



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

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA TEKNOLOJİSİYLE D
VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ
VE PEYNİR ALTI SUYU PROTEİNİ İÇEREN İZOTONİK
SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilsu ŞEVİK

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212324401 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Nilsu ŞEVİK tarafından hazırlanan “**NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA TEKNOLOJİSİYLE D VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ VE PEYNİR ALTI SUYU PROTEİNİ İÇEREN İZOTONİK SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ 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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Deniz KOÇAN

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Serpil YALIM KAYA

Mersin Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 27/09/2024

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

Prof. 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 orijinallliğini 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.

Nilsu ŞEVİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca özellikle bu tez çalışmasında olmak üzere her zaman kıymetli bilgi, öneri ve tecrübesini esirgemedi her konuda anlayışla, sabırla beni destekleyerek yol gösterdiği, akademik ufkumu genişlettiği için, değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT'a,

Bu tezin uygulama aşamasında 2024-23 nolu proje ile maddi olarak destekleyen T.C. Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Bap) Koordinasyon Birimi'ne,

Çalışmayı gerçekleştirirken her türlü bilgi ve imkândan faydalanmam konusunda destek ve yardımlarını esirgemeyen Aksaray Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Hayatım boyunca sonsuz destek, teşvik ve sevgilerinden dolayı annem, babam, kız kardeşime, bu yolda her türlü imkân ile beni destekleyen, bana inanan sevgili eşim ve canım kızım Defne'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Nilsu ŞEVİK
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Sporcu İçeceği	4
2.2 Keçiyoynuzu.....	5
2.3 Peynir Altı Suyu Proteini	7
2.4 D vitamini.....	8
2.5 D Vitamini Kaynakları ve Metabolizması.....	8
2.6 D vitamini Düzeyleri ve Eksikliği.....	10
2.7 Nanoemülsiyon.....	14
2.8 Nanoemülsiyonların Fiziksel ve Kimyasal Yapısı	15
2.9 Nanoemülsiyonların Elde Edilmesinde Kullanılan Maddeler.....	17
2.9.1 Yağ.....	17
2.9.2 Emülgatör	17
2.9.3 Su fazı.....	18
2.9.4 Yardımcı sürfektanlar	18
2.10 Nanoemülsiyonların Elde Edilmesi.....	18
2.11 Gıdalarda Nanoemülsiyon Uygulamaları	20
2.12 Nanoparçacıkların Ölçülmesi Ve İncelenmesi	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1 Materyal.....	25
3.1.1 Keçiyoynuzu özütü	25
3.1.2 D vitamini	25
3.1.3 Tween 80	25
3.1.4 Zeytinyağı.....	26
3.1.5 Peynir altı suyu proteini.....	26
3.2 Yöntem	27
3.2.1 Deneyisel tasarımlar ve istatistiksel analizler.....	27
3.2.2 Emülsiyon hazırlama	30
3.2.2.1 Birinci deneme	31
3.2.2.2 İkinci deneme.....	31
3.2.3 Zeta potansiyeli (ζ) ve parçacık boyutu analizi	33
3.2.4 Suda çözünür kuru madde analizi.....	33
3.2.5 İstatistiksel analiz	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
4.1 Parçacık Boyutu	35
4.1.1 Birinci Deneme	35
4.1.2 İkinci deneme.....	38
4.2 Zeta Potansiyeli	49
4.2.1 Birinci deneme.....	49
4.2.2 İkinci deneme.....	51
4.3 Depolama Çalışmaları	59

4.4 Suda Çözünür Kuru Madde	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	64



YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOEMÜLSİYON HAZIRLAMA TEKNOLOJİSİYLE D VİTAMİNİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KEÇİBOYNUZU ÖZÜTÜ VE PEYNİR ALTI SUYU PROTEİNİ İÇEREN İZOTONİK SPORCU İÇECEĞİ GELİŞTİRİLMESİ

Nilsu ŞEVİK

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

ÖZET

Bu çalışmada amaç, tüketicilerin D vitaminine kolay erişimini sağlayarak günlük tüketime uygun doğal ve işlevsel bir ürün geliştirmek için fonksiyonel bir içecek olan sporcu içeceğinin D vitamini ile zenginleştirilmesidir. Çalışma kapsamında D vitamininin hidrofobik yapısı nedeniyle, geleneksel su ile karıştırma yöntemlerinin etkisiz olması nedeniyle ultrasonikasyon kullanan nanoemülsiyon hazırlama teknolojisine başvurulmuştur. Bağımsız değişkenler olarak Tween 80 (%0-2), peynir altı suyu proteini (WPC-70, %0-2) ve sonikasyon süresi (120-300 s) seçilmiş ve nanoemülsiyonlar için temel parametreler olan partikül boyutu (nm) ve zeta potansiyeli (ζ , mV) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Nanoemülsiyon için istenen partikül boyutunu elde etmek için 100 watt ve 30 kHz frekansında çalışan ve çok küçük numune hacmi gerektiren bir sonikatör kullanılmıştır. Ancak istatistiksel analiz, sonuçların yanıt yüzeyi yöntemindeki herhangi bir modelle uyumsuz olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, emülgatör ekleme prosedürlerinde yapılan değişikliklerle birlikte 20 kHz frekansında 200 watt'lık bir sonikatörün kullanıldığı müteakip bir deney planı geliştirilmiştir. Merkezi tümleşik deney tasarım kullanılarak, %1-2 oranında Tween 80 ve WPC-70 emülgatörleri bağımsız değişkenler olarak belirlenmiş ve 10 dakikalık sabit bir sonikasyon süresi belirlenmiştir. Bu planda 266 nm'lik bir maksimum partikül boyutu ve -8,423 ila -13,567 mV arasında değişen zeta potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Sonraki zeta potansiyeli ve partikül boyutu analizleri +4 °C'de, 7 ve 14 gün saklanan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta 71,980 nm olarak ölçülen partikül boyutu 7. günde 81,04 nm'ye ve 14. günde 89,56 nm'ye yükselirken nanoemülsiyon özelliklerini korumaya devam etmiştir.

Anahtar Kelimeler: D vitamini, Nanoemülsiyon, Sporcu içeceği, Peynir altı suyu proteini, Keçiyoynuzu, Depolama.

Eylül, 2024; 71 sayfa

M.Sc. THESIS

DEVELOPMENT OF AN ISOTONIC SPORTS DRINK CONTAINING CAROB EXTRACT AND WHEEL PROTEIN ENRICHED WITH VITAMIN D BY NANOEMULSION PREPARATION TECHNOLOGY

Nilsu ŞEVİK

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

Supervisor: Asst. Prof. Fatma ŞAHMURAT

ABSTRACT

In this study, the objective was to enhance the vitamin D content of a sports drink, a functional beverage, in order to develop a natural and functional product suitable for daily consumption, providing consumers with easy access to vitamin D. In the scope of the study, traditional water-mixing methods are ineffective due to the hydrophobic nature of vitamin D. Therefore, nanoemulsion preparation technology using ultrasonication was utilized. The independent variables Tween 80 (0-2%), whey protein (WPC-70, 0-2%), and sonication time (120-300 s) were chosen, and their impacts on particle size (nm) and zeta potential (ζ , mV), key parameters for nanoemulsions, were investigated. A sonicator operating at 100 watts and a frequency of 30 kHz, requiring minimal sample volumes, was employed to attain the desired particle size for nanoemulsion. However, statistical analysis revealed that the results were incongruent with any model within the response surface method. Consequently, a subsequent experimental plan was devised, implementing a 200-watt sonicator at a frequency of 20 kHz, along with modifications to the emulsifier addition procedures. Utilizing a centralized integrated experimental design, emulsifiers Tween 80 and whey protein (WPC-70) at 1-2% and a consistent sonication time of 10 minutes were determined. This yielded a maximum particle size of 266 nm and zeta potential values ranging from -8.423 to -13.567 mV. Subsequent zeta potential and particle size analyses were conducted on samples stored at +4°C and on days 7 and 14. The initial particle size measured at 71.980 nm increased to 81.04 nm on the 7th day and 89.56 nm on the 14th day, while still retaining its nanoemulsion properties.

Keywords: Vitamin D, Nanoemulsion, Sports drink, Whey protein, Carob, Storage.

September, 2024; 71 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Emülsiyon	16
Şekil 4.1. Parçacık boyutu için gerçek değerler ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.2. Parçacık boyutu için tahmini değerlere karşı kalıntı grafiği.....	42
Şekil 4.3. Wpc-70 ve Tween 80 derişiminin parçacık boyutuna birlikte etkileri.	43
Şekil 4.4. %1 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	44
Şekil 4.5. %1,5 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	44
Şekil 4.6. %2 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	45
Şekil 4.7. %1 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	46
Şekil 4.8. %1,5 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	46
Şekil 4.9. %2 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.	47
Şekil 4.10. ζ için gerçek değerler ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.	54
Şekil 4.11. ζ için tahmini değerlere karşı kalıntı grafiği.	54
Şekil 4.12. WPC-70 ve Tween 80 derişiminin parçacık boyutuna birlikte etkileri.	56
Şekil 4.13. %1 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	56
Şekil 4.14. %1,5 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	57
Şekil 4.15. %2 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	57
Şekil 4.16. %1 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	58
Şekil 4.17. %1,5 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	59
Şekil 4.18. %2 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Keçiboynuzu özütünün enerji ve besin öğeleri.....	25
Çizelge 3.2. Zeytinyağının enerji ve besin öğeleri.	26
Çizelge 3.3. Whey proteinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri.	27
Çizelge 3.4. Birinci deney tasarımı.....	29
Çizelge 3.5. İkinci deney tasarımı.....	30
Çizelge 3.6. Darbeli Mod Zaman Aralığı.	32
Çizelge 4.1. Birinci deneme parçacık boyutları.....	36
Çizelge 4.2. Birinci deneme değişkenlerin parçacık boyutuna etkisi için MANOVA çizelgesi.	38
Çizelge 4.3. Parçacık boyutu için Duncan karşılaştırma testi sonuçları.	38
Çizelge 4.4. İkinci deneme parçacık boyutları.....	39
Çizelge 4.5. Parçacık boyutu için azaltılmış kübik model varyans çizelgesi (ANOVA).	40
Çizelge 4.6. Birinci deneme zeta potansiyelleri.....	50
Çizelge 4.7. Birinci deneme değişkenlerin zeta potansiyeline etkisi için MANOVA.	51
Çizelge 4.8. Zeta potansiyeli için Duncan karşılaştırma testi sonuçları.	51
Çizelge 4.9. İkinci deneme Zeta potansiyelleri.....	52
Çizelge 4.10. ζ için azaltılmış ikinci dereceden model varyans Çizelgesi (ANOVA).	53
Çizelge 4.11. ζ için azaltılmış ikinci dereceden model varyans Çizelgesi (ANOVA).	61
Çizelge 4.12. İkinci deneme Brix değerleri.	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
COVID-19	Coronavirüs Hastalığı
dk	Dakika
g	Gram
HMF	Hidroksimetil Furfural
IU	International Ünit (Uluslararası birim)
Kcal	Kilokalori
kHz	Kilohertz
mg	Miligram
nm	Nanometre
s	Saniye
Wpc	Peynir Altı Suyu Proteini
Wpc-70	%70'lik Peynir Altı Suyu Proteini
Ca	Kalsiyum
Fe	Demir
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
°C	Santigrat
ζ	Zeta Potansiyeli

1. GİRİŞ

Tüm canlılar için hayati öneme sahip olan su tüketimi, spor yapan bireylerde özen gösterilmesi gereken bir noktadır. Spor yapan bireylerin bol sıvı tüketmeleri gerekmektedir. Herkes için alınması gereken sıvı miktarı farklı olmakla beraber genel olarak 1000 kcal için 1 litre sıvı tüketimi önerilmektedir. Spor esnasında vücut ağırlığının %2-3'ünü kaybedecek şekilde dehidrate olan bir sporcunun performansı düşmekte; terleme ile vücut ağırlığı kaybı %4'e ulaştığında, kan hacmi azalmakta, kardiyovasküler ve termoregülatör fonksiyonlar zarar görmektedir. Yapılan spor faaliyetlerinin türüne, şiddetine ve süresine göre alınması gereken sıvı miktarı değişmektedir. Ortam sıcaklığı gibi çevresel faktörler ihtiyaç duyulan sıvı miktarını arttırabilmektedir. Spor veya egzersiz sırasında her 15-20 dk için yaklaşık olarak 100 ml su tüketilmelidir. 1,5 saati geçen egzersizlerde ek olarak karbonhidrat alımı gerekmektedir. Egzersiz sırasında her bir kilogram için 0,7 gram karbonhidrat alımı kan şekerini düzenlemekte ve performansı arttırmaktadır. Bu gereklilik için sporcu içeceği tercih edildiğinde hem sıvı ihtiyacı hem de karbonhidrat ihtiyacı karşılanmaktadır. Uzun süreli egzersizlerdeki sodyum kaybını gidermek için tüketilen sıvının sodyum yönünden zengin olması önerilmektedir. Sporcu içecekleri sodyum, potasyum gibi terle kaybedilen elektrolitleri sağlamaktadır.

Araştırmalar sonucunda, fonksiyonel içecek pazarında en çok tercih edilen içeceğin yüzde 37 ile sporcu içeceği olduğu görülmektedir. Sporcu içeceklerinin dünya çapında popüler olan çeşidi %6-8 karbonhidrat ve az miktarda elektrolit içeren izotonik içeceklerdir.

Eksikliği çocuklarda raşitizm, yetişkinlerde osteopaniye sebep olan, insan vücudunda pek çok önemli biyolojik aktivitede görev alan D vitaminin kanser türleri, otoimmün hastalıklar, hipertansiyon ve bulaşıcı hastalıklar ile mücadele de önemli rol oynadığına dair çalışmalar mevcuttur. Başlıca kaynağı güneş ışığı olan D vitamini; coğrafi konum, modern yaşam, koruyucu kremler sebebi ile yeteri miktarda sentezlenememekte, doğal olarak içeren gıdaların kısıtlı olması nedeni ile de dünyada ve ülkemizde eksikliği en çok görülen vitamindir. Tıp Enstitüsü, çocuk ve yetişkinlerde D vitamini takviyesi alınmasını önermektedir. Geçmişten günümüze çeşitli gıdalara D vitamini ilavesi ile bu eksikliğin önüne geçmek hedeflenmektedir.

Sporcuların optimum D vitamini düzeyinde olması istenilen performans düzeyine sahip olmada destekleyici etki, kas yaralanmaları ve kemik kırıklarını önlemede fayda sağlamaktadır. Yağda çözünen bir vitamin olan D vitamini su bazlı ürünlere eklenmesi ve raf ömrü boyunca stabilitesini koruması oldukça zordur. Son yıllarda hızla gelişen nanoteknoloji sayesinde, lipofilik besinler ve biyoaktifler için iletim aracı olarak geleneksel kaba emülsiyonlar yerine nanoemülsiyonların kullanım olanağı beslenme ve gıda endüstrisinde ilgi görmeye başlamıştır. Nanoemülsiyonlar, faz ayırmasına karşı daha iyi bir stabilite sağlarken, renk ve aroma korunmasını sağlayarak ürünün duyu kalite özelliklerini artırır bir yandan da daha iyi biyoyararlanım ve hidrofobik bileşiklerin emilim kapasitesinin artmasıyla ürünün fonksiyonel özellik kazanmasını sağlar.

Keçiboynuzu ağacı, ülkemizde içinde bulunduğu akdeniz kıyıları ve ortadoğuda kendiliğinden yetişen bir ağaçtır. Meyvesi, yüksek şeker miktarı ile doğal bir tatlandırıcıdır. Antioksidan özellik gösteren polifenoller, mineral ve diyet lif açısından oldukça zengindir. Genellikle çikolataya sağlıklı bir alternatif olarak görülen keçiboynuzu, son yıllarda tüketicilerin sağlık ve çevre bilincindeki artış ile yeniden talep görmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak keçiboynuzu ürünlerine olan talep artmış ve sektörde yeni trendler ve fırsatlar oluşmuştur. Özellikle doğal bir şeker kaynağı oluşuyla, karbonhidrat kaynağı olarak gıdalara eklenmesi piyasadaki muadili ürünlere sağlıklı alternatifler üretilmesini sağlayacaktır.

Peynir altı suyu, endüstrileşmeyle birlikte peynir üretimi sonucu ortaya çıkan bir atık ürünüdür. Biyolojik oksijen gereksinimi yüksek bir atık ürün olan peynir altı suyu su yollarına ve tarlalara boşaltma şeklinde bertaraf edildiğinde çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Gelişen teknoloji ile ekonomiye değer kazandırmak, çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamak, biyolojik değeri yüksek ürünlere ulaşmak için peynir altı suyundan elde edilen peynir altı suyu proteini, sahip olduğu sülfür içeren aminoasitler ile sağladığı antioksidan özellik yanı sıra kıvam arttırma, emülsiyon oluşturma özellikleri ile endüstriye fayda sağlayan bir ürün olmuştur. Özellikle sporcular ve spor yapan bireyler protein kaynağı olarak bu proteini sıklıkla kullanmaktadır.

Günümüzde artan sağlıklı beslenme bilinci ile fonksiyonel gıda pazarına olan talep ve ilgi artmıştır. Nanoteknolojinin gelişmesi ile fonksiyonel gıda pazarını destekleyici ürünlerin üretilmesi kolaylaşmıştır. Bu çalışma ile fonksiyonel gıda pazarında değer görece, sporcu ve aktif bireylerin sağlığını destekleyici ve hayatını kolaylaştırıcı, D vitamini ile zenginleştirilmiş, doğal içerikli bir ürün üretimi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda; D vitamininin, doğal karbonhidrat kaynağı olarak keçiyoynuzu ve emülgatör olarak Tween 80 ve Wpc-70 (%70 Peyniraltı suyu proteini içeren konsantre) içeren bir su faza ultrasonikasyon işlemi yardımıyla nanoemülsiyon oluşturacak şekilde eklenmesi hedeflenmiştir. Nanoemülsiyon oluşumu, parçacık boyut ve zeta potansiyeli ölçümleri ile takip edilmiştir. Bu amaçla sonikasyon süresinin değiştiği ve sabit kaldığı iki farklı deney grubu oluşturulmuştur. Her iki deney grubu için yanıt yüzey yöntemi ile deney tasarımı yapılmıştır. Tween 80 ile Wpc-70'in farklı konsantrasyonlardaki kombinasyonlarının, parçacık boyutu ve zeta potansiyeli üzerine etkileri sonikasyon sonrası ve depolama süresince (7. ve 14. Günler) incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Sporcu İçeceği

Sporcu içeceği, Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği'nde karbonhidrat, sıvı, ve elektrolitlerin hızlı bir şekilde yerine konmasını sağlamak amacıyla formüle edilmiş karbonhidrat ve elektrolit içeren ürün olarak tanımlanmaktadır. Tebliğ gereğince; spor içeceklerinde toplam enerjinin %75'i karbonhidrattan sağlanmalı ve bu karbonhidratlar; glukoz, sakaroz, maltoz, fruktoz, ve glukoz polimerlerinden oluşmalıdır. Spor içeceklerindeki sodyum miktarı, 20 mmol/L-460 mg/L veya 50 mmol/L-1150 mg/L arasında olmalı ve osmolalite 200-330 mOsm/kg su olmalıdır. Spor içeceklerindeki karbonhidrat miktarı en az 2 g/100 ml ve en fazla 10 g/100 mL olmalıdır (Anonim, 2003)

Sporcu içeceği ilk olarak 1960'larda Florida Üniversitesi'nden Robert Cade'in spor performansını artırıcı, kas kramplarını önleyici olduğunu iddia ederek su, sodyum, şeker, monopotasyum fosfat ve limon içeren bir içecek üretmesiyle ortaya çıkmıştır (Turnagöl vd., 2020). Sporcu beslenmesi uzmanı Profesör Ron Maughan'ın sporcularda sıvı alımının önemini vurgulayan çalışmalarında egzersiz sırasında veya sonrasında rehidrasyon için en iyi sıvının su olmadığını belirtmesi ile sporcu içeceklerinin popülerliği daha da artırmıştır (Maughan vd., 1993).

Sporcu içecekleri içerdikleri karbonhidrat miktarına bağlı olarak 3 gruba ayrılmaktadır. İçeriğinde %4 oranında az karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içecekler hipotonik içecektir ve özellikle jokey, cimnastik gibi daha az enerji gereken sporlarda tercih edilmektedir. İçeriğinde %6-8 oranında karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içecekler izotonik içecektir ve özellikle orta, uzun mesafe koşu, takım sporları için uygun olmakla birlikte, özellikle 60 dakikadan fazla süren tüm antrenman için kullanılabilir. İçeriğinde %8 oranından daha fazla karbonhidrat ve elektrolit içerecek şekilde formüle edilmiş içecekler hipertonic içecektir ve özellikle ultra dayanıklılık antrenmanlarından sonra kullanılabilir. Son yıllarda bireyin egzersizde kaybettiği ter miktarı ve terinin elektrolit düzeylerine bakılarak sporcuya özel sporcu içecekleri tasarlanmaktadır (Turnagöl vd., 2020).

Sporcular fiziksel performans ve ağrıya toleransı artırma gibi amaçlar için en çok sporcu içecekleri, kafein, koenzim Q10 ve karnitin ergojenik yardım ürünlerini tercih etmektedir. Suudi Arabistan'da 105 profesyonel futbol sporcusu ile diyet takviyelerinin kullanım modellerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; %88,7 oranıyla sporcu içeceğinin en çok tercih edilen ürün olduğu görülmüştür (Aljaloud ve İbrahim, 2013). 22 erkek futbolcu katılımı ile gerçekleştirilen sporcu içeceğinin futbol performansı üzerine etkisini incelemeyi amaçlayan çalışmada; sporcu içeceğinin futbol performansını artırdığı, toparlanmayı kolaylaştırdığı görülmüştür (O'Reilly ve Wong, 2013).

