.1. Keçi boynuzu özütünün enerji ve besin ögeleri	36
Tablo 3.2. Yanıt yüzey yöntemi ile deney tasarımı.....	39
Tablo 3.3. Yanıt yüzey metodunda kullanılan bağımsız değişkenler.....	40
Tablo 3.4. Nanoparçacıkların zeta potansiyel değerleri ile kararlılığı arasındaki ilişki.....	41
Tablo 4.1. Parçacık boyutu için lineer model varyans tablosu (ANOVA).....	44
Tablo 4.2. Zeta potansiyeli için lineer model varyans tablosu (ANOVA).....	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devleti
ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
COVID-19	Coronavirüs Hastalığı
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
FDA	Gıda ve İlaç İdaresi
g	Gram
HMF	Hidroksimetil Furfural
IOM	Tıp Enstitüsü
IU	International Ünite
kHz	Kilohertz
MERLAB	ODTÜ Merkez Laboratuvarı
MHz	Megahertz
ml	Mililitre
NHAMES	National Health and Nutrition
nm	Nanometre
NOEL	Hiçbir Olumsuz Etkinin Görülmediği Düzey
PTH	Paratiroid Hormon
PZL	Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyeli Ölçüm Laboratuvarı
RDI	Önerilen Günlük Alım Miktarı
s	Saniye
UV-B	Ultraviyole-B
VDR	D Vitamini Reseptörlerine
WADA	Dünya Dopingle Mücadele Ajansı
R²	Regrasyon Katsayısı
°C	Santigrat
σ	Yüzey gerilimi

1.GİRİŞ

Besinler, insan vücudunda dokuların büyüme ve gelişmesi, metabolik süreçlerin düzenlenmesi, yetersizlik ve kronik hastalıkların önlenmesi, enerji sağlamak gibi yaşamsal önemi olan karbonhidratlar, yağlar, proteinler, vitaminler, mineraller ve su olmak üzere 6 besin ögesinden oluşur. Karbonhidrat, yağ ve protein enerji sağlayan besin ögeleridir ve makro besin ögesi olarak adlandırılır. Vitaminler ve mineraller, vücuttaki biyolojik işlemlerin düzenlenmesinde yardımcı besin ögeleridir ve mikro besin ögesi olarak adlandırılır.

Vücudun sağlıklı çalışması için bu gereksinimlerin yeterli ve dengeli bir şekilde karşılanması gerekir. Bu doğrultuda iyi beslenmenin tanımı; vücudun gelişiminin yaşa, çevreye ve genetiğe göre uygunluğu ile ağırlık, boy, yağ ve kas oranı gibi vücut bileşiminde gereken oranlarda olmasıdır. İnsan sağlığında beslenme büyük öneme sahiptir. Sağlıklı beslenme, beslenme yetersizliğine bağlı hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde büyük role sahiptir.

Spor yaparken kişinin performansını üst düzeye çıkarmak amacıyla yardımına başvurulanan yöntemlerden biri olan besinsel ergojenik destekler, çoğunlukla sporcular tarafından performansı geliştirmek amacıyla kullanılan beslenme takviye ürünleridir. Bu ergojenik destek ürünlerinden sporcu içeceği ve D vitamininin spor performansına katkısı pozitif olduğu yönünde güçlü bilimsel kanıtlar mevcuttur.

Sporcu içeceği, bir sporcunun antrenman sırasında ve sonrasında eş zamanlı olarak hem optimum hidrasyon düzeyini sağlamak hem de boşalan enerji depolarını yerine koymak için dengeli miktarda karbonhidrat ve sıvı sağlayacak şekilde tasarlanmış, günlük yiyecekleri tüketmenin pratik olmadığı durumlarda da kullanılabilen spor gıdasıdır.

Günlük D vitamini gereksinimi, besinler ile günlük ihtiyacın % 10'unu, güneşten sağlanan ultraviyole (UV-B) ışınlar ile % 90'ını karşılanmaktadır. Besinlerde D vitamini çok az bulunduğundan Türkiye Beslenme Rehberi TÜBER 2015'de önerilen beslenme örüntüleri, D vitamini için belirlenmiş yeterli alım miktarının sadece % 6-25'ini karşılamaktadır. Güneş ışığından yeterince yararlanamayan sporcular, D vitamini yetersizliği açısından yüksek risk grubunda yer almaktadır. D vitaminin

yağda çözünen bir vitamin olması ve su bazlı bir içecekte kolaylıkla karışamayacağı için D vitaminini eşit bir şekilde ürünün her yerine dağılması için su içinde yağ emülsiyonu sağlanmalı, bu ürünün belli bir raf ömrüyle satışının yapılabilmesi için de bu emülsiyonun stabilitesinin sağlanması şarttır. Bu noktada nanoemülsiyon teknolojisi, gıda endüstrisinin en yeni teknolojik uygulama şekillerindendir.

Nanoteknoloji bilimi biyomedikal ve ilaç endüstrilerinde sıklıkla uygulanmaktadır. Gıdalarda daha fazla sağlık beyanına izin verilmesiyle birlikte fonksiyonel gıda pazarında farmasötik ve gıda endüstrileri beraber çalışmaya başlamıştır ve böylece popülasyondaki hedef hastalık risklerini azaltmayı amaçlayan sağlıklı gıdaların geliştirilmesi noktasında karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için gıdaların kanıtlanmış sağlık beyanları ile biyoaktif gıda bileşenlerinin elde edilmesi için bir nano yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan çalışmalar, nano yapıli emülsiyonların biyoaktif maddeler sağlayarak gıda güvenliği ve işlevselliğini arttırdığı yönündedir. Nanokapsülasyon teknolojisi, vitamin D₃'ün suda çözünürlüğünü ve kararlılığını arttırarak gıda işleme ve depolama sırasında sağlığı geliştirici etkisini koruyabilmektedir.

Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua* L.) Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde yetişen yaprak dökmeyen bir bitkidir. Türkiye'de en çok 'pekmez' olarak adlandırılmakta ve yapısında yüksek miktarda doğal şekerler, bazı mineraller ve organik asitler içermektedir. Keçiboynuzu, yüksek miktarda doğal şekerler, bazı mineraller ve organik asitler içerdiği için insan beslenmesinde önemli olan doğal, enerjik ve sağlıklı bir gıda olarak değerlendirilebilir. Ayrıca yapısındaki glukoz ve fruktoz gibi basit şekerler sindirim olmadan kolayca kana geçebildiği için özellikle acil enerji ihtiyacı gerektiren durumlarda tercih edebileceğimiz önemli bir besindir. Ek olarak keçiboynuzunun, yapısındaki fenolik bileşikler sayesinde güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmadaki amacımız, D vitaminini eksikliği açısından risk grubunda bulunan sporcuların sportif başarısını arttırmak için sporcunun genel sağlık durumunu iyileştirmek ve antrenman sırasında atletik performansı en üst düzeyde yapabilmeleri için gerekli enerjiyi ve elektrolitleri antioksidan özelliği ile eşsiz bir besin olan keçiboynuzu özütünden karşılayacak özellikteki fonksiyonel bir içeceğin nanoemülsiyon teknolojisi ile üretim olanaklarının araştırılmasıdır. Bu amaçla farklı

ultrasonik homojenizasyon koşullarında ve emülgatör olarak farklı konsantrasyonlardaki Tween 80 ile hazırlanan, keçiyoynuzu özütü nanoemülsiyon özelliği kazandırılmış örnekler hazırlanarak emülsiyonların parçacık boyutları ve zeta potansiyelleri değerlendirilmiş ve böyle bir ürünün nano boyutta ve kararlı bir emülsiyon yapısına sahip olup olamayacağı tartışılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Sporcu Beslenmesi

Ergojenik destekler bir iş veya sporu yaparken kişinin performansını üst düzeye çıkarmak amacıyla yardımına başvurulmuş öğeler ve yöntemlerdir. Bu ergojenik destekler; "fizyolojik", "biyomekanik", "psikolojik", "farmakolojik" ve "besinsel" olmak üzere gruplandırılmaktadır. Besinsel ergojenik destekler, çoğunlukla sporcular tarafından performansı geliştirmek amacıyla kullanılan beslenme takviye ürünleridir (Ersoy, 2012). Bu beslenme takviye ürünlerinden multivitamin- mineral takviyelerinin kullanımı spor hekim ve spor diyetisyeni önerisi ile kişiye, yaş ve cinsiyeti göz önünde bulundurularak aşağıda belirtilen insan gruplarında kullanımının gerekli olabileceği söylenebilir;

1. Beslenme yetersizliği olanlar
2. Profesyonel sporcular
3. Sigara alkol kullananlar
4. Yetersizlik belirtisi olanlar
5. Yaşlılar
6. Bilinçsiz zayıflama diyeti uygulayanlar
7. Büyüme ve gelişme döneminde olan çocuklar ve gençler (Ersoy, 2016).

Genel popülasyonda beslenme takviyelerinin sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Araştırmalar Amerika Birleşik Devleti (ABD) nüfusunun yaklaşık yarısının bir miktar beslenme takviyesi kullandığına işaret etmektedir. Bu beslenme takviyeleri sporcularda ise maksimum performans elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Sporcuların maksimum performansa ulaşmak için beslenme takviyelerini kullanmalarının sebepleri şu şekilde sıralanabilir;

1. Sağlığı veya performansı bozabilecek besin eksikliklerini düzeltmek veya önlemek
2. Bir antrenman süresinde uygun enerji ve besin temini sağlamak

3. Rakiplerine karşı performans avantajı sağlamak

4. Mali kazanç sağlamak

5. Diğer sporcuların beslenme desteklerini kullandıklarını biliyor ve inanıyor olmaları (Maughan vd., 2018).

Eski Yunanlılardan günümüze kadar spor performansını artırmak amacıyla kullanılan bu beslenme takviyelerinin hacmi, günümüzde ürünlerin genel popülasyon tarafından da tercih edilmesiyle artmıştır. Ayrıca sporcular, performanslarını geliştirecek her türlü ürüne ilgi duydukları için, sporcu odaklı gıda ürünleri hacmi sürekli yeni ürünler eklenerek büyümeye devam etmektedir. Bu ürünlerin, Amerika'da 2010 yılında 6,7 milyon dolar olan market hacmi 2015 yılında 10,8 milyar dolara çıkmıştır (Arenas-Jal vd., 2020; Ersoy, 2016).

Sporcunun beslenme planının enerji, makro ve mikro besin öğelerince yeterli olması sporcunun genel sağlığı için önemlidir. Sporcuda olası eksiklik tablolarında akut veya kronik takviyeler kullanılabilir. Sıklıkla desteklenmesi gereken besin öğeleri arasında demir, kalsiyum ve D vitamini bulunur (Maughan vd., 2018).

Mikro besinlerin birçoğu, enerji üretiminde, yeni hücre ve protein üretiminde, spor performansını destekleyen süreçlerin düzenlenmesinde görev almaktadır. Bu mikro besinlerin bir veya daha fazlasının eksikliği sporcunun performansının azalmasına sebep olabilmektedir. Örneğin D vitamini eksikliği ile sporcunun kemik sağlığı ilişkilendirilmektedir. Sporcuların, genel popülasyonla kıyaslandığında artan besin kaybı, artan besin gereksinimleri sebebiyle daha fazla eksiklik riski altında oldukları düşünülmektedir (Maughan vd., 2018).

Sporcularda antrenman boyunca, vitamin ve minerallere ihtiyaç duyulan pek çok metabolik işlevin artması, vitamin ve mineral kayıplarının artması, yıpranan dokuların yenilenmesi gibi sebeplerle vitamin ve minerallere olan gereksinim artar. Sporcuların yoğun antrenmanları sebebiyle enerji gereksinimleri de artmaktadır. Artan enerji gereksinimlerini sağlıklı beslenme planları ile karşıladıklarında, artan vitamin ve mineral ihtiyaçlarını karşılamak mümkün olabilir. Fakat düşük yağlı ve enerjisi sınırlı beslenme planı olan veya bazı besin gruplarını tüketmeyen sporcular, vitamin ve mineralleri yetersiz alım riski ile karşı karşıya kalmaktadırlar (Ersoy, 2016).

Sporcular, fizyolojik (bağırsak rahatlığı) veya çevresel (besinlerin temin edilmesi, hazırlanması, tüketilmesi aşamalarında yaşanan sorunlar) nedenlere bağlı olarak ihtiyaç duydukları beslenme planlarını tüketme konusunda zorluk yaşamaktadırlar. Bu durumda sporcuların ihtiyaç duydukları beslenme hedeflerine ulaşmaları için spor gıdaları alternatif bir seçenek olarak kullanılabilir (Maughan vd., 2018). 2018 Uluslararası Olimpiyat Komitesi ve 2019 Uluslararası Amatör Atletizm Federasyonu fikir birliği açıklamalarında, yaşam tarzının pratikliği veya rekabet ortamının tüm gıdaları tüketmeyi zorlaştırdığı durumlarda, bazı diyet takviyelerinin başarılı bir beslenme destek programına katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır (Close vd., 2022).

Son yıllarda spor performansını artırmaya yönelik teknolojik gelişmelerle destekli çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Yapılan çalışmalarda izlenen yol, sporcuyu tasarımın merkezine koyarak, yapılan tasarımın sporcuya özel olmasını amaçlanmaktadır (Thomas vd., 2016). Sporcu beslenmesinde, her geçen gün artan bilimsel gelişmeler doğrultusunda literatüre yeni bilgiler eklenmektedir. Close vd. (2022)'nın yaptığı çalışmada ise sporcuları sadece gıda ile besleme yaklaşımının en uygun olmamasının nedenleri şu şekilde açıklanmıştır; sporcunun, bazı besinleri diyetle yeterli miktarlarda elde etmesi zor ve/veya aşırı enerji alımını diğer besin maddelerinin tüketimini gerektirir, bazı besinler sadece sporcunun yemediği/sevmediği yiyeceklerde bol miktarda bulunur, ergojenik faydaları kanıtlanmış bazı gıdaların besin içeriği oldukça değişkendir, eksiklikleri gidermek ve/veya bağışıklık toleransını desteklemek için bazı besinlerin konsantre dozları gereklidir, bazı yiyecekleri egzersizden hemen önce, egzersiz sırasında veya hemen sonra tüketmek zordur, test edilmiş takviyeler, gıda hijyeni veya kontaminasyonu ile ilgili endişelerin olduğu durumlarda yardımcı olabilir. Sporcu spor takviyelerini kullanmadan önce tüm bu durumları göz önünde bulundurarak karar vermesi halinde "önce yemek ama her zaman sadece yemek değil" terminolojisine ulaşması kaçınılmaz olacaktır (Close vd., 2022).

Sporcu beslenmesi, yarışma öncesi, yarışma sırasında ve yarışma sonrasında beslenme stratejileri, sporcunun performansında düşüklüğe neden olabilecek beslenme ile ilgili çeşitli faktörleri ele alarak maksimum performans için destek olmalıdır. Bu faktörlerden en önemlileri; dehidrasyon, elektrolit dengesizlikleri, glikojen depolarının

boşalması, hipoglisemi, gastrointestinal rahatsızlıklar, asit-baz dengesizliklerindeki bozulmalardır (Güzel, 2018).

Antrenman boyunca harcanan enerjinin % 75'i ısı olarak açığa çıkmakta, % 25'i ise mekanik iş için kullanılmaktadır. Antrenman boyunca vücut ısısının 37-38 °C de sabit tutulması için vücut terlemektedir. Antrenmanlı bir sporcu, sedanter bireylere göre daha fazla terlemektedir ve antrenmanlı sporcunun terindeki elektrolit yoğunluğu daha azdır. Sporcu antrenmanlarına devam edebilmesi için vücudunda oluşturulan ısının dağıtılması gerekir ki bu işlem için en önemli mekanizma terlemektir. Ter sularının buharlaşması ile vücut serinlemektedir. Antrenmanın ilerleyen dakikalarında, vücuttaki ısı artmakta, dolayısıyla ter ile sıvı kaybı devam etmektedir. Eğer kaybedilen sıvı yerine konmazsa terleme azalarak, vücut sıcaklığı hızlı ve tehlikeli şekilde artmaya devam edecektir. Bu tablo sıcak bitkinliği, sıcak çarpması hatta ölüm ile sonuçlanabilir. Vücut ısısı 41°C'ı geçince hücreler zarara uğramakta, 42°C' da hücre proteinleri canlılığını yitirmektedir. Yaklaşık olarak sporcular her 300 kilokalorilik ısıyı vücuttan uzaklaştırmak için 500 gram ter oluşturmaktadır (Ersoy, 2012).

Antrenman sırasında oluşan sıvı kaybını karşılamak için su, eşsiz bir içecektir. Fakat sporcular sevdikleri lezzette olan spor içeceklerini tercih etmektedir. Bir saatten fazla süren antrenmanlarda sporcu içeceklerinin kullanılması, maksimum spor performansının sağlanması için en iyi tercihtir (Ersoy, 2012).

Elit sporcularda egzersiz boyunca sıvı alımı terleme oranları ile kıyaslandığında genellikle yetersizdir. Fakat son yirmi yılda rekreatif amaçlı spor yapan kişilerde hidrasyonla ilgili farkındalığın arttığı ve ter kayıplarından fazla sıvı tükettikleri görülmüştür (Güzel, 2018).

2.2 Sporcu İçeceği Nedir?

Sporcu içeceği, bir sporcunun antrenman sırasında ve sonrasında aynı anda hem hidrasyon düzeyinin sağlanması hem de boşalan enerji depolarını yerine koymak için dengeli miktarda karbonhidrat ve sıvı sağlayacak şekilde tasarlanmış, günlük yiyecekleri tüketmenin pratik olmadığı durumlarda uygun bir besin kaynağı sağlamak için kullanılan spor gıdasıdır. Spor çevreleri tarafından kabul gören bir otorite olan Avustralya Spor Komisyonu tarafından, sporcularda kullanılan ergojenik ürünlerin

performans üzerinde etkileri incelenerek hazırlanan kanıt düzeyi tablolarına bakıldığında, sporcu içecekleri A grubunda yer almaktadır. Yani, bu ürünün güvenli, izinli ve spor performansını iyileştirici etkinliği bilimsel olarak en güçlü ortaya konulmuş olanıdır (URL-1).

Florida Üniversitesi futbol takımı sıcak ve nemli havada yaptıkları kamplarda istenen performansı sergileyemeyince, üniversiteli araştırmacılar sporcular için, şeker ve tuzdan oluşan içeceği sporculara içirmesiyle ilk kez sporcu içecekleri kullanılmaya başlanmıştır. Futbol takımının 1967 yılında şampiyon olması ile sporcu içecekleri popüler olmuştur (Ersoy, 2012).

Üç tip sporcu içeceği vardır;

1. Hipotonik İçecekler: İçeriğinde % 4 oranından az karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içeceklerdir. Özellikle jockey ve jimnastikçiler tarafından kullanılmaktadır (Ersoy, 2012).

2. İzotonik İçecekler: İçeriğinde % 6-8 oranında karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içeceklerdir. Özellikle orta ve uzun mesafe koşu ve takım sporları için uygun olmakla birlikte, özellikle 60 dakikadan fazla süren tüm antrenman için kullanımı uygundur (Ersoy, 2012).

3. Hipertonik İçecekler: İçeriğinde % 8 oranından daha fazla karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içeceklerdir. Özellikle ultra dayanıklılık antrenmanlarından sonra kullanımı uygundur (Ersoy, 2012).

Sporcularda sıvı ve elektrolit dengesi egzersiz performansı için çok önemlidir. İnsanlarda solunum, gastrointestinal, terleme ve renal yol ile vücuttan su kayıpları olmaktadır. Sporcularda bu su kayıplarına ek olarak antrenman boyunca ter ile kaybettikleri su kaybı eklenmektedir (Güzel, 2018).

2.3 Sporcu İçeceğinin Besin Değeri ve Bileşimi

Karbonhidrat-elektrolit içeren sıvılar, terle kayıp olan sıvı ve elektrolitleri yerine koyarak vücut sıvı kaybını karşılamak, vücuttaki karbonhidrat depolarını

destekleyerek yorgunluk oluşumunu geciktirmek ve çalışan kaslara yakıt sağlamak amacıyla formüle edilmiş içeceklerdir (Ersoy, 2012).

Pratik olarak enerji ve elektrolit sağlamak için sıklıkla kullanılan sporcu içecekleri, toz veya içmeye hazır sıvı formda bulunmaktadır. Sporcu içecekleri; % 5-8 karbonhidrat, 10-35 mmol/L sodyum, 3-5 mmol/L potasyum içermektedir. Bu sebeple sporcuların antrenman sırasında sıvı ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanımı oldukça pratiktir (Maughan vd., 2018). Ayrıca, her 5-10 dakikada bir 5-10 saniye ağız boşluğunun karbonhidrata maruz kalması ile beyindeki ödül merkezi uyarılarak ve sporcunun kendini daha iyi hissetmesi sağlanabilmektedir (URL-1).

Ülkemizde yayınlanan Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği'nde yer alan spor içeceklerinin ürün özellikleri şunlardır;

1. Spor içeceklerinde karbonhidratlar glukoz, sakkaroz, maltoz, fruktoz ve glukoz polimerlerinden oluşmalı ve toplam enerjinin en az % 75' i bu karbonhidratlardan sağlanmalıdır.
2. Spor içeceklerindeki sodyum miktarı, 20 mmol/L - 460 mg/L veya 50 mmol/L - 1150 mg/L arasında olmalıdır.
3. Spor içeceklerindeki osmolalite 200-330 mOsm/kg su olmalıdır. Osmolalitesi 270 - 330 mOsm/kg su aralığında olan içecekler 'izotonik' olarak adlandırılır.
4. Spor içeceklerindeki karbonhidrat miktarı en az 2 g/100 ml ve en fazla 10 g/100 ml olmalıdır (Anonim, 2003).

Sporcularda sıvı dengesini sağlamak için en iyi yol her 15-20 dakikalık periyotlarla, 200-350 ml su veya sporcu içeceği tüketilmesidir. Bir saatten daha uzun süren egzersizler, vücudun karbonhidrat depolarını tüketebileceği için bu egzersizlerde sporcu içeceği tüketilmesi önerilmektedir (Ersoy, 2016). Bu sebeple sporcu içeceği günde 2-3 saat veya daha da fazla antrenman yapan sporcular için vazgeçilmezdir. Araştırmalar, fonksiyonel içecek pazarında en çok tercih edilen içeceğin yüzde 37 ile sporcu içeceği olduğunu göstermektedir (Özçiçek Dölekoğlu vd., 2012).

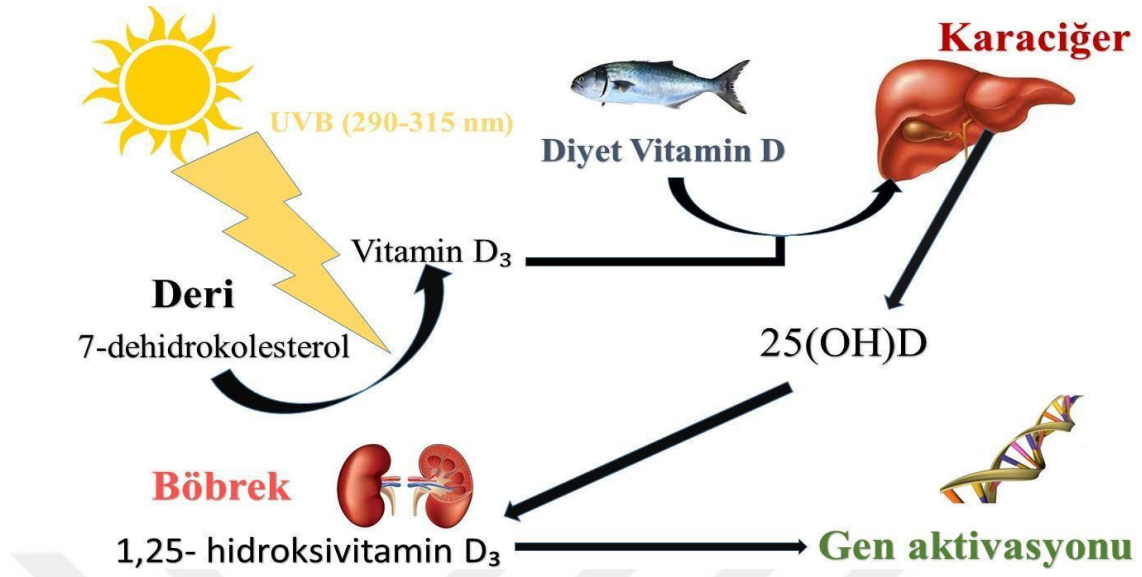
2.4 D Vitamini

19. yy. balık yağı ve güneş ışınlarının raşitizme iyi geldiği biliniyordu. 20. yy. raşitizme bir vitamin eksikliğinin sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Deneysel olarak raşitizmin sıçanlarda oluşturulmasının ardından, balık yağında raşitizmi tedavi eden bileşiğin A vitamini olmadığı, yağda eriyen başka bir bileşik olduğu saptanmıştır. McCollum 1922 yılında balık yağını oksijen temasına tutarak A vitaminini oksitleyerek etkisiz hale getirdikten sonra D vitaminini izole etmiştir. 1924 yılında ise bazı besinlerin ultraviyole ışınlarına tutulması sonucu raşitizmi tedavi edici özellik kazandıkları bulunmuştur. D vitamini, vücuda besinlerden veya vücut dokusundaki ön öğenin ultraviyole ışını etkisi ile D vitaminine çevrilmesi ile alınabilir (Baysal, 2011).

D vitaminini beslenmede “ergokalsiferol D₂” ve “kolekalsiferol D₃” olmak üzere iki yapıda bulunur. Bitkisel kaynaklı olan ergestrol güneşin ultraviyole ışınlarıyla “ergokalsiferol” e dönüşür. Ergokalsiferol, yiyeceklerde katkı maddesi olarak bulunan formudur. Hayvan organizmasında deride bulunan “7-dehidrokolesterol” ergestrol gibi güneş ışınları etkisi ile kolekalsiferole (vitamin D₃) dönüşür. Deride sentezlenen vitamin D₃ karaciğerde, dolaşımdaki temel formu olan 25-hidroksivitamin-D (25(OH)D)’ye dönüşür (Aksoy, 2011; Öncül Börekçi, 2019). 25(OH)D böbreklerde aktif şekli olan 1.25-(OH)₂D’ ye dönüşür (Baysal, 2011).

1.25-(OH)₂D hücrelere taşınarak iki yolla işlevsellik gösterir. Birincisi, D vitamini reseptörlerine (VDR) bağlanır ve bu yapı ribonükleik asit x- reseptörü ile üçlü kompleks oluşturur. Oluşan bu üçlü kompleks DNA’ya bağlanarak osteokalsin, CaBP gibi bazı genlerin transkripsiyonunu artırırken, IL-2 gibi inflamatuvar genlerin transkripsiyonunu azaltır. İkincisi, plazma membranındaki D vitamini reseptörlerine bağlanarak sitoplazmadaki MAP kinaz ve C-AMP’ yi aktive ederek hücre membranlarındaki kalsiyum kanallarını uyarır. Bu uyarı pankreas beta hücrelerini, düz kas hücrelerini, kalp kası hücrelerini ve monositleri etkiler.

Vitamin D reseptörleri çok fazla doku hücrelerinde bulunmaktadır. Ayrıca D vitamin reseptörlerinin birçok protein sentezi regülasyonu ile ilişkilidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. D vitamininin vücudumuzdaki döngüsü.

Tüm vücutta 1,25-(OH)₂D 'nin etkilerinin başlıcalarını şu şekilde sıralamamız mümkündür;

1. Kalsiyum emilimini uyarmak,
2. PTH salınımını azaltmak,
3. Osteoklastik kemik rezorpsiyonunu uyarmak,
4. Osteoblastları uyarmak,
5. Kollojen tip 1 üretimini azaltmak,
6. Kas işlevini iyileştirmek,
7. İnsülin salınımını uyarmak,
8. Bağışıklık sisteminde ve hücre farklılaşmasında etkinlik göstermek (Baysal, 2011).

D vitamininin yağ hücrelerinde depolanarak ihtiyaç halinde dolaşıma salınabilir olması, vücut hemostazında etkili olması, kemik-mineral dengesini sağlaması ve üretildiği dokudan farklı dokularda görev yapabilmesiyle “hormon özelliği gösteren vitamin” olarak da adlandırılmaktadır (Demir, 2019). Vitamin D’ ye cevap veren 1000’den fazla gen tanımlanmıştır. Tanımlanan bu genlerin hepsi spor sağlığı ve

atletik performans için önemli olan; kas protein sentezini, kas gücünü, kas boyutunu, reaksiyon süresini, dengeyi, koordinasyonu, dayanıklılığı, immun sistemi etkiler (Shuler vd., 2012).

Derideki D vitamini üretimi cilt rengi, güneş koruyucusu kullanımı, güneşe maruz kalınan saatler, mevsim, enlem, boylam ve hava kirliliğine bağlı olarak değişmektedir. D vitamini sentezinde etkili olan bir diğer faktör de, güneş ışınlarının dünyaya geliş açısıdır. Zenith açısı olarak bilinen bu açı Türkiye’de Mayıs – Kasım ayları arasında D vitamini sentezi için uygundur. Bu aylarda 10:00 -15:00 saatleri arasında deride, hafif pembelik oluşturacak kadar güneşe maruz kalınması ile vücutta optimal D vitamini sentezi yapılabilmektedir (Öncül Börekçi, 2019).

D vitamini beslenme kaynakları; ringa balığı, somon balığı, sardalya ve balık karaciğeri yağı gibi tuzlu su balıklarıdır. Sığır eti, tereyağı gibi hayvansal ürünlerde de az miktarda D vitamini bulunur (Allen vd., 2006). Balık karaciğer yağı D vitamininin en yoğun bulunduğu yerdir. 100 g balık karaciğer yağında 10000 IU D vitamini içerir. 100 gram balıktaki D vitamini miktarı, yağlı olduğu takdirde 300-1000 IU ‘dır. Diğer yiyeceklerde D vitamini miktarı oldukça azdır. Örneğin en zengin kaynak sayılan karaciğer 100 gramında 100-400 IU, tereyağı 50-60 IU, sütün bir litresi 3-10 IU, 1 yumurta sarısı 20-100 IU civarında D vitamini içermektedir (Baysal, 2011).

26 Ocak 2017 tarihli, 29960 sayılı, Resmi Gazete ’de (Mükerrer) yayımlanan ‘Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği’nde ‘sağlık beyanı’ tanımı; ”herhangi bir gıda grubunun, gıdanın veya gıdanın bileşiminde bulunan öğelerin sağlıkla ilişkisini belirten, ileri süren veya ima eden beyan” şeklindedir. Sağlık beyanının yapılabilmesi için, bahsi geçen besin öğesinin veya diğer öğenin bir gıdada veya gıda grubunda bulunması, bulunmaması veya miktarının azaltılmasının genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla ortaya konulan, yararlı bir besleyici veya fizyolojik etkisinin olduğunun gösterilmesi gerekir. Bu doğrultuda, aynı yönetmeliğin ekinde belirtilen D vitamini için onaylanmış sağlık beyanları ise şunlardır; D vitamini, kalsiyumun ve fosforun normal emilimine/kullanımına, normal kan kalsiyum düzeyine, normal kemiklerin korunmasına, normal kas fonksiyonunun korunmasına, normal dişlerin korunmasına, bağışıklık sisteminin normal fonksiyonuna katkıda bulunur ve D vitamininin hücre bölünmesinde görevi vardır (Anonim, 2017).

2.5 Türkiye ve Dünyada D Vitamini Eksikliği

D vitamini düzeyini en iyi gösteren parametre serum 25(OH)D düzeyidir. Literatüre bakıldığında optimal serum 25(OH)D düzeyi ile ilgili görüş birliğinin sağlanmadığı görülmektedir (Magee vd., 2014; Öncül Börekçi, 2019). Genellikle 75 nmol/L üzerindeki düzey ‘yeterli’, 50-75 nmol/L arası ‘yetersizlik’, 50 nmol/L altındaki düzey ‘eksiklik’ olarak tanımlanmaktadır (Öncül Börekçi, 2019). ABD Tıp Enstitüsü tarafından D vitamini yetersizliği, serum 25-hidroksi D vitamini düzeyinin 50 nmol/L’nin, eksikliğin ise serum 25-hidroksi D vitamini düzeyinin 30 nmol/L’nin altına düşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kronik serum 25-hidroksi D vitamini düzeyinin 30 nmol/L’nin altında olması çocuklarda raşitizm, yetişkinlerde osteomalazi olarak kendini göstermektedir.

Sporcularda yapılan çoğu çalışmada serum D vitamini seviyesi ile geçirilen üst solunum yolu enfeksiyonları ve sağlıklı bir bağışıklık sisteminin varlığı arasında önemli ilişki olduğuna işaret etmektedir. Yeterli kanıt olmamakla birlikte, sporcular için serum D vitamini seviyesinin 75 veya hatta >120 nmol/L olması, D vitamininin istenen iskelet dışı sağlık yararlarını elde etmek için optimal kabul edilebileceği öne sürülmüştür (Todd vd., 2016) .

Kemik ve diş dokusunda bulunan kalsiyumun vücutta etkin kullanımında rol almasıyla vitaminler arasında çok önemli yere sahip olan D vitamini, 2019 yılında yayımlanan “Türkiye Beslenme Rehberi TÜBER 2015’de eksik tüketilen besin öğeleri arasında ilk sırada ve tüketimi artırılması gereken besin ve besin öğeleri arasında yer almaktadır. Rehberde göre Türkiye genelinde ve tüm yaş gruplarında tüketim açığı en yüksek olan besin ögesi D vitaminidir (Anonim, 2019). Literatürde belli gruplarda düşük D vitamini düzeylerini saptayan pek çok kesitsel çalışmalara ulaşılabilir (Hamilton vd., 2010; Kurt vd.,2011; Nazıyır vd., 2017) .Fakat bu rehber; T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Daire Başkanlığı ile üniversitelerin beslenme ve diyetetik bölümleri, kurumların ilgili birimlerinin katılımı ve katkıları ile halk sağlığının geliştirilmesi amacıyla hazırlanan geniş kapsamlı bir çalışmanın ürünü olmasıyla eşsizdir.

Ülkemizde 2005 yılı itibariyle T.C. Sağlık Bakanlığınca ‘D Vitamini Yetersizliğinin Önlenmesi ve Kemik Sağlığının Geliştirilmesi Projesi ile dengesiz ve yetersiz

beslenmeye bağılı sağıık sorunlarından olan raşitizmin önlenmesi amaçlanmaktadır. Proje dâhilinde, ülke genelinde bebeklerin kemik gelişimini desteklemek amacıyla bir yaş altı ocuklara 400 IU/gün olacak şekilde cretsiz D vitamini desteğine başlanmıştır. Ardından 2011 yılında, T.C. Sağlık Bakanlığınca gebelerde D vitamini eksikliğinin yaygın bir sorun olmasını dikkate alarak ‘D vitamini Destek Programı Uygulaması ile gebelere cretsiz D vitamini dağıtılmasına dayanan program başlanmıştır (URL-2 ; URL-3).

2005-2006 yıllarında ABD’de Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme Araştırması’nda (National Health and Nutrition Survey-NHAMES) 20 yaş ve üzeri yetişkinlerin % 41,6’sında serum 25(OH)D düzeyi 50 nmol/L’nin altında yani ‘eksiklik’ tablosunda olduğu bulunmuştur (Öncül Börekçi, 2019).

Dünyada halk sağlığı sorunu olarak görülen D vitamini eksikliği tablosunu düzeltmek için pek çok ülkede yapılan çalışmaların sayısının arttığını söyleyebiliriz. Vücudun D vitamini ihtiyaını karşılamak için belli gıdaların D vitamini ile zenginleştirilmesi tercih edilen yollardan birisidir. Örneğin Finlandiya 2003 yılında sıvı süt ve yağları D vitamini ile zenginleştirmiştir. Ayrıca 2003 yılında uyguladığı takviye miktarını 2010 yılında iki katına çıkararak, bu halk sağlığı sorununu neredeyse ortadan kaldırmayı başarmıştır (Grant ve Boucher, 2019).

D vitamini eksikliğinden kaynaklanan morbidite, Birleşik Krallık, ABD, Kanada, İşkandinav lkeleri ve Avustralya gibi ülkelerde sıklıkla rastlanmaktadır. Bu lkeler vücuda D vitaminin alımını artırmak için farklı politikalar uygulamaktadır. Örneğin Birleşik Krallık’da D vitamini içeren multivitamin takviyelerini, tüm bebekler ve dört yaşına kadar olan çocuklar, hamile kadınlar ve emziren annelerin kullanması sağlanmaktadır. Ayrıca bebek mamalarında ve sürülebilir yağlarda zorunlu olarak D vitamini ile zenginleştirilmesi sağlanırken, kahvaltılık tahıllar ve süt ürünlerinde gönüllü olarak D vitamini ile zenginleştirilmektedir (Aguar vd., 2020).

D vitamini eksikliği tablosu genel popülasyonda sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Raşitizm, osteomalazi gibi komplikasyonların önlenebilmesi iyi planlanmış halk sağlığı stratejileriyle mümkündür. Bu komplikasyonların sebep olduğu sağlık maliyetine kıyasla D vitamini eksikliğini önlemek için yapılan güçlendirme çalışmalarının çok daha az maliyet oluşturduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca

zenginleştirme yapılması için seçilen gıdanın hedeflenen nüfus tarafından tüketilmesi önemlidir. D vitamini eksikliği ile mücadele edecek yol haritası oluşturulurken klinisyenler, beslenme uzmanları, sağlık ekonomistleri, halk sağlığı uzmanları ve politika yapıcılar gibi çok disiplinli profesyonellerin ortak çalışması stratejik öneme sahiptir (Aguiar vd., 2020).

Dünyanın içinden geçtiği koronavirüs hastalığı (COVID-19) pandemisi süresince D vitamini eksikliği ve hastalığın ağır seyretmesi arasındaki ilişki sürekli tartışılmıştır. Konuyla ilgili Kaya vd. (2021) tarafından yapılan bir meta analiz sonucu uygun 21 araştırma incelenmiş, düşük D vitamini düzeyine sahip kişilere COVID-19 bulaşma olasılığı, 1,64 kat daha fazla bulunmuştur. Aynı zamanda D vitamini düzeyi 50 nmol/L' nin altındaki bireylerde hastalığın şiddetli seyretme olasılığının da 2,42 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir (Kaya vd., 2021).

2.6 D Vitamininin Sporcu Sağlığına ve Performansına Etkisi

Sporla beslenme, antrenmana adaptasyon, uygun performans ve antrenman sonrası toparlanmada, yaralanma sonrası iyileşme döneminde önemlidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, makro ve mikro besin öğelerinin dayanıklılık ve kuvvet antrenmanlarına iskelet kasının uyumlarının gerçekleşmesinde rol alan hücresel sinyal yollarında rol oynadığına işaret etmektedir (Güzel, 2018). Sporcunun genel sağlık durumu göz önünde bulundurularak beslenme planı hazırlanması çok önemlidir. Çünkü insan organizmasının günlük 50 çeşidin üzerinde besin ögesine ihtiyacı vardır. Besin öğelerinin belirli bir süre yetersiz tüketimi veya birkaçının tüketilmemesi sporcunun sağlığının bozulmasına ve performansının düşmesine neden olmaktadır (Ersoy, 2012). Bir sporcunun sağlıktan ödün vermeden hedeflerine ulaşabilmesi için nitelikli beslenme takviyeleri çok önemlidir (Close vd., 2019). Egzersizde vücudun mikro besin öğelerine olan ihtiyacın artmasına sebep olduğundan çoğu sporcu bu mikro besin öğelerini takviye olarak almaktadır. Sporcuların en sık kullandıkları mikro besin takviyeleri kalsiyum, D vitamini, demir ve bazı antioksidanlardır (Thomas vd., 2016).