Sporcu içeceklerinin dayanıklılık egzersizleri sonrası toparlanma sürecine etkilerini incelemek amacıyla, plasebo ve deney olarak 2 gruba ayrılmış 21 erkek elit oryantiring sporcusunda yarışma öncesi, yarışma sonrası, yarışmadan 2 saat sonra ve yarışmadan 24 saat sonra 4 kan örneği alınmıştır. Kas hasarını belirten miyoglobinin düzeyleri incelenerek, izotonik sporcu içeceğinin spor sırasında oluşan kas hasarını azalttığı ve sonrasında toparlanma sürecini hızlandığı sonucu elde edilmiştir (Colakoglu vd., 2016).

İdeal sporcu içeceği, sporcunun seveceği tada sahip olmalı, hızla emilebilmeli, gastrointestinal sisteme zarar vermemeli, çalışan kaslara enerji sağlamalı ve kaybedilen sıvıyı almayı sağlamalıdır (Orkun ve Ersoy, 2010).

2.2 Keçiboynuzu

Keçiboynuzu (*Cerotonia siliqua* L.) yeryüzünün en eski bitkilerindendir ve Türkiye'de harnup, harup ve boynuz gibi isimlerle de anılmaktadır. Dünyada Akdeniz ikliminin görüldüğü yerlerde, Portekiz, İtalya, Fas, Türkiye, Cezayir, Yunanistan, Kıbrıs, Suriye gibi Akdeniz ülkelerinde yetişmektedir. Türkiye'de görüldüğü bölgeler, İzmir-Urla-Karaburun Yarım Adası'ndan başlayıp, Ege ve Akdeniz kıyı şeridini izleyerek, Hatay'da Suriye hududuna kadar uzanmaktadır. Keçiboynuzu meyvesinin insan besini olarak kullanımının dışında keçiboynuzu tohumu gıda, kozmetik, boya, tekstil ve ilaç endüstrisinde çok geniş kullanım olanağına sahiptir (Günel, 1999).

Çekirdeği alınmış keçiboynuzu meyvesi ağırlığının %52'si şekerdir bu sayede doğal bir tatlandırıcıdır. Keçiboynuzu mineral özellikleri bakımından, 100 gramında 42 mg Mg, 104 mg Fe, 1100 mg K, 307 mg Ca, 13 mg Na ve 0.4 mg Mn bulunmaktadır. A, B, B2, B3, C ve D vitaminleri açısından da zengin olduğu belirtilmektedir. Keçiboynuzunun 100 g meyvesindeki besin değerleri, 54 g karbonhidrat, 13 g protein, 23 g yağ olup toplam 470 kcal sahiptir. Keçiboynuzu meyvesi, polifenoller açısından zengin içeriği sayesinde antioksidan özellik göstermektedir. Diyet lifi açısından zengin bir içeriğe sahiptir ve ülkemizde herhangi bir kimyasal ilaç uygulaması yapılmadan yetişmektedir (Yılmaz, 2009).

Keçiboynuzunun kolesterol seviyesi üzerindeki etkinliğinin incelendiği bir çalışmada, günlük 15 gr keçiboynuzu tüketiminin kolesterolü %10,5, kandaki trigliserid miktarını ise %11,3 oranında düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum yüksek lif içeriğinin kan yağlarının dengelenmesine yardımcı olmasından kaynaklanmaktadır (Zunft vd., 2003). Keçiboynuzu, içeriğinde bulunan taninlerin gösterdiği yağ bağlayıcılık ile kolesterol düşürücü etkisi desteklenmektedir (Silanikoye vd., 2006).

Keçiboynuzu meyvesi D-pinitol biyoaktif bileşimini yüksek düzeyde içermektedir. Bu bileşimin Tip II diyabet hastalarının kan şekerini düzenlemek amacıyla kullanılan ilaçların doğal alternatifi olması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Keçiboynuzu çekirdeklerinden elde edilen özütünün esansiyel olmayan aminoasitler bakımından zengin olduğu tespit edilmiştir. Yüksek oranda içerdiği glutamin ve arginin amino asitleri sayesinde, keçiboynuzu tohumundan (germinden) üretilen ürünler, özellikle sağlıklı beslenme ve yüksek spor performansı açısından ilgi çekici görülmektedir (Bengoechea vd., 2007).

Keçiboynuzu çekirdekleri meyvenin %10'unu teşkil etmekte ve galaktomannan içermektedir. Keçiboynuzu gamı, meyvenin çekirdeğindeki endosperm tabakası olmasından dolayı, su bağlayıcı özelliğe sahiptir. Gamın düşük konsantrelerdeki sulu çözeltisi bile yüksek viskoziteye sahiptir, bu sayede agar, pektin ve diğer zamlık görevi gören maddelerin yerine kullanılabilir (Yılmaz vd., 2009).

2.3 Peynir Altı Suyu Proteini

Laktoz, mineral madde, vitamin, protein ve süt yağı içeren peynir altı suyu, peynir üretiminde pıhtının ayrılması sonucu kalan sarı-yeşil renkli sıvıdır. Peynir üretiminin bir yan ürünüdür. Peynir altı suyu proteinleri sülfür içeren aminoasitleri (rneğin sistein, metiyonin) yüksek oranda içermektedir ve bu sayede antioksidan fonksiyonları desteklemektedir. Peynir altı suyu proteinleri, L-isolsin, L-lösin ve L-valin kısa zincirli aminoasitlerini yüksek konsantrasyonda içermektedir (De Wit, 1998).

Peynir altı suyu β -laktoglobulin, α -laktalbumin, glukomapeptit, laktoferrin, bovine serum albümin ve immunoglobulin proteinlerini içerir ve özellikle yaşlılar, bebekler ve yoğun aktivite içinde olan sporcular için yüksek biyolojik değere sahiptir. Fiziksel performans, egzersiz sonrası toparlanma, kas atropisinin önlenmesi, tokluk sağlama, kilo yönetimi, kalp, damar sağlığı, anti-kanser etkileri, yaralanma, ameliyat gibi dokuların zarar gördüğü durumlarda bu dokuların iyileşmesinde hızlandırıcı etkisi bulunmaktadır (German vd., 2001).

Peynir altı suyu, endüstrileşmeyle birlikte peynir üretimi sonucu ortaya çıkan atık üründür. Biyolojik oksijen gereksinimi yüksek bir atık ürün olan peynir altı suyu su yollarına ve tarlalara boşaltma şeklinde bertaraf edildiğinde evre kirliliğine sebep olmaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber peynir altı suyundan; konsantre peynir altı suyu, peynir altı suyu tozu, mineralleri azaltılmış peynir altı suyu tozu, laktozu ve mineralleri azaltılmış peynir altı suyu tozu, peynir altı suyu protein konsantresi, peynir altı suyu protein izolatu ve laktoz üretilmektedir. Peynir altı suyu ve ondan elde edilen ürünler gıdalarda besin değerini arttırma ve yapısal özellikleri geliştirme amaçlı kullanılmaktadır. Peynir altı suyu tozları dolgu maddesi olarak, peynir altı suyu protein konsantreleri gıda yapısının dayanıklılığının sağlanması için kullanılmaktadır. Peynir altı suyu proteinlerinin emülsiyon kapasitesi ve kararlılığı yüksektir bu nedenle, şekerleme, pasta, krema, mayonez, sürülebilir peynir, sos, çikolata üretiminde tercih edilmektedir. 1970'li yıllarda İsveç'te üretilen Rivella ile peyniraltı suyu ieekleri artmıştır (Jeliić vd., 2008).

Peynir altı suyu proteinlerinde yoğun miktarda bulunan kısa zincirli aminoasitler sürekli yapılan yoğun egzersizler sonucu meydana gelen kas kayıplarını en aza indirmektedir. Yapılan çalışmada, 21 gün peynir altı suyu proteinleri ile hazırlanmış özel gıdalarla beslenen 16 atlette vücut ağırlığı ve kas kaybının önlendiği ortaya koyulmuştur (Almults ve German, 2001).

Peynir altı suyu proteinleri, emülsiyon oluşturma, jel oluşturma, kıvam arttırma ve lipid bağlama özelliklerine sahiptir (De Wit, 1998). Süt ürünleri proteinleri, yağ damlacıklarının arayüzüne adsorbe olarak damlacık toplanmasını önlemeye yardımcı koruyucu film oluşturdıkları için doğal emülgatörler olarak tercih edilmektedir (McClements ve Li, 2010). Peynir altı suyu proteinleri, yağ emülsiyonlarında emülgatör olarak kullanıldığında oksidatif stabiliteyi arttırmakta ve fiziksel olarak daha stabil emülsiyonlar oluşturmaktadır (Hu vd., 2003).

2.4 D vitamini

D vitamini; yağda eriyen vitaminler arasında yer almaktadır. Endojen olarak uygun biyolojik ortamda sentezlenebilmeleri sayesinde hormon ve hormon öncüleri olan bir grup steroldür (Fidan vd., 2014).

D vitaminin en önemli etkileri kalsiyum metabolizması, fosfor metabolizması ve kemik mineralizasyonu üzerinedir. D vitamini sporcularda antreman performansında, kas yaralanmalarından korunmak ve stres kırığını önlemek için önemlidir. İnsanlarda D vitamininin kronik hastalıkların önlenmesindeki olumlu etkileri, sporcularda da normal düzeylerdeki D vitamini yaşam kalitesini arttıracaktır (Gönen Aydın, 2014).

2.5 D Vitamini Kaynakları ve Metabolizması

D vitamininin 3 ana kaynağı bulunmaktadır; güneş ışığı, diyet ve takviyelerdir (Wacker ve Holick, 2013).

En önemli D vitamini kaynağı; endojen olarak ultraviyole B (UVB) ışınlarının deride fotokimyasal olarak 7 dehidrokolesterolden vitamin D₃ (kolekalsiferol) oluşturmalarıdır (Fidan vd., 2014). D₃ vitaminine (kolekalsiferol) dönüşümü sıcaklık ve deriye bağlı süreçlerle ilerlemektedir (Wacker ve Holick, 2013).

D vitaminini beslenmede “ergokalsiferol D₂” ve “kolekalsiferol D₃” olmak üzere iki yapıda bulunmaktadır. Bitkisel kaynaklı olan ergestrol güneşin ultraviyole ışınlarıyla “ergokalsiferol” e dönüşmektedir. Ergokalsiferol, yiyeceklerde katkı maddesi olarak bulunan formudur. Hayvan organizmasında deride bulunan “7-dehidrokolesterol” ergestrol gibi güneş ışınları etkisi ile kolekalsiferole (vitamin D₃) dönüşmektedir. Deride sentezlenen vitamin D₃ karaciğerde, dolaşımdaki temel formu olan 25-hidroksivitamin-D (25(OH)D)’ye dönüşmektedir (Fidan vd., 2014).

Deride D vitamini üretim miktarı bulunulan enleme yani güneşin geliş açısına, mevsim ve günün saatine bağlıdır. Güneş ışınlarının geliş açısının azalması D vitamini üretiminin azalmasına neden olmaktadır. Yaklaşık 33° enlemin kuzeyinde ve güneyinde yaşayan insanlarda kış aylarında D vitamini sentezi hemen hemen hiç olmamaktadır. Türkiye’de Mayıs – Kasım ayları arası D vitamini sentezi için uygun olup 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). Deride D vitamini sentezlenmesini olumsuz etkileyen diğer faktörler, cilt pigmentasyonunda artış, yaşlanma (özellikle >65) ve güneş kremi uygulamasıdır (Wacker ve Holick, 2013).

Yapısında D vitamini içeren gıdalar çok sınırlıdır. Somon, sardalye, ton balığı gibi yağlı balıklar ve morina gibi bazı balıkların karaciğer yağları ile güneşe maruz kalan mantarlar D vitamini içeriği yönünden zengindir (Wacker ve Holick, 2013).

Diyet ile vücuda alınan D₂ ve D₃ vitamini şilomikronlarla birleşerek lenfatik sistem aracılığı ile venöz dolaşıma taşınmaktadır. Diyetle alınan veya endojen olarak üretilen D₂ ve D₃ vitamini yağ hücrelerinde depo edilmekte ve gerektiğinde dolaşıma dahil edilmektedir (Fidan vd., 2014).

Deride sentezlenen veya diyetle alınan D vitamini biyolojik olarak aktif form değildir. Önce karaciğerde 25 hidroksilaz enzimi sayesinde 25 hidroksivitamin D’ye [25(OH)D], ardından böbreklerde 1 alfa hidroksilaz enzimi ile biyolojik olarak aktif form olan ve kalsitriol olarak da bilinen 1,25 dihidroksivitamin D’ye [1,25(OH)₂D] dönüşmektedir. 1 alfa hidroksilaz enzimi D vitamini sentezinde anahtar enzim görevi üstlenmektedir (Fidan vd., 2014). [25(OH)D] formu D vitaminin dolaşımdaki

formudur ve insanlarda D vitamini düzeyini belirlerken ölçülen formdur ve yarı ömrü 2-3 haftadır (Wacker ve Holick, 2013).

2.6 D vitamini Düzeyleri ve Eksikliği

25(OH)D düzeyi 20 ng/mL'den düşük ise D vitamini eksikliği, 21 ile 29 ng/mL arasında ise D vitamini yetersizliği, 30 ng/mL'den yüksek ise yeterli düzey (tercih edilen aralık 40-60 ng/mL) ve 150 ng/mL'den yüksek ise D vitamini intoksikasyonu olarak kabul edilen düzey aralıklarıdır (Holick vd., 2011).

Çok az gıda doğal olarak D vitamini içerdiğinden ana D vitamini kaynağı güneştir. Bu nedenle D vitamini eksikliğinin başlıca nedeni güneş ışığına yetersiz maruz kalmaktır. 30 koruma faktörlü güneş kremi kullanımı D vitamini sentezini %95'ten fazla azaltmaktadır. Koyu ten rengine sahip kişiler beyaz ten rengine sahip kişilerle aynı miktarda D vitamini sentezleyebilmek için 3-5 kat da uzun süre güneş ışığına maruz kalmalıdır. Pakistan'da 12 erkek futbolcu ile yapılan çalışmada, 6 kişilik iki grup oluşturulmuş ve deney grubu 120 gün boyunca güneş ışığında egzersiz yapması sağlanırken, kontrol grubu güneşten kısıtlanarak kapalı alanda egzersiz yapmıştır. Deney grubunun D vitamini seviyesinde anlamlı bir artış görülürken, kontrol grubu D vitamini seviyelerinde anlamlı bir düşüş ve sporcularda kilo artışı görülmüştür (Sultan vd., 2024).

D vitamini eksikliğine sebep olan bazı hastalıklar bulunmaktadır. Bunlar, yağ malabsorpsiyon sendromu, nefrotik sendrom, bariatrik hastalığıdır. Bazı ilaçlar 25(OH)D ve 1,25(OH)D katabolizmasını arttırdığından D vitamini eksikliğine sebep olabilmektedir. D vitamini eksikliği ile kardiyovasküler hastalıklar, yaygın kanserler, enfeksiyöz, metabolik sendrom ve otoimmün hastalıkların ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir (Holick, 2008). Serum 25(OH)D ile 30 kg/m²'den büyük beden kitle indeksi arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle obezite D vitamini eksikliği ile ilişkilendirilmektedir (Wacker ve Holick, 2013).

D vitamini eksikliği kalsiyum, fosfor ve kemik metabolizmasında olağan dışı durumlara neden olur. Spesifik olarak, D vitamini eksikliği, bağırsak kalsiyumunun etkinliğinde ve diyetle alınan kalsiyum ve fosfor emiliminde bir azalmaya neden olarak parathormon düzeylerinde bir artışa neden olmaktadır. Buna bağlı olarak lokal

kemik zayıflığı olur ve kemik mineral yoğunluğunda (BMD) genel bir azalma ile osteopeni ve osteoporoza sebep olmaktadır. İskeletlerinde çok az mineral bulunan küçük çocuklarda D vitamini eksikliği, raşitizm olarak bilinen çeşitli iskelet deformitelerine yol açmaktadır. D vitamini eksikliği kas güçsüzlüğüne neden olur; bu durum çocuklarda ayakta durmakta ve yürümekte güçlükler neden olurken, yaşlılar da fazla sallanma ve sık düşme nedenli kırık risklerini arttırmaktadır (Holick vd., 2011).

50 yaş ve üzeri postmenopozal kadınlarda D vitamini eksikliği/yetersizliğinin metabolik sendrom risk faktörleri, yaşam kalitesi ve depresyon ile ilişkisini değerlendirmeyi amaçlayan çalışmada 150 kadın katılımcı ile çalışılmış; D vitamini yetersizliği ve eksikliği prevalansları sırasıyla %21,3 ve %78,7 olarak bulunmuştur. D vitamini eksikliği olan kadınlarda, bel çevresi, kan basıncı ve açlık kan şekeri düzeyleri anlamlı derecede daha yüksek bulunurken, yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol düzeyleri anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Ayrıca yaşam kalitesi ölçeğinin alt parametreleri olan fiziksel fonksiyon, enerji düzeyi/canlılık, ruhsal ve genel sağlık açısından D vitamini eksikliği/yetersizliği olan kadınlar ile depresyon ve anksiyete arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Küçük vd., 2024).

Dünyanın içinden geçtiği coronavirüs hastalığı (COVID-19) pandemisi süresince D vitamini eksikliği ve hastalığın ağır seyretmesi arasındaki ilişki üzerine çalışmalar yapılmaktadır. D vitamini katelisininin salınımını tetikleyerek doğal bağışıklığı kısmen arttırmaktadır. Katelisin ise zarflı solunum yolu virüslerine karşı antiviral etki göstermektedir. Bundan dolayı zarflı solunum yolu virüsü olan COVID-19 virüsüne karşı da antiviral etki göstereceği düşünülmektedir. Fareler üzerine yapılan çalışmalarda D vitamininin COVID-19 virüsü kaynaklı akut akciğer hasarını hafiflettiği gözlenmiştir (Demir vd., 2021).

COVID-19 ve D vitamini arasındaki ilişkinin incelendiği bir çalışmada, hastanede yatan COVID-19 hastası 40 çocuk ile sağlıklı 45 çocukta D vitamini düzeyi karşılaştırılmıştır. COVID-19 ile enfekte çocuklarda D vitamini düzeyi anlamlı olarak daha düşük saptanmıştır. COVID ile enfekte çocuklarda, ateş yüksekliği daha yüksek olan çocukların D vitamini düzeyinin daha düşük olduğu gözlenmiştir (Yılmaz ve Şen, 2020).

D vitamini düzeyinin tespiti üzerine pek çok ülkede araştırmalar yapılmıştır ve yüksek oranlarda D vitamini eksikliği, yetersizliği tespit edilmiştir. D vitamini eksikliği çağın pandemisi olarak değerlendirilmektedir. Ankara bölgesinde bulunan Ankara Etlik İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesine müracaat eden 18 yaş üstü hastaların 25-OH D düzeyleri incelenmiş; %72,5 oranında D vitamini yetersizliği tespit edilmiştir (Uçar vd., 2012). Kore’de 2 yaş altındaki çocuklarda D vitamini düzeyinin tespiti üzerine yapılan çalışmada, %29.8 oranında D vitamini yetersizliği tespit edilmiştir (Yoon vd., 2011). 2022 Ulusal Sağlık ve Beslenme Araştırması, okul öncesi 1-4 yaş çocuklarda %4,7, 5-11 yaş okul çocuklarında %23,3 ve 12-49 yaş arası kadınlarda %37,7 oranında D vitamini eksiklik görüldüğü ortaya koyulmuştur. Meksika şehri genç yetişkinlerinde D vitamini durumunun tespiti için Meksika Sosyal Güvenlik Enstitüsü (IMMS) Beslenmede Tıbbi Araştırma Birimi (URMN)’nde yürütölen, 102’si kadın ve 53’ü erkek katılımcıdan oluşan çalışmada; %3,2’sinde yeterli seviyeler (>30 ng/mL), %38,7’sinde yetersiz (≥ 20 – <30 ng/mL) ve %58,1’inde eksik D vitamini seviyelerine ulaşılmıştır. Kadınlarda D vitamini eksikliği daha yüksek oranda tespit edilmiştir (Morales-Villar vd., 2024).

Orta Doğulu erkek sporcular üzerinde yapılan çalışmada, sporcuların D vitamini durumlarını değerlendirmek amacıyla kan testi ile serum 25(OH) D seviyelerine bakılmış; sporcuların %91’inde serum 25 (OH) D seviyeleri eksik bulunmuştur (serum konsantrasyonu, < 20 ng / ml) (Hamilton, vd., 2010). 2016 ve 2024 yılları arasında İsrail Olimpiyat takımından erkek ve kadın elit 334 sporcunun katılımıyla yapılan çalışmada; sporcuların %7,5’inde D vitamini eksikliği ve %39,5’unda D vitamini yetersizliği bulunmuştur. Jimnastik ve dövüş sporu ile ilgilenen sporcularda diğer spor dallarına göre daha yüksek oranda D vitamini eksikliği görüldüğü belirlenmiştir. Cinsiyet ve D vitamini eksikliği arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Abulafia vd., 2024).

Spor çevreleri tarafından kabul gören bir otorite olan Avustralya Spor Komisyonu tarafından, sporcularda kullanılan ergojenik ürünlerin performans üzerinde etkileri incelenerek hazırlanan kanıt düzeyi Çizelgelerine bakıldığında, yaralanmalarda iyileştirici ve antrenman sonrası toparlanmayı destekleyici olarak D-vitamini etkinliği bilimsel olarak en güçlü ortaya konulmuş olanıdır (URL-1).

Yapılan çalışma örneklerinde de görüldüğü üzere dünyada ve ülkemizde D vitamini eksikliği/yetersizliği yaygın olarak görülmektedir. Korumasız olarak güneş ışınlarına maruz kalmanın günümüzde kanıtlanmış pek çok zararı bulunmakta ve doğal içeriğinde D vitamini ihtiva eden az çeşitli gıda bulunması, bu gıdalardaki D vitamini miktarının günlük ihtiyacı karşılamaya yetmemesi D vitamininden zenginleştirilmiş yiyecekler veya D vitamini destek tedavisinin önemi artmaktadır.

D vitamini eksikliğinin önlenmesi adına, Tıp Enstitüsü (IOM), bebeklerin yaşamlarının ilk yılında günlük 400 IU D vitamini takviyesi almalarını önermektedir. 1-70 yaş arasındaki bireyler için günlük 600 IU D vitamini ve 70 yaş üstü yetişkin bireyler için 800 IU D vitamini dozu alımı önerilmektedir (Wacker ve Holick, 2013).

Ülkelerde gıdaları D vitamini yönünden zenginleştirmek adına geçmişten bugüne çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bazı ülkelerde mantardaki D2 vitamini içeriğini arttırmak için UV radyasyonu ile ışınlama işlemi uygulanmaktadır. 1930’larda süt, gazlı içecekler, ekmek ve bira D vitamini ile zenginleştirilmiştir. 1950’lerde Büyük Britanya’da bebek mamaları ve margarinler D vitamini ile zenginleştirilmiştir. 2013 yılında ABD’ de laktoz intoleransı olan kişilerinde faydalanabilmesi için portakal sularının D vitamini ile zenginleştirilmesi uygulaması başlamıştır. Peynir, tereyağı ve kahvaltılık gevrekler de D vitamini ile zenginleştirilmiştir (Wacker ve Holick, 2013). Hindistan’a ait süt bazlı bir içecek olan Lassi’ye D vitamini ilave edilmesi üzerine Maurya ve Aggarwal tarafından yapılan bir çalışmada, D vitamini nanokapsüle edilmiştir (Maurya ve Aggarwal, 2019).

D vitamini zayıf suda çözünürlük, değişken oral biyoyararlanım, ışık, oksijen ve yüksek sıcaklığa maruz kalındığında kimyasal bozunma gibi birçok hassasiyete ve zorluğa sahiptir. Bu sebeplerle su bazlı bir içecekte kolaylıkla karışamayacağı için D vitaminini eşit bir şekilde ürünün her yerine dağılmasını sağlayacak su içinde yağ emülsiyonu oluşturulmalı, bu ürünün belli bir raf ömrüyle satışının yapılabilmesi için de bu emülsiyonun stabilitesinin sağlanması gerekmektedir. Bu noktada nano sistemler, D vitamini biyoyararlanımını artırma açısından etkili bir yöntemdir (El-Sherbiny vd., 2018). Zayıf suda çözünürlük ve düşük oral biyoyararlanımı nedeniyle D vitamini emilimi zayıftır. D vitamininin lipid bazlı bir dağıtım sistemi ile verilmesi önerilmektedir. Lipid bazlı dağıtım sistemi, çözünürlüğü arttırarak ve ince bağırsakta karışık miseller oluşturarak biyoerişilebilirliğini geliştirmektedir. Nanoemülsiyonun

sahip olduğu küçük partikül boyutu sayesinde lipofilik bileşiklerin gastrointestinal sıvılarda daha hızlı ve daha kolay çözünmesini sağlamaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar nanopartikül boyutlarının, lipofilik bileşiklerin in vitro biyoerişilebilirliği ve absorpsiyonunu arttırdığını göstermektedir (Kadappan, 2019).

Fonksiyonel gıdalar; günlük diyet ile gıda formunda tüketilen, besleyici, hastalık oluşturma ihtimalini azaltıcı, sentetik bileşen içermeyen, sağlığı ve iyilik halini geliştirici özelliklere sahip gıdalardır. Gıdanın fonksiyonel olabilmesi için biyoaktif bileşikler, probiyotik mikroorganizmalar ve prebiyotik maddeler gibi etkenlere sahip olması ve bu etkenlerin vücudun ilgili bölgesine yeterince gönderilebilmelidir (Erbaş, 2006). Tüketiciler artan sağlık bilinci ile fonksiyonel gıdalara yönelmiş ve bu talep fonksiyonel gıda pazarının hızla büyümesini sağlamıştır. Fonksiyonel gıda endüstrisinin temel amaçlardan biri gıda bileşeninin vücudun hedeflenen bölgesine ulaşması, bu bölgede salınımı ile biyoyararlılığı arttırmaktır. Nanoemülsiyon üretiminin de dâhil olduğu nanobilimde temel prensip, gıdanın stabilitesini geliştirmek, hassas olan biyoaktifleri depolama, işleme ve çevre kaynaklı oluşacak istenmeyen etkileşimlerden korumak ve sindirimin ardından vücut içerisinde bileşenin hedef bölgeye salınımını sağlamaktır (Augustin ve Sanguansri, 2006).

2.7 Nanoemülsiyon

Emülsiyonlar, küresel damlacıkların dağılmış fazı, onu çevreleyen sıvının ise sürekli fazı oluşturduğu birbirine karışmayan en az iki sıvının emülgatör yardımı ile dağılmasıyla oluşan, homojen görünüşlü heterojen sistemlerdir. Emülsiyonlar, damlacık boyutlarına ve stabilitelere göre kaba emülsiyonlar, mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar olarak sınıflandırılmaktadır (Aswathanarayan ve Vittal, 2019).

Nanoemülsiyonlar 20-200 nm arasında değişen damlacık boyutuna sahip, kinetik olarak kararlı kolloidal sistemlerdir. Nanoemülsiyon yapıları gıda, içecek ve ilaç endüstrisinde büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir (Aswathanarayan ve Vittal, 2019). Kararlı sistemler olmalarından dolayı stabilitesi yükseltmek istenen ürünlerin nanoemülsiyon formları oluşturularak stabilitelerinin artırılması amaçlanmaktadır. Çeşitli alanlarda yaygın kullanımı olan defne yaprağı esansiyel yağı çevre koşullarına karşı aşırı hassas ve uçucu olmaları ticari alanda üretimlerini kısıtlamaktadır. Buna karşılık ürüne dayanıklılık ve stabilite kazandırmak amacıyla

yapılan çalışmada Tween 80 ilave edilerek ultrasonik homojenizatör ile hazırlanan defneyaprağı esansiyel yağı nanoemülsiyonu oluşturulmuştur. Nanoemülsiyonun parçacık boyutu yaklaşık olarak 100 nm, zeta potansiyeli (ζ) -10,7 mV elde edilmiştir (Sirke, 2023).

Yapılan çalışmalar lipofilik moleküllerin nanoemülsiyon formunun biyoyararlanımını önemli ölçüde arttırılabileceğini göstermiştir. Nanoemülsiyolar sahip oldukları küçük parçacık boyutları sayesinde bağırsak bariyerlerini daha rahat bir şekilde geçebilmektedir. Emülsiyonlaştırma, yağların sindiriminde ve emilmesinde önemli bir adım olduğu için, emülsiyonlaştırma ve kapsülleme teknolojisi, yağların ve yağda çözünen moleküllerin biyoyararlanımını arttırmak için kullanılmaktadır (Aswathanarayan ve Vittal, 2019).

2.8 Nanoemülsiyonların Fiziksel ve Kimyasal Yapısı

Nanoemülsiyonlar termodinamik açıdan kararsız sistemlerdir. Ostwald olgunlaşması, koalesans, kremalaşma, sedimentasyon (çökme) gibi sebeplerle kararlılıkları bozulabilmektedir (İlyasoğlu ve El, 2010).

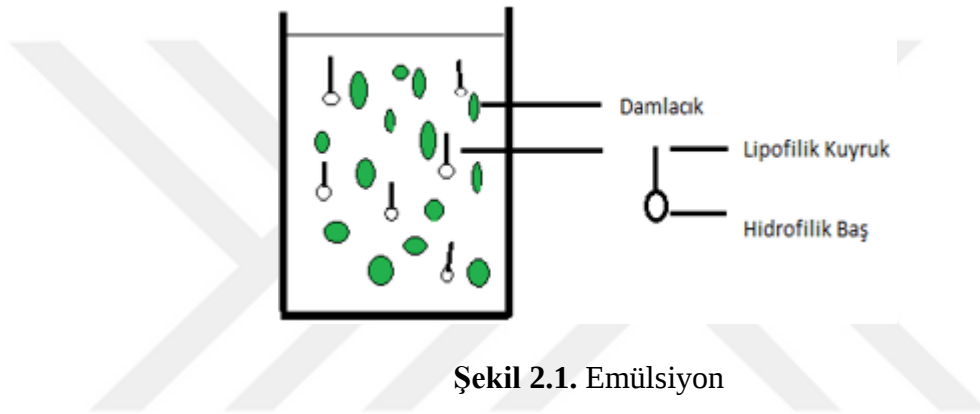
Nanoemülsiyonlar, damlacık boyutlarının doğası gereği ostwald olgunlaşmasına karşı kararsız mekanizmalardır. Ostwald olgunlaşması, emülsiyonların polidispersitesinden ve damlacıklar arasında çözünürlük farkından kaynaklanan damlacıklar arası kütle transferidir. Zaman içerisinde emülsiyondaki serbest enerji azalması sonucu arayüzey alanları azalmaktadır. Bunun sonucunda küçük boyutlu damlacıklar daha büyük boyuttaki damlacıklar ile birleşmekte ve bu da emülsiyon damlacık çapının giderek büyümesine sebep olmaktadır (Çınar, 2017).

Koalesans, sürekli fazda filmin parçalanması sonucu iki damlacığın birleşerek daha büyük damlacık oluşturması durumudur. İç faz damlacıklarının aşağı doğru göç etmesi sedimentasyon iken durumun tersi olan iç faz damlacıklarının yukarı doğru göçü kremalaşmayı oluşturmaktadır (İlyasoğlu ve El, 2010).

Nanoemülsiyonların içerdiği yapıların görünür dalga boylarından daha küçük olması nedeniyle nanoemülsiyonlar optik olarak transparan görünmektedir ve ultraviyole spektrumda, ışığın dalga boyu taneciğin yarıçapına yaklaştıkça nanoemülsiyonlar ışığı önemli ölçüde saçmaktadır (İlyasoğlu ve El, 2010). Koenzim Q10 ilaveli

nanoemülsiyonlar ile yapılan bir çalışmada, 100nm'den daha büyük damlacıklar içeren nanoemülsiyonlar beyaz görünürken, 70-100 nm damlacıklar içeren dispersiyonların opak görüldüğü, bunun altındakilerin ise saydam olduğu görülmüştür (Zulli vd., 2006).

Emülsiyon içerisinde yağ ve su arasındaki ara yüzeye konumlanan emülgatörler, emülsiyon yapılarının stabilitesinde en büyük etkiyi göstermektedir. Bir emülgatör, su seven bir hidrofilik baş ve yağ seven bir hidrofobik kutup kısmı içerir. Hidrofilik kafa, sulu faza ve hidrofobik kuyruk yağ fazına doğru pozisyon almaktadır (Şahin, 2021).



Şekil 2.1. Emülsiyon

Nanoemülsiyon kararlılığı, basınç, sıcaklık, tuz, pH faktörlerinden etkilenmektedir. Parçacık yüzey yükü (ζ), yüzey aktif maddenin moleküler yapısı, hidrofilik bileşenlerin hidrofobik bileşenlere oranı, yağın moleküler yapısı da nanoemülsiyon stabilitesini belirlemektedir. Nanoemülsiyonların hareket ve difüzyon hızları yerçekiminin neden olduğu sedimentasyon ve kremalaşma oranlarından daha yüksek olduğu için genellikle yüksek kinetik stabilite ile sedimentasyon veya kremalaşmaya karşı karardır (Kadappan, 2019). Zerdeçal bitkisinin en aktif ve en az stabil bileşeni olan kurkuminin nanoemülsiyon teknolojisi ile stabilitesini arttırmayı hedefleyen çalışmada; Wpc-70 ve Tween 80 kullanılarak ultrasonikasyon ile orta zincirli trigliserid yağ damlacıklarının içine kapsüllenmiştir. Çalışmada nanoemülsiyon parçacıklarının ortalama çapı 141,6 nm ve ζ 6,9 mV olarak ölçülmüştür. Isıl işlemlerin parçacık boyutuna etkisini gözlemlemek amacıyla 63 derece de 30 dakika, 95 derecede 10 dakika ısıya maruz bırakıldığında Wpc-70 in denatürasyonu ile topaklanma ve parçacık boyutunda artış olmuştur. pH 3-5 ve / ye ayarlanarak pH etkisi gözlemlenmiştir. Ortalama parçacık boyutu asitliğin azalması ile artmıştır (Sari vd., 2014).

2.9 Nanoemülsiyonların Elde Edilmesinde Kullanılan Maddeler

2.9.1 Yağ

Gıda nanoemülsiyonlarında yağ fazı olarak genellikle soya yağı, ayçiçeği yağı, zeytin yağı, mısır ve kanola yağı tercih edilmektedir. Düşük maliyetleri, kolay ulaşılabilir olması ve toksik olmamaları tercih edilme nedenlerindendir (Jin vd., 2016).

2.9.2 Emülgatör

Emülgatörler, yüzey aktif moleküllerdir ve küçük damlacıkları korumak için nanoemülsiyon hazırlamada yaygın olarak kullanılan stabilizatörlerdir. Yüzey gerilimini azaltarak agregasyonun ve topaklanmanın önlenmesine yardımcı olur; bu sayede emülsiyondaki damlacıkların stabilitesini etkilemekte ve kinetik stabiliteyi arttırmaktadır. Emülgatör seçimi emülsiyon kalitesini ve raf ömrünü etkileyen en önemli unsurlardandır. Emülgatörler, yüzey etkin olmalı, arayüzeyde film oluşturmali, koalesansa engel olmalı, emülsiyonun viskozitesini arttırmalı, polar ve non polar ucu olmalı ve toksik olmamalıdır (Kadappan, 2019). Gıda nanoemülsiyonlarında en yaygın kullanılan emülgatörler; peynir altı suyu proteini, kazein, β -laktoglobulin, ovalbümin, izole soya proteini, sığır serum albümini, Tween80, Tween 20dir.

Mehmood ve Ahmed tarafından D vitaminince zenginleştirilmiş içecek üretimini amaçlayan çalışmada; D vitamini nanoemülsiyonları hazırlanırken yüzey aktif madde olarak Tween 80 ve soya lesitini tercih edilerek, ultrasonik homojenizasyon tekniği ile ürün hazırlanmıştır. Çalışma süresince yapılan görsel gözlem sonucunda karışık yüzey aktif madde nanoemülsiyonların, tüm termal, pH ve iyonik güç değişimleri aralığı boyunca çökelme, faz ayrımı ve kremleşmeye karşı stabil kaldığı gözlemlenmiştir. Ürün 4 donma-çözünme döngüsüne tabi tutulmuş sonucunda nanoemülsiyonun damlacık boyutunun, belirtilen limit dahilinde kaldığı görülmüştür. Çalışma sonucunda; ultrasonikasyonun, karışık yüzey aktif madde bazlı bir yaklaşım kullanarak D vitamini nanoemülsiyonlarının hazırlanması için etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (Mehmood ve Ahmed, 2020).

Sari ve arkadaşlarının yapmış olduğu kurkumin nanoemülsiyonu hazırlanması ile ilgili çalışmada; yağ fazı, % 2 Tween 80, % 0,5 Wpc-70 kullanılarak $141,6 \pm 15,4$ nm parçacık boyutu ve zeta potansiyeli $6,9 \pm 0,2$ mV olan nanoemülsiyon elde edilmiştir. pH $5,57 \pm 0,1$ olan nanoemülsiyon 25°C 'de 27 ± 2 gün stabil kalmıştır. Bu çalışmada stabil formülasyonlar elde etmek için hem Wpc hem de Tween-80 tek başına ve kombinasyon halinde denenmiştir. Hem Tween-80'in hem de Wpc-70'in bireysel kullanımı stabilite açısından olumlu sonuç göstermemiştir (Sari vd., 2014). Tween 80 (polisorbat 80) emülgatör, $\text{C}_{64}\text{H}_{124}\text{O}_{26}$ formülüne sahip poli-oksetilen 20-sorbitan mono-oleat kimyasal ismine sahiptir. Tween 80 kendine özgü bir koku ve acı bir tada sahiptir. Tween 80, etanol ve suda çözünür, mineral yağ ve bitkisel yağda çözünmez. Tween 80, bileşenlerin heksanhidröz alkoller olduğu, alkalın oksit ve yağ asidi hidrofilik özelliklerinin oksietilen içermeyen hidroksil grubu tarafından verildiği bir iyonik olmayan yüzey aktif madde grubudur (Suyanto vd., 2019).

2.9.3 Su fazı

Sulu fazda polisakkaritler, proteinler, yardımcı çözücüler, tuzlar ve besinler gibi çeşitli bileşenler bulunabilmektedir. İçerikteki bu maddeler ara yüzey gerilimi ve faz davranışlarını etkilemektedir. Bu nedenler nanoemülsiyondaki su fazı içeriğine hakim olunmalıdır (Jin vd., 2016).

2.9.4 Yardımcı sürfektanlar

Yardımcı sürfektanlar, tek başlarına emülsiyonları stabilize edebilecek kadar yüzey aktif özelliğe sahip olmayan ancak yüzey gerilimini azaltarak daha küçük damlacık büyüklüğüne sahip nanoemülsiyonların üretilmesini sağlayan maddelerdir. Yaygın olarak kullanılanları etanol ve gliserindir (Jin vd., 2016).

2.10 Nanoemülsiyonların Elde Edilmesi

Nanoemülsiyonlar, düşük enerjili veya yüksek enerjili yöntemler kullanılarak oluşturulmaktadır. Düşük enerjili yöntemlerde, belirli bir sürfaktan, yağ ve su sistemlerinin faz davranışına bağlı olarak kendiliğinden emülsiyon oluşurtması beklenmektedir. Kendiliğinden emülsifikasyon, faz ters çevirme yöntemi ve solvent yer değiştirme yöntemi düşük enerjili metotlara örnektir. Düşük enerjili metotlar,

özel donanım gerektirmemekte, karıştırma, sıcaklık gibi sistem koşulları değiştirilmesi ile kendiliğinden gerçekleşmektedir (Jasmina vd., 2017).

Yüksek enerji yöntemlerinde, yağ ve su fazlarının birbirine karışmasını sağlayan yoğun mekanik veya kimyasal enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek enerji yöntemlerinde, enerji yoğunluğu genel olarak 108- 1010 W kg⁻¹ aralığındadır. Genellikle mekanik enerji girişi, yüksek basınçlı homojenizatörler, yüksek hızlı karıştırıcılar ve ultrason jeneratörleri tarafından sağlanmaktadır. Ultrason kullanarak emülsiyon üretmek, daha az yüzey aktif madde kullanımı gerektiren düşük maliyetli bir işlemdir. Gıda endüstrisinde fabrikalar tarafından büyük ölçekli üretime olanak sağladığı için, yüksek enerjili yöntemler tercih edilmektedir. Yüksek enerjili metotlarda üretilen damlacıkların boyutu homojenleştiricinin çalışma koşullarına, ürünün bileşimine ve bileşen fazlarının fizikokimyasal özelliklerine (arayüzey gerilimi ve viskozitesi), homojenleştiricinin türüne bağlıdır. Yüksek basınçlı homojenleştirme, mikroakışkanlaştırma, jet dağıtıcı ve yüksek genlikli ultrasonik yöntemler yüksek enerjili metotlara örnektir (Komaiko ve McClements, 2015).

Yüksek basınçlı homojenizasyon, gıda endüstrisinde nanoemülsiyon elde etmek için en sık kullanılan yöntemdir. Emülsiyon 500 ile 5000 psi arasında bir işletme basıncına maruz bırakılmaktadır. Kaba emülsiyonun ön karışımını üretmek amacıyla genellikle yüksek hızlı karıştırıcılar kullanılır. Ardından emülsiyon, pompa yardımıyla yüksek basınçlı homojenizatöre beslenir, daha sonra emülsiyonun daralan valflerden geçmesiyle damlacık boyutu düşürülür. Kaba emülsiyon valflerden geçerken, büyük damlacıkların daha küçük parçalara bölünmesine neden olan yoğun yıkıcı kuvvetlerin (türbülans, kayma ve kavitasyon) kombinasyonuna maruz kalır. Geçiş sayısı ve homojenizasyon basıncı arttıkça damlacık boyutu azalmaktadır (Komaiko ve McClements, 2015).

Mikrofluidizasyon tekniği, yüksek basınçlı homojenizasyon tekniğine benzemektedir. Emülsiyonun cihaz içinde aktığı kanalların tasarımı yönünden farklılık göstermektedir. Emülsiyon bir mikroakışkan içinde akarken, bir kanaldan iki akışa bölünmekte, her biri ayrı bir ince kanaldan geçtikten sonra, her iki akış da, damlacık bozulmasına yol açan yoğun yıkıcı kuvvetlere maruz kaldıkları etkileşim odasına bağlanmaktadır. Homojenizasyon basıncının, geçiş sayısının ve emülgatör konsantrasyonunun artışı oluşan damlacık boyutunu azaltmaktadır. Emülsiyonun bir

etkileşim bölmesinden geçmesi için 4000 psi basınca sahip yüksek basınçlı pompaların kullanıldığı yüksek enerjili bir yöntemdir. Mikroakışkanlaştırıcılar, nutrasötik emülsiyonlar, homojenize süt, aroma emülsiyonu, farmasötik ürünlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Komaiko ve McClements, 2015).

Ultrasonik emülsiyonlaştırma tekniği, iki aşamalı ilerlemektedir. İlk olarak, dağılacak faz, ultrasonun oluşturduğu arayüzey dalgaları tarafından büyük damlacıklar halinde sürekli faza püskürtülmektedir. Ardından, akustik kavitasyon sırasında sürekli fazda üretilen yoğun fiziksel kesme etkileri, başlangıçta oluşan büyük damlacıkların küçülmesini sağlamaktadır. Ultrasonik emülsifikasyon düzeneği, aktif yüzeyi karışmaz fazlar ve bir emülgatör karışımını tutan bir kap içine daldırılmış boynuz tipi bir sonotrotaan oluşmaktadır. Ultrasonik dalgaların yoğunluğu, sonikasyon süresi, güç seviyesi ve emülgatör konsantrasyonu arttığında damlacık boyutu azalmaktadır (Schoener vd., 2019). Damlacık boyutu küçültmede oldukça etkili olmasına karşın küçük ölçekler için daha uygun olarak değerlendirilen bu yöntem; ultrasonik emülsiyonlaştırma da ürün kalitesinden ödün vermeden büyük ölçekte üründe damlacık boyutu küçültme Barbell Horn Ultrasonik Teknolojisi (BHUT) ile mümkün kılınmaktadır. BHUT ile endüstriyel ölçekli yüksek genlikli ultrasonik işlemciler kullanılarak farmasötik nanoemülsiyon üretimi gerçekleştirilmiştir (Peshkovsky ve Bystryak, 2014).