Spor çevreleri tarafından kabul gören bir otorite olan Avustralya Spor Komisyonu tarafından, sporcularda kullanılan ergojenik ürünlerin performans üzerinde etkileri incelenerek hazırlanan kanıt düzeyi tablolarına bakıldığında, yaralanmalarda iyileştirici ve antrenman sonrası toparlanmayı destekleyici olarak D vitamini, A

grubunda yer almaktadır. Yani incelenen iyileştirici bileşenler arasında D vitamini, etkinliği bilimsel olarak en güçlü ortaya konulmuş olanıdır. D vitamini, teşhis edilen besin eksiklikleri dahil olmak üzere klinik sorunları önlemek veya tedavi etmek için kullanılan, bir pratisyen doktor/akredite spor diyetisyeni uzman rehberliğinde daha geniş bir plan dahilinde kullanılan tıbbi takviyedir (URL-4).

D vitamini takviyesi genel popülasyon için 800 IU ile 1000-2000 IU/gün takviye önerilir. Sporcular için net takviye protokolleri yoktur. Ancak literatürde, toksisiteyi önlemek için dikkatli izlemle birlikte, 8-16 hafta boyunca 50000 IU/hafta veya birkaç hafta boyunca 10000 IU/gün içeren kısa süreli, yüksek doz takviyesi, yetersizlik olan sporcular için uygulanması uygun olabilir şeklindedir (Maughan vd., 2018). Bir diğer çalışmada ise serum 25(OH)D'nin yaz aylarında güneşe maruz kalma ile 75 nmol/L'den daha yüksek olmasını sağlamak için kış aylarında günlük önerilen doz 2000–4000 IU D₃ alımıdır (Close vd., 2019). Başka bir çalışmada ise stres kırıkları dahil kırığın önlenmesi için 40 ng/mL 'nin üzerinde 25 (OH) D düzeyi önerilmektedir (Shuler vd., 2012).

D vitamini reseptörlerinin kas hücrelerinde varlığının keşfiyle, atletik performans ve yaralanmalar ile D vitamini arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmaların sayısı artmıştır (Ogan ve Pritchett, 2013). İskelet kasında bulunan D vitamini reseptörlerine bağlanan D vitamini, kas protein sentezini artırır. Düşük D vitamin düzeyi, azalmış fiziksel performans, düşme ve kırık riskindeki artış, el sıkma gücü, kas kütlesindeki azalma ve Tip 2 kas liflerinde atrofi ile ilişkilidir. Ayrıca ciddi D vitamini yetersizliğinde miyopati geliştiği belirlenmiş, yürüme hızı ile D vitamin düzeyi arasında pozitif korelasyon olduğu bildirilmiştir (Gönen Aydın, 2014; Shuler vd., 2012).

Sporcularda istenen D vitamini düzeyi; yaralanma ve düşmeyi önler, rehabilitasyon sürecini destekler, kas gevşemesini artırır, kas ağrısını, zayıflıklarını iyileştirir, fiziksel performansın gelişimine katkı sağlar (Chatterjee, 2014). Ayrıca kas yaralanmalarından korunmak, stres kırıklarının oluşumunu önlemek için (Gönen Aydın, 2014; Thomas vd., 2016) ve stres kırıklarının egzersiz uyum sürecinde önemlidir (Maughan vd., 2018). Öte yandan, D vitamininin kronik hastalıkların önlenmesindeki olumlu etkileri (Gönen Aydın, 2014), temel vücut işlevinde rol alması (Ogan ve Pritchett, 2013) nedeniyle sporcu olsun ya da olmasın, tüm bireyler için normal düzeylerdeki D vitamini seviyesinin yaşam kalitesini arttıracığı kesindir.

Kuzey bölgelerde yaşayanlar, koyu tenliler, kapalı alanlarda spor yapanlar, gün içinde erken ve geç saatlerde antrenman yapanlar ve güneş ışığına maruz kalmayı engelleyen fiziksel donanım kullananlar, güneş ışığından yeterince yararlanamadığı için bu sporcular, D vitamini yetersizliği açısından yüksek risk grubundadır (Magee vd., 2014; Todd vd., 2016). Orta Doğulu erkek sporcular üzerinde yapılan kesitsel bir çalışmada, sporcuların D vitamini durumlarını değerlendirmek için, serum 25(OH)D seviyelerine bakılmıştır. Sporcuların yüzde doksan birinde serum 25(OH)D seviyeleri eksik bulunmuştur (serum konsantrasyonu, <50 nmol/L) (Hamilton vd., 2010). Benzer çalışma elit salon sporcularında yapılmış ve D vitamini eksikliği görülme yüzdeleri; basketbolcularda % 94, jimnastikçilerde % 83 olarak saptanmıştır (Chatterjee, 2014) .

Polonyalı elit sporcularla yapılan çalışmada, kış aylarında atletizm sporcularının % 80'i ve salon sporcularının % 84'ü yetersiz D vitamini durumuna sahipken, yaz aylarında atletizm sporcularının % 42'si ve salon sporcularının % 83'ü yetersiz D vitamini durumuna sahip olduğu görülmüştür. Atletizm sporcularında salon sporları yapan sporculara göre 25(OH)D konsantrasyonu önemli ölçüde yükselmiş ve yazdan kışa D vitamini düzeylerinde böyle bir değişiklik gözlenmiştir. Salon sporcuları, tüm yıl boyunca yetersiz D vitamini durumuna sahip oldukları, kış mevsiminde hem salon hem de açık hava sporcularında D vitamini tedavisine ihtiyaç duyan sporcuların yüzdesinin yakın olduğu, yaz aylarında ise D vitamini durumunun atletizm sporcularında görülme yüzdesi belirgin düşerken salon sporcularında sadece % 1 azalma görülmüştür. Son olarak çalışmada tüm elit sporcuların D vitamini düzeyinin yıl boyunca takip edilmesinin önemi vurgulanmaktadır (Krzywanski vd., 2016).

Üst solunum yolları enfeksiyonu sporcularda sık rastlanan bir durum olup dakika ventilasyon hızını arttırarak sporcuların performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Spence vd., 2007). Dört aylık bir kış antrenman periyodunda, dayanıklılık sporcuları ile yapılan çalışma, D vitamini düzeyi ile sporcularda üst solunum yolları enfeksiyonuna yakalanma riski arasında ters ilişkinin olduğunu göstermiştir (He vd., 2013). Ayrıca bazı çalışmalarda da sporcular için üst solunum yolu semptomlarının önlenmesinde veya tedavisinde en umut verici beslenme takviyelerinin D vitamini ve probiyotikler olduğuna dikkat çekmektedir (Maughan vd., 2018).

Dört aylık bir süre boyunca tablet şeklinde günde 2000 IU D vitamini desteği yapılan elit klasik balerinlerde kontrol grubuna oranla izometrik kas gücünde % 18,7, zıplama

yüksekliğinde % 7,1 oranında artış saptanmıştır. Ayrıca deney grubunun çalışma boyunca kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha az yaralanmaya maruz kaldığı görülmüştür. Çalışmada, D vitamini takviyesi, özellikle bale dansçıları gibi kapalı salonlarda antrenman yapan sporcular için kış aylarında kullanımına işaret etmektedir (Wyon vd., 2014).

Rockwell vd.. (2019), kolej sporcularının sağlığı ve performansı üzerinde D vitamini takviyelerinin etkisini değerlendirmek amacıyla yaptığı çalışmada, D vitamini takviyesinin özellikle güneş ışığı teması az olan sporcularda 25 (OH) D düzeyini yükseltmek ve kolej yüzücülerinde dayanıklılık ve gücü artırmak için etkili bir strateji olduğunu belirtmiştir (Rockwell vd., 2019). Demir (2019), Türkiye Voleybol Federasyonu Sporcuları ile yaptığı çalışmasında, salon voleybolunda mücadele eden sporcuların güneş ışınları ile temasının yetersiz olması sebebi ile bu sporcuların D vitamini eksikliği açısından “yüksek risk” grubunda yer aldıklarını belirtmiştir. Çalışmada, sporcuların büyük çoğunluğunda D vitamini yetersizliği veya eksikliği tespit edilmiş ve sporcuların sağlık durumları ile aerobik veya anaerobik performanslarının olumsuz yönde etkilendiği sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda sporcuların 25(OH)D düzeylerinin takibi yapılarak, yetersizlik durumunda diyet veya diyet dışı kaynaklardan D vitamini desteğinin yapılmasının sporcunun genel sağlık ve spor performanslarının sürdürülmesi veya geliştirilmesi için önemli olduğu ifade edilmektedir (Demir, 2019).

ABD Tıp Enstitüsü kılavuzlarına göre, elit İrlandalı sporcularının % 14'ünde D vitamini yetersizliği/eksikliği belirlenmiştir. Çalışmada sporcuların D vitamini eksikliği durumunda, D vitamini takviyesi için takım diyetisyenine danışarak doping maddesi içermediği test edilen takviyelerden tüketerek bu sorunun çözülebileceği belirtilmiştir (Todd vd., 2016).

2.7 D Vitamini Takviyesi Karar Ağacı

Türkiye Beslenme Rehberi TÜBER 2015’de, her yaşa ait farklı enerji alım düzeylerine göre önerilen beslenme örüntüleri, D vitamini hariç diğer besin öğelerini yeterli düzeyde (% 100’e yakın, % 100 veya % 100’ün üzerinde) karşılamaktadır. Fakat besinlerde D vitamini çok az bulunduğundan önerilen beslenme örüntüleri, D vitamini için belirlenmiş yeterli alım miktarının sadece % 6-25’ini karşılamaktadır. Rehberde,

diyetteki D vitamini yetersizliğine çözüm önerisi şu şekildedir ;“ cilt kanseri riski nedeni ile direk güneş ışığı temasının sınırlandırılması gerektiği göz önüne alınarak, D vitamini düzeyinin yeterli sınırlar içinde tutulabilmesi için doktor tavsiyesiyle D vitamini desteği yapılabilir “ (Anonim, 2019).

Endokrin Derneği, tüm yetişkinlerin günlük 1500-2000 IU D vitamini almasını önermektedir (Wacker ve Holick, 2013). EFSA (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi) ve 30 Kasım 2010'da güncellenen Tıp Enstitüsü'nün (IOM) D vitamini için diyet alım gereksinimlerine ilişkin halk sağlığı raporunda yetişkinler için D vitamini üst alım seviyesinin günde 100 µg (4000 IU) olarak belirlemiştir (Pilz vd., 2018; Ross vd., 2011). Ayrıca alınan her 100 IU D vitamini için dolaşımdaki 25(OH)D konsantrasyonunun yaklaşık 0,6–1,0 ng/mL arttığı bilinmektedir (Wacker ve Holick, 2013).

D vitamini intoksikasyonu, en nadir görülen tıbbi durumlardan biridir ve genellikle uzun süreler boyunca aşırı yüksek dozlarda D vitamininin alınması sebep olmaktadır. Genellikle D vitamini intoksikasyonu 25(OH)D>200 ng/mL olana kadar gözlenmez. Bir kişi ne kadar güneşe maruz kalırsa kalsın, bu asla D vitamini zehirlenmesinin nedeni olmaz çünkü güneş ışığının kendisi aşırı D vitamini ve previtamin D' yi yok etmektedir (Wacker ve Holick, 2013).

EFSA D vitamini üst alım seviyesini, günlük 250 µg (10000 IU) dozun yetişkinlerde "Hiçbir Olumsuz Etkinin Görülmediği Düzey (NOEL)" yansıttığını bildirmektedir. Doğal güneşe (UV-B) maruz kalma yoluyla maksimum endojen D vitamini sentezi, günlük yaklaşık 500 µg (20000 IU) oral D vitamini alımına eşdeğer 25(OH)D seviyelerini artırır ve bu da NOEL değerinin doğruluğunu desteklemektedir (Pilz vd., 2018). Ayrıca başka çalışmada da D vitamini gerçek toksisite tablosunun 250 nmol/L'lik serum 25(OH)D değerlerinin altında görülmeyeceği, bu tablonun da yalnızca 250 µg (10000 IU) / günü aşan sürekli oral alımlarda karşılaşılabileceğini ifade etmektedir (Heaney, 2005).

D vitamini alımını artırmanın hiçbir dezavantajı olmadığı gibi sadece kas-iskelet sağlığında değil, aynı zamanda genel sağlık için iyileşme sağlanmaktadır. Sadece dünyanın D vitamini statüsünü iyileştirerek sağlık harcamalarının % 25'inin azaltılabileceği tahmin edilmektedir (Wacker ve Holick, 2013). ABD'de D vitamini

takviyesi için harcanan para 2001 yılında 40 milyon dolar iken 2011 yılında bu miktar 600 milyon dolara yükselmiştir (Razzaque, 2018).

D vitamini eksikliğini önleme ve tedavi edici stratejileri şu başlıklar altında toplayabiliriz;

1. Doğal olarak D vitamini içeren zengin gıdaların alımını artırmak; D vitamini açısından zengin az sayıda besin kaynağı bulunduğu için diyetle düşük D vitamini alımını önlemeye yönelik en az etkili stratejidir (Cashman ve Kiely, 2014).

2. D vitamini takviyesi; farklı yaş, ırk, etnik ve cinsiyet gruplarında D vitamini alımını önemli ölçüde iyileştirdiği kanıtlanmıştır ve genel kanı yüksek risk gruplarında D vitamini takviyesinin uygunluğu şeklindedir (Cashman ve Kiely, 2014). Klinik öneme sahip olmakla birlikte, D vitamini takviyesi, güneş ışığına maruz kalmama veya endojen D vitamini sentezini bozabilecek önceden var olan hastalıklar nedeniyle D vitamini eksikliği gelişme riski yüksek olan özel bireylerde yararlı olabilir (Razzaque, 2018). Sporcularda D vitamini takviyesi karar ağacı şu şekilde çizilmiştir;

* ‘Vücudunun % 35’inden az kısmı günde 20 dakikadan az ve doğrudan güneş ışınları ile temas ediyor mu?’ veya ‘30 derecenin altında veya 60 derecenin üzerindeki enlemlerde yaşıyor mu?’ sorularına cevap hayır ise sporcunun D vitamini takviyesine gerek yoktur fakat cevap evet ise bir sonraki adıma geçilir.

* Bu adımda sporcunun koyu tenli olup olmadığı ve 25(OH)D değeri sorgulanır. Sporcu koyu tenli değil ve 25(OH)D değerini öğrenebilmek için test yaptıramıyorsa sporcuya günde 2000-4000 IU vitamin D₃ takviyesine karar verilir. Sporcu koyu tenli değil ve 25(OH)D değeri 75 nmol/L üzerinde ise sporcuya ek D vitamini takviyesine gerek yoktur. Sporcu koyu tenli değil ve 25(OH)D değeri 75 nmol/L altında ise sporcuya günde 2000-4000 IU vitamin D₃ takviyesine karar verilir. Sporcu koyu tenli ve serbest/biyoyararlı 25(OH)D değerini öğrenebilmek için test yaptıramıyorsa sporcuya günde 2000-4000 IU vitamin D₃ takviyesine karar verilir. Sporcu koyu tenli ve serbest/biyoyararlı 25(OH)D değeri 5 nmol/L üzerinde ise sporcuya ek D vitamini takviyesine gerek yoktur. Sporcu koyu tenli ve serbest/biyoyararlı 25(OH)D değeri 5 nmol/L altında ise günde 2000-4000 IU vitamin D₃ takviyesine karar verilir (Close vd.,2019). Sporcular için hazırlanan bu karar ağacı kriterlerinde D vitamini eksikliğini

değerlendirmede 25(OH)D değerinin farklı formlarının kullanıldığı görülmektedir. Bir diğer çalışma ise, 25(OH)D'nin farklı formlarının, özellikle biyoyararlı/serbest formlarının belirlenmesinin, bir grupta D vitamini eksikliğini değerlendirmek için standart 25(OH)D toplam tayinine göre ek avantajlar sağlamadığı şeklindedir (Peris vd., 2017).

3. Artan güneş UV-B maruziyeti; Daha fazla güneş ışığına maruz kalmaya ilişkin tavsiyeler, serum 25(OH)D konsantrasyonlarını artırmaya yardımcıdır fakat cilt hasarı ve cilt kanseri ile ilgili olumsuz etkileri olması sebebi ile bu sınırlı bir stratejidir (Pilz vd., 2018). Güneş ışınları etkisi ile hafif D vitamini etkisi gösteren bazı moleküllerde oluşabilir. Bu moleküllerden biyolojik etkinlik gösterenler D vitamini olarak tanımlanmaktadır. İnsan derisi güneşin ultraviyole ışınları ile 15-30 dakika içinde 7-dehidrokolesterolün yaklaşık % 15'i kolekalsiferole dönüştürür ve daha uzun süre ışınlanmada D vitamin aktivitesi göstermeyen lumesterol benzeri moleküller oluşmaktadır (Baysal, 2011).

4. Gıdaların D vitamini ile zenginleştirilmesi; genel kanı, gıdaların D vitamini ile zenginleştirilmesi bireylerin günlük D vitamini alım düzeyini iyileştirmede önemli bir etkisi olduğu şeklindedir (Cashman ve Kiely, 2014; Pilz vd., 2018).

2.8 D Vitamini ile Zenginleştirilmiş Besinler

İnsanlar, sınırlı doğal kaynaklar, yetersiz beslenme, gıda üretimi, gıdanın depolanması ve taşınması sırasında kimyasal dengenin bozulması nedeniyle bazı vitaminleri gerekli günlük alım miktarını (RDI) alamazlar (Öztürk, 2017). D vitamini eksikliği genel popülasyonda sıklıkla karşılaşılmaktadır. D vitamini eksikliği tanım kriterlerine, yaşa, yılın mevsimine ve popülasyonun özelliklerine bağlı olarak çalışmaya katılanların % 28 ile % 92 'sinde tespit edilmektedir (Peris vd., 2017). Besinlere D vitamini takviyesi pek çok ülkede halk sağlığını korumak için alınan önlemlerden biridir (Allen ve Benoist, 2006).

D vitamini takviyesi, 1930'larda ve 1940'larda Amerika Birleşik Devletleri'nde ve İngiltere gibi birçok sanayileşmiş ülkede, süt başta olmak üzere, bira, sosisli sandviç, muhallebi gibi çeşitli yiyecek ve içeceklerle eklenmiştir. Bu gıda takviye politikası raşitizmi önlemede son derece etkili olsa da 1950'lerde İngiltere ve diğer birçok

Avrupa ülkesinde hiperkalsemi vakalarının gözlemlenmesi sebebiyle yasaklanmıştır. Fakat dönemin şartlarında serum 25(OH)D düzeyi bakılamadığı için bu hiperkalsemik vakaların sebebi net olarak ortaya koyulamamıştır. Büyük Britanya'daki hiperkalsemik vakaların williams sendromu adı verilen hiperkalsemi tablosu ile ilişkili kalıtsal bir rahatsızlığa sahip olabilecekleri de düşünülmüştür (Pilz vd., 2018).

Örneğin, 1920'lerden beri Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde çocuklarda D vitamini eksikliğinin giderilmesinde büyük katkısı olmasıyla bilinen politika ile bu vitamin süte eklenmiştir. Sanayileşmiş ülkelerde çoğunlukla diyetteki D vitamini, D vitamini ile zenginleştirilmiş süt ve margarinerden karşılanmaktadır (Allen ve Benoist, 2006). D vitamini takviyeli sıvı süt ürünlerinin hem D vitamini alımına hem de serum 25(OH)D düzeyine pozitif etkisi olduğu 2018 yılında yayımlanan çalışmada açıkça belirtilmektedir. Fakat aynı çalışmada sadece sıvı sütlerin zenginleştirilmesinin yeterli olmayacağı ülkeye özgü temel gıdaların D vitamini taşıyıcısı olarak seçilmesine de dikkat çekmektedir (Pilz vd., 2018).