2.11 Gıdalarda Nanoemülsiyon Uygulamaları

Nanoemülsiyonlar diğer emülsiyonlar ile karşılaştırıldığında, faz ayrımına karşı daha yüksek stabilite, daha iyi biyoyararlanım ve hidrofilik bileşenleri emme kapasitesi göstermektedir. Gıda üretiminde nanoemülsiyon ilavesi ile kazanılan termodinamik stabilite, optik şeffaflık ve homojen dağılabilirlik özellikleri genel ürün kalitesini artırmaktadır. Nanoemülsiyonların içecek, süt ürünleri, şekerleme, nutrasötik ve gıda ambalaj endüstrisindeki olası uygulamaları mevcuttur. Nanoemülsiyonlar, gıdalarda yağ asitleri, polifenoller, vitaminler, doğal renklendiriciler, antimikrobiyaller, bazı mikro besinler ve aromalar gibi işlevsel ajanları taşımak için uygun sistemlerdir. İçecek endüstrisinde nanoemülsiyonlardan; renk, aroma, antioksidanlar ve yağda çözünen vitaminler ve diğer biyoaktif bileşenlerin dağıtımı amacıyla yararlanılmaktadır. Aynı zamanda nanoemülsiyonlar aromayı kaplayarak gıdayı sıcaklıktan, oksidasyondan enzimatik reaksiyonlardan ve hidrolizden

koruyabilmektedir. Damlacıklar arasında etkili olan çekici kuvvetlerin aralığı partikül boyutu ile azalırken itme aralığı partikül boyutuna daha az bağımlıdır bu sayede damlacık topaklanmasına karşı iyi bir stabiliteye sahiptirler. Gıdalarda nanoemülsiyon uygulamaları ile fonksiyonel gıda pazarı genişlemektedir (Dasgupta vd., 2019).

Sektörde önde gelen gıda firmaları nanoteknoloji uygulamaları sayesinde, lezzet kaybı yaşamadan %1 yağ içeren az yağlı dondurma, omega 3 ve pirinç yağı nanoemülsiyonu ile besin değeri arttırılmış yoğurt üretimi ve krem şantide stabilite artışı sağlamıştır. Vitamin ve yağ asitleri kapsüllenerek taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Gıda endüstrisinde nanoemülsiyon uygulamalarının çeşitli ürünlerin doku, stabilite, duyuşal ve besleyici özelliklerinde olumlu etkisi bulunmaktadır. Nanoemülsiyon uygulaması ile optik şeffaflık, dağılıbilirlik sağlanarak genel ürün kalitesi arttırılmaktadır. Gıda piyasasında süt ürünleri, şekerleme, nutrasötik ve gıda ambalajı alanlarında nanoemülsiyon talebi artmaktadır (Dasgupta vd., 2019). Kimyon ve aspir esansiyel yağı nanoemülsiyonu içeren oksijen emici ambalaj geliştirilerek, bunun 20 günlük soğuk depolama süresi boyunca kuzu filetosunun kalitesi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada; Enterobacteriaceae ve laktik asit bakterilerinin büyümesi ile fizikokimyasal ve duyuşal değişiklikleri geciktirmiştir (Hasani-Javanmardi vd., 2021).

Nanoemülsiyon teknolojisinin antimikrobiyal maddelerin etkinliğini arttırarak gıdaların raf ömrünü uzatmayı amaçlayan uygulamalar yapılmaktadır. Birçok bakteri ve patojenin büyümesini engelleme ve yok edici etki gösteren karvakrolün nanoemülsiyonunun hazırlanarak, patojen olan *Vibrio parahaemolyticus* ve *Bacillus cereus* türleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Karvakrol nanoemülsiyonu standart antibiyotikten daha yüksek antibikrobiyal etki göstermiştir (Köse, 2023).

Vitaminlerin nanoemülsiyonlar aracılığı ile stabil tutularak biyoyararlılığını arttırmayı hedefleyen birçok çalışma yapılmaktadır. Bir çalışmada, ultra yüksek basınçlı homojenizasyon ve nişasta ile E vitamini nanopartikülleri içeren meyve suyu hazırlanmış, yeni ürünün stabil ve içecek görünümünün berrak olduğu gözlemlenmiştir (Chen ve Wagner, 2004).

Alglerden elde edilmiş uzun zincirli omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerinin (LC3PUFA) nanoemülsiyon teknolojisi ve klasik yöntem ile yoğurda karıştırılarak, 11 insan denek tarafından tüketilmesi sonucunda parmak ucundan kan alma yöntemi ile eritrosit plazması ve tam kan yağ asidi düzeylerine bakılmıştır. Sonuç olarak, yağ karıştırılmış yoğurtla karşılaştırıldığında, alg yağı nanoemülsiyonu eklenmiş yoğurt tüketiminin, DHA ve toplam LC3PUFA'nın emiliminde daha verimli olduğu gözlenmiştir (Lane vd., 2013).

Hidrofobik biyoaktif bileşenler, zayıf absorpsiyon, düşük biyoerişilebilirlik ve kimyasal kararsızlık nedeniyle daha düşük oral biyoyararlanıma sahiptir. Nanoemülsiyonlar, lipazlar gibi sindirim enzimlerinin bağlanması için daha fazla bağlanma bölgesinin mevcudiyeti nedeniyle, geleneksel emülsiyonlara kıyasla gastrointestinal sistemde daha yüksek bir sindirim oranı göstermektedir (Kadappan, 2019).

Sindirilebilirlik ne kadar gıda bileşeninin gastro-intestinal kanallar aracılığı ile kan dolaşımından adsorbe edilebildiğinin bir ölçüsüdür ve gıdaların sindirilebilirliği konusunda nanoemülsiyonlardan yararlanılabilmektedir. Nanoemülsiyon yapıları besinlere daha kolay adsorbe edilme özelliği kazandırabildiği için sindirilebilirliği artırmaktadır. El-Sherbiny ve arkadaşlarının yüksek yağlı diyet ile beslenen sıçanlar üzerinde geleneksel D vitamini ve D vitamini nanoemülsiyonunun karaciğer hasarına karşı potansiyel koruyucu etkisini değerlendirmeyi amaçlayan çalışmada; D vitamini nanoemülsiyonunun geleneksel D vitaminine göre yüksek yağlı diyetin neden olduğu karaciğer hasarına karşı daha belirgin etki gösterdiği görülmüştür (El-Sherbiny vd., 2018).

Kadappan, D3 vitamininin su içinde yağ nanoemülsiyonunu hazırlayarak geleneksel D3 vitaminine göre in vitro biyoerişilebilirliği ve in vivo biyoyararlanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada nanoemülsiyon uygulaması ile in vitro ve in vivo çalışmalarda D vitamini emilimini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır (Kadappan, 2019)

2.12 Nanoparçacıkların Ölçülmesi Ve İncelenmesi

Nanoparçacıkların ölçümünde analitik ve spektroskopik metotlar kullanılmaktadır. Dinamik ışık saçıcısı (DLS), nanoparçacık ölçümünde kullanılan, koloidal çözeltiden lazer geçirilmesi sonucu saçılan ışığı ölçme prensibine dayanan bir metottur. Saçılan ışığın yoğunluğundan yola çıkarak parçacık boyutu hakkında bilgi vermektedir. DLS tekniği parçacıkların yaptığı Brownian hareketinin hızını ölçüp parçacık boyutu ile ilişkilendirmektedir. DLS, ışığın parçacıklar tarafından saçılması sırasında küçük parçacıkların Brownian hareketine bağlı olarak göreceli uzaysal konumlarının değişmesi sonucu ortaya çıkan yoğunluk dalgalanmalarını kaydetmektedir. DLS tekniği ile çalışmaya başlamadan akışkan viskozitesi ve sıcaklığı bilinmelidir. Örnek içinde konveksiyon akımı oluşmaması için numune ile analiz sıcaklığının aynı olması gerekmektedir. Aksi takdirde boyut algısı bozularak hatalı değerlendirmeye sebep olabilmektedir. Numune konsantrasyonlarının yüksek olduğu durumlarda deiyonize su, ultra saf su veya uygun çözdürücü ile seyreltilerek saniyede sayım yapılacak düşük konsantrasyonlara ayarlanarak, doğru sonuç için en az üç ölçüm yapılmaktadır (Ateş, 2018).

Kolloidal bir dispersiyon stabilitesi itici ve çekici kuvvetler ile belirlenmektedir. Stabilitenin sağlanması için itici kuvvetlerin baskın olması gerekmektedir. Zeta potansiyeli, koloidal parçacıklar arası etkileşimi göstermekte ve sistemlerin kararlılığını belirlemektedir. Belirli bir yüke sahip parçacık, süspansiyonda karşı yüke sahip iyonları çekerek parçacık yüzeyinde güçlü bir bağ yüzeyi oluşturmaktadır. Dışa doğru yayılan bu yüzeyde kayma yüzeyi sınırı bulunmaktadır. Kayma yüzeyindeki potansiyel Zeta potansiyelidir ve parçacığın yüzey yapısı ile içerisinde bulunduğu sıvı içeriğinden etkilenmektedir. Zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığını yansıtmaktadır ve yüzey yük yoğunluğu ile ilgilidir. Zeta potansiyeli ortamın pH değişiminden, iletkenlik ve tuz konsantrasyonundan etkilenmektedir. Düşük pH değerlerinde zeta potansiyeli pozitif iken, yüksek pH değerlerinde negatiftir. Zeta potansiyelinin 0 olduğu nokta izoelektrik noktadır ve sistemin en kararsız olduğu noktadır (Ateş, 2018).

Lipofilik ve hidrofilik grupları aynı anda içeren maddelerde, bu iki grubun içinde bulunduğu denge hali hidrofilik lipofilik denge (HLB) olarak adlandırılmaktadır. Yağ fazının HLB değeri, emülgatör HLB değerine yakın veya eşit olduğunda kararlı

emülsiyonlar oluşur. Yani HLB değerinin emülgatör seçiminde önemli bir faktördür. Genel olarak 8-18 arasında HLB değeri olan yüzey aktif maddeler, düşük ara yüzey gerilimi olan tabaka oluşturabilmektedir. Böylece nanometre boyutunda damlacıkların oluşması için gerekli koşulları sağlarlar (Kadappan, 2019)

.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Keçiboynuzu özütü

Çalışmada, soğuk pres ekstraksiyon yöntemi ile Türk Gıda Kodeksi sıvı pekmez için belirlenen değerlere uygun şekilde çekirdekleri ayrılarak üretilmiş olan Şitoğlu marka keçiboynuzu özütü kullanılmıştır. Ürün dolum aşamasında 70° C’de pastörize edilerek soğutma tüneline hızla 30° C’ye soğutulmaktadır. Ürün etiketi üzerinde bildirilen enerji ve besin ögeleri Çizelge 3.1.’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Keçiboynuzu özütünün enerji ve besin ögeleri.

Enerji Ve Besin Ögeleri (100 g için)	
Enerji (kJ/kcal)	1423,2 / 340,5
Yağ (g)	0
Doymuş Yağ (g)	0
Karbonhidrat (g)	82,4
Şeker (g)	57,9
Lif	1,0
Protein (g)	2,1
Tuz (g)	0

3.1.2 D vitamini

Çalışmada, ThermoFisher marka %99 saflıkta kristal yapıda D vitamini kullanılmış, 300 g zeytinyağ içerisinde 24000 IU D vitamini olacak şekilde çözündürülmüştür. Işık almayan ortamda manyetik bir karıştırıcı (Wisd, MSH-20A) yardımıyla zeytinyağı ile karıştırılmış, ışık almayacak şekilde şişelenerek saklanmıştır.

3.1.3 Tween 80

Çalışmada, sentetik emülgatör olarak Sigma marka Tween 80 kullanılmıştır.

3.1.4 Zeytinyağı

Çalışmada, nanoemülsiyonun yağ fazında piyasada ticari olarak satışa sunulan Yudum marka sızma zeytinyağı (Savola Gıda Sanayi, Balıkesir, 2023) kullanılmıştır. Ürün etiketi üzerinde bildirilen enerji ve besin ögeleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Zeytinyağının enerji ve besin ögeleri.

Enerji Ve Besin Ögeleri (100 g için)	
Enerji (kj/kcal)	3367,0 / 819,0
Yağ (g)	91,0
Doymuş Yağ (g)	15,0
Tekli Doymamış Yağ (g)	67,0
Çoklu Doymamış Yağ (g)	9,0
Karbonhidrat (g)	0
Şeker (g)	0
Protein (g)	0

3.1.5 Peynir altı suyu proteini

Çalışmada, doğal emülgatör olarak peynir altı suyundan ultra-filtrasyon tekniği ile elde edilen Slava Süt markalı Whey protein (Wpc-70) kullanılmıştır. Ürünün protein içeriği % 70.05’tir. Firmadan temin edilen analiz sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Whey proteinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri.

Nem, %	4,77
pH (%10'luk solüsyon)	6,34
Protein, %	70,05
Yağ, %	4,06
Asitlik (L.A.%)	0,15
Kül (%)	6,21
Antibiyotik	Negatif
Melamin	Negatif
Kurşun	Negatif
Dioksinler	Negatif
Dioksin Benzeri PCB'lerin Toplamı	Negatif
PCB Toplamı	Negatif
Aflatoxin M ₁	Negatif
Pestisitler	Negatif
GDO	Negatif
Mikroorganizmalar	Analiz Sonucu
Maya ve Küf	<10
Koagülaz Pozitif Stafilokoklar	<10
Salmonella spp.	Negatif
Toplam Bakteri	18600
Enterobacteriaceae	<10

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneysel tasarımlar ve istatistiksel analizler

Bu çalışmada D vitamininin taşıyıcı yağ olarak zeytin yağ içerisinde, keçiyoynuzu özütü içeren su bazlı bir içeceğe ultrasonik homojenizasyon yardımıyla nanoemülsiyon oluşturacak şekilde eklenebilmesi amaçlanmıştır. İçecek formülasyonunun ve nanoemülsiyon elde edilme prosesinin geliştirilmesi için

emülgatörler olan Tween 80 ve %70'lik peynir altı suyu proteinin derişimleri ve ultrasonikasyon süresi bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Bu değişkenlerin parçacık boyutu ve zeta potansiyeline (bağımlı değişkenler) olan etkilerini incelemek için yanıt yüzey metodu tasarımlarından Box Behnken kullanılmıştır. Birden fazla faktörün değerlendirildiği bir çalışmada klasik yöntemlerde her bir değişken için diğerlerinin sabit tutularak yapıldığı deney planları hazırlanır. Bu yöntemlerin temel dezavantajları, değişkenler arasındaki etkileşimlerin dikkate alınmaması ve faktörlerin yanıt üzerindeki etkisinin tam olarak açıklanmamasıdır. Ayrıca bu yöntem, araştırmayı yürütmek için gereken deney sayısını artırmakta, bu da maliyet ve zamanın artmasına neden olmaktadır. Bu noktada çok değişkenli analiz yöntemlerinden (multivariate analiz) yanıt yüzey yöntemi daha az deney noktasıyla ekonomik çözümler sunmaktadır (Yolmeh vd., 2017).

Tween 80 ve peynir altı suyu proteini konsantrasyonları (Wpc-70) %0-2 (w/v); sonikasyon süresi 120 ila 360 saniye arasında olacak şekilde planlanmıştır. Çalışma, merkez noktasında yapılan analiz sayısı 5 olarak belirlenmiş ve toplam 15 deneyden oluşan deneme planı çıkarılmıştır. Çizelge 3.4.' de verilen deney tasarımından elde edilen sonuçlar yanıt yüzey yöntemi içerisinde istatistiksel olarak herhangi bir model ile uyum sağlamadığı için değerlendirilememiştir. Bu veriler SPSS 26 paket programında multivariate analiz ile değerlendirilmiş ve faktörlerin (Tween 80 konsantrasyonu, Wpc-70 konsantrasyonu ve sonikasyon süresi) etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır. Ayrıca örnekler kendi içlerinde tartışılmıştır.

Çizelge 3.4. Birinci deney tasarımı.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% v/v)	Faktör 2 Whey Protein (% w/v)	Faktör 3 Sonikasyon Süresi (s)
1	1	0	120
2	2	0	210
3	1	1	210
4	2	1	300
5	0	0	210
6	0	1	120
7	1	2	120
8	1	1	210
9	1	1	210
10	0	1	300
11	2	2	210
12	2	1	120
13	0	2	210
14	1	0	300
15	1	2	300

İlk deney planı sonrası özellikle zeta potansiyeli açısından kararsız sonuçların iyileştirilebilmesi için emülsiyon hazırlama sürecinde değişiklikler yapılmış, kullanılan sonikatör sistemi değiştirilmiştir ve bir deneme deseni hazırlanmıştır. Elde edilen Yeni deney tasarımı sadece emülgatörleri içerecek şekilde 2-faktörlü (Tween 80 ve Wpc-70) olarak 2-seviyeye sahip Merkezi Tümlleşik Deneme Deseni (Central Composit Design) kullanılarak yapılmıştır. Emülgatörler Tween 80 ve Wpc-70 konsantrasyonlarının seviyesi %1-2 (v/v) arasında olacak şekilde planlanmıştır. İkinci çalışmanın, merkez noktasında yapılan analiz sayısı 5 olarak belirlenmiş ve toplam 14 deneyden oluşan deneme planı çıkarılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. İkinci deney tasarımı.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% v/v)	Faktör 2 Whey Protein (% w/v)
1	2,2	1,5
2	2	2
3	1	2
4	1,5	1,5
5	1,5	1,5
6	0,79	1,5
7	1	1
8	1,5	0,79
9	1,5	1,5
10	1,5	1,5
11	1,5	1,5
12	1,5	2,2
13	2	1
14*	1,5	1,5

*Kontrol örneği deney planına dahil değildir.

3.2.2 Emülsiyon hazırlama

Sporcu içeceği hazırlanmasında, 06.12.2003 tarihli, 25308 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği’nde yer alan ‘Spor içeceklerinin ürün özellikleri’ esas alınmıştır (Anonim, 2003). Toplam hacmi 3 ml olan sporcu içeceklerinin, karbonhidrat içeriği %8 olacak şekilde hesaplanarak keçiyoynuzu özütü kullanılmıştır. FDA tarafından bitki bazlı içeceklerde tavsiye edilen 84 IU/100g önerisi dikkate alınarak D vitamini düzeyi 80 IU/100g olacak şekilde zeytinyağı ile karıştırılarak, tüm örnekler %1 oranında yağ fazı eklenmiştir; kullanılan emülgatör konsantrasyonları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

3.2.2.1 Birinci deneme

Toplam emülsiyon miktarı 3 ml olacak şekilde hesaplamalar yapılmış ve kaba emülsiyon oluşturmak için, keçiyoynuzu özütü saf su ile 1 dakika boyunca manyetik karıştırıcı (Wisd, MSH-20A) yardımı ile karıştırılmıştır, 121° C’de 15 dakika sterilize edilmiştir. Elde edilen sulu faza Tween 80 ve %70’lik peynir altı suyu proteini eklenerek 1 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

D vitamini, taşıyıcı yağ görevi ile kullanılan zeytinyağında ışık almayacak koşullarda çözündürülerek %1 oranında su fazına eklenmiş, 15 saniye boyunca vorteks ile karıştırılmıştır. Bu aşamalar sonucunda, kaba emülsiyon elde edilmiştir.

Aksaray Üniversitesi Merkez Laboratuvarlarında bulunan HİELSCHER (ABD) marka UP100H model ultrasonik homojenizatör (100 watt, 30 kHz) kullanılarak % 100 amplitüd ve cycle 1 ayarında yanıt yüzey yönteminde belirlenen sürelerde sonikasyon uygulanmıştır. Aşırı ısınmayı önlemek için örnekler buz/su banyosunda tutularak sonikasyon işlemi tamamlanmıştır. Örnekler bekletilmeden Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜNİTEK)’nde ‘Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Laboratuvarı (PZL)’na gönderilerek tüm analizlerin 48 saat içerisinde tamamlanması sağlanmıştır.

3.2.2.2 İkinci deneme

Bu denemede emülgatörler, karışıma alınmadan tam çözünme sağlamaları için 1/10 oranında hazırlanarak su fazına eklenmiştir. Wpc-70, 1/10 (w/v) oranında steril saf su ile manyetik karıştırıcı yardımıyla 50° C’de 2 saat karıştırılmış, 1 gece boyunca +4°C’de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Kullanımdan önce oda sıcaklığına getirilmiş ve 3 saat manyetik karıştırıcı yardımı ile tekrar karıştırılmıştır. Tween 80, 1/10 (v/v) oranında steril saf su ile manyetik karıştırıcı yardımıyla 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Örnek hazırlama sırasında kullanılacak ekipmanlar ve saf su, 121° C’de 15 dakika sterilize edilmiştir. Keçiyoynuzu özütü sterilizasyon sonrası su faza eklenmiştir.

Kaba emülsiyon oluşturmak için, keçiyoynuzu özütü saf su ile 1 dakika boyunca manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırılmıştır. Elde edilen sulu faza Tween 80 ve % 70’lik whey proteinin 1/10 seyreltilmiş çözeltisi her deney noktası için hesaplanan

oranlarda eklenerek 5 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

D vitamini, taşıyıcı yağ görevi ile kullanılan zeytinyağında çözündürülerek %1 oranında su fazına eklenmiş 5 dakika boyunca vorteks ile karıştırılmıştır. Bu aşamalar sonucunda, kaba emülsiyon elde edilmiştir.

Kaba emülsiyonlar Bandelin marka Sonopuls HD2200 model ultrasonik homojenizatör UW 2200 tip prob ile Cycle 5 %92 güç ayarında 10 dakika sonikasyon işlemi uygulanmıştır. %92 güç ayarı, genlik değerinin %92 de sabit olup ses dalgası darbe aralığının değiştiğini ifade etmektedir. Cycle değeri ise titreşimdeki darbeyi ifade etmektedir. Kullanım kılavuzunda darbenin aktif olduğu zaman aralıkları Çizelge 3.6 'da ki şekilde verilmiştir (URL-2). Bu sonikatör ve kullanılan probe için örnek miktarı 30 ml olarak hazırlanmış ve tüm malzemelerin miktarları buna göre hesaplanmıştır. Ultrasonikasyon sırasında aşırı ısınmayı önlemek için örnekler buz/su banyosunda tutularak sonikasyon işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 3.6. Darbeli Mod Zaman Aralığı.

Darbeli Mod (Cycle) Değeri	Aktif Zaman Aralığı (sn)	Pasif Zaman Aralığı (sn)
1	0,1	0,9
2	0,2	0,8
3	0,3	0,7
4	0,4	0,6
5	0,5	0,5
6	0,6	0,4
7	0,7	0,3
8	0,8	0,2
9	0,9	0,1
-	1	0

Hazırlanan örnekler bekletilmeden Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜNİTEK)'nde 'Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Laboratuvarı (PZL)'na gönderilerek tüm analizlerin 48 saat içerisinde tamamlanması sağlanmıştır.

3.2.3 Zeta potansiyeli (ζ) ve parçacık boyutu analizi

Zeta potansiyeli ve parçacık boyut lümü HÜNİTEK tarafından Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı ile yapılmıştır. Cihaz Dynamic Light Scattering lüm prensibi ile 0,3nm – 10 mikron aralığındaki partikül boyutlarını ölçebilmektedir. Potansiyel lümü ise 3,8nm – 100 mikron boyut aralığında yapabilmektedir. Zeta potansiyeli ölçümleri örneklerin koyu renkli oluşu sebebiyle saf su ile 1/40 seyreltme yapılarak gerçekleştirilmiştir (URL-3).

Zeta potansiyeli ölçümü için, iki altın elektrot içeren hücreye numune eklenir ve elektrik alan uygulanması ile parçacıklar zıt yüklü elektrota doğru hareket ederler. Hücreden lazer ışını geçirilerek, hareket eden parçacıklardan saçılan ışık frekansı kayması ölçülür. Frekans kayması parçacıkların elektroforetik hareketliliği yani dolayısıyla zeta potansiyeli ile doğru orantılıdır (Ateş, 2018).

Parçacık boyutu analizinde, numuneye mavi ve kırmızı lazer ışığı gönderilmektedir. Numuneden yansıyan ve kırılan lazer ışığı dedektörler yardımıyla incelenmektedir. Saçılan ışık şiddeti ve ışık açısı numunenin parçacık boyutunun tespitini sağlamaktadır. Parçacık boyutu düşen numuneden saçılan lazer ışığın açısı logaritmik olarak artarken; büyük parçacıkların saçılma açıları düşük, saçılan lazer ışığının şiddeti yüksek, küçük parçacıklarda ise tam tersi durum söz konusudur (URL-3).

3.2.4 Suda özünür kuru madde analizi

Suda özünür kuru madde örneğın el refraktometresi (Atago, Japonya) ile brix değırlerinin okunmasıyla yapılmıştır.

3.2.5 İstatiksel analiz

Birinci deneme planı verileri SPSS 26 paket programında multivariate analiz ile değırlendirilmiş, Duncan oklu karşılaştırma testi ile bağımsız değışkenlerin parçacık boyutu ve ζ değırine etkileri incelenmiştir. İkinci denemeden elde edilen parçacık boyutu ve ζ değırleri Design Expert 13 progrmının deneme sürümü kullanılarak değırlendirilmiş ve herbir yanıt için modeller elde edilmiştir. Modellerin uygunluğu ve bağımsız değışkenler olan Tween 80 ve Wpc-70 konsantrasyonlarının

yanıtlara etkisini tartışmak için varyans (ANOVA) analizleri yapılmış, tahmini değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafikler çizilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın birinci deneme grubunda, yanıt yüzey metodu tasarımlarından Box Behnken kullanılarak deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Emülgatör olarak Tween 80 ile peynir altı suyu konsantrasyonları %0-2 (v/v) ve sonikasyon süresi 120 ila 360 saniye arasında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik homojenizatör cihazı örneklerle belirlenen sürelerde sonikasyon işlemi uygulanmıştır. Elde edilen örneklerde zeta potansiyel ve parçacık boyutu tespiti yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci deneme grubunda, yanıt yüzey metodu tasarımlarından Merkezi Tümlleşik Deneme Deseni (Central Composit Design) kullanılarak deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Emülgatör olarak Tween 80 ile peynir altı suyu konsantrasyonları bağımsız değişkenler olarak seçilmiş ve sonikasyon süresi 10 dakika sabit olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen örneklerde zeta potansiyel ve parçacık boyutu tespiti yapılmıştır. Seçilen 4 ve 14 numaralı örneklerde +4°C’de depolama yapılarak 7 ve 14. günlerde de zeta potansiyeli ve parçacık boyutu tespiti yapılmıştır.

Sporcuların antrenman süresi ve sonrasında kaybettikleri sıvı, karbonhidrat ve elektrolitleri yerine koymak için tükettikleri izotonik sporcu içeceğinin D vitamini ile zenginleştirilmiş ve doğal karbonhidrat kaynağı (keçiboynuzu özütü) içeren yeni bir formülasyonunun geliştirilmesi amaçlanan bu çalışmanın son ürününde 100 ml sporcu içeceği; 80 IU vitamin D, 8 g karbonhidrat içermekte ve yaklaşık 30 kcal enerji vermektedir.

4.1 Parçacık Boyutu

4.1.1 Birinci Deneme

Parçacık boyutu en küçük 14 numaralı deneyde 105,4 nm ve en büyük 12 numaralı deneyde 585,2 nm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). En küçük parçacık boyutuna ulaşılan deney 14 incelendiğinde sonikasyon süresinin 300 s olduğu görülmektedir. Bundan yola çıkarak sonikasyon süresi 300 s olan deneyler incelendiğinde 105,4 nm, 156,7 nm, 288,7 nm ve 318,3 nm parçacık boyutuna ulaşıldığı görülmektedir. Deney 10; %0 Tween 80, %1 Wpc-70 içermekte ve 300 sn sonikasyona maruz

bırakılmasına rağmen elde edilen parçacık boyutu sonikasyon süresi aynı olan deneylerden daha yüksektir. Damlacık boyutunun küçülmesinde en önemli etkenlerden biri yüzey aktif maddenin yetenek ve performansıdır (Shavi vd., 2015). Bu durumda Wpc'nin tek başına Tween 80 kadar etkili olmadığı söylenebilir. Sari ve arkadaşları (2015), Wpc-70'in bireysel kullanımının parçacık boyutu küçültme açısından olumlu sonuç vermediğini bildirmiştir.

Çizelge 4.1. Birinci deneme parçacık boyutları.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% w/w)	Faktör 2 Whey Protein (% w/w)	Faktör 3 Sonikasyon Süresi (s)	Parçacık Boyutu (nm)
1	1	0	120	324,4
2	2	0	210	242,0
3	1	1	210	253,0
4	2	1	300	288,7
5	0	0	210	577,2
6	0	1	120	256,1
7	1	2	120	240,1
8	1	1	210	151,0
9	1	1	210	432,8
10	0	1	300	318,3
11	2	2	210	191,7
12	2	1	120	585,2
13	0	2	210	327,5
14	1	0	300	105,4
15	1	2	300	156,7

Deney no 12 ve 5 incelendiğinde sırasıyla 585,2 ve 577,2 nm parçacık boyutuyla en yüksek parçacık boyutları oluşmuştur. 5 numaralı deneyde hiçbir emülgatör kullanılmamış örnekler olduğu görülmektedir. Sonikasyon süresi ise 210 s'dir. 12 numaralı deney ise emülgatör olarak %2 Tween 80 ve %1 Wpc içeren ve 120 s boyunca sonikasyon uygulanan örnek olduğu görülmektedir. Yine benzer emülgatör kullanımıyla deney no 4'te 300 s sonikasyon uygulanmış ve 288,7 nm parçacık boyutu elde edilmiştir. Bu da göstermektedir ki sonikasyon süresinin 120 s'den 300 s'ye çıkması parçacık boyutunun yarısına düşmesini sağlamıştır. Tween 80 in tek başına kullanıldığı örnekler incelenirse (Deney no 1, 2 ve 14) Tween 80'in derişiminden bağımsız olarak sonikasyon süresi arttıkça parçacık boyutunun küçüldüğü görülmektedir. Benzer bulgular Koşar (2022) tarafından da bildirilmiştir. Parçacık boyutunun 200 nm altına indirilebilmesi için Tween 80 oranından bağımsız

olarak sonikasyon süresinin 300 s'yi geçmesi gerektiği önerilmiştir. Wpc'nin tek başına emülgatör olarak kullanıldığı örneklerde (Deney no 6, 10 ve 13) artan sonikasyon süresiyle parçacık boyutunun küçüldüğü gözlemi yapılamamıştır. Eşit Wpc içeren 6 ve 10 numaralı deneylerde sonikasyon süresinin 120'den 300'e çıkması parçacık boyutunun 256,1'den 318,3 nm'ye artmasına neden olmuştur. Li ve arkadaşları (2014) bu durumun damlacık yüzeylerinin protein molekülleri tarafından doyurulması ile açıklamaktadır ve parçacık boyutuna etkisi olumlu yönde ilerlemese de nanoemülsiyon stabilitesini arttırdığını ortaya koymaktadır. Tween 80 gibi düşük molekül ağırlıklı emülgatörler, Wpc-70 gibi yüksek molekül ağırlıklı emülgatörlere göre yüzey ve arayüzey gerilimini, parçacık boyutunu daha fazla azaltmaktadır. Proteinler, düşük molekül ağırlıklı emülgatörlere göre daha az yüzey aktif olmasına rağmen, kovalent olmayan moleküller arası etkileşimler ve kovalent disülfid çapraz bağlanma yoluyla yağ damlacıkları etrafında film gibi sürekli bir viskoelastik membran oluşturabilirken, düşük molekül ağırlıklı emülgatörler ise bu tür viskoelastik filmler oluşturamamaktadır. Yani Wpc-70 gibi yüksek molekül ağırlıklı emülgatörler daha stabil emülsiyonlar elde edilmesini sağlamaktadırlar (Sari vd., 2015).

Jafari vd. (2006), D-limonen nanoemülsiyonu çalışmasında, Wpc ve modifiye nişasta kullanılarak sonikasyon ve mikroakışkanlaştırma yöntemi ile nanoemülsiyon elde edilmiştir. Genel olarak emülsiyonların boyutunun, sonikasyon süresinin veya mikroakışkanlaştırma basıncının ve süresinin artmasıyla azaldığı görülmüştür. Ultrasonikasyon, daha yüksek miktarda d-limonen içeren Wpc'nin nano emülsiyonlarını üretmek için mikroakışkanlaştırmadan daha verimli olduğu bildirilmiştir.

Wpc-70'in bireysel olarak kullanıldığı deneyler incelendiğinde (Deney 6,10,13), Şahin (2021)'inde bildirmiş olduğu üzere %1 Wpc-70 konsantrasyonunda en düşük parçacık boyutunu vermiş ancak doyum noktasına ulaşan emülsiyon Wpc-70 konsantrasyonu artışına karşılık parçacık boyutunda azalma görülmemiştir.

Birinci deneme için; parçacık boyutu ve zeta potansiyeline Tween 80, Wpc ve sonikasyon süresinin etkisini açıklayabilmek için yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen veriler değerlendirilmiş ancak anlamlı bir model bulunamamıştır. Tween 80, Wpc ve sonikasyon süresinin tek başlarına ve birlikte parçacık boyutuna etkileri Wpc*t hariç

önemli bulunmuştur ($p < 0,05$) (Çizelge 4.2). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi ile Tween 80 derişimlerinin (%0, %1, %2) tamamı farklı bulunmuş, en düşük parçacık boyutu ortalaması %1 Tween 80 içeren örnekler için bulunmuştur, 237,614 nm. Wpc için %0 ve %1 derişimler birlikte gruplanırken %2 Wpc içeren örneklerin ortalaması 228,992 nm ile en düşük olmuştur. Sonikasyon süresine bakıldığında ise 300 s en düşük parçacık boyutunu sağlayarak diğer 120 ve 210 s lik işlemlerden ayrılmıştır. (248,482 nm, Çizelge 4.3)

Çizelge 4.2. Birinci deneme değişkenlerin parçacık boyutuna etkisi için MANOVA çizelgesi.

	F	p
Tween 80	7,889	0,009
Wpc	9,514	0,004
t	12,853	0,001
Twen80*Wpc	6,818	0,014
Tween80*t	38,065	<0,001
Wpc*t	3,158	0,085

Çizelge 4.3. Parçacık boyutu için Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tween 80, %	Parçacık boyutu, nm	Wpc-70, %	Parçacık boyutu, nm	Süre, s	Parçacık boyutu, nm
0	404,625 ^c	0	312,242 ^b	120	351,442 ^b
1	237,414 ^a	1	349,065 ^b	210	310,738 ^b
2	330,064 ^b	2	228,992 ^a	300	248,482 ^a

a, b, c harfleri aynı sütün içerisinde farklı grupları belirtmektedir. Sırasıyla en düşük parçacık boyutu ortalamasından en yükseğe doğru verilmiştir.

4.1.2 İkinci deneme

İkinci deneme örneklerinin parçacık boyutu sonuçları (Çizelge 4.4) incelendiğinde 71,980 nm ile 14 numaralı örneğin en küçük parçacık boyutuna sahip olduğu; 266,233 nm ile 1 numaralı örneğin en büyük parçacık boyutuna sahip olduğu görülmektedir. 14 numaralı numune kontrol olarak hazırlanmış olan %1,5 oranında Tween 80 ve Wpc-70 içeriğine sahip, karbonhidrat kaynağı olan keçiyoynuzu özütünü içermemektedir. Görülmektedir ki karışımın sadeleşmesi ultrasonikasyon işleminin etkinliğini arttırmakta, yağ, su ve yüzey aktif maddeler dışında kalan

safsızlıklar parçacık boyutunun küçülmesine engel olacak bir etkiye sahip olabilmektedir. Keçiyoynuzu özütü yüksek şeker içeriği ile dağıtıcı su fazının viskozitenin artmasına neden olabilir ve vizkozite artışı daha az kesme kuvveti ile sonuçlanacağı için parçacık boyutunu arttırır (Mehmood vd., 2017).

Çizelge 4.4. İkinci deneme parçacık boyutları.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% w/w)	Faktör 2 Whey Protein (% w/w)	Parçacık Boyutu (nm)
1	2,2	1,5	266,233
2	2,0	2,0	137,533
3	1,0	2,0	213,233
4	1,5	1,5	108,667
5	1,5	1,5	109,767
6	0,8	1,5	132,533
7	1,0	1,0	164,100
8	1,5	0,8	116,067
9	1,5	1,5	120,300
10	1,5	1,5	113,867
11	1,5	1,5	118,200
12	1,5	2,2	85,810
13	2,0	1,0	213,933
14*	1,5	1,5	71,980

*Kontrol örneği deney planına dahil değildir.

Deneyssel veriler; Design Expert 13 paket programında değerlendirilmiştir. Merkezi tümleşik deneme deseninin analizi sonucu parçacık boyutu $p < 0,01$ güven aralığında azaltılmış kübik model ile uyum sağlamıştır. Modele ait denklem Denklem 4.1’de gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
 \text{boyut} = & 1635,24689 - 1291,87891 \times A - 1780,52469 \times B + \\
 & 1164,14879 \times A \times B + 202,48583 \times A^2 + 650,43689 \times B^2 - \\
 & 429,89404 \times A \times B
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Modelin F değeri 14,49 ile modelin anlamlı olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.5). Çizelgede görüldüğü gibi modelin uyum eksikliği, önemli olarak gözlenmiştir ($p>0,05$). Uyum eksikliği, model doğrulama istatistiğidir ve model uyumlu olsun istenildiği için önemli çıkması arzu edilmez. Gerçek ölçümler ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki varyasyon olan uyum eksikliğine ait F değerinin hesaplanması Denklem 4.2’de gösterilmektedir.

$$\text{Uyum eksikliği } F \text{ değeri} = \frac{\text{Uyum eksikliği kareler ortalaması}}{\text{Saf hata kareler ortalaması}} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.5. Parçacık boyutu için azaltılmış kübik model varyans çizelgesi (ANOVA).

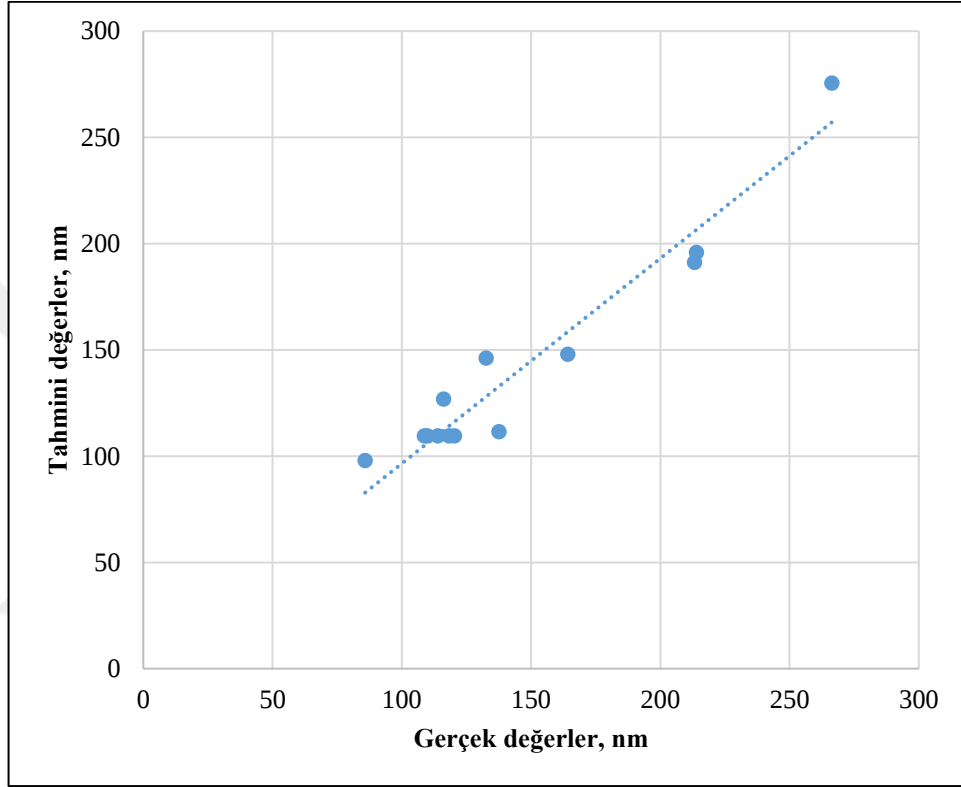
Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Model	31676,20	6	5279,37	14,49	0,0024*
A-tw80	8937,84	1	8937,84	24,52	0,0026*
B-Wpc	613,48	1	613,48	1,68	0,2421***
AB	3939,65	1	3939,65	10,81	0,0167**
A ²	17826,31	1	17826,31	48,91	0,0004*
B ²	13,61	1	13,61	0,0374	0,8531***
AB ²	5775,28	1	5775,28	15,85	0,0073*
Uyum eksikliği	2083,14	2	1041,57	40,22	0,0022*

*önemli ($p<0,01$), **önemli($p<0,05$), ***önemsiz ($p>0,05$)

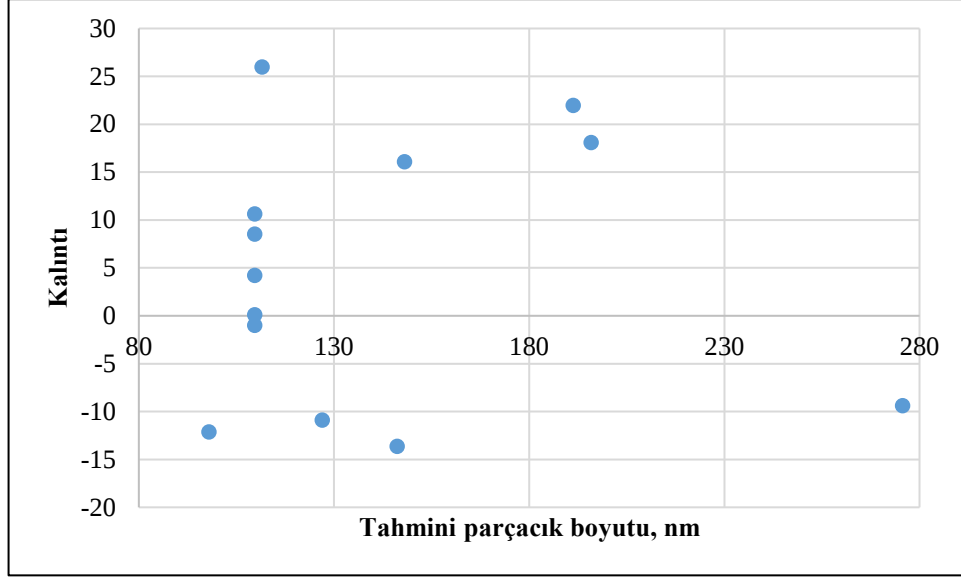
Merkez noktaları içeren analiz sonuçları birbirine çok yakın olup örtüşükleri durumlarda; tahmin edilen değerler gerçek değerlerden önemli ölçüde daha büyük olabilmektedir. Çalışmada, merkez nokta için aynı numuneden tekrarlanan 5 analiz tercih edilmiştir ve 4, 5, 9, 10, 11 numaralı bu deneylerin sonuçları birbirine çok yakın değerler olmuştur (Çizelge 4.4). Bu da saf hatayı ihmal edilebilir düzeye getirir ve Denklem 4.1 de paydayı görece olarak çok küçük yaparak F değerinin büyük çıkmasına ve uyum eksikliğinin önemli görünmesine neden olur. Bu durumda uyum eksikliğini modeli değerlendirmede kullanmak yerine diğer istatistiksel kriterlere başvurmak daha doğru olacaktır (URL-4).