Ulusal D vitamini takviye politikası, sıvı sütlere yaklaşık 1 µg/100 g düzeyinde olan Finlandiya, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada gibi ülkelerde, süt ürünlerinin D vitamini alımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Ancak bir takviye politikası olmadan veya sadece birkaç süt ürününe D vitamini takviyesi ile istenen katkının daha düşük olduğu bulunmuştur. Farklı popülasyon grupları arasında farklı enlemlerde gerçekleştirilen çalışmalar, D vitamini takviyeli süt tüketiminin daha yüksek 25(OH)D konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu da göstermiştir. Bütün bu gözlemsel çalışmalar neticesinde yeterli ortalama süt tüketimi olan popülasyonlarda, D vitamini takviyeli süt, D vitamini alımını ve 25(OH)D durumunu iyileştirmede etkili bir araç olduğunu söylemek mümkündür (Itkonen vd., 2018).

Veri modelleme çalışmaları, D vitamini ile güçlendirilen gıdaların, D vitamini alımını iyileştirdiği yönündedir. Örneğin Finlandiya'daki sıvı süt ürünlerinin ve yağların zorunlu olarak D vitamini ile güçlendirildiği politikanın, 8 yıl uygulanmasının ardından 25(OH)D konsantrasyonlarında 18 nmol/L'lik bir artış sağlanmıştır. Kuzey İrlanda 'daki çalışmada ise inek sütünün 2 µg D vitamini/100 g ile güçlendirildiğinde istenen D vitamini düzeylerinde yaklaşık %12 'lik bir artış sağlanmıştır (McCourt vd., 2021).

Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), yiyeceklere eklenen katkı maddelerinin tüm tüketicilerin güvenle kullanabilmesi için, bilimsel araştırmalar yaparak söz konusu katkı maddesinin belirlenen limitlerde kullanımına yasalarla düzenleyen, Amerika Birleşik Devletleri Sağlık Bakanlığına bağlı çalışan kurumdur. D vitaminini, isteğe bağlı olarak yiyeceklere eklenen katkı maddesi olarak tanımlayan FDA' nın gıdalarda D vitamini takviyesi ile görüşü; “ D vitamini kullanımının güvenli olduğu” şeklindedir. FDA, D vitaminin sırasıyla bebek formüllerinde ve margarinlerde kullanımını onaylamıştır. Ayrıca FDA 2016 Temmuz ayında ise süt, süt türevi gıdalara eklenebilecek D vitamini miktarını arttırdığını belirten onayını yayımlamıştır. Bu onay ile birlikte üreticilerin gönüllü olarak süte 84 IU/100g D₃ vitamini, süt alternatifi olarak tasarlanan bitki bazlı içeceklerle 84 IU/100g D₂ vitamini ve bitki bazlı yoğurt alternatiflerine ise 89 IU/100g D₂ vitamini eklemelerine izin verilmiştir (URL-5).

D vitamininin, düşük su çözünürlüğü ile ışığa ve yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla oksidasyona bağlı vitamin yapısında bozulmalar meydana gelmektedir (Mehmood ve Ahmed, 2020). Ancak yağda çözünmüş halde bulunan D vitamini ise ısıya, oksidasyona, alkali ve aside dayanıklı yapıda bulunur (Baysal, 2011). Suda çözünürlüğün çok az olması sebebiyle D vitamini, tamamen sulu yiyecekler veya içeceklerde çözünemez. Bu sebeple D vitaminin tamamen sulu yiyecek ve içeceklerle takviyesi için yeni teknolojik uygulama şekillerinin denendiği çalışmalar mevcuttur (Kiani vd., 2017; Walia vd., 2017).

Radyo izotopla yapılan araştırmalar neticesinde, ağızdan alınan D vitaminin % 62-91 oranında ince bağırsaklardan kana emildiği bulunmuştur. Buna göre D vitamini emilme oranı ortalama % 79 civarındadır. D vitamini yağlarla birlikte emilip taşındığı için D vitaminin emilimi için yağ ve safra gereklidir. Yağsız diyetlerde D vitamini emilmesi güçleşirken safra yokluğunda da emilme bozulmaktadır (Baysal, 2011). D vitamini emilimi, jejunum ve ileumda gerçekleşen doymamış bir difüzyon olduğu şeklindeydi fakat daha sonra yapılan çalışmalar D vitamini emilimine kısmen kolesterol taşıma proteinlerinin aracılık ettiği ortaya konulmuştur (McCourt vd., 2021).

Yapılan in vitro çalışmaların sonuçları, yağda çözünen vitaminlerin tüketiminden önce bir misel içine eklenmesi ile emilimin iyileştiği şeklindedir. Bu in vitro çalışmaların ardından, çocuklarda ve yetişkinlerde geleneksel bir D vitamini takviyesine kıyasla,

suyla miselleştirilmiş D vitamini takviyesi ile 25(OH)D düzeylerinde daha büyük artışlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise geleneksel yöntemlerle zenginleştirilmiş % 3 yağlı yoğurt ile yağsız yoğurtta, kazein miseli içinde D vitamini kapsüllendiğinde 25(OH)D konsantrasyonlarında önemli bir fark olmadığı görülmüştür (McCourt vd., 2021).

D vitaminin yağda çözünen bir vitamin olması ve su bazlı bir içecekte kolaylıkla karışamayacağı için D vitaminini homojen olarak ürünün her yerine dağılmasını sağlamak için su içinde yağ emülsiyonu sağlanmalı, bu ürünün belli bir raf ömrüyle satışının yapılabilmesi için de bu emülsiyonun stabilitesinin sağlanması gerekmektedir. Bu noktada nanoemülsiyon teknolojisinin kullanılması, gıda endüstrisinin en yeni teknolojik uygulama şekillerindendir.

2.9 Nanoemülsiyon Yöntemi

Nanoteknoloji biyomedikal ve ilaç endüstrilerinde sıklıkla uygulanan bir bilim dalıdır. Gıdalarda daha fazla sağlık beyanına izin verilmesiyle, her geçen gün büyüyen fonksiyonel gıda pazarında farmasötik ve gıda endüstrileri beraber çalışmaya başlamıştır. Bir popülasyonda hedef hastalık risklerini azaltmayı amaçlayan sağlıklı gıdaların geliştirilmesi noktasında karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için gıdaların kanıtlanmış sağlık beyanları ile biyoaktif gıda bileşenlerinin tedarik edilmesi için bir nano yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur (Sanguansri ve Augustin, 2006).

Karotenoidler, kurkuminoidler ve flavonoidler gibi gıdalarda bulunan sağlık etkileri kanıtlanmış bileşikler, katkı maddesi olarak yüksek oranda hidrofobik olmaları sebebiyle düşük biyoyararlanıma sahiptir. Bu sebeple bu nutrasötiklerin potansiyel sağlık yararlarından tam olarak fayda sağlamamız olası değildir. Farmasötik alanında, lipitten zengin gıdalarla birlikte hidrofobik ilaçların alınmasının, özellikle oral biyoyararlanımlarını arttırdığı bilinmektedir. Lipitler, gastrointestinal sistemde safra tuzları, fosfolipidler, yağ asitleri ve monoasit gliserollerle karışık miseller oluşturarak hidrofobik biyoaktif maddelerin çözünürlüğü arttırmaktadır. Ayrıca, hücre zarı geçirgenliğini değiştirerek hidrofobik biyoaktif maddelerin absorpsiyonunu da artırılabilir. Ek olarak nutrasötik maddelerle birlikte alınan lipidlerin varlığı, epitel hücrelerinde şilomikron oluşumunu uyarak nutrasötiklerin emilim yolunu değiştirebilmektedir. Bu şilomikronlar, yüksek oranda lipofilik bileşikler içerebilir ve

bu bileşikler lenfatik yol üzerinden sistemik dolaşıma taşıyabilir (Yao vd., 2020). Gıdalarda doğal olarak bulunan fonksiyonel bileşenlerin biyoyararlılığının artırılması için hem gıda endüstrisinde hem ilaç endüstrisinde bu bileşenlerin lipitlerle beraber uygun formülasyonlarının hazırlanması çalışmaları devam etmektedir.

Fonksiyonel gıda pazarındaki önemli çalışmalardan bir diğeri de karotenoidler, fitosteroller ve antioksidanlar gibi fonksiyonel bileşenlerinin vücudun istenilen yerinde salınımını sağlayarak biyoyararlanımını artırmak ve eklenen bu biyoaktif maddenin gıdanın duyuşal özelliklerini olumsuz etkilemesini önlemektir (İlyasoğlu ve El, 2010).

Hidrofobik özellikli fonksiyonel bileşenlerin gerek gıdalarda gerekse nutrasötiklerde su bazlı ortamlarda homojen bir şekilde dağılımının sağlanması, vücutta emiliminin ve biyoyararlılığının artırılması için son dönemde nanoteknolojideki gelişmelerle çalışmalar nanoemülsiyonların formülasyonuna imkan sağlamıştır.

Emülsiyonlar, birbiriyle karışmayan iki sıvının birbiri içinde dağılmasından oluşmuş, homojen görünümlü heterojen sistemlerdir. Termodinamik olarak dayanıklı değildir. Fiziksel olarak dayanıklı bir emülsiyon, raf ömrü boyunca, dağılmış olan fazda hiçbir ayrılma göstermemeli, az bir çalkalama ile homojen olarak ilk durumuna gelebilmeli ve kolaylıkla akabilmelidir. Fakat emülsiyon ürünlerde, bekleme sırasında kararsızlık sorunları görülebilmektedir. Nanoemülsiyon uygulamalarının çeşitli gıda ürünlerinin dokusunu, kararlılığını, duyuşal ve besleyici kalitesini iyileştirdiği görülmüştür. Gıda üretiminde nanoemülsiyon ilavesinin neden olduğu termodinamik stabilite, optik şeffaflık ve homojen dağılıbilirlik, genel ürün kalitesini artırmaktadır. Nanoemülsiyonların içecek, süt ürünleri, şekerleme, nutrasötik ve gıda ambalaj endüstrisindeki olası uygulamaları, büyük pazar talebini karşılamak için büyük bir potansiyele sahiptir (Dasgupta vd., 2019).

Nanoemülsiyonların, geleneksel emülsiyon yöntemleri ile kıyaslandığında daha avantajlı olduğu söylenebilir. En güncel çalışmalar, nanoemülsiyonlar içinde çeşitli lipofilik nutrasötikler kapsüllenerek, suda dağılıbilirliğini, stabilitesini ve biyoyararlanımını artırılabilir olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, nanoemülsiyonlar dikkatli bir şekilde formüle edilmelidir. Özellikle, lipit faz bileşimi, ara yüzey özellikleri ve parçacık büyüklüğü, uygun fonksiyonel özellikler elde etmek

için kontrol edilmelidir. Bu, nanoemülsiyon bileşimi ve homojenizasyon koşullarının kontrol edilmesiyle başarılabilir. Hem in vitro hem de in vivo çalışmalar, lipofilik nutrasötiklerin oral biyoyararlanımının nanoemülsiyon teknolojisi kullanılarak önemli ölçüde arttırılabileceğini göstermiştir (Choi ve McClements, 2020).

Bir emülsiyon formülasyonu yapılırken yağ fazı, su fazı ve surfaktan olmak üzere en az üç bileşene gereksinim vardır. Bir nanoemülsiyonun hazırlanmasında kullanılan materyaller şunlardır;

1. Yağ fazı: Katı ve sıvı yağlar, mumlar, yağ alkol ve asitleri ile bunların esterleri, hidrokarbonları, gliseritleri ve silikonları içeren türevler kullanılmaktadır (İlyasoğlu ve El, 2010).

2. Su fazı: Su ve su ile karışabilen hidrofilik özellikteki maddeler kullanılmaktadır (İlyasoğlu ve El, 2010). Su fazı, çeşitli polisakkaritleri, yardımcı özücöleri, tuzları, proteinleri ve suda çözünebilen diğeri bileşenleri içerebilmektedir ve çözünen bu bileşenler su fazının pH'sını, iyonik gücünü, vizkozitesini, polaritesini, faz davranışını ve ara yüzey gerilimini etkileyerek nanoemülsiyonların fizikokimyasal özelliklerini belirlemektedir. Bu fazda pektin, guar zımkı, aljinat ve diğeri polisakkaritlerin varlığı nanoemülsiyonun vizkozitesi arttırarak stabiliteyi arttırmaktadır (Alaca vd., 2021).

3. Surfaktan: Emülsiyonlarda iki sıvı fazın moleköleri arasındaki çekme etkileşimlerinin farklılıklarından dolayı iki sıvının temas halinde olduğu her yerde ara yüzey gerilimi (σ) bulunmaktadır. Ara yüzey gerilimini azaltmak amacıyla, amfifilik yüzey aktif moleköler veya surfaktanlar kullanılmaktadır. Emülsiyonlarda surfaktan çoğunlukla su fazında çözünebilmektedir (İlyasoğlu ve El, 2010). Emülsifier veya yüzey aktif maddeleri adıyla da anılan emülgatörler, yağ-su ara yüzeylerine eklenerek, ara yüzey gerilimini azaltıp damlacıkların stabilitesini korumaktadır (Alaca vd., 2021). Kitin , selüloz, nişasta, zein, bezelye proteini, soya proteini, kafirin ve kakao gibi bazı doğal kolloidal parçacıklar su içinde yağ emülsiyonlarında emülgatörler olarak kullanılabilmektedir (Marhamati vd., 2021). Nanoemülsiyonlar, yağ bazlı biyoaktiflerin nanoenkapsölasyonu için uygun hale getiren bir yüzey aktif madde materyalinin mono moleköler tabakası ile sulu fazdan ayrılan lipofilik çekirdeklere sahip olacak şekilde oluşturulabilir (Sanguansri ve Augustin, 2006).

4. Diğer maddeler: emülsiyonların özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan uzun zincirli triaçilgliseroller, mineral yağ ve ester mumları, alkoller ve polioller gibi maddeler örnek verilebilir (Alaca vd., 2021).

Emülsiyon tipi seçilirken, formülasyondaki maddelerin konsatrasyonu, yüzey aktif maddenin yapısı ve üretim işlemleri etkili olmaktadır. Basit nanoemülsiyonlar en az iki fazdan oluşur (İlyasoğlu ve El, 2010). Yağ fazı sulu fazda dağılırsa, bu su içinde yağ emülsiyonu (Y/S) olarak tanımlanmakta sulu faz yağ fazında dağılırsa, bu da yağ içinde su emülsiyonu (S/Y) olarak tanımlanmaktadır (Marhamati vd., 2021).

Nanoemülsiyonlar, birbiri içinde karışmayan veya kısmen karışabilen iki sıvının < 200 nm damlacık boyutunda dispersiyonu ile oluşturulan emülsiyonlar olarak tanımlanmaktadır (Gandra vd., 2021). Başka bir çalışmada ise bu tanım damlacık boyutunun 50-500 nm arasında olduğu sıvı dağılımları şeklindedir. Bu nanoemülsiyonlar, hidrofobik bileşiklerin faz ayırmasına karşı daha iyi stabilite, daha iyi biyoyararlanım ve absorpsiyon kapasitesi göstermektedir (Marwaha ve Dabas, 2019). Karakteristik boyutları sebebiyle nanoemülsiyonlar çıplak gözle şeffaf veya yarı saydam görülmekte ve çökme veya krema oluşumuna karşı dayanıklılık göstermektedir (Solans vd., 2005).

Nanoemülsiyonlar üretebilmek için çok çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler, enerji tüketimine bağlı olarak, yüksek enerjili ve düşük enerjili emülsifikasyon yöntemleri olarak kategorize edilebilmektedir (Nazarzadeh vd., 2013). Nanoemülsiyonlar, dengede olmayan sistemlerdir. Bu yapı kendiliğinden oluşmadığı için sisteme mekanik cihazlardan veya bileşenlerin kimyasal potansiyelinden gelen enerji girişi gerekmektedir. Dağılım veya yüksek enerjili emülsifikasyon yöntemleri olarak adlandırılan yöntemlerle nanoemülsiyon oluşumu, genellikle yüksek kesmeli karıştırma, yüksek basınçlı homojenleştiriciler ve ultrason jeneratörleri kullanılarak elde edilmektedir. Mevcut enerjiyi en kısa sürede sağlayan ve en homojen akışa sahip olan aparatın en küçük boyutları ürettiği bilinmektedir (Solans vd., 2005). Bu emülsifikasyon yöntemleri, ara yüzey gerilimini tipik olarak 1-10 mN/m aralığında azaltmaya yarayan, sürfaktan varlığında kırılma damlalarına enerji uygulamaktadır. Düşük enerjili yöntemler ise emülsiyon bileşenlerinin kimyasal potansiyelini kullanmaktadır. Spontane emülsifikasyon olarak da bilinen, uzo etkisi,

faz inversiyon sıcaklığı ve faz inversiyon bileşimi, düşük enerjili yöntemlere örnek verilebilmektedir (Nazarzadeh vd., 2013).

Nanopartikül sistemlerin oluşturulmasındaki iki temel yaklaşımdan birisi, küçük partiküllerin mekanik süreç ile farklı boyut küçültme işlemlerle üretildiği “yukarıdan aşağıya” yaklaşımıdır. Diğer yaklaşım ise lipidler ve proteinler gibi küçük moleküllerin kimyasal süreç ile kendiliğinde birleşmesi sonucu üretildiği “aşağıdan yukarıya” yaklaşımıdır (Acosta, 2009).

“Yukarıdan aşağıya” yaklaşımı, bir kuvvetin uygulanmasıyla boyut küçültmeyi içermekte ve daha küçük boyut, daha büyük bir yüzey alanı anlamına gelmektedir. Böylece daha iyi su emme, aroma salınımı, biyoyararlanım ve daha hızlı kataliz oranları gibi sonuçlar elde edilebilmektedir (Sanguansri ve Augustin, 2006).

Nanoemülsiyon sistemlerde kullanılan yukarıdan aşağıya yaklaşımını içeren yöntemler;

1. Yüksek basınç homojenizatörleri yöntemi
2. Mikrofluidizasyon yöntemi
3. Membran emülsifikasyonu yöntemi
4. Faz geçiş sıcaklığı yöntemi
5. Ultrasonik emülsifikasyon yöntemi'dir (İlyasoğlu ve El, 2010).

Nanoemülsiyon oluşturmak için kullanılan, yüksek enerjili bir yöntem olan ultrasonik emülsifikasyon yönteminde, akustik kaviteasyon oluşumunu takip eden mekanik titreşimlere neden olmak için bir sonotrot kullanılarak 20 kHz'den fazla frekansa sahip ses dalgaları uygulanmaktadır (Ghosh vd., 2013). Ultrasonikasyon yönteminde enerji harcaması, diğer yüksek enerjili yöntemlere kıyasla en azdır, ayrıca diğer mekanik yöntemlerle karşılaştırdığımızda daha düşük emülgatör konsantrasyonu gerektiren en ekonomik yöntemdir. Bu yöntemin sınırlaması sadece küçük ölçekli kurulumlar için uygun olmasıdır, büyük ölçekli üretimler için geçerli olmamasıdır (Sneha ve Kumar, 2022). Ultrasonik emülsifikasyon yöntemi, sadece küçük partiler için uygun olmakla birlikte damlacık boyutunun azaltılmasında çok etkilidir. Polimerize edilebilir

nanoemülsiyonların hazırlanmasına ilişkin yapılan bir çalışmada, dispersiyon işleminin etkinliğinin, farklı genliklerde ultrasonikasyon süresine güçlü bir şekilde bağlı olduğuna ve monomer ne kadar hidrofobik olursa, gereken sonikasyon süresinin o kadar uzun olduğu gösterilmiştir (Solans vd., 2005). Damlacık çapının boyutu, yağ konsantrasyonu, emülgatör konsantrasyonu, yağ ve yüzey aktif maddenin karışım oranı, sürekli fazın viskozitesi, emülsifikasyon süresi ve enerji girişi gibi proses parametrelerinin optimize edilmesiyle kontrol edilebilmektedir (Ghosh vd., 2013).