Modelin, R^2 değeri 0,9354; ayarlanmış R^2 değeri ise 0,8708’dir. Ayarlanmış R^2 değerinin 0,8’den büyük olması modelin uyumunun yeterli olduğunu belirtirken (Rheem, 2023), bu iki değer arasındaki farkın 0,2’den küçük olması istenmekte ve model bunu karşılamaktadır (URL-5). Yine tahmini ve gerçek değerlerin

karşılaştırıldığı grafikten (Şekil 4.1) verilerin 45 derecelik eğilim çizgisi etrafında eşit şekilde dağıldığı gözlenmektedir. Şekil 4.2’de verilen kalıntıya karşı tahmini değerler grafiği incelendiğinde noktaların herhangi bir düzgün trend izlemeden 0 etrafında gelişigüzel dağıldığı görülmektedir. Bu da bir modelin deneysel verilerle uygunluğunu tartışırken olması istenen modeli destekleyici bir veridir. Bu değerlendirmeler neticesinde modelin deneysel verilere uygun olduğu görülmektedir.



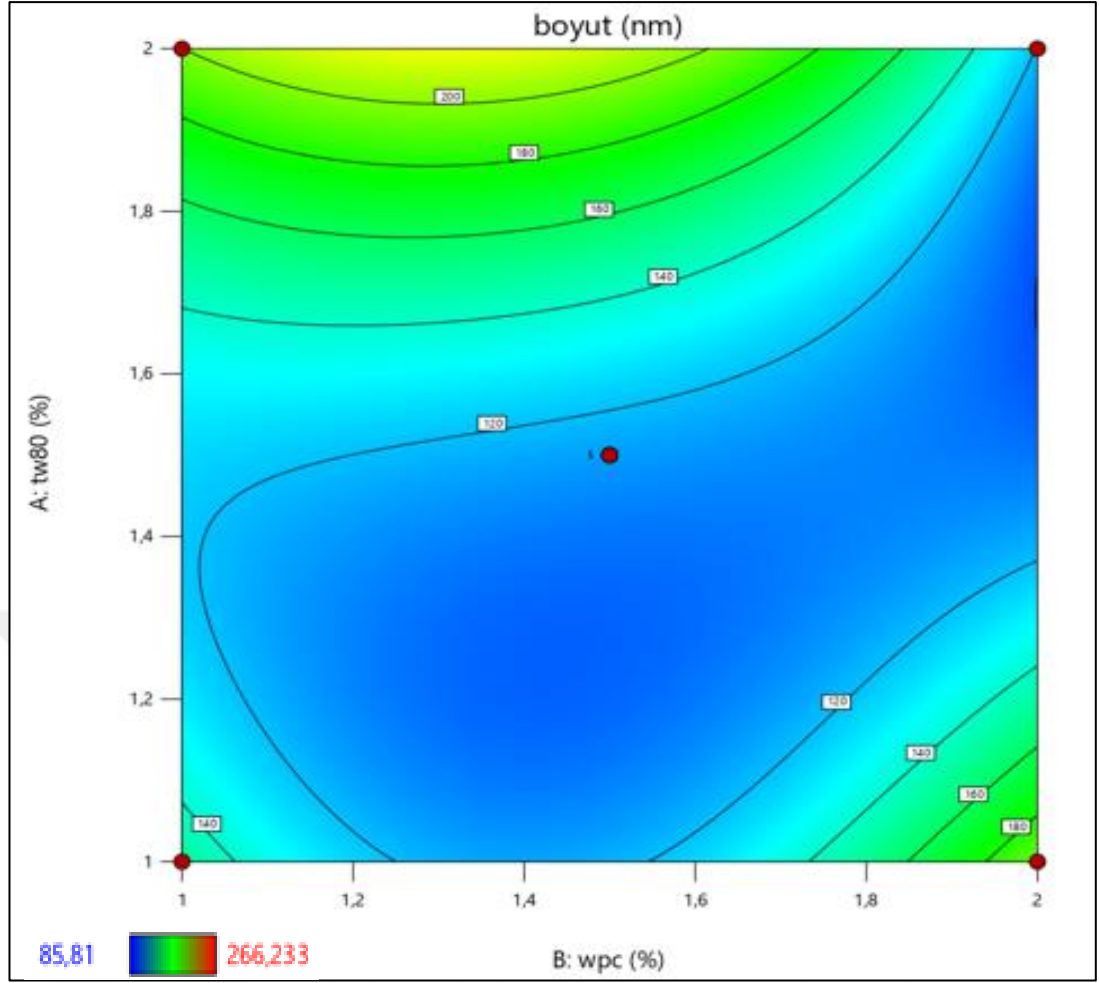
Şekil 4.1. Parçacık boyutu için gerçek değerler ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 4.2. Parçacık boyutu için tahmini değerlere karşı kalıntı grafiği.

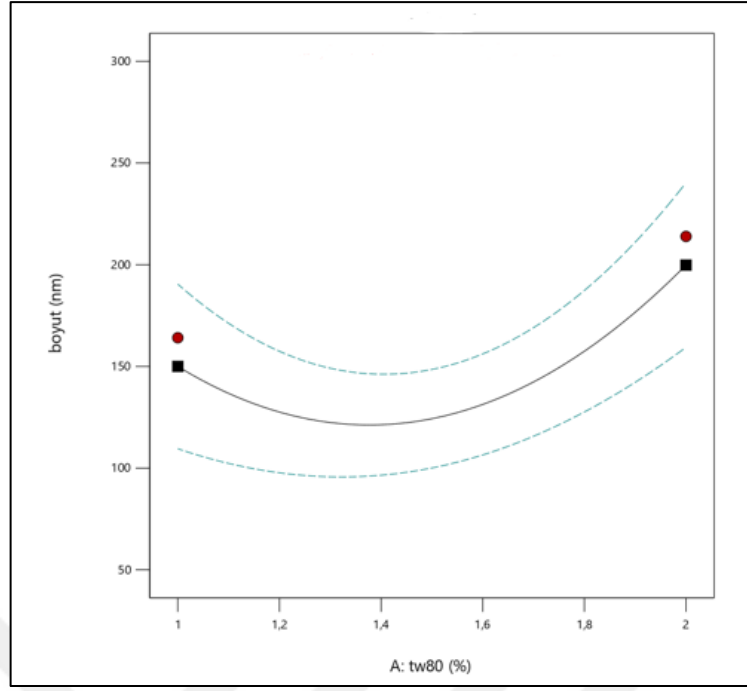
Varyans çizelgesinde gözlemlendiği gibi (Çizelge 4.5) model terimlerinden Tween 80 (A)'in tek başına etkisi ($p < 0,01$), Wpc-70 (B) ile beraber etkisi (AB) ($p > 0,05$), yine kendisinin kuadratik etkisi (A^2) ($p < 0,001$) ve Wpc-70'in kuadratik haliyle interaksiyonel etkisi (AB^2) ($p < 0,01$) anlamlı, Wpc-70'in tek başına ve kuadratik etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Tween 80 ve Wpc-70 konsantrasyonlarının etkisini gösteren iki boyutlu kontur grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Renk skalasında maviden kırmızıya doğru parçacık boyutu artmaktadır. Grafik incelendiğinde hem Tween 80, hem Wpc-70 in parçacık boyutuna etkileri %1,6 seviyelerinden sonra farkedilir şekilde olmakta ve parçacık boyutu bu noktalardan sonra artmaya başlamaktadır. İlginç bir şekilde Tween 80 %1,6 seviyesini aştıktan sonra Wpc-70'in %1,5 değerini geçmesi ile parçacık boyutu artışı azalmaktadır.

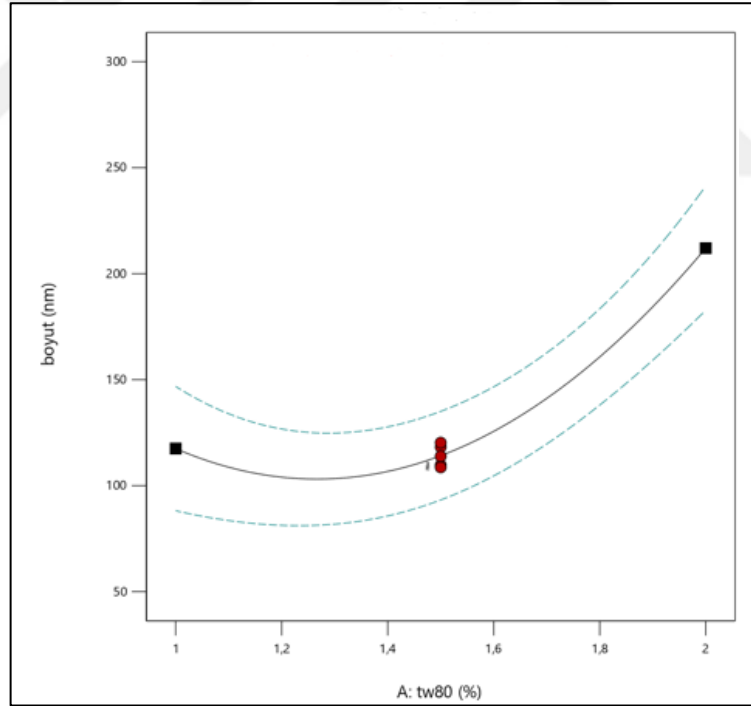


Şekil 4.3. Wpc-70 ve Tween 80 derişiminin parçacık boyutuna birlikte etkileri.

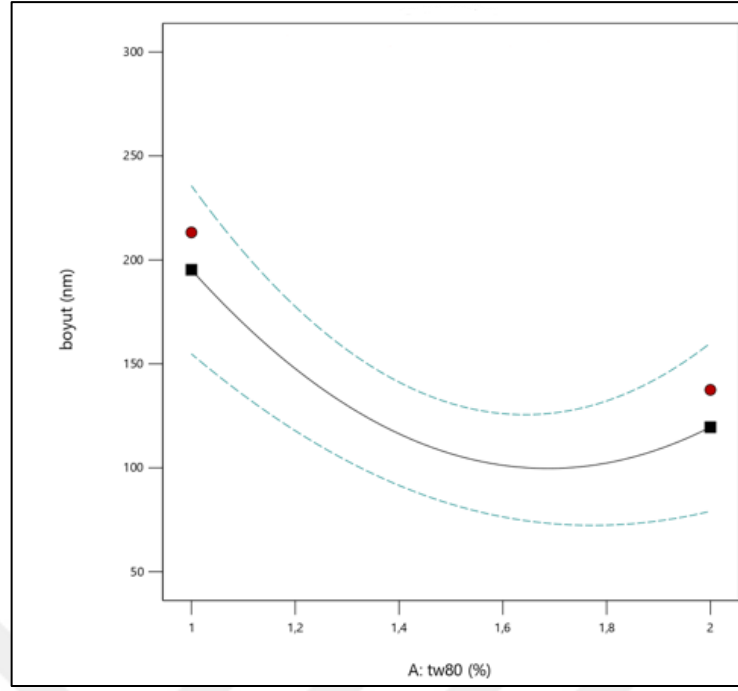
İstatistiksel olarak Tween 80 oranının parçacık boyutuna etkisinin önemli çıktığını hatırlatarak tek faktör grafiklerini incelediğimizde (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6), Wpc-70 konsantrasyonunun %1 de sabit tutulduğu durumda yaklaşık olarak %1,5 Tween 80 konsantrasyonuna kadar parçacık boyutunun küçüldüğü, bu noktadan sonra konsantrasyonu arttıkça parçacık boyutunun da artmaya başladığı görülmektedir. Wpc-70 konsantrasyonu %1,5' te sabit kalır iken Tween 80 oranının değişimi incelendiğinde; a grafiğine göre yani Wpc-70 düzeyinin %1 olduğu durumdan daha düşük bir parçacık boyutundan başlayıp yaklaşık olarak %1,5 Tween 80 konsantrasyonuna kadar parçacık boyutunun küçüldüğü ve bu noktadan sonra yine a grafiğinde olduğu gibi konsantrasyon arttıkça parçacık boyutunun da artmaya başladığı görülmektedir. Wpc-70 konsantrasyonu en yüksek seviyesi olan %2 de sabit tutulduğu durumda Tween 80 oranının değişimi incelendiğinde parçacık boyutunun küçüldüğü görülmekte, Tween 80'in %1,5 seviyelerinden sonra gerçekleşen artış eğiliminde düşüş olduğu farkedilmektedir.



Şekil 4.4. %1 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.

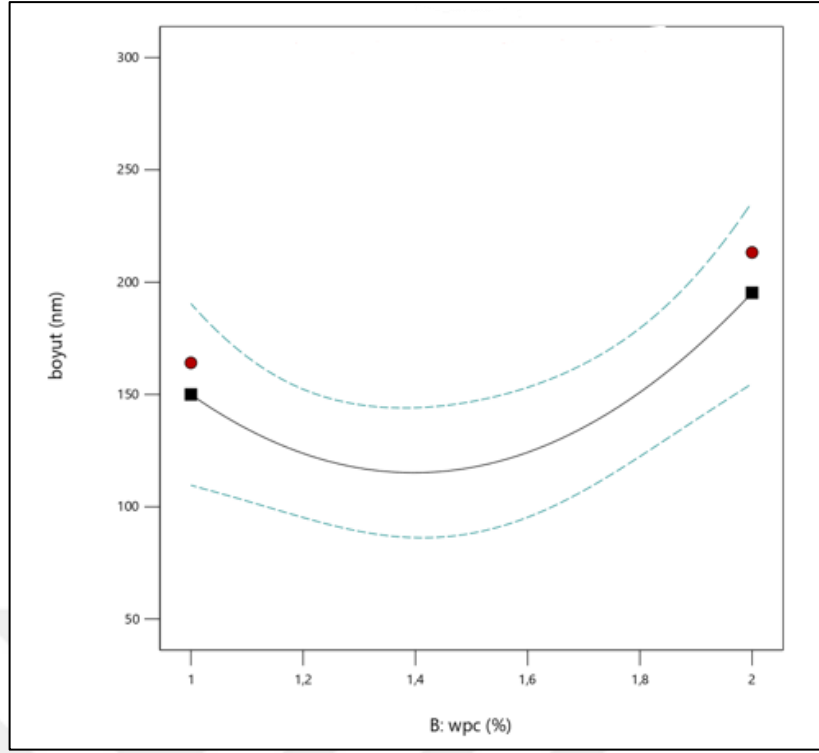


Şekil 4.5. %1,5 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.

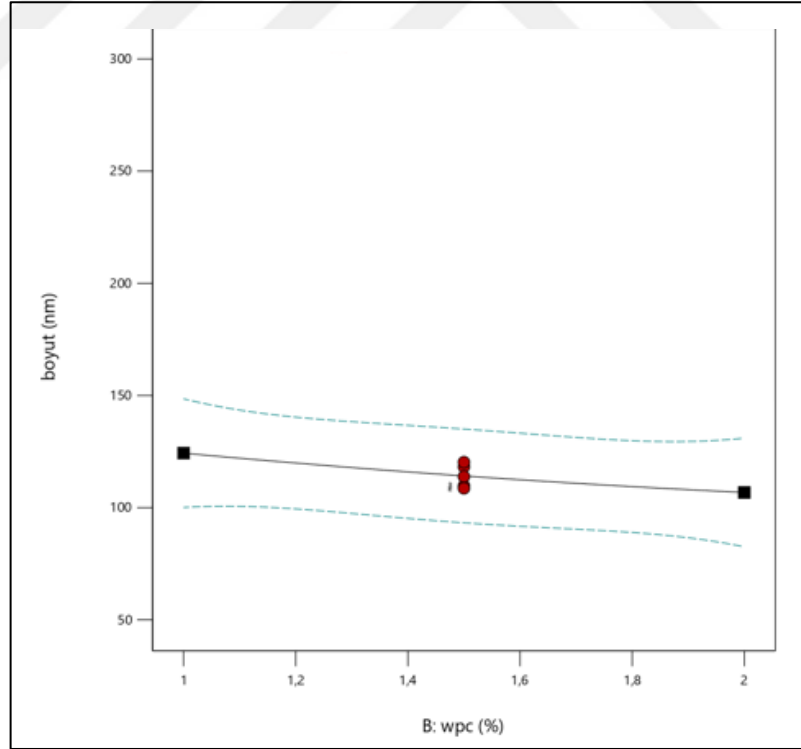


Şekil 4.6. %2 Wpc-70, Tween 80 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.

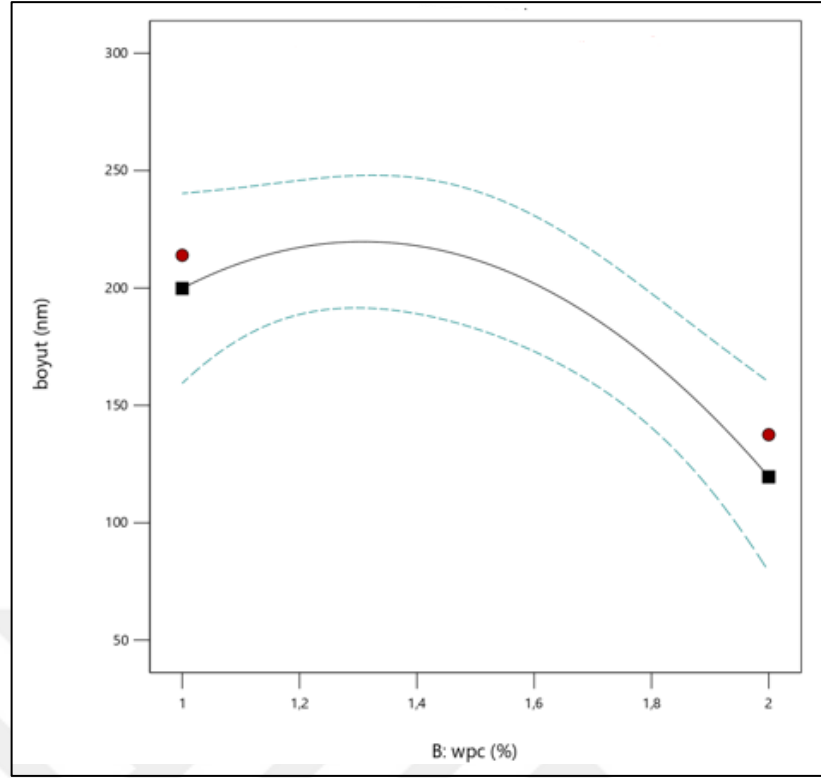
İstatistiksel olarak parçacık boyutu üzerine etkisi önemsiz bulunan Wpc-70 tek başına faktör olarak incelenecek olursa, Tween 80 konsantrasyonu %1 de sabit iken Wpc-70 ile yaklaşık olarak %1,5 konsantrasyonuna kadar parçacık boyutunun küçüldüğü, sonrasında konsantrasyonu arttıkça parçacık boyutunun da artmaya başladığı görülmektedir (Şekil 4.7). Tween 80 konsantrasyonu %1,5' te sabit kalır iken Wpc-70 oranının değişimi incelendiğinde; 100-150 nm arasında eğimi neredeyse 0 olan bir grafik görülmektedir (Şekil 4.8). Bu durumda yani Tween 80 %1,5 seviyesinde iken Wpc-70 konsantrasyonu arttıkça boyutta azalma oranının çok az olduğu çıkarımı yapılabilir (Şekil 4.9). Tween 80 konsantrasyonu %2 de sabit tutulursa Wpc-70 oranının değişimi incelendiğinde, parçacık boyutunun 150-250 nm arasında değiştiği Wpc-70 konsantrasyonu 1,4'e kadar yavaş bir artış olduğu, sonrasında artan konsantrasyon ile parçacık boyutunun küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.7. %1 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.



Şekil 4.8. %1,5 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.



Şekil 4.9. %2 Tween 80, Wpc-70 değişiminin parçacık boyutuna etkisi.

Tek faktör grafiklerinde de açıkça görüldüğü gibi emülgatörün belirli bir konsantrasyonundan sonra parçacık boyutunda bir büyüme meydana gelmektedir. Emülsiyonlarda çözeltinin doyumluğa ulaşması ile ara yüz geriliminin düşmesi sonucu emülgatör konsantrasyonu artmaya devam ettiğinde sistem geri dönerek parçacık boyutu büyümektedir (McClements ve Jafari, 2018). Burda Tween 80 ve peynir altı suyu proteininin emülgatör olarak kullanımının optimize etmenin gerekliliği görülmektedir. Tian vd. (2016), Tween 80 ve Span 80 emülgatörlerinin shea yağı ile hazırlayacakları nanoemülsiyon üzerindeki etkileri gözlemlemek için yaptıkları çalışma da emülgatör konsantrasyonu arttıkça damlacık boyutunda artış sonucu almışlardır ve bu çalışma ile örtüşmektedir. Şahin (2021)'in Tween 80 ve Wpc'nin farklı konsantrasyonlarını kullanarak yaptığı fındık yağı nanoemülsiyonu çalışmasında; Wpc %1, Tween 80 %2 konsantrasyona kadar parçacık boyutunda hızla küçülme elde etmiş ancak bu konsantrasyonların üzerine çıkıldığında çözeltinin doyuma ulaşmasından dolayı çok yavaş küçülme sonrasında ise hiç boyut küçülmesi elde edememiştir. Tween 80 yardımıyla ultrasonikasyon ile (20kHz, 40 dakika) hazırlanan tarçın yağı bazlı nanoemülsiyonların partikül boyutunda yüzey aktif madde konsantrasyonu arttıkça istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($p<0.05$)

gözlendiği ve en yüksek Tween 80 konsantrasyonu (yüzey aktif madde/yağ oranı 4:1) ile hazırlanan nanoemülsiyonun en küçük partikül boyutunu (22.68 nm) sergilediği bildirilmiştir. Buna sebebin yüksek yüzey aktif madde konsantrasyonunun yağ fazı ile sulu faz arasındaki arayüzey gerilimini azaltmaya yardımcı olması olduğu tartışılmıştır (Kaur vd., 2021). Aynı yüzey aktif madde yağ oranı (4:1) bizim ikinci deney planında 2 numaralı deneyde gözlenmektedir (burada kullandığımız iki farklı emülgatörün toplamı 4 olmaktadır) ve bu deney için 20 kHz de 10 dakika sonucunda ulaşılan parçacık boyutu 137,533 nm olmuştur. Kaur vd. (2021), yaptığı çalışmayla karşılaştırıldığında kısa sonikasyon süresinin parçacık boyutunun daha büyük olmasına neden olduğunu söyleyebiliriz ancak ne Tween 80 ve Wpc-70'in tek başlarına ne de kombinasyonları halinde kullanımında doğrusal bir şekilde artan emülgatör/yağ oranıyla parçacık boyutunda azalma gözlenmemiştir. Kaur vd. (2021), aynı çalışmada ikinci bir emülgatör olarak soya lesitinini de denemişler ve bizim Tween 80 için bulduğumuz sonuç gibi yüzey aktif madde yağ oranı 1,5:1 olana kadar parçacık boyutunda azalma sonra 2:1 oranına kadar artış gözlemlemişlerdir. Parçacık boyutundaki bu beklenmedik artışı nano parçacıkları bir araya toplama eğiliminde olan adsorbe edilmiş yüzey aktif maddelerin tükenme kuvveti mekanizmasına bağlamışlardır. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun artmasıyla, yüzey aktif maddenin daha fazla molekülü, partikül yüzeyine yönelmek yerine, sürekli fazda miseller oluşturur ve lokal olarak osmotik basıncın artmasına ve damlacıklar arasındaki sürekli fazın damlalar arasına doğru hareket etmesine neden olur. Sonuç olarak toplanma gerçekleşir ve parçacıkların boyutu artar (Hasani vd., 2002).

Vitamin nanoemülsiyonları, özellikle de Tween 80 ile stabilize edilenler, gıda, ilaç ve kişisel bakım ürünlerinde vitaminlerin dağıtımını ve stabilitesini artırma potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla araştırılmaktadır. Ultrasonik homojenizasyon yöntemi ile D vitamininin Soya lesitini ve Tween 80' in 2/3 oranında karışımının emülgatör olarak kullanıldığı durumda nanoemülsiyon hazırlanma koşullarını optimize etmek için yanıt yüzey metodolojisinin kullanıldığı bir çalışmada, homojenizasyon süresinin (3,5-6,5 dk), yüzey aktif madde/yağ oranının (0,43-0,78) ve dispers faz hacminin (%7-9) yanıt değişkenleri üzerindeki etkileri incelenmiştir (Mehmood vd., 2020). Bu çalışma sonucunda parçacık boyutunu etkileyen başlıca etkenin sonikasyon süresi olduğu sonucuna varılmıştır ki bu bizim ilk grup deneylerle bulduğumuz sonuçları desteklemektedir. Yine artan

yüzey aktif madde/yağ oranının parçacık boyutunda azalmaya sebep olduğu ve bunun arayüzey geriliminin azalması ve yeni oluşan damlacıkları tutmak için yeterli emülgatörün varlığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada emülgatörler dışında iki faktörün daha bulunması ve bunlarında parçacık boyutuna etkilerinin çok büyük olması nedeniyle ve yüzey aktif madde/yağ oranlarının (0,43-0,78) bizim çalışmamızla kıyaslandığında (bu çalışmada emülgatör/yağ oranı 2 ile 4 arasındadır) oldukça küçük kalması nedeniyle sunduğumuz sonuçlarla karşılaştırma yapılması mümkün değildir.

Guttoff vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, D vitamini spontan emülsifikasyon yöntemiyle iyonik olmayan yüzey aktif maddelerden Tween 20, 40, 60, 80 ve 85 gibi emülgatörler yardımıyla enkapsüle edilmiş ve en küçük parçacık boyutunu Tween 80 ile yakaladıklarını keşfettikten sonra Tween 80 ile yaptıkları çalışmalar neticesinde damlacık boyutlarının <200 nm olması için yüzey aktif madde-yağ oranının $\geq 1/1$ olması gerektiğini belirtmişlerdir. Yine aynı emülsifikasyon yönteminin kullanıldığı bir çalışmada E vitaminin Tween 80 yardımıyla nanoemülsiyon boyutunda enkapsüle edilip en küçük damlacıkların yine yüzey aktif madde-yağ oranının 1/1' de oluştuğunu gözlemişlerdir. Yüzey aktif madde konsantrasyonu daha da artırıldığında (yüzey aktif madde-yağ oranının 1/1'den 1,75/1'e çıktığında) ortalama partikül çapında bir artış gözlemlenmiştir. Yağ-su ara yüzeyinin kendiliğinden parçalanmasını zorlaştıran yüksek viskoziteli sıvı kristal faz oluşumu nedeniyle damlacık boyutu belirli bir yüzey aktif madde seviyesinin üzerinde artar diye bu durumu yorumlamışlardır (Saber vd., 2013). Buna benzer şekilde mevcut çalışmada da Şekil 4.3., 4.4., 4.5. ve Şekil 4.6., 4.7., 4.8. tartışılırken dikkat çekildiği üzere belirli bir emülgatör seviyesine kadar Tween 80'in artışıyla beraber parçacık boyutu küçülmüş ancak bir noktadan sonra parçacık boyutu artmaya başlamıştır.

4.2 Zeta Potansiyeli

4.2.1 Birinci deneme

Zeta potansiyeli, en genel tanımıyla emülsiyon parçacıklarının yüzey yükünü karakterize etmektedir. Yüksek mutlak değerler, parçacıklar arasındaki itici kuvvetleri ifade etmektedir ve bu durumlarda çok fazlı sistemlerin fiziksel stabilitesinin yüksek olduğu söylenebilmektedir (Sari vd., 2015). Zeta potansiyeli

genellikle parçacıkların kararlılığıyla ilgili bilgi verir. Parçacıklar, 0-5 mV aralığında kümeleşme veya bir araya gelme eğilimi sergilerler, 5-20 mV aralığında minimal düzeyde kararlıdırlar, 20-40 mV aralığında orta düzeyde kararlıdırlar, 40 mV ve üstü değerlerde son derece kararlıdırlar (Ateş, 2018).

Bu çalışmada, zeta potansiyeli tüm örnekler için negatif yük ifade etmiş ve en küçük -7,280 mV ve en büyük -22,900 mV olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6). Sari ve arkadaşlarının (2015), Tween 80 ve Wpc-70 kullanarak elde ettikleri nanoemülsiyon çalışmasında zeta potansiyeli -6.9 ± 0.2 olarak bildirilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlara yakındır.

Wpc, ince ara yüzey tabakası oluşturmakta ve elektrostatik itme gücü yanı sıra Van der Waals kuvvetleri de etkili olmaktadır. Tween 80 ise, damlacık etrafında kalın hidrofilik tabaka oluşturabilmekte ve sterik itme gücü etkili olmaktadır (Öztürk vd., 2015).

Artan sonikasyon süresinin Zeta potansiyelini arttırma yönünde bir etkisi tespit edilmemiştir; Koşar (2022)'da bu durumu bildirmiştir. Tween 80'in tek başına kullanıldığı deneylerde (deney no 1, 2 ve 14) elde edilen zeta potansiyel değerleri sırasıyla -8,305, -7,280 ve -10,560'dır ve Koşar (2022)'ın çalışmasında elde ettiği sonuçlara yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Birinci deneme zeta potansiyelleri.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% w/w)	Faktör 2 Whey Protein (% w/w)	Faktör 3 Sonikasyon Süresi (s)	Parçacık Boyutu (nm)
1	1	0	120	-8,305
2	2	0	210	-7,28
3	1	1	210	-10,83
4	2	1	300	-8,58
5	0	0	210	-22,9
6	0	1	120	-15,77
7	1	2	120	-12,33
8	1	1	210	-12,37
9	1	1	210	-10,97
10	0	1	300	-17,5
11	2	2	210	-8,23
12	2	1	120	-8,43
13	0	2	210	-8,98
14	1	0	300	-10,56
15	1	2	300	-10,5

Sonikasyon süresinin zeta potansiyeline etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ($p>0,05$), Tween 80 ve Wpc'nin tek başlarına, birlikte ve zamanla birlikte etkileriyle önemli bulunmuştur ($p<0,01$) (Çizelge 4.7). Zeta potansiyeline Tween 80 tek başına etkili olan faktör olmuştur ($p<0,001$). Derişimi arttıkça zeta potansiyeli azalmıştır. Wpc için %0 ve %1 derişimlerin etkisi benzerken %2 derişim zeta potansiyelinin azalmasına neden olmuştur. a, b, c harfleri aynı sütun içerisinde farklı grupları belirtmektedir. Sırasıyla en düşük mutlak değer olarak zeta potansiyeli ortalamasından en yükseğe doğru verilmiştir.

Çizelge 4.7. Birinci deneme değişkenlerin zeta potansiyeline etkisi için MANOVA.

	F	p
Tween 80	351,305	<0,001
Wpc	22,204	<0,001
t	0,082	0,777
Twen80*Wpc	215,536	<0,001
Tween80*t	9,878	0,004
Wpc*t	39,175	<0,001

Çizelge 4.8. Zeta potansiyeli için Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tween 80, %	Zeta potansiyeli, mV	Wpc-70, %	Zeta potansiyeli, mV	Süre, s	Zeta potansiyeli, mV
0	-15,0 ^c	0	-11,7 ^b	120	-10,6 ^a
1	-10,5 ^a	1	-11,5 ^b	210	-11,7 ^b
2	-8,1 ^b	2	-10,0 ^a	300	-10,7 ^a

4.2.2 İkinci deneme

Zeta potansiyeli, partikül dispersiyonlarındaki elektrostatik etkileşimleri kontrol eden önemli bir parametredir ve bu nedenle kolloidal dispersiyonların stabilitesinin anlaşılmasında önemlidir. Süspansiyon ve emülsiyon formülasyonlarını optimize etmek ve uzun vadeli stabiliteyi tahmin etmeye yardımcı olmak için kullanılabilir. Bu çalışmada her iki denemede de örneklerin opak ve koyu renkli oluşları nedeniyle ölçümler 1/40 (v/v) oranında seyreltilen örnekler üzerinden yapılmıştır. Kaszuba vd. (2010) yüksek konsantrasyonlarda elde edilen zeta potansiyeli değerlerinin mutlak değil göreceli olarak kullanılması gerektiği sonucuna varmışlar ve bir numunenin gerçek zeta potansiyel değeri isteniyorsa, elde edilen zeta potansiyel sonuçlarının konsantrasyondan bağımsız olduğu bir bölgeyi

belirlemek için bir dizi konsantrasyonda ölçümler yapılmasını salık vermişlerdir. Ekonomik ve fiziki koşullar konusunda yaşanan zorluk nedeniyle bu belirleme için yeterli çalışma yapılamamış ancak ölçüm yapan laboratuvarın tavsiyesi ile seyreltme oranı belirlenmiştir.

Bu çalışmada zeta potansiyeli en yüksek -13,567 mV ile 14 numaralı deneyde elde edilmiştir. Bu deney kontrol olarak hazırlanmış olan % 1,5 oranlı Tween 80 ve Wpc-70 içeriğine sahip, karbonhidrat kaynağı olan keçiyoynuzu özü içermeyen numunedir. En düşük zeta potansiyeli -8,423 mV ile 1 numaralı deneyde elde edilmiştir. Numunenin emülgatör oranları incelendiğinde % 2,2 Tween 80, % 1,5 Wpc-70 içerdiği görülmektedir (Çizelge 4.9).

Keçiyoynuzu özütü zamlar ihtiva edebilme potansiyeline sahiptir. Zamlar çeşitlerine göre emülsiyonlarda çok farklı görevler üstlenebilmektedir. 14 numaralı örneğin parçacık boyutunun en düşük, Zeta potansiyelinin en yüksek elde edilirken diğer keçiyoynuzu özü içeren numunelerde Zeta potansiyelindeki düşüş zamların duvar malzemesi gibi görev alarak emülgatörlerin etkinliğini azaltması ile açıklanabilir (Sarmandio vd., 2018). Ayrıca keçiyoynuzu özütü şeker ve önemli miktarda elektrolitler içermektedir. Bu içeriklerde zeta potansiyel ölçümünü değiştirebilir (Sarmandio vd., 2018).

Çizelge 4.9. İkinci deneme Zeta potansiyelleri.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% w/w)	Faktör 2 Whey Protein (% w/w)	Zeta Potansiyeli (mV)
1	2,2	1,5	-8,423
2	2,0	2,0	-9,660
3	1,0	2,0	-10,967
4	1,5	1,5	-9,163
5	1,5	1,5	-9,703
6	0,8	1,5	-10,833
7	1,0	1,0	-11,733
8	1,5	0,8	-8,640
9	1,5	1,5	-9,050
10	1,5	1,5	-9,070
11	1,5	1,5	-8,833
12	1,5	2,2	-9,883
13	2,0	1,0	-8,877
14	1,5	1,5	-13,567

*Kontrol örneği deney planına dahil değildir.

Zeta potansiyeline ait deneysel veriler; Design Expert paket programında değerlendirilmiştir. Merkezi tümleşik deneme deseninin analizi sonucu zeta potansiyeli $p < 0,05$ güven aralığında Azaltılmış İkinci Dereceden Model ile uyum sağlamıştır. 6,57 F değeri de modelin anlamlı olduğunu yani zeta potansiyelinde gözlemlenen varyasyonun büyük kısmı modeldeki değişkenler tarafından açıklanabileceğini ifade etmektedir. Modele ait denklem Denklem 4.3 de gösterildiği gibidir.

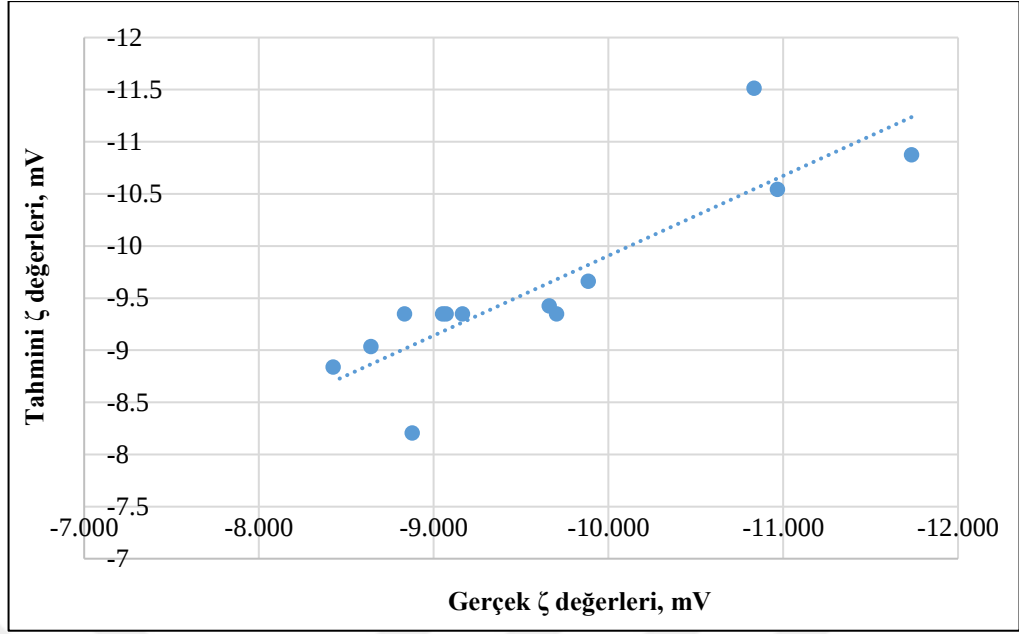
$$\zeta = -18,73241 + 9,18181 \times A + 1,88125 \times B - 1,55000 \times A \times B - 1,65464 \times A^2 \quad (4.3)$$

Çizelge 4.10. ζ için azaltılmış ikinci dereceden model varyans Çizelgesi (ANOVA).

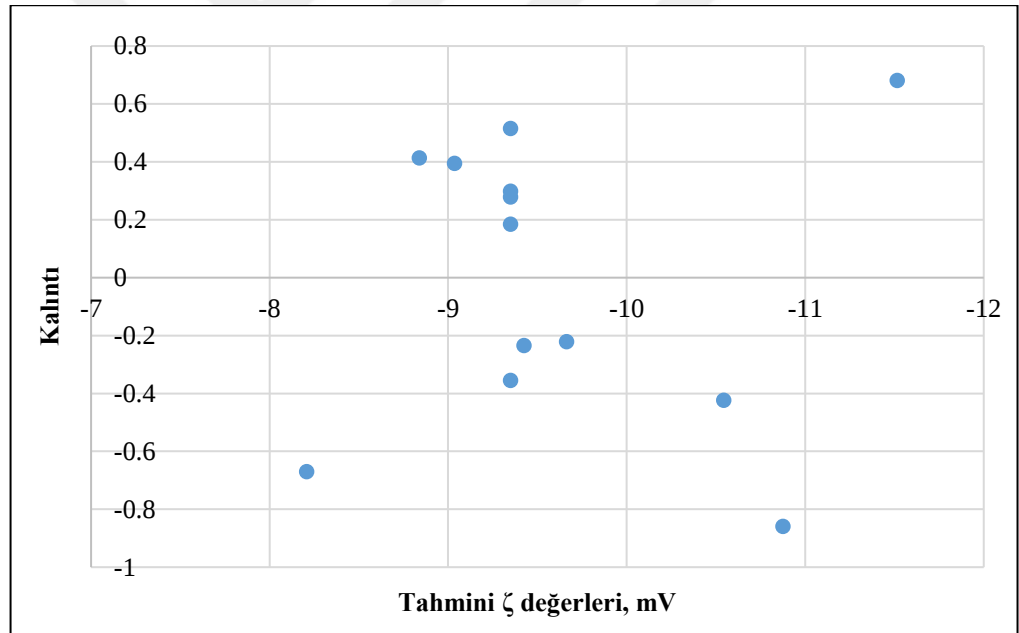
Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Model	9,37	4	2,34	6,57	0,0121**
A-tw80	7,17	1	7,17	20,09	0,0021*
B-Wpc	0,3938	1	0,3938	1,10	0,3241***
AB	0,6006	1	0,6006	1,68	0,2306***
A ²	1,21	1	1,21	3,39	0,1027***
Uyum eksikliği	2,43	4	0,6080	5,76	0,0591***

*önemli ($p < 0,01$), **önemli ($p < 0,05$), ***önemsiz ($p > 0,05$)

Yine modelin, R^2 değeri 0,7665; ayarlanmış R^2 değeri ise 0,6498'dir. Bu iki değer arasındaki farkın 0,2'den küçük olması istenirken model bunu karşılamaktadır. Yine tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafikten (Şekil 4.10) verilerin 45 derecelik eğilim çizgisi etrafında eşit şekilde dağıldığı gözlenmektedir. Şekil 4.11'de verilen kalıntıya karşı tahmini değerler grafiği incelendiğinde noktaların herhangi bir düzgün trend izlemeden 0 etrafında gelişigüzel dağıldığı görülmektedir. Bu değerlendirmeler neticesinde zeta potansiyeline Tween 80 ve WPC-70'in etkisini açıklayabilmek için türetilen azaltılmış ikinci dereceden modelin (Denklem 4.3) deneysel verilere uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4.10. ζ için gerçek değerler ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.



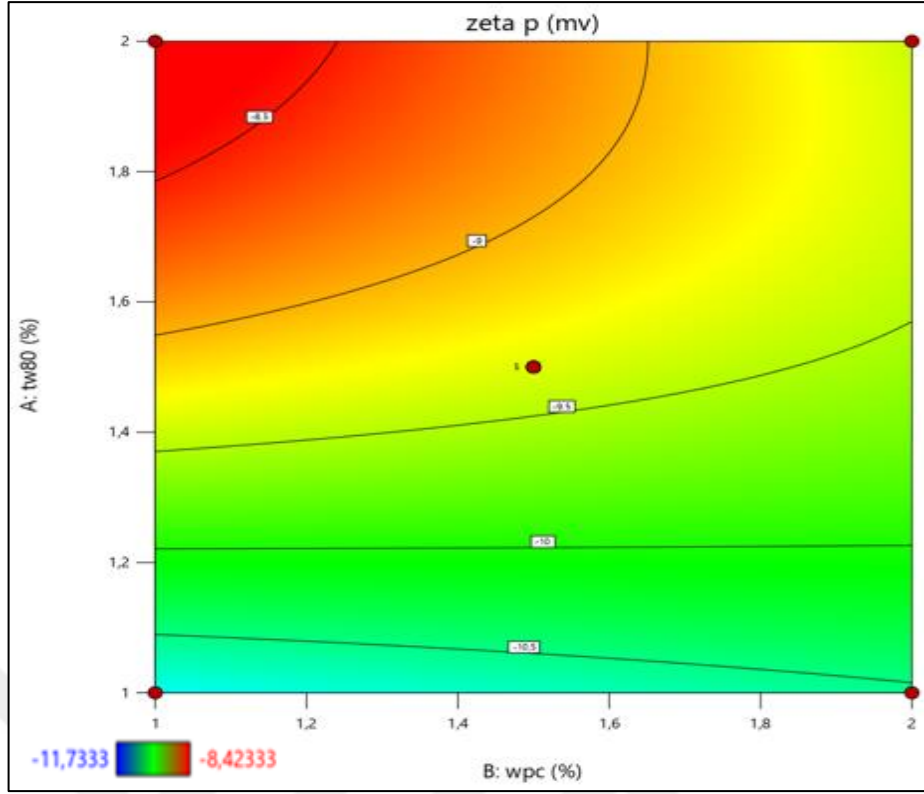
Şekil 4.11. ζ için tahmini değerlere karşı kalıntı grafiği.

Varyans çizelgesinde gözlendiği gibi (Çizelge 4.10) modelde sadece Tween 80 (A)'in tek başına ζ 'ne etkisi önemli ve etkili bulunmuştur ($p < 0,01$). Diğer model terimlerinin Wpc-70 (B), emülgatörlerin beraber etkisi (AB), Tween 80'nin kuadratik etkisi (A^2) ($p > 0,05$) ise önemsiz bulunmuştur.