Yüksek basınçlı homojenizasyon (6 döngü için 1500 bar basınç), düşük frekanslı ultrasonikasyon (120 s için 40 kHz) ve yüksek frekanslı ultrasonikasyon (1,7 MHz için 1 saat) ile % 5 ayçiçek yağı emülgatörsüz emülsiyonunun hazırlanması üzerine karşılaştırmalı bir çalışmada yüksek frekanslı ultrasonik emülsiyonun birleşmeye karşı en yüksek stabiliteye sahip olduğu bulunmuştur. Bu stabilite süresi 37 °C'de 30 gün olarak belirtilmiştir (Sneha ve Kumar, 2022).

Nanoemülsiyon sistemlerde kullanılan aşağıdan yukarı yaklaşımını içeren yöntemler;

1. Lipofilik solvent yöntemi
2. Amfifilik solvent yöntemi
3. Hidrofilik solvent yöntemidir (İlyasoğlu ve El, 2010).

Gıda sınıfı nanoemülsiyonları formüle etmek için kullanılan taşıyıcı yağ, kapsüllenmiş bileşenlerin biyoyararlanımını belirlemede önemlidir (Sun vd., 2015; Yao vd., 2020). Portakal yağı gibi sindirilemeyen lipitler, hidrofobik biyoaktiflerin gastrointestinal yolundaki biyoerişilebilirliğini azaltmaktadır. Çünkü sindirilmeyen bu yağlar biyoaktif maddeleri serbest bırakmayabilmekte ve karışık miseller oluşumuna katkıda bulunmamaktadır. Kısa veya orta zincirli trigliserit içeren dağıtım sistemleri kolayca sindirilebilmekte, fakat yüksek çözünürlük kapasitesine sahip karışık miseller oluşturmadaıkları için düşük biyoerişilebilirlik sağlayabilmektedir. Uzun zincirli trigliseritleri içeren dağıtım sistemleri sindirilebilmekte ve lipofilik biyoaktif maddeleri çözündürebilen karışık miseller oluşturabilmektedir, böylece yüksek bir biyoerişilebilirlik elde edilebilmektedir (Yao vd., 2020).

Yapılan bir çalışmada vitamin takviyeli nanoemülsiyonlarda taşıyıcı yağ olarak mısır, balık veya keten tohumu yağları kullanılmış ve bu yağların nanoemülsiyonların üretimine, stabilitesine, simüle edilmiş gastrontestinal sistemdeki davranışına etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yağların D₃ vitamini biyoerişilebilirliği mısır yağı > keten tohumu yağı $\approx$ balık yağı şeklinde derecelendirilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda D₃ vitaminin kapsüllemek için, mısır yağı gibi tekli doymamış zengin yağların, keten tohumu veya balık yağı gibi çoklu doymamış zengin olanlardan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır (Schoener vd., 2019). Başka bir çalışmada ise, D vitamini eksikliği yaşayan hastalara 6 hafta boyunca farklı lipit dağılımına sahip D vitamini ile zenginleştirilmiş sütleri içeren bir beslenme programı uygulanmış ve süre sonunda zeytinyağının, hastaların serum 25(OH) D içeriğini önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir. Bu çalışma D vitamini takviyeli süt içeceklerinin lipit bileşeni olarak zeytinyağının kullanımını desteklemektedir (McCourt vd., 2021).

Tangpricha vd.adaşlarının yaptığı çalışmada (2003), D vitamininin biyoyararlanımı için yağın gerekli olmadığını, yağsız berrak bir içecek olan 240 ml portakal suyuna 1000 IU D vitamini takviye ederek göstermişlerdir. Çalışmada, 240 ml portakal suyuna 100 IU D vitamini eklemenin önerilen doz olduğu da ayrıca belirtilmiştir (Tangpricha vd., 2003).

Ron vd.adaşlarının yaptığı çalışmada (2010) yağsız berrak içeceklerin hidrofobik nutrasötikler ile zenginleştirilmesi için, bir model hidrofobik nutrasötik olan D₂ vitamini, ~50-70 nm büyüklüğünde elektrostatik olarak kararlı nanopartiküller içinde başarılı bir şekilde bağlanmıştır (Ron vd., 2010).

Antosiyaninler ve polifenolik bileşenlerce zengin buruk bir tada sahip açai üzümü özü (% 5), CR-310 emülgatörü kullanılarak, yağ içindeki su nanoemülsiyonlarının stabilize edildiği çalışmada, antosiyaninleri bir S/Y sisteminde koruyarak ve olası kötü tatları maskeleyerek biyoaktif bileşiklerden ve yüzey aktif madde özelliklerinden yararlanarak spor içecekleri gibi farklı ürünlerde kullanılabileceği belirtilmiştir (Rabelo vd., 2018).

Pterostilben, çoğunlukla yaban mersini, üzüm türlerinde bulunan, antikanser ve antiinflamasyon özellik gösteren resveratrolün metoksillenmiş bir analogudur. İnsan epitelyal adenokarsinomu enterositleri kullanılan su içinde yağ pterostilben ile

zenginleştirilmiş nanoemülsiyonların gastrointestinal yolculuğu üzerindeki taşıyıcı yağ tipinin etkisinin incelendiği çalışmada, zeytinyağı nanoemülsiyonları, pterostilbenin transenterosit taşınmasını keten tohumu yağı nanoemülsiyonlarından daha etkili bir şekilde arttırdığı sonucuna varılmıştır (Sun vd., 2015).

Simüle edilmiş bir gastrointestinal sistem kullanan in vitro çalışmalarda, kurkumin, β -karoten ve E vitamini biyoerişilebilirliğinin, iyi tasarlanmış nanoemülsiyonlar tarafından kapsüllenerek gastrointestinal sisteme verilmesiyle büyük ölçüde artırılabilceği gösterilmiştir (Yao vd., 2020). Endüstrilere D vitamini takviyesi için süt ürünü olmayan yiyecek ve içecek geliştirme konusunda rehberlik edebilecek özellikteki bir çalışmada, bezelye proteini ile stabilize edilmiş nanoemülsiyonlar, D vitaminini kapsüllemek amacıyla hazırlanmıştır. Protein gibi büyük moleküler yüzey aktif maddeleri kullanılarak küçük emülsiyon damlacıkları hazırlamak zor olsa da yapılan çalışmada, yüksek basınçlı homojenleştirici kullanılarak 170 ila 350 nm'lik nanoemülsiyonlar hazırlanmıştır. Bezelye proteini ile stabilize edilen nanoemülsiyonlarla lesitin ile stabilize edilen nanoemülsiyonlar arasında hücresel alım verimliliğinde önemli bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, küçük boyutlu D vitamini nanoemülsiyonları (233 nm), serbest D vitamini süspansiyonundan, Caco-2 hücreleri arasında ~ 5,3 kat daha fazla taşınma verimi göstermiştir. Sonuç olarak, bezelye proteini tarafından stabilize edilen nanoemülsiyonların D vitamini emilimini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir (Walia ve Chen, 2020).

2.10 Keçiboynuzu

Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua* L.) Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde yetişen yaprak dökmeyen bir bitkidir. Türkiye’de en çok ‘pekmez’ olarak adlandırılan keçiboynuzu şurubu formu tüketilmektedir. Pekmez, sırasıyla ekstraksiyon ve buharlaştırma ile elde edilen geleneksel bir üründür (Pazir ve Alper, 2017). Pekmez yapısında, yüksek miktarda doğal şekerler, bazı mineraller ve organik asitler içermektedir. Bu nedenle bu tür ürünler, insan beslenmesi için önemli olan doğal, enerjik ve sağlıklı bir gıda olarak değerlendirilebilir. Ayrıca yapısındaki basit şekerler (glukoz ve fruktoz) sindirim olmadan kolayca kana geçebildiği için özellikle acil enerji ihtiyacı olan bebekler ve çocuklar için önemli bir besindir (Tounsi vd., 2017).

Keçiboynuzunun yapısındaki kimyasal maddeler, türüne, yetiştiği iklime ve olgunluk aşamasına göre büyük farklılıklar göstermektedir (Rtibi vd., 2017). Keçiboynuzu şeker içeriği yüksek bir meyvedir. Zengin şeker içeriğinden kaynaklanan doğal olarak enerji verici olması özelliğinin yanı sıra mineral ve fenolik maddelerce de zengindir (Pazir ve Alper, 2017). Keçiboynuzu yapısında hidroksibenzoik, flavonlar, gallotaninler, ve flavonoller fenolik sınıflarına ait yirmi beş fenolik bileşik tanımlanmıştır (Rico vd., 2019). Keçiboynuzunda bulunan başlıca fenolik bileşikler; gallik asit, kateşin, epikateşin, epikateşin gallat, epigallokateşin, epigallokateşin gallat, mirisetin, kuersetin ve bunların türevleri ve tanen bileşikleridir (Stavrou vd., 2018). Keçiboynuzu ekstraktlarının antioksidan kapasitesi esas olarak fenolik içerikle ilişkilidir (Rico vd., 2019). Bu nedenle keçiboynuzu özütü ekstraktlarının güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğu söylenebilmektedir (Gaamouri vd., 2019; Vitali Čepo vd., 2014).

Düzenli yapılan dayanıklılık antrenmanları sonucunda, antrenmanlı kaslarda endojen antioksidan enzimler artar yani antrenmana bağlı oksidatif strese karşı iskelet kaslarının kendini koruma mekanizması gelişmiştir. Sporcularda antioksidan ihtiyacı takviye yoluyla temin edilirse, mega doz alımı sonucu toksisite riski mevcuttur. Bu nedenle sporcularda antioksidan kaynağı olarak, az miktarda antioksidan bulundurmaları nedeniyle, doğal yiyecek ve içeceklerin beslenme planlarında yer alması en iyi tercih olacaktır (Ersoy, 2016).

Keçiboynuzu yapısındaki polifenollerin varlığı insan sağlığı üzerinde değerli etkilerine işaret etmektedir. Flavonoidler, gallotaninler ve ilişkili polifenoller, keçiboynuzunu iyi bir antidiyabetik ve antioksidan ajan kaynağı olarak göstermektedir (Stavrou vd., 2018). Ayrıca, Dünya Dopingle Mücadele Ajansı (WADA) tarafından yasaklı olmayan ve vücut kompozisyonu ve genel sağlık üzerinde olumlu etkilerinin varlığı ile bilinen polifenoller sporcular antrenmanlarını geliştirmek amacıyla ergojenik destek olarak keçiboynuzundan temin edebilirler (Gaamouri vd., 2019).

Genç tekvando sporcuları ile yapılan bir çalışmada 6 haftalık polifenol kaynağı olarak keçiboynuzu meyvesi kullanılmıştır. Program sonunda sporcuların vücut kompozisyonu ve aerobik kapasitelerindeki değişimler kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, sporcularda vücut ağırlığını azaltmada ve aerobik performansı iyileştirmede uygulanan programın etkili olduğu belirtilmiştir (Gaamouri vd., 2019). Meyve

kaynaklı polifenollerle yapılan akut ve kronik takviyenin, bildirilen herhangi bir olumsuz yan etkisi olmamıştır. Ayrıca çoğu çalışmada, bu takviyenin, performansın iyileşmesiyle ilişkili olduğuna, kas fonksiyonunun iyileşmesine yardımcı olacağına ve yoğun egzersizin ardından kas ağrısını azaltacağına ilişkin sonuçlar bildirilmiştir (Bowtell ve Kelly, 2019).

Kalsiyum, potasyum, magnezyum, sodyum ve fosfor keçiboynuzu meyvesinde en bol bulunan elementlerdir (Özcan vd., 2007). Keçiboynuzu çekirdeği kalsiyum, fosfor ve potasyum gibi minerallerin varlığı sebebiyle alternatif bir mineral kaynağı olarak da kullanılabilir (Stavrou vd., 2018). Ayrıca keçiboynuzu suyu potasyum, sodyum, demir, bakır, manganez ve çinko gibi elektrolitler açısından da zengindir. Keçiboynuzu suyundaki bu elektrolit zenginliği nedeniyle ishal tedavisinde de alternatif bir tedavi olarak kullanımı mümkündür (Rtibi vd., 2017).

Sporcuların yoğun antrenmanları sebebiyle artan enerji gereksinimleri yanı sıra ihtiyaç duyulan metabolik işlevlerin yerine getirilmesi için vitamin ve minerallere olan gereksinimleri de artar. Sınırlı beslenme planı olan ve bazı besin gruplarını tüketmeyen sporcular için elzem vitamin ve mineraller açısından yetersizlik yaşanabilir (Ersoy, 2016). Keçiboynuzu yüksek mineral içeriği ile hem antrenman sırasında hem sonrasında hem de toparlanma döneminde sporcunun ihtiyacı olan mineralleri doğal olarak karşılayabilecek bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Keçiboynuzu yüksek miktarda karbonhidrat (% 40-60), polifenolik bileşikler, özellikle tanenler (% 18-20), diyet lifleri (% 27-50), mineraller (potasyum, sodyum, demir, bakır, manganez ve çinko), düşük miktarlarda protein (% 3-4) ve lipitler (% 0,4-0,8) içerir. Bu meyve esas olarak sakkaroz (% 32-38), fruktoz (% 5-7) ve glukozdan (% 5-6) oluşan şekerlerdeki zenginliği ile bilinir ancak bunların nispi oranları değişkendir (Rtibi vd., 2017). 100 gr çekirdeksiz keçiboynuzu meyvesi 293 kilokalori enerji vermektedir (Pazir ve Alper, 2017).

Antrenmanlı sporcular ile yapılan bir çalışmada, sporcuların uzun süreli orta ila yüksek yoğunluklu antrenman seansları sırasında eksojen enerji kaynağı olarak sadece glukozun yerine fruktozun glukoz ile kombine olarak tüketilmesinin, dayanıklılık performansını en üst düzeye çıkarmada ve antrenman sonrası karaciğerlerde glikojen yenilenmesini hızlandırmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Fuchs vd., 2019).

Keçiboynuzunda glukoz, fruktoz monomerlerinin birlikte bulunması, antrenman sırasında yakıt kaynağı olarak keçiboynuzunun tercih edilmesinin spor performansına pozitif katkısının olacağını düşündürmektedir.

Keçiboynuzu meyvesinde ve türev ürünlerinde bulunan biyoaktif bileşikler, anti-hiperglisemik, antioksidan ve anti-inflamatuar etkilerinden dolayı diyabet, kalp hastalıkları ve gastrointestinal bozukluklar gibi birçok sağlık sorununun kontrol altına alınmasına yardımcı olmaktadır (Brassescio vd., 2021). Keçiboynuzu kanser, diyabet, mide ülseri, mide mukozası ve kronik mide ülserleri ile ilişkili hastalıklar için potansiyel gıda veya farmasötik takviyeler olarak da önerilmektedir (Stavrou vd., 2018). Ayrıca keçiboynuzu ekstraktlarının tip 2 diyabet, obezite ve metabolik sendrom gibi çeşitli kronik hastalıklarla ilgili süreçlerin hafifletilmesinde faydalı olabileceğine dair güçlü kanıtlar mevcuttur (Rico vd., 2019). Keçiboynuzu, rafine edilmemiş şeker, mineral ve fenolik bileşikler aynı anda almak için kullanabileceğimiz optimal bir seçenektir (Pazir ve Alper, 2017). Bu nedenle keçiboynuzu ürünlerinin sıklıkla fonksiyonel bir gıda bileşeni olarak kullanılması olasıdır (Brassescio vd., 2021).

Gıda endüstrisi yeni teknoloji ile yeni ürünler geliştirme stratejilerine açıktır. Bu nedenle keçiboynuzu, sağlık yararları ve karakteristik güçlü aromasıyla gıda endüstrisinde sıklıkla tercih edilmektedir (Brassescio vd., 2021). Keçiboynuzu meyvesi, gıda endüstrisinde tatlandırıcı, stabilizatör ve kıvam arttırıcı olarak kullanılmaktadır (Rico vd., 2019). Arap ülkelerinin çoğunda keçiboynuzu içecek yapımında, geleneksel şekerleme türlerinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca keçiboynuzu tozu, ABD'de ve diğer Batı ülkelerinde sağlık amaçlı gıda mağazalarında kakao yerine katkı maddesi olarak satılmaktadır (Gaamouri vd., 2019). Keçiboynuzu, kakaoya benzer tat, benzersiz duyuşal özellikler ve biyoaktif bileşikler ile çeşitli gıda ürünlerinde (çikolatalı süt, çikolata benzeri tadı olan az yağlı yoğurt, vs.) kakaoyu ikame etme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, bu gıda ürünlerinde keçiboynuzunun yüksek şeker içeriğine sahip olması onu doğal bir tatlandırıcı yapmaktadır (Loullis ve Pinakoulaki, 2018).

Doğal bir şeker kaynağı olan keçiboynuzu tozu ve özütünün fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada keçiboynuzu özütünün emülsiyon kapasitesi % 80-87 ile gıda sanayinde çok yaygın kullanılan bir emülgatör

olan soya lesitinine (E322) yakın bulunmuş ve bu özelliğiyle keçiboynuzu özütünün emülsiyon gıdalar için iyi bir alternatif olabileceği tartışılmıştır (Tounsi vd., 2017).

Keçiboynuzu meyvesi ve türevlerinin gıda formülasyonlarına eklenmesi, faydalı reolojik özellikler kazandırarak ve nihai ürünlerin raf ömrünü uzatarak besinsel ve işlevsel değeri arttırmakta ve teknolojik işlevselliği geliştirmektedir (Brassesco vd., 2021).



3. MALZEME ve YÖNTEM

3.1 Malzeme

3.1.1 Keçiyoynuzu özütü

Çalışmada, yağlı tohumlarda mekanik olarak yağların elde edilmesinde kullanılan soğuk infüzyon yöntemi ile besin değerlerini koruyarak Türk Gıda Kodeksinde sıvı pekmez için belirlenen HMF değeri olan 75 mg/kg limitlerin altında kalacak şekilde üretilmiş olan Hünnap marka (İstanbul, 2022) keçiyoynuzu özütü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan keçiyoynuzu özütü etiketinde bildirilen enerji ve besin öğeleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Keçiyoynuzu özütünün enerji ve besin öğeleri.

ENERJİ VE BESİN ÖĞELERİ	
100 g için	
Enerji (kJ/kcal)	1434/343
Yağ (g)	0
Doymuş yağ (g)	0
Karbonhidrat (g)	80
Şekerler (g)	62
Lif (g)	4,4
Protein (g)	2,9
Tuz (g)	0
Potasyum	1285 mg
Magnezyum	58,2 mg
Kalsiyum	123 mg
Fosfor	105 mg

3.1.2 D vitamini

Ürün hazırlamada kullanılan, mikro besin ögesi olan D vitamini, zeytinyağı içerisinde seyreltilmiş kolekalsiferol-D₃ formu kullanılmıştır (Ocean vitamin D₃ 1000 IU damla, Orzax, İstanbul).

3.1.3 Tween 80

Nanoemülsiyonu hazırlarken sentetik emülgatör olarak Tween 80 (Sigma) kullanılmıştır.

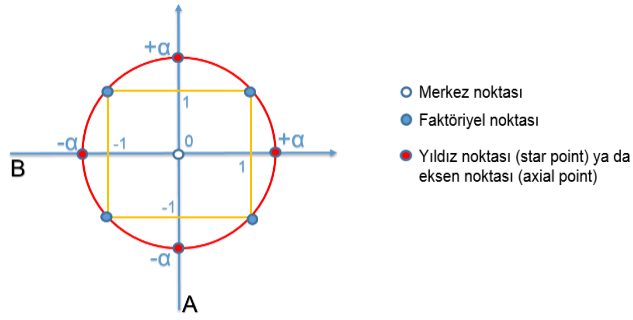
3.1.4 Zeytinyağı

Nanoemülsiyonu hazırlarken yağ fazı oluşturmak amacıyla piyasada ticari olarak satışa sunulan sızma zeytinyağı (Yudum, Savola Gıda Sanayi, Balıkesir, 2022) kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneysel tasarımlar ve istatistiksel analizler

Gıda bilimi ve teknolojisi alanında yaygın olarak kullanılan optimizasyon tekniği olan yanıt yüzey metodu (Response Surface Method-RSM), “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile 1951 yılında geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Yanıt yüzey yöntemi; eleme denemeleri, bölge araştırması ve işlemin veya ürünün optimizasyonu olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. Eleme denemeleri, daha az sayıda ve daha verimli esas deneme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bölge araştırmasında, eleme denemeleri ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğini belirlemektir. Yanıt yüzey yönteminin son aşaması ise işlem optimum noktaya yaklaşıldığında başlamaktadır ve gerçek yanıt fonksiyonu optimum nokta etrafında eğrilik oluşturmaktadır (Koç ve Kaymak Ertekin, 2010). Şekil 3.1.’de yanıt yüzey yönteminin merkez, faktöriyel ve yıldız noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yanıt yüzey yönteminin merkez ve faktöriyel noktası.

Çoğu yanıt yüzey yöntemi probleminde, yanıt ve bağımsız değişken arasındaki fonksiyonun matematiksel formu çoğunlukla bilinmediğinden tahmin edilmesi gerekmektedir. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir uyum veriyorsa, birinci dereceden polinomiye denklem, model olarak kullanılabilir ve eğer sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden polinomiye denklemler gibi daha yüksek dereceli polinomiye denklemler kullanılmalıdır (Koç ve Kaymak Ertekin, 2010).

Seçilen modelin matematiksel formunun uygun olduğu varsayımı ile gerçek ortalama yanıtı temsil edebildiği de test edilmelidir. Bu amaçla, varyasyon katsayısının hesaplanması, regresyon analizine hipotez testlerinin uygulanması, hipotez testlerinin regresyon katsayılarına bireysel olarak uygulanması, regresyon katsayısının (R^2) ve düzeltilmiş regresyon katsayısının hesaplanması (R^2 adj), tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamının (PRESS) hesaplanması, yeterli tahminleme (adequate precision) değerinin hesaplanması, model uygunsuzluğunun test edilmesi (lack of fit testi) ve kalıntı analizi gibi test yöntemleri uygulanmaktadır (Koç ve Kaymak Ertekin, 2010).

Bu tez çalışmada, yanıt yüzey metodu tasarımlarından 2-faktör 2-seviyeye (2^2) sahip Central Composit yöntemi kullanılarak oluşturulan deney tasarım planındaki tüm deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen bu bağımlı değişkenler üzerine bağımsız değişkenlerin etkilerini gösteren model eşitlikler türetilmiştir. Bu model eşitliklerin türetilmesinde bağımsız değişkenler olarak; Tween 80 konsantrasyonu ve sonikasyon süresi seçilirken, zeta potansiyeli ve parçacık boyutu ise bağımlı değişkenler (yanıtlar) olarak belirlenmiştir.

Deney tasarımı, yanıt yüzey metodu tasarımlarından 2-faktör 2-seviyeye sahip Central Composit yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Emülgatör (Tween 80) konsantrasyonu %

1-3 (v/v) arasında, sonikasyon süresi 120 ila 360 saniye arasında olacak şekilde planlanmıştır. Deney planı Tablo 3.2’ de verilmiştir. Çalışmamız, merkez noktasında yapılan analiz sayısı 3 olarak belirlenmiş ve toplam 11 deneyden oluşan deneme planı çıkarılmıştır.

Seçilen bağımsız değişkenlerin her bir bağımlı değişken üzerindeki etkilerini gösteren model denklemlerin türetilbilmeleri için, Design Expert 13 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA) programının deneme sürümü kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Söz konusu eşitliklerin türetilmesinde, ilgili program tarafından önerilen doğrusal bir model denklem kullanılmıştır. Daha sonra ise, gerçekleştirilen her bir modelleme çalışması için aynı program yardımıyla, varyans (ANOVA) analizleri de yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen analizlerin tamamlanmasından sonra ise; her bir yanıt için elde edilen deneysel sonuçların, söz konusu program yardımıyla, model eşitlikler kullanılarak hesaplanan tahminsel değerleri ile karşılaştırıldıkları grafikler de çizilmiştir (Şekil 4.2, 4.6).

Tablo 3.2. Yanıt yüzey yöntemi ile deney tasarımı.

Deney No	Faktör 1:	Faktör 2:
	Tween 80 Konsantrasyonu (%)	Sonikasyon Süresi (s)
1	1	120
2	3	120
3	1	360
4	3	360
5	0,6	240
6	3,4	240
7	2	70,3
8	2	410
9	2	240
10	2	240
11	2	240

Tablo 3.3. Yanıt yüzey metodunda kullanılan bağımsız değişkenler.

Bağımsız Değişkenler	Kodlar	Faktör Seviyeleri				
		$-\alpha=-1,4$	-1	0	1	$+\alpha=+1,4$
Tween 80 konsantrasyonu, %	A	0,6	1	2	3	3,4
Sonikasyon süresi (s)	B	70,3	120	240	360	410

3.2.2 Emülsiyon hazırlama

Toplam hacmi 3 ml olacak şekilde hazırlanan sporcu içeceklerinde, 06.12.2003 tarihli, 25308 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği’nde yer alan ‘Spor içeceklerinin ürün özellikleri’ esas alınarak, sporcu içeceği kalite sınırları çerçevesinde, son üründe % 6-8 oranında karbonhidrat içerecek şekilde hesaplanan miktarda keçiyoynuzu özütü kullanılmıştır. D vitamini ise son üründe, FDA tarafından bitki bazlı içecekler için önerilen 84 IU/100g olacak şekilde zeytinyağı ile seyreltilerek, tüm örnekler % 1 oranında yağ fazı eklenmiştir. Tween 80 ise Tablo 3. 2’ de verilen oranlarda kullanılmıştır.

Nihai ürün olarak elde ettiğimiz 100 ml sporcu içeceğimiz; 84 IU vitamin D, 0,3 mmol potasyum, 6-8 g karbonhidrat içermekte ve yaklaşık 30 kcal enerji vermektedir.

Su içinde yağ (Y/S) emülsiyonları, % 1 yağ fazı ve % 99 su fazı olacak şekilde karıştırılmıştır. Keçiyoynuzu özütünün saf suyla karıştırılmasıyla oluşturulan sulu faz içerisine Tween 80 eklenmiş ve 1 dakika vorteks ile karıştırılmıştır. Taşıyıcı yağ olarak kullandığımız zeytinyağına hesaplanan miktarda D vitamini eklenerek çözündürülmüş ve % 1 oranında su fazına eklenmiş, tekrar 1 dakika vortekslenmiştir. Böylece kaba emülsiyon elde edilmiştir. Aksaray Üniversitesi Merkez Laboratuvarlarında bulunan HİELSCHER (ABD) marka UP100H model ultrasonik homojenizatör (100 watt, 30 kHz) kullanılarak % 100 güç ve cycle 1 ayarında Tablo 3.2 ‘de verilen sürelerde sonikasyon uygulanmıştır. Aşırı ısınmayı önlemek için örnekler sonikasyon boyunca buz/su banyosunda tutulmuştur. Örnekler bekletilmeden ODTÜ Merkez Laboratuvar (MERLAB) bünyesinde ‘Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Laboratuvarı (PZL)’na gönderilerek tüm analizlerin 48 saat içerisinde tamamlanması sağlanmıştır.

3.2.3 Zeta potansiyel ve parçacık boyutu analizi

Zeta potansiyel, parçacık ile içinde bulunduğu sıvı arasında oluşmakta ve parçacıklar arasında itme ve çekme kuvveti oluşmasına neden olmaktadır. Bir sıvı içerisindeki aynı yükteki parçacıklar birbirini itmekte, farklı yükteki parçacıklar ise çekmektedir. Bu çekme ve itme kuvveti parçacığın zeta potansiyeli ile ilişkilidir. Elektrostatik dağılma kontrolünün anahtarı olan zeta potansiyeli ölçümü dağılma mekanizmaları ile ilgili ayrıntılı bilgi vermektedir. Süspansiyon içerisindeki yüklü parçacıklar karşı yükteki iyonları çeker ve böylece yüklü parçacık yüzeyinde güçlü bir bağ yüzeyi oluşur ve ardından yüklü parçacığın yüzeyinden dışa doğru yayılmış bir yüzey oluşur. Yayılmış bu yüzey içerisinde ‘kayma yüzeyi’ diye isimlendirilen bir sınır bulunur ve bu kayma yüzeyindeki potansiyel zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Parçacıkların polar sıvılar içerisindeki davranışlarını zeta potansiyel değerleri belirlemektedir (Ateş, 2018).

Zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığı hakkında bilgi verir. Yüksek büyüklükteki potansiyeller artan elektrostatik itme ve dolayısıyla artan kararlılığı ifade etmektedir. Tablo 3.4’de nanoparçacıkların zeta potansiyel değeri ile kararlılığı arasındaki ilişki anlatılmaktadır (Ateş, 2018).

Tablo 3.4. Nanoparçacıkların zeta potansiyel değerleri ile kararlılığı arasındaki ilişki (Ateş, 2018).

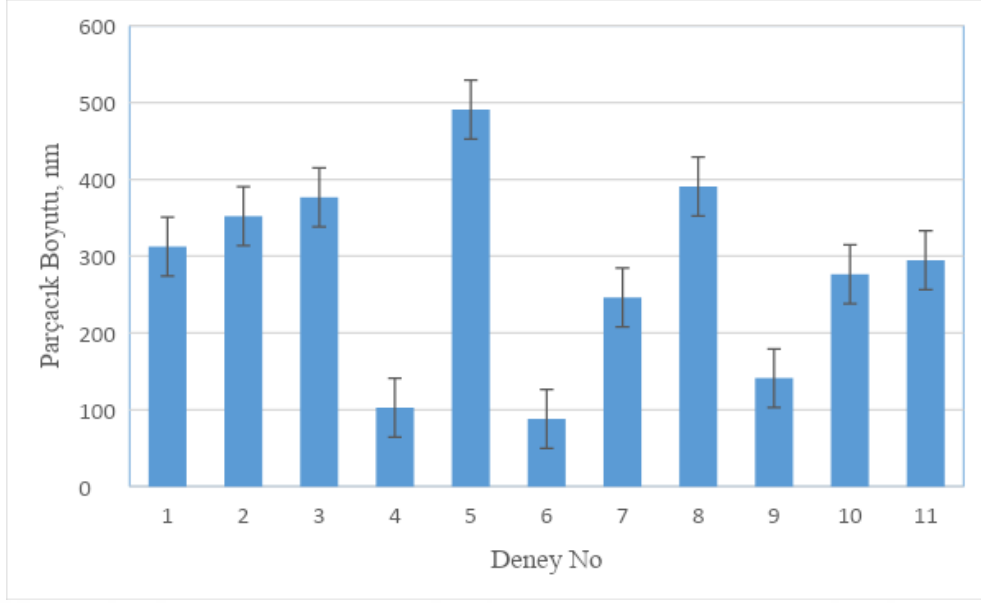
Zeta değeri	Nanoparçacıkların kararlılığı
0-5 mV	Parçacıklar kümeleşme veya bir araya gelme eğilimi sergilerler
5-20 mV	Parçacıklar minimal düzeyde kararlıdırlar
20-40 mV	Parçacıklar orta düzeyde kararlıdırlar
40+ mV	Parçacıklar son derece kararlıdırlar

Yapılan ön denemelerde parçacık boyutunun 1 mikronun altına düştüğü belirlenmiş bu sebeple emülsiyonların damlacık boyutu ölçümü ve zeta potansiyel ölçümü için ‘Dinamik Işık Kırınımı’ yöntemi kullanılarak, parçacık ölçümü için Malvern Zetasizer Nano ZS90 cihazı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, zeytinyağı içerisinde D vitaminin su ve keçiyoynuzu özütünden oluşan su fazındaki nanoemülsiyonu oluşturma denemeleri, Tween 80 (% 1-3) konsantrasyonu ve sonikasyon süresinden (120 s - 360 s) oluşan iki faktör ve üç düzeyli merkezi tümleşik deneme deseni kullanılarak yanıt yüzey yöntemiyle belirlenen koşullarda gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.2). Ultrasonik homojenizatör cihazı ile belirlenen sürelerde sonikasyon işlemi yapılmış ve nihai örneklerde zeta potansiyel ve parçacık boyutu analizleri yapılmıştır.

Analizler sonucunda, nanoemülsiyonların damlacık boyutlarının 88 ile 491 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. Literatür taraması yapıldığında kullanılan farklı emülsiyon hazırlama teknikleri, kullanılan yüzey aktif maddelerin çeşitliliği ve ultrasonik teknikte kullanılan sonikasyon cihazının güç, pulse ayarları gibi farklılıklarından kaynaklı olarak parçacık boyutu için kesin bir aralık olmadığını görmekteyiz. Fakat bir emülsiyona nanoemülsiyon diyebilmek için parçacık boyutunun 20 ila 200 nm arasında olması gerekliliğini kabul edersek bu aralıkta hatta 100 nm'nin altında dahi parçacık elde edebilmiş olmamız sebebiyle emülsiyonun nano boyuta indirilebildiği görülmektedir. Deney tasarımındaki her bir çalışma koşulu için parçacık çapları Şekil 4.1' de verilmiş, maksimum parçacık boyutu Tween 80'in % 2 konsantrasyonda kullanıldığı ve toplamda 70,3 s boyunca sonikasyonun yapıldığı 5. örnekte gözlenmiştir (490,8 nm). En küçük parçacık boyutu ise 6. örnekte % 2 Tween 80 ve 360 s'lik sonikasyon süresinde 88,14 nm olarak oluşmuştur. En uzun sonikasyon süresi olan 410 s ve % 2 Tween 80 içeren örnek olan 4. örneğin de parçacık boyutu 102,8 nm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Örneklerin parçacık boyutu analizi (nm).

Deneyisel veriler, Design Expert paket programında değerlendirilmiş ve merkezi tümleşik deneme deseninin analizi sonucu parçacık boyutunun $p < 0,05$ güven aralığında lineer regresyon modeline uyduğu ve sadece sonikasyon süresinin etkili olan faktör olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1). Elde edilen bu model gerçek yanıt fonksiyonuna sadece bir yaklaşım olduğu için, tahminlenen değerler ile deneyisel veriler arasındaki fark (kalıntı), sadece saf deneyisel hatayı değil modelin matematiksel formunun uygunsuzluğundan kaynaklanan hatayı da içermektedir. Modelin matematiksel formunun uygunsuzluğundan kaynaklanan hataya, model uygunsuzluğu (Lack of fit) denmektedir. İdeal olarak, istatistiksel açıdan modelin matematiksel formunun uygunsuzluğunun önemsiz ve regresyon modeli için önemli olması gerekmektedir. Lack of fit değeri her iki faktör için de önemsiz bulunmuş olması sebebiyle modelin verilere iyi uyum sağladığı söylenebilir (Tablo 4.1, 4.2).

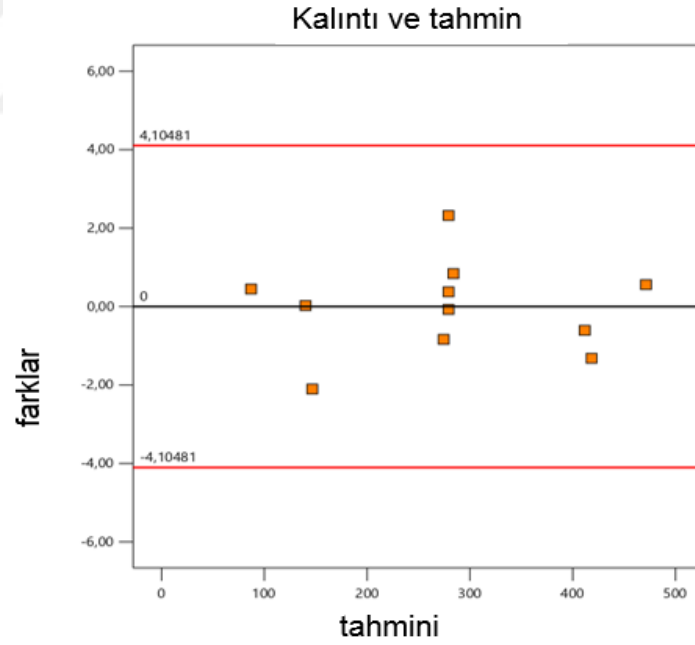
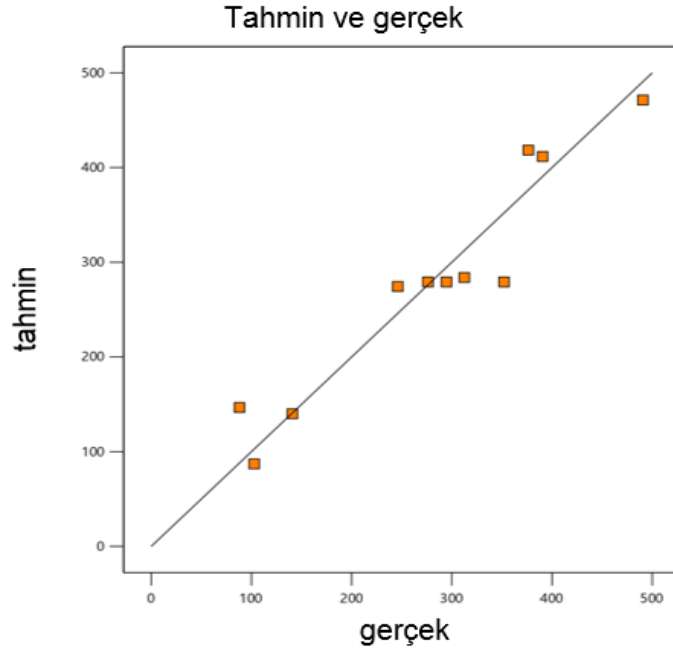
Modelin uygunluğunun kontrol edilmesi için deneyisel ve modelden hesaplanan değerlerin karşılaştırması yapılmış ve tahmini değerler ile deneyisel sonuçların doğru etrafında toplandığı gözlenmiştir (Şekil 4.1 (a)). Bu durumda kalıntının (residual=gerçek-tahmini) düşük olduğu söylenebilir. Aynı zamanda regresyon katsayısının birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Gerçek R^2 değeri 0,9165 iken düzeltilmiş ve tahmini R^2 değeri arasındaki farkta 0,2 den küçüktür (Tablo 4.1). Bu da modelin uyumlu olduğunu söyleyen diğer bir ölçüttür. Aksi durumda modelde ya da verilerde sorun olduğu düşünülür. Tahmini parçacık boyutuna karşı kalıntı

dağılımına baktığımızda ise, dağılımın gelişigüzel ve herhangi bir trend izlemediğini görüyoruz (Şekil 4.1 (b)). Tüm bu model değerlendirme sonuçlarına baktığımızda modelin parçacık boyutuna Tween 80 ve sonikasyon süresinin etkisini açıklamada yeterli olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 4.1. Parçacık boyutu için lineer model varyans tablosu (ANOVA).