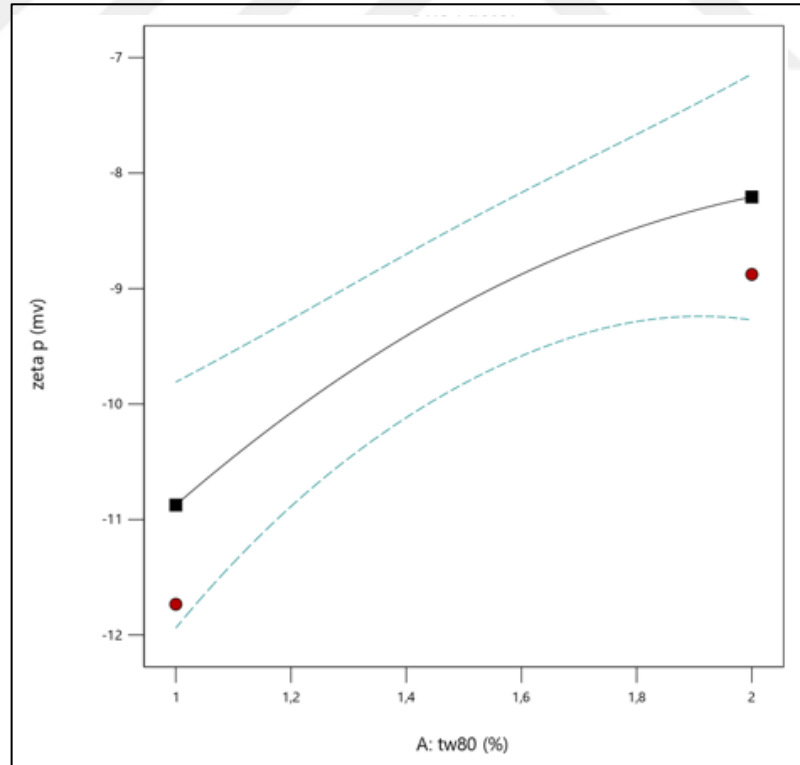
Tween 80 ve Wpc-70 konsantrasyonlarının etkisini gösteren iki boyutlu kontur grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Renk skalasında maviden kırmızıya doğru ζ 'nin

mutlak değeri azalmaktadır. Yani kırmızı bölüm daha kararsız emülsiyon yapısını göstermekte olan mutlak değerce küçük ζ değerine sahiptir ve yaklaşık Tween 80'in %1,5 olduğu seviyelerde başlamaktadır. Düşük konsantrasyonlarında nanoemülsiyon kararlılığına katkı sağlayan iyonik olmayan bir yüzey aktif madde olan Tween 80'in, kritik bir konsantrasyonun üzerinde OH gruplarının yağ/su yüzeyinden ani bir şekilde dışarı atılmasına, yüzey potansiyelini ve dolayısıyla zeta potansiyelini azaltabileceği literatürde bildirilmektedir (Kaur vd., 2021; McClements, 2012). Bu kırmızı bölgenin Wpc-70 seviyesi %1,6 civarına geldiğinde yeniden sarı ve yeşile dönmeye başladığı yani ζ 'nin mutlak değerinin artmaya başladığı gözlenmiştir. Bunu destekler şekilde Tek faktör grafikleri incelendiğinde; Özellikle Wpc-70'in %1,5 ve %2 konsantrasyonda sabit tutulduğu durumda, Tween 80 konsantrasyonunun artışıyla zeta potansiyelinin mutlak değerindeki düşme eğiliminin azaldığı gözlenmektedir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).

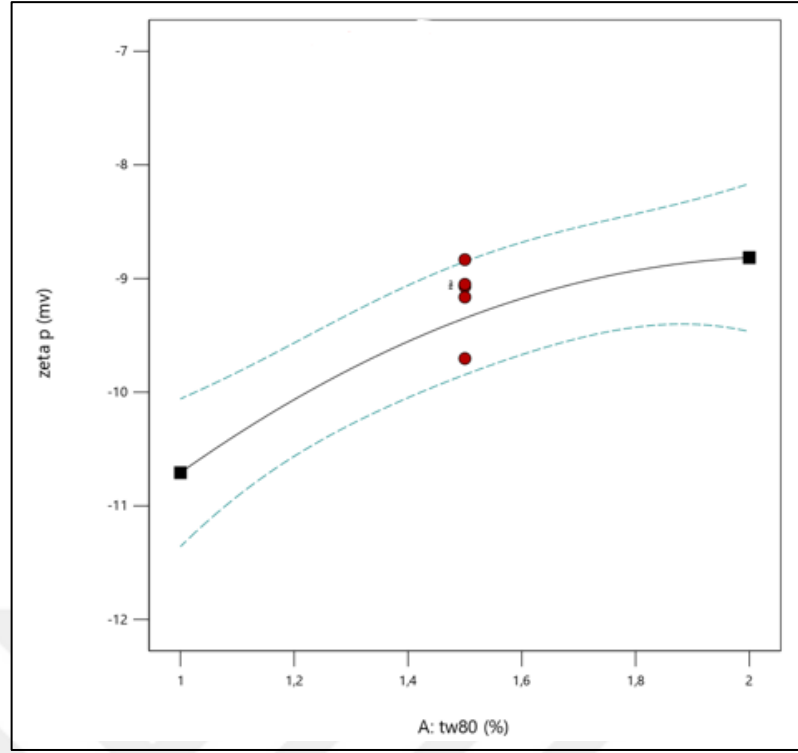
Tween 80 ile hazırlanan tarçın nanoemülsiyonlarının sonuçları, yüzey aktif madde konsantrasyonundaki artışla birlikte nanoemülsiyonların elektro negatifliğinin arttığını ortaya koymuş ve minimum yüzey aktif madde/yağ oranında (1:1) ζ 'nin -7,68 iken artan oranla negatif yükün de arttığı ve maksimum oranda (4:1) -18,5 mV'a ulaştığı bildirilmiştir (Kaur vd., 2021). D vitaminin kanola yağı içinde taşındığı bir yağ içinde su nanoemülsiyonu titrasyon tekniği kullanılarak Tween 80 ve Span 80 ile stabilize edildiği bir çalışmada D vitamini içermeyen kör nanoemülsiyon örnekleri ve D vitamini yüklü nanoemülsiyonlar için zeta potansiyeli sonuçları sırasıyla -9.71 ila -15.32 mV ve -7.29 ila -13.56 mV arasında değişmiştir (Khalid vd., 2023). E vitaminin orta zincirli yağasitleri içeren bir yağ içerisinde taşındığı, yağ içinde su nanoemülsiyonu Tween 80/Brij 35 karışımının kullanılarak membran yöntemiyle hazırlanmış ve -16,5 mV ζ değeri elde edilmiştir (Laouini vd., 2012). Bu çalışmalarda ulaşılan ζ değerleri bizim çalışmamızda birinci ve ikinci deney planlarında elde ettiğimiz sonuçlarla benzer olarak negatif yüklü ve mutlak değer olarak 20 altındadır.



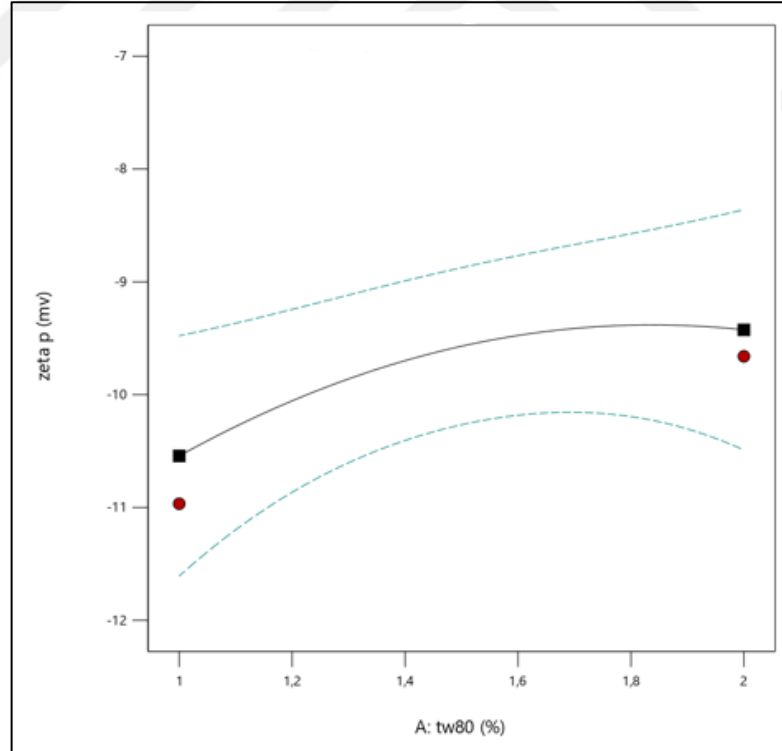
Şekil 4.12. WPC-70 ve Tween 80 derişiminin parçacık boyutuna birlikte etkileri.



Şekil 4.13. %1 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.



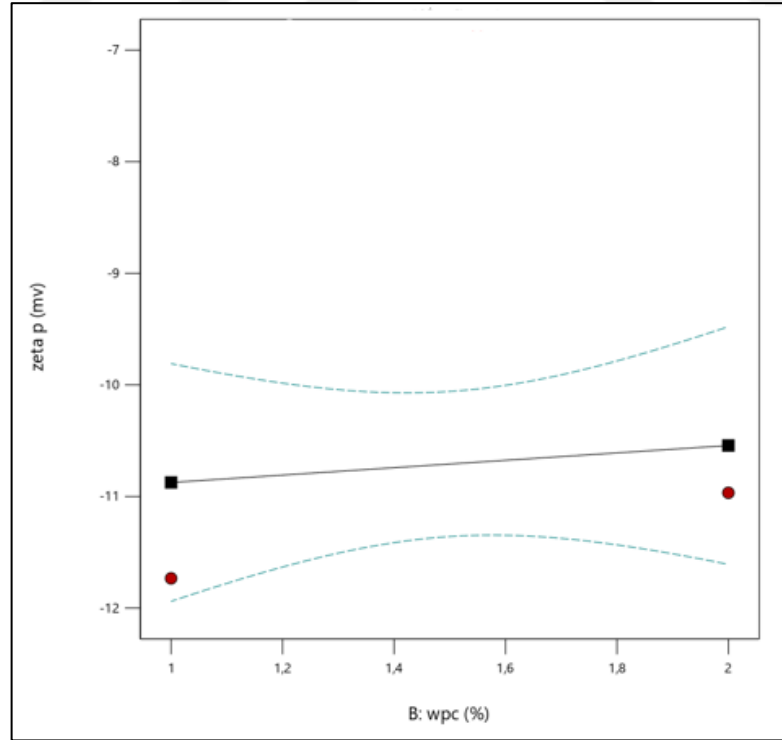
Şekil 4.14. %1,5 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.



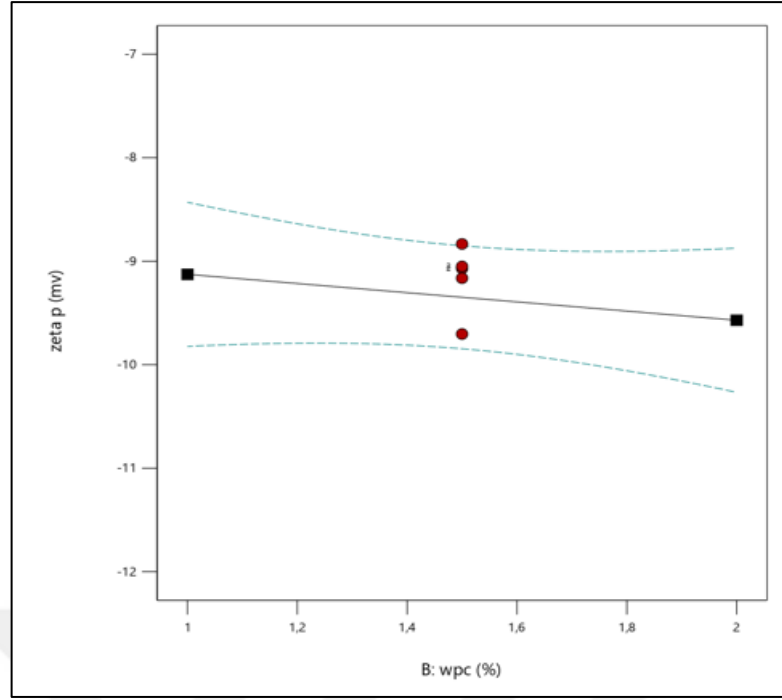
Şekil 4.15. %2 Wpc-70, Tween 80 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.

İstatiksel olarak Wpc-70'in zeta potansiyeline etkisi önemli bulunmamıştı ancak grafikler incelendiğinde belli bir seviye üzerinde bu etkinin olabileceği söylenebilir.

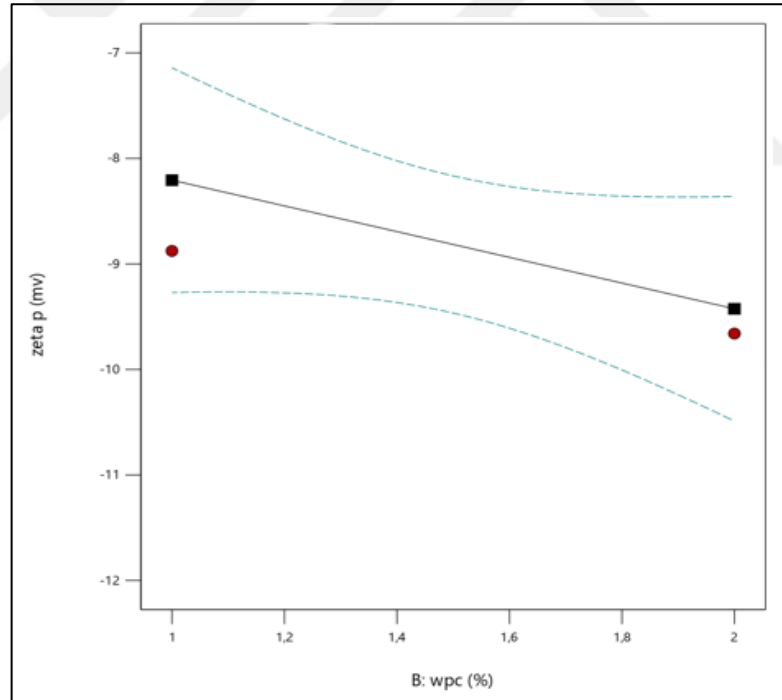
Wpc-70 için tek faktör grafikleri incelendiğinde Tween 80 konsantrasyonu %1 oranında sabit tutulurken, Wpc-70 konsantrasyonu arttırıldığında zeta potansiyelinde önemli bir değişim olmadığı grafikte görülmektedir (Şekil 4.16). Tween 80 konsantrasyonu %1,5 oranında sabit tutulurken, Wpc-70 konsantrasyonu arttırıldığında zeta potansiyelinin mutlak değerinde az da olsa artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). Tween 80 konsantrasyonu %2 oranında sabit tutulurken, Wpc-70 konsantrasyonu arttırıldığında zeta potansiyelinin mutlak değerinde bir miktar büyüme olduğu görülmektedir (Şekil 4.18). Bir çalışmada orta zincirli yağasitlerinden oluşan yağ peynir altı suyu izolatu yardımıyla su içerisinde ultrasonikasyon uygulanarak nanoemülsiyon elde edilmiştir. Sırasıyla %1, %3 ve %5 izolat içeren örneklerin ζ değerleri, -58.7 ± 2.4 , -60.0 ± 1.6 ve -59.7 ± 1.9 olarak bulunmuştur (Pingping, vd., 2019). Bu çalışmada da zeta potansiyeline peynir altı suyu protein izolatının etkisi anlamlı bulunmamıştır. Peynir altı suyu proteini ile yine negatif yük elde edilmiş ancak mutlak değer olarak bizim çalışmada bulduğumuzdan oldukça büyük ζ değerleri elde edilmiştir. Peynir altı suyu proteini ile stabilize edilmiş nanoemülsiyonlar, yüksek zeta potansiyel değerleri ile stabiliteleri açısından umut vadetmektedir.



Şekil 4.16. %1 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.



Şekil 4.17. %1,5 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.



Şekil 4.18. %2 Tween 80, Wpc-70 değişiminin zeta potansiyeline etkisi.

4.3 Depolama Çalışmaları

İkinci deneme grubunda merkez noktayı oluşturan %1,5 oranında Tween 80 ve Wpc-70 içeren örnek ve aynı içerikte ancak keçiyoynuzu barındırmayan kontrol örneği

depolamada değişimi görebilmek için iki hafta +4  C'de muhafaza edilmiş ardından 7. gün ve 14. günde zeta potansiyeli ve parçacık boyutu analizleri yapılmıştır. Bunun sonucunda her iki örnek grubu içinde damlacık boyutundaki artışın az olduğu (~ 10 nm) ve parçacık boyutunun hala nanoemülsiyon için istenilen değer aralığında olduğu görülmektedir ( izelge 4.11). Zeta potansiyeli örnek için mutlak değer olarak azalmış gibi görülmekte, kontrol içinse birinci hafta artıp ikinci hafta azalmış gibi durmaktadır. Bu küçük değişimlerin sıcaklık gibi analiz koşullarından da etkilenme ihtimali vardır. Trend olarak bir artış ya da azalış, keskin düşüş ya da artışlar olmadığı için daha ileri çalışmalar yapmadan tartışmak anlamlı olmayacaktır.



Çizelge 4.11. ζ için azaltılmış ikinci dereceden model varyans Çizelgesi (ANOVA).

	Tween 80 (% v/v)	Wpc-70 (% w/v)	Parçacık Boyutu (nm)		
			Başlangıç	1. Hafta	2. Hafta
Örnek	1,5	1,5	114,2±5,1	111,7±1,5	114,1±2,2
Kontrol	1,5	1,5	72,0±0,7	81,0±0,3	89,56±1,31
			Zeta Potansiyeli (mV)		
			Başlangıç	1. Hafta	2. Hafta
Örnek	1,5	1,5	-9,16±0,32	-7,54±0,18	-7,42±1,76
Kontrol	1,5	1,5	-13,57±0,70	-18,67±1,59	-11,23±0,59

4.4 Suda Çözünür Kuru Madde

İlk 13 örneğin brix değerleri 9,250 ve 11,000 arasında birbirine yakın değerler olarak elde edilmiştir. 14 numaralı keçiyoynuzu özü içermeyen kontrol numunesinin brix değeri 3,5 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. İkinci deneme Brix değerleri.

Deney No	Faktör 1 Tween 80 (% w/w)	Faktör 2 Whey Protein (% w/w)	Brix
1	2,2	1,5	10,500
2	2	2	11,000
3	1	2	10,000
4	1,5	1,5	10,000
5	1,5	1,5	10,000
6	0,8	1,5	9,250
7	1	1	9,500
8	1,5	0,8	10,400
9	1,5	1,5	10,000
10	1,5	1,5	10,000
11	1,5	1,5	10,000
12	1,5	2,2	10,800
13	2	1	10,000
14	1,5	1,5	3,5

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sporcuların antrenman sırasında ve sonrasında kaybettikleri sıvı ve elektrolit ihtiyacını karşılarken, aynı zamanda çağın pandemisi olarak adlandırılan D vitamini eksikliğinin önlenmesi adına günlük ihtiyaç duydukları D vitaminini pratik

bir şekilde doğal bir karbonhidrat ve tatlandırıcı kaynağı olan keçiyoynuzu özü içeren izotonik sporcu içeceği ile alabilmeleri için, nanoemülsiyon yöntemiyle D vitaminini su bazlı içeceğe entegre etmek amaçlanmıştır.

Birinci deneme grubunda yapılan 15 deneyden elde edilen parçacık boyutu sonuçları incelendiğinde hedeflenen parçacık boyutuna ulaşıldığı için nanoemülsiyon oluşturulduğu söylenebilmektedir. Zeta potansiyeli değerleri incelendiğinde, elde edilen değerlerden dolayı ürünün karasız olduğu yorumu yapılabilmektedir. Sonuçların Design Expert programında değerlendirilmesi sonucunda yanıt yüzey yönteminde herhangi bir modele uyumlanmadığı gözlenmiş ve yeni deney planı hazırlanarak ikinci deneme grubu ile çalışma yapılmıştır.

Yağ-su emülsiyonlarının oluşumu, kararlılığı ve performansı, tek bir emülgatör tipi yerine iki veya daha fazla farklı emülgatörün kombinasyonları kullanılarak iyileştirilebildiği sonucundan yola çıkarak Tween 80 ve Wpc-70'in farklı kombinasyonu kullanılarak denemeler yapılmıştır. Tween 80 damlacık yüzeyine hızla adsorbe olarak parçacık boyutu üzerinde daha etkili bir emülgatör iken, Wpc-70 hızla adsorbe olmayan ancak iyi stabilite sağlayan büyük bir emülgatör olduğu için tercih edilmiştir. İkinci deneme grubunda 13 numune ve keçiyoynuzu özü içermeyen bir kontrol numunesi ile çalışılmış; en düşük parçacık boyutu 71,98 nm, en yüksek zeta potansiyeli -13,567 mV kontrol numunesinde elde edilmiştir. Kontrol numunesi keçiyoynuzu özütü içermediği için sonikasyon etkisini azaltacak viskozite artışı olmadığı için parçacık boyutu diğer numunelerden daha düşük olmuştur. Ayrıca elektriksel yükü değiştirecek keçiyoynuzundan gelen iyonların ve gam özellikli bileşenlerin olmaması, ölçümü etkileyecek bulanıklık ve koyu renk bulunmaması sebebiyle zeta potansiyeli değeri de mutlak değer olarak daha yüksek bulunmuştur.

Keçiyoynuzu özütünü içeren içecek örneklerinde ise parçacık boyutu 85,810 nm ile 266,233 nm arasında değişmiştir