	Katsayı	F değeri	p değeri
Model (Lineer)	—	43,88	0,0001 önemli
A: Tween 80, %	-3,34297	0,0531	0,6370 önemsiz
B: sonikasyon süresi, s	-1,13195	87,71	0,0117 önemli
Kesim noktası	557,5947	—	—
Lack of fit	—	1,10	0,4961 önemsiz
R ²	0,9165	—	— önemli
R ² (düzeltilmiş)	0,8956	—	—

Parçacık boyutu=557,5947-3,34297A-1,13195B

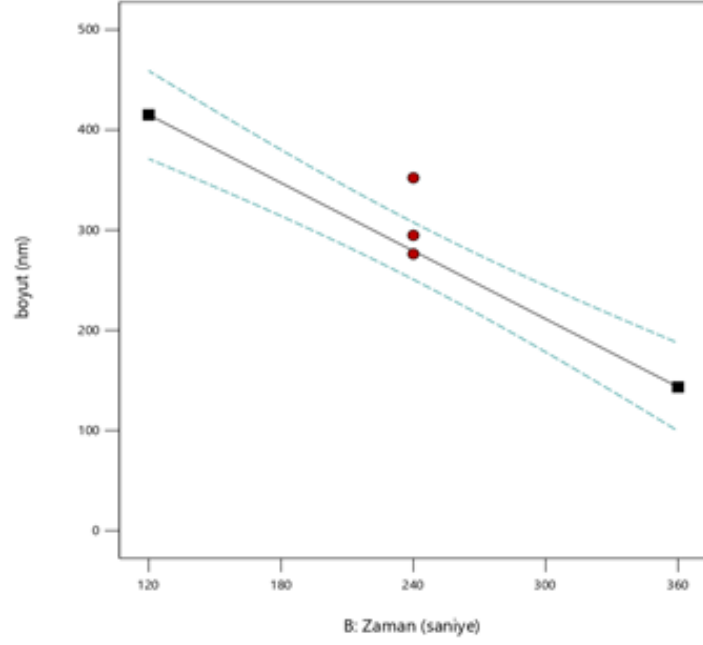


Şekil 4.2. (a) Parçacık boyutu için tahmini ve gerçek model değerlendirme, (b) Parçacık boyutu için tahmini ve farklar model değerlendirme.

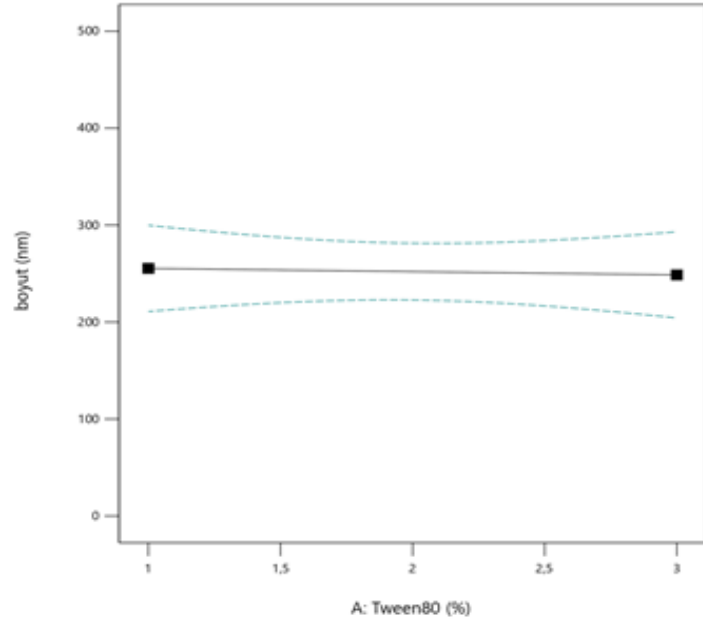
Model terimlerinde bulunan negatif katsayılı faktörlerle parçacık boyutu arasında negatif bir korelasyon olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla artan zamanla parçacık

boyutu küçülmekte (Şekil 4.2 (a)) ve aynı şekilde artan Tween 80 konsantrasyonu ile yine parçacık boyutu küçülmekte fakat istatistiksel olarak bu değişim çok önemli gözükmemektedir ($p < 0,05$) (Şekil 4.2 (b)). Parçacık boyutunu 200 nm'nin altına düşürebilmek için, Tween 80 konsantrasyonundan bağımsız olarak sonikasyonun süresini 300 s üzerinde olması gerekmektedir (Şekil 4.3).





(a)

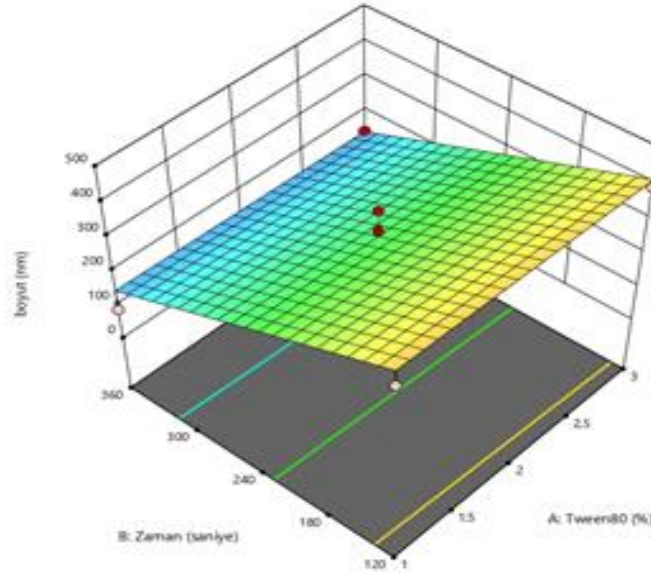


(b)

Şekil 4.3. (a) Parçacık boyutuna zamanın etkisi, **(b)** Parçacık boyutuna Tween 80'in etkisi.

Verilen üç boyutlu grafikte renk skalası maviden kırmızıya en küçük boyuttan en yüksek parçacık boyutuna doğru gitmektedir. Mavi bölge yani 200 nm altında kalan

bölge sonikasyon süresinin yaklaşık 300 s den fazla olduğu süre uygulamasını kapsar (Şekil 4.4).

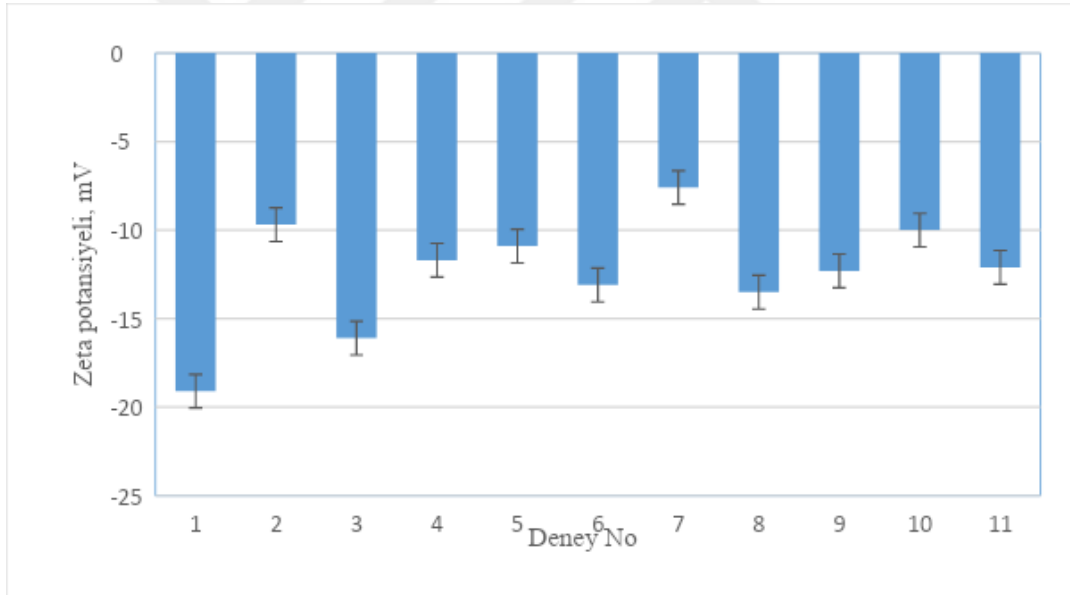


Şekil 4.4. Zaman ve Tween 80 derişiminin parçacık boyutuna birlikte etkileri.

Pongsumpun (2020) vd.adaşları tarçın esansiyel yağının Tween 80 ile enkapsüle edildiği nanoemülsiyon çalışmalarında, ultrasonik homojenizasyon tekniği ile (20 kHz, 400 W, % 90 güç) üretim yapmışlar, % 1-3 Tween 80 kullanmışlar, 180,23 - 351,77 s sonikasyon süresi ve işlem sıcaklığı 4,82–45,18 °C olarak belirledikleri koşullarda ultrasonikasyonun optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Damlacık boyutunu 20-500 nm arasında bulmuşlardır (Pongsumpun vd., 2020) ki bu sonuç gücü daha düşük bir ultrasonikasyon cihazı ile çalışıyor olmamıza rağmen bizim sonuçlarımızla da uyumlu görülmektedir. Benzer bir diğer çalışmada yüzey aktif madde olarak Tween 80 % 0,8–1 oranlarında kullanılmış ve mikroakışkanlaştırma yöntemi ile taşıyıcı yağ olarak palm yağının kullanıldığı kurkumin nanoemülsiyonunun özelliklerinin incelendiği çalışmada ise parçacık boyutları 50 nm-200 nm arasında olduğunda optik olarak şeffaf ve 500 nm ‘ye kadar boyutlarda süt görünümünde olan çok fazlı kolloidal bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Raviadaran vd., 2018). Tarafımızdan yapılan çalışmada benzer durum emülsiyonlar hazırlanırken fark edilmiş, kısa süreli sonikasyon işlemi ile oluşan yapının daha uzun süreli sonikasyon gören örneklerle nazaran daha opak görünüme sahip olduğu gözlenmiştir. Parçacık boyut sonuçları ile bu gözlem doğrulanmıştır.

Tween 80 ve span 80 ‘in D vitamininin enkapsülasyonunda kullanıldığı çalışmada hazırlanan nanopartiküllerin ortalama çaplarının $391,47 \pm 12,89$ olduğu, bağırsakta D vitamininin salımının % 69 arttığı ve termal stabilitesinin geliştiği tespit edilmiştir (Zhang vd., 2022). Bu sonuçla D vitamininin enkapsüle edildiği durumda ısı işlem gören ürünlere de eklenebilme olasılığının olduğu söylenmektedir. Aynı zamanda soğuk zincir kırılmasında ürünün daha dayanıklı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada sıcaklık ve D vitamininin dayanıklılığı arasındaki ilişki araştırılmamıştır fakat gelecek çalışmalar planlanırken dikkate alınması önerilmektedir.

Zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığı hakkında bilgi verir. Yüksek büyüklükteki potansiyeller artan elektrostatik itme ve dolayısıyla artan kararlılığı ifade etmektedir. Tablo 3.4’ e göre bizim tüm koşullar için bulduğumuz zeta potansiyeli değerleri 5 ila 20 mV arasında kaldığından (Şekil 4.4) hazırlanan emülsiyonların kararlılıklarının zayıf olduğu söylenebilir.



Şekil 4.5. Örneklerin zeta potansiyeli değerleri (mV).

Her ne kadar lineer model yapılan varyans analizi sonucu önemli görülse de modelin R^2 ve düzeltilmiş R^2 değeri düşük kalmıştır. Zeta potansiyeli ise parçacık çapının aksine sadece Tween 80 konsantrasyonundan etkilenmiştir ($p < 0,05$).

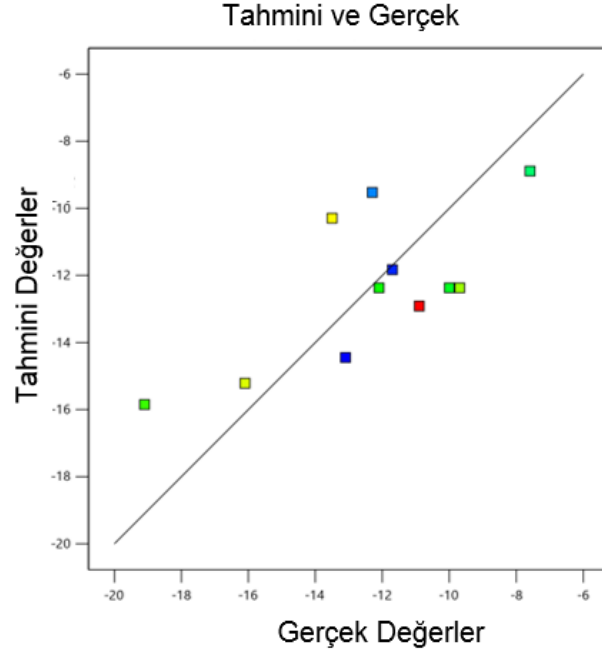
Tablo 4.2. Zeta potansiyeli için lineer model varyans tablosu (ANOVA).

	Katsayı	F değeri	p değeri
Model (Lineer)	—	3,98	0,0630 önemsiz
A: Tween 80, %	2,46	7,78	0,0236 önemli
B: sonikasyon süresi, s	0,3836	0,1892	0,6751 önemsiz
Kesim noktası	-12,37	—	—
Lack of fit	—	4,49	0,1932 önemsiz
R ²	0,4990	—	—
R ² (düzeltilmiş)	0,3738	—	—

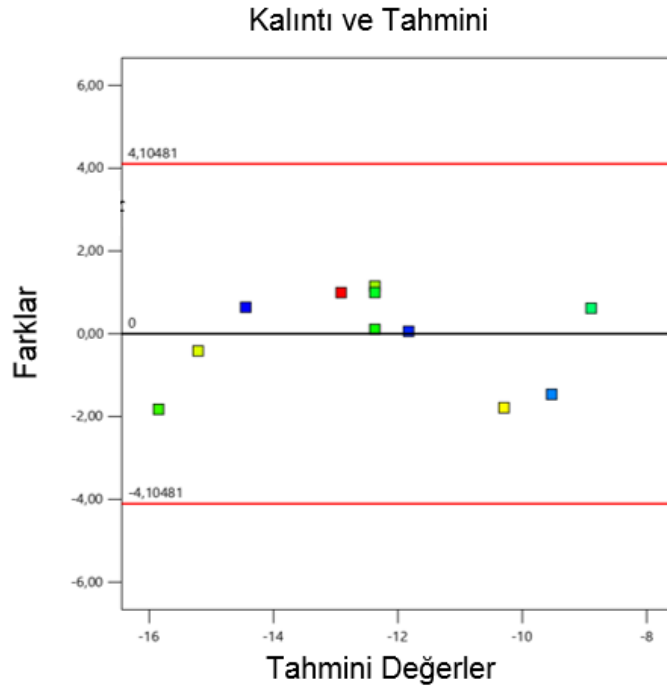
*p<0.05

Zeta potansiyeli=557,5947-3,34297A-1,13195B

Modelin uygunluğunun kontrol edilmesi için deneysel ve modelden hesaplanan değerlerin karşılaştırması yapılmış ve tahmini değerler ile deneysel sonuçların doğru etrafında toplanmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.1 (a)). Tahmini zeta potansiyeline karşı kalıntı dağılımına baktığımızda ise, dağılımın gelişigüzel olmadığı ve bir trend izlemediğini görüyoruz (Şekil 4.1 (b)). Tüm bu model değerlendirme sonuçlarına baktığımızda modelin zeta potansiyeline Tween 80 ve sonikasyon süresinin etkisini açıklamada yeterli olmadığını söyleyebiliriz.



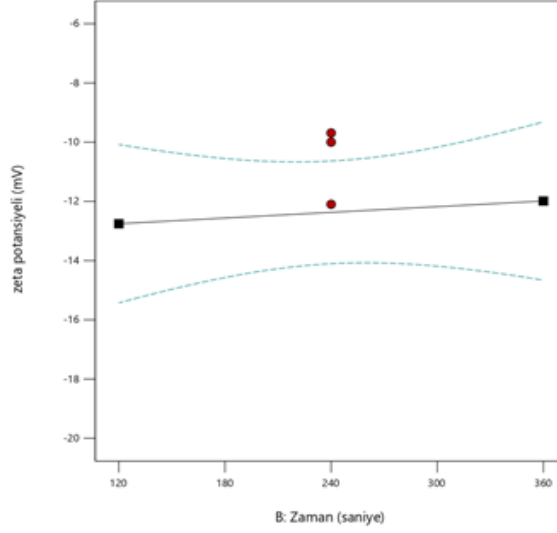
(a)



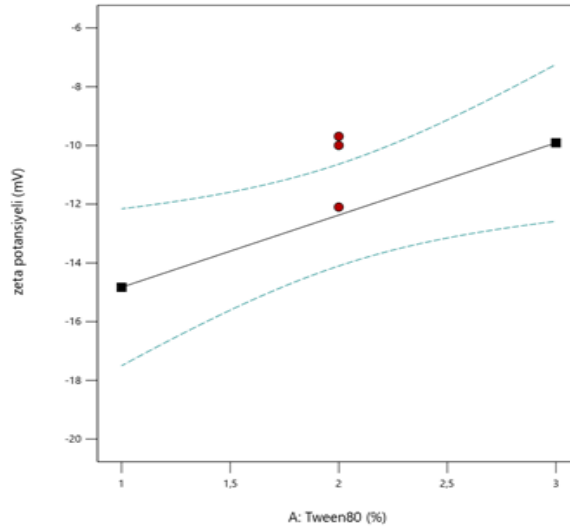
(b)

Şekil 4.6. (a) Zeta potansiyel için tahmini ve gerçek model değerlendirme, (b) Zeta potansiyeli için tahmini ve farklar model değerlendirme.

Yapılan analizlere göre zamanın zeta potansiyeline etkisinin olmadığı (Şekil 4.5 (a)) ve Tween 80 konsantrasyonu arttığında zeta potansiyelinin artmaktadır (Şekil 4.5 (b)) fakat modelin R^2 ve düzeltilmiş R^2 değeri düşük kalmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.7. (a). Zeta potansiyeline zamanın etkisi, (b) Zeta potansiyeline Tween 80'in etkisi.

Raviadaran vd. (2018) Tween 80 kullandığı çalışmada bizim bulduğumuz sonuçlardan farklı olarak zeta potansiyelini 31 mV ile 43 mV arasında bulmuştur. Bunun sebebinin kullanılan yüzey aktif madde Tween 80 olmasının olumsuz etkisinin bizden farklı

olarak kullandıkları emülsiyon hazırlama yönteminden, mikroakışkanlaştırma, kaynaklandığı düşünülmektedir (Raviadaran vd., 2018). Zhu vd. (2019) tarafından yüksek basınçlı homojenizatör kullanılarak, Tween 80’inde içlerinde bulunduğu üç emülgatörün nanoemülsiyon stabilitesini inceledikleri çalışmada zeta potansiyeli değerleri Tween 80 için 5-20 mV aralığında bulunmuş ve Tween 80 konsantrasyonlarıyla değişim önemli gözükmemektedir. Bizim çalışmamız, bu çalışmada bulunan sonuçlarla uyumludur (Zhu vd., 2019).



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadaki amacımız, D vitamini eksikliği açısından risk grubunda bulunan sporcuların sportif başarısını arttırmak için sporcunun genel sağlık durumunu iyileştirmek ve antrenman sırasında atletik performansı en üst düzeyde yapabilmeleri için gerekli enerjiyi ve elektrolitleri antioksidan özelliği ile eşsiz bir besin olan keçiboynuzu meyvesinden karşılayacak özellikteki fonksiyonel bir içeceğin nanoemülsiyon teknolojisi ile üretim olanaklarının araştırılmasıdır. Bu amaçla farklı ultrasonik homojenizasyon koşullarında ve emülgatör olarak farklı seviyelerdeki Tween 80 ile hazırlanan, keçiboynuzu özütü nanoemülsiyon özelliği kazandırılmış örnekler hazırlanarak emülsiyonların parçacık boyutları ve zeta potansiyelleri değerlendirilmiş ve böyle bir ürünün nano boyutta ve kararlı bir emülsiyon yapısına sahip olup olmayacağı tartışılmıştır.

Kullanılan yöntemle nano boyutlara parçacık boyutları düşürülmüş dolayısıyla nanoemülsiyon elde edilebilmiştir. Ancak, zeta potansiyelleri 20 mV altında kalmıştır. Yani oluşan yapının stabilitesinin zayıf olduğu bu veriye dayanarak söylenebilir. Yine de raf ömrü çalışmalarının yapılması kesin sonucu verecektir.

Bu çalışmadaki hedefimiz formüle ettiğimiz böyle bir ürünün nanoemülsiyon formunda üretilip üretilmeyeceğinin doğrulanmasıydı ve bu amacın gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Ancak endüstriyel olarak üretilebilecek ürün haline gelene kadar, ürünün kalite özellikleri, D vitamini aktivitesi, raf ömrü, biyoyararlılığı ve duyuşal özelliklerinin de çalışılması elzemdir. Gelecek çalışmalar şimdiden planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acosta, E., 2009. Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery, *Current Opinion in Colloid Interface Science* 14, 1, 3–15.
- Aguilar, M., Andronis, L., Pallan, M., Högl, W. ve Frew, E., 2020. The economic case for prevention of population vitamin D deficiency: a modelling study using data from England and Wales, *European Journal of Clinical Nutrition* 74, 5, 825–833.
- Alaca, K., Bayrak N., Akyol, N. ve Baştürk A., 2021. Nanotechnology Applications Used in the Food Industry , Safety of Nanofood and Nanoemulsion Technique, *Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, IJFAA*, 1, 1, 19–30.
- Allen, L., De Benoist, B., Dary, O., Hurrell, R., 2006. Guidelines on food fortification with micronutrients, Vol. 126, L. Geneva World Health Organization, USA.
- Sağlık Bakanlığı, 2019, *Türkiye Beslenme Rehberi Tüber 2015*, Ankara, Türkiye.
- Arenas Jal, M., Suñé Negre, J.M., Pérez Lozano, P. ve García Montoya, E., 2020. Trends in the food and sports nutrition industry, A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60, 14, 2405–2421.
- Ateş, M., 2018. Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri, *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 11, 1, 63–69.
- Baysal, A., 2011. *Beslenme*, 13. Baskı, Hatipoğlu yayınları, Ankara.
- Bowtell, J. ve Kelly, V., 2019. Fruit Derived Polyphenol Supplementation for Athlete Recovery and Performance, *Sports Medicine* 49, s1, 3–23.
- Brassesso, M. E., Brandão, T. R.S., Silva, C. L. M. ve Pintado, M., 2021. Carob bean ,*Ceratonia siliqua* L., A new perspective for functional food, *Trends in Food Science and Technology* 114, June, 310–322.
- Cashman, K D, ve Kiely, M., 2014. Recommended dietary intakes for vitamin D: where do they come from , what do they achieve and how can we meet them, *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 434–442.
- Chatterjee, S. 2014. Vitamin D, Optimal Health and Athletic Performance A Review Study, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3, 6, 526.
- Choi, S. J. ve McClements, D.J., 2020. Nanoemulsions as delivery systems for lipophilic nutraceuticals: strategies for improving their formulation, stability, functionality and bioavailability, *Food Science and Biotechnology*, 29, 2, 149–168.
- Close, G. L., Kasper, A.M., Walsh, N.P. ve Maughan, R.J., 2022. “Önce Gıda Ama Her Zaman Sadece Gıda Değil”: Sporda Besin Takviyeleri Kullanımına Yönelik Öneriler. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 1, 1-16.
- Close, G. L., Sale, C., Baar, K. ve Bermon, S., 2019. Nutrition for the Prevention and

Treatment of Injuries in Track and Field Athletes, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 189–197.

Close, G. L., Allison, R. ve Owens, D., 2019. Vitamin D and The Athlete- An Oversimplified,Complex Biological Problem,Gatorade Sports Science Institute 29, 191, 1–5.

Dasgupta, N., Ranjan, S., Gandhi, M., 2019. Nanoemulsions in food: Market demand. Environmental Chemistry Letters, 17, 2, 1003-1009.

Demir, S., 2019. Profesyonel Voleybolcularda Serum 25(OH)D Vitamini Düzeyi İle Beslenme Durumu ve Fiziksel Performans İlişkisi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ersoy, G., 2012. Egzersiz ve Spor Yapanlar İçin Beslenme, 5. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Ersoy,G., 2016. Fiziksel Uygunluk Fitnes Spor ve Beslenme ile İlgili Temel Öğretiler, Nobel Tıp Kitapevi, Ankara.

Fuchs, C. J., Gonzalez, J. T., Van Loon, L. J. C., Petersen, O., Minokoshi, Y., 2019. Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes, The Journal of Physiology, 597.

Gaamouri, N., Zouhal, H., Hammami, M., Hackney, A. C., Abderrahman, A. B., Saeidi, A. ve Ounis, O. B., 2019. Effects of polyphenol carob supplementation on body composition and aerobic capacity in taekwondo athletes, Physiology behavior, 205, 22-28.

Gandra, R. L. P. vd., 2021. Production and characterization of nanoemulsion with low-calorie structured lipids and its potential to modulate biomarkers associated with obesity and comorbidities, Food Research International, 150.

Ghosh, V., Mukherjee, A. ve Chandrasekara, N., 2013. Ultrasonic emulsification of food-grade nanoemulsion formulation and evaluation of its bactericidal activity, Ultrasonics Sonochemistry, 20, 1, 338–344.

Gönen Aydın, C., 2014. Sporcularda D Vitaminin Etkileri, Spor Hekimliği Dergisi, 111–122.

Grant, W. B. ve Boucher, B.J., 2019. A review of the potential benefits of increasing vitamin D status in mongolian adults through food fortification and vitamin D supplementation, Nutrients, 11, 10.

Güzel, Y., Turnagöl, H. ve Karabudak, E., 2018. Periyotlamada Hazırlık ve Performans Beslenmesi, Farklı Spor Dallarında Egzersiz ve Beslenme, Türkiye Diyetisyenler Derneği, Ankara.

Hamilton, B., Grantham, J., Racinais, S. ve Chalabi, H., 2010. Vitamin D deficiency is endemic in Middle Eastern sportsmen, Public Health Nutrition, 13, 10, 1528–1534.

- He, C. S., Handzlik, M., Muhamad, A. ve Gleeson, M., 2013. Influence of CMV/EBV serostatus on respiratory infection incidence during 4 months of winter training in a student cohort of endurance athletes, *European Journal of Applied Physiology*, 113, 10, 2613–2619.
- Heaney, R. P., 2005. The vitamin D requirement in health and disease, *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 97, 1-2, 13-19.
- İlyasoğlu, H. ve El, S.N., 2010. Nanoemulsions Oluşumları, Yapıları ve Kollodial Salınım Sistemleri Olarak Gıda Sektöründe Kullanım Alanları, 35, 143–150.
- Itkonen, S. T., Erkkola, M., Allardt, L., Cristel, J. E., 2018. Vitamin D Fortification of Fluid Milk Products and Their Contribution to Vitamin D Intake and Vitamin D Status in Observational Studies, *Nutrients*, 1–19.
- J.Stavrou, I., Christou, A., Kapnissi Christodoulou, P. C., 2018. Polyphenols in carobs A review on their composition , antioxidant capacity and cytotoxic effects , and health impact, *Food Chemistry*, 269, June, 355–374.
- Kaya, M. O., Esra Pamukçu ve Yakar, B., 2021. The role of vitamin D deficiency on the De Benoist, B., Dary, O. ve Hurrell, R., 2006. Guidelines on food fortification with micronutrients, Vol. 126,. L. Allen, L., Geneva, World Health Organization. Epidemiology and Health, USA.
- Kiani, A., Fathi, M. ve Seyed Ghasemi, G., 2017. Production of novel vitamin D₃ loaded lipid nanocapsules for milk fortification, *International Journal of Food Properties*, 20, 11, 2466–2476.
- Krzywanski, J., Mikulski, T., Krysztofiak, H., Mlynczak, M., Gaczynska, E. ve Ziemba, A., 2016. Seasonal vitamin D status in Polish elite athletes in relation to sun exposure and oral supplementation. *PLoS One*, 11,10.
- Kurt, M., Coñertoglu, I., Sarp, U., Peyman, Y., Dinçer, G., 2011. Osteoporozlu hastalarda D vitamini düzeyleri, *Türk Osteoporoz Dergisi*, 17, 3, 68–70.
- Loullis, A. ve Pinakoulaki, E., 2018. Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications, *European Food Research and Technology*, 244, 959–977.
- Todd, JJ, Pourshahidi, L. K, McSorley, EM, Madigan, SM ve Magee, P.J., 2015. D vitamini: sporcular için son gelişmeler ve etkileri, *Spor hekimliği*, 45, 2, 213-229.
- Marhamati, M., Ranjbar, G. ve Rezaie, M., 2021. Emülgatörlerin Suda Yağ Nanoemülsiyonlarının fizikokimyasal stabilitesi üzerindeki etkileri: Eleştirel bir inceleme, *Moleküler Sıvılar Dergisi*, 340, 117218.
- Marwaha, R. K. ve Dabas, A., 2019. Bioavailability of nanoemulsion formulations vs conventional fat soluble preparations of cholecalciferol D₃ An overview. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 10, 6, 1094–1096.

- Maughan, R.J., Burke, L.M., Dvorak, J., Larson Meyer, D.E., Peeling, P., Phillips, S.M. ve Engebretsen, L., 2018. IOC fikir birliği beyanı diyet takviyeleri ve yüksek performanslı atlet, Uluslararası spor beslenme ve egzersiz metabolizması dergisi, 28, 2, 104-125.
- McCourt, A. F., Mulrooney, S. L., O'Neill, G. J., O'Riordan, E. D. ve O'Sullivan, A. M., 2022. Postprandiyal 25-hidroksivitamin D yanıtı, D3 vitamini ile güçlendirilmiş bir süt içeceğinin lipid bileşimine göre değişir, Uluslararası Gıda Bilimleri ve Beslenme Dergisi , 73, 3, 396-406.
- Mehmood, T. ve Ahmed, A., 2020. D vitamininin etkili dağıtımı için Tween 80 ve soya-lesitin bazlı gıda sınıfı nanoemülsiyonlar, Langmuir, 36, 11, 2886-2892.
- Meral, A., Beslenme Biyokimyası, 2011. 3. Baskı, Hatipoğlu Yayınları, Ankara, 126.
- Nazarzadeh, E., Anthonypillai, T. ve Sajjadi, S., 2013. On the growth mechanisms of nanoemulsions, Journal of Colloid and Interface Science 397, 154–162.
- Nazyır, T., Gönen Aydın, C., Eroğlu, A., Taş, S. K., 2017. Sporcularda Düzenli Aktivitenin D Vitamini Düzeylerine Etkisi: Kesitsel Çalışma, Spor Hekimliği Dergisi, 52, 3.
- Ogan, D. ve Pritchett, K., 2013. Vitamin D and the athlete: Risks, recommendations, and benefits, Nutrients, 5, 6, 1856–1868.
- Öncül Börekçi, N., 2019. Current information on Vitamin D deficiency, The Journal of Turkish Family Physician, 10, 1, 35–42.
- Özcan, M. M., Arslan, D. ve Gökçalık, H., 2007. Some compositional properties and mineral contents of carob Ceratonia siliqua fruit, flour and syrup, International Journal of Food Sciences and Nutrition, 58, 8, 652–658.
- Özçiçek Dölekoğlu, C., Giray, F. H. ve Şahin, A., 2012. Raflardaki Yeni Ürün Fonksiyonel Gıdalar ve Getirdikleri, 10.Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 948–955.
- Öztürk, B., 2017. Nanoemulsions for food fortification with lipophilic vitamins: Production challenges, stability, and bioavailability, European Journal of Lipid Science and Technology, 119, 7, 1–18.
- Pazir, F. ve Alper, Y., 2017. Carob Bean Ceratonia siliqua L. and Its Products, Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 28, 1, 108–112.
- Peris, P. vd., 2017. Comparison of total, free and bioavailable 25-OH vitamin D determinations to evaluate its biological activity in healthy adults : the LabOscat study, CrossMark, 2457–2464.
- Pilz, S., März, W., Cashman, K. D., Kiely, M. E., Whiting, S. J., Holick, M. F., Zittermann, A., 2018. Rationale and plan for vitamin D food fortification: a review and guidance paper, Frontiers in endocrinology, 9, 373.
- Pongsumpun, P., Iwamoto, S., Siripatrawan, U., 2020. Response surface methodology for

optimization of cinnamon essential oil nanoemulsion with improved stability and antifungal activity. *Ultrasonics sonochemistry*, 60, 104604.

- Rabelo, C. A., Taarji, N., Khalid, N., Kobayashi, I., Nakajima, M. ve Neves, M. A., 2018. Formulation and characterization of water-in-oil nanoemulsions loaded with açai berry anthocyanins: Insights of degradation kinetics and stability evaluation of anthocyanins and nanoemulsions, *Food research international*, 106, 542-548.
- Raviadaran, R., Chandran, D., Shin, L.H. ve Manickam, S., 2018. Optimization of palm oil in water nano-emulsion with curcumin using microfluidizer and response surface methodology, 58–65.
- Razzaque, M. S., 2018. Can adverse effects of excessive vitamin D supplementation occur without developing hypervitaminosis D, *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 81–86.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Martínez Villaluenga, C., Aguirre, L., Silván, J. M., Dueñas, M. ve Lasa, A., 2019. In vitro approach for evaluation of carob by-products as source bioactive ingredients with potential to attenuate metabolic syndrome, *Heliyon*, 5, 1, e01175.
- Rockwell, M.S., 2019. İnsan sağlığı ve performansında D Vitamini: Bilimsel belirsizlik çağında kanıta dayalı Uygulama arayışı, Doktora tezi, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia.
- Ron, N., Zimet, P., Bargarum, J. ve Livney, Y. D., 2010. Beta-lactoglobulin-polysaccharide complexes as nanovehicles for hydrophobic nutraceuticals in non-fat foods and clear beverages, *International Dairy Journal*, 20, 10, 686–693.
- Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K. ve Shapses, S. A., 2011. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: what clinicians need to know. *The Journal of Clinical Endocrinology ve Metabolism*, 96, 1, 53-58.
- Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-Benna, J., Marzouki, L., 2017. Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua* L.) on the gastrointestinal tract: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 93, 522-528.
- Sanguansri, P. ve Augustin, M. A., 2006. Nanoscale materials development a food industry perspective, *Trends in Food Science Technology*, 17, 10, 547–556.
- Schoener, A. L., Zhang, R., Lv, S., Weiss, J., McClements, D. J., 2019. Fabrication of plant-based vitamin D 3-fortified nanoemulsions: Influence of carrier oil type on vitamin bioaccessibility, *Food function*, 10, 4, 1826-1835.
- Shuler, F. D., Wingate, M. K., Moore, G.H. ve Giangarra. C., 2012. Sports Health Benefits of Vitamin D, *Sports Health*, 4, 6, 496–501.
- Sneha, K. ve Kumar, A., 2021. Nanoemülsiyonlar: Hazırlama teknikleri ve gıda

uygulamalarındaki son gelişmeler, Yenilikçi Gıda Bilimi ve Gelişen Teknolojiler, 102914.

Solans, C., Izquierdo, P., Nolla, J., Azemar, N., ve Garcia-Celma, M. J., 2005. Nanoemulsions, *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 10, 3–4, 102–110.

Spence, L., Brown, W. J., Pyne, D. B., Nissen, M. D., Sloots, T. P., McCormack, J. G. ve Fricker, P. A., 2007. Incidence, etiology, and symptomatology of upper respiratory illness in elite athletes, *Medicine and science in sports and exercise*, 39, 4, 577.

Sugumar, S., Sanjay, S., Amitava, M. ve Chandrasekaran, N., 2016. Nanoemulsion of orange oil with non ionic surfactant produced emulsion using ultrasonication technique: evaluating against food spoilage yeast, *Applied Nanoscience*, 6, 1, 113–120.

Sun, Y. Vd., 2015. Nanoemulsion-based delivery systems for nutraceuticals: Influence of carrier oil type on bioavailability of pterostilbene, *Journal of Functional Foods*, 13, 61–70.

Tangpricha, V., Koutkia, P., Rieke, S. M., Chen, T. C., Perez, A. A. ve Holick, M. F., 2003. Fortification of orange juice with vitamin D a novel approach for enhancing vitamin D nutritional health, *The American journal of clinical nutrition*, 77, 6, 1478-1483.

Thomas, D. T., Erdman, K. A. ve Burke, L.M., 2016. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance, *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116, 3, 501–528.

Thomas, S.V. ve Gilbert, J.E., Integrating Technology to Enhance Athlete Development, A Literature Review, *Journal of Higher Education Athletics Innovation*, 1, 1, 73–84.

Todd, J., Madigan, S., Pourshahidi, K., McSorley, E., Laird, E., Healy, M. ve Magee, P., 2016. Elit İrlandalı Sporcularda D vitamini durumu ve takviye uygulamaları: 2010/2011'den bir güncelleme, *Besinler*, 8, 8, 485.

Tounsi, L., Karra, S., Kechaou, H. ve Kechaou, N., 2017. Processing , physico-chemical and functional properties of carob molasses and powders, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 3, 1440–1448.

T.C. Resmi Gazete, Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği. (29960 mükerrer), 2017.

T.C. Resmi Gazete,Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği. (25308), 2003.

Vitali Čepo, D. vd., 2014. Optimization of roasting conditions as an useful approach for increasing antioxidant activity of carob powder, *Food Science and Technology*, 58, 2, 578–586.

Wacker, M. ve Holick, M. F., 2013. Sunlight and Vitamin D A global perspective for health, 1980, 1938–1980.

- Walia, N., Dasgupta, N., Ranjan, S., Chen, L. vd., 2017. Fish oil based vitamin D nanoencapsulation by ultrasonication and bioaccessibility analysis in simulated gastro-intestinal tract, *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 623–635.
- Walia, N., ve Chen, L., 2020. Pea protein based vitamin D nanoemulsions: Fabrication, stability and in vitro study using Caco-2 cells, *Food chemistry*, 305, 125475.
- Wyon, M. A., Koutedakis, Y., Wolman, R., Nevill, A.M., Allen, N., 2014. The influence of winter vitamin D supplementation on muscle function and injury occurrence in elite ballet dancers: A controlled study, *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17, 1, 8–12.
- Yao, M., Li, Z., McClements, D. J., Tang, Z. ve Xiao, H., 2020. Design of nanoemulsion-based delivery systems to enhance intestinal lymphatic transport of lipophilic food bioactives: Influence of oil type, *Food Chemistry*, 317
- URL-1 <https://www.ais.gov.au/_data/assets/pdf_file/0009/998802/36194_Sport-supplement-fact-sheets-Sports-drinks-v4.pdf>, Erişim Tarihi: 01.04.2022
- URL-2 <<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/cocukergen-bp-liste/d-vitamini-eksikligi-onleme-ve-kontrol-programi.html>>, Erişim Tarihi: 01.02.2022
- URL-3 <<https://www.saglik.gov.tr/TR,11161/gebelere-d-vitamini-destek-programi-rehberi.html>>, Erişim Tarihi: 01.01.2022
- URL-4 <https://www.ais.gov.au/_data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods-abridged_v2.pdf>, Erişim Tarihi: 01.03.2022
- URL-5 <<https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/vitamin-d-milk-and-milk-alternatives>>, Erişim Tarihi: 01.01.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Sibel KOŞAR

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Kırklareli Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 2011-2015

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Aksaray Paralimpik Oyunlara Hazırlık Merkezi / Sporcu Diyetisyeni
2. Ankara Türkiye Olimpiyat Hazırlık Merkezi /Sporcu Diyetisyeni

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1.22-24 Haziran 2022 tarihinde 8. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (ICAR)’nde ‘D vitamini ile Zenginleştirilmiş Keçiyoynuzu Özü İçeren Sporcu İçeceği Geliştirilmesinde Nanoemülsiyon Tekniğinin Kullanım Olanağının Araştırılması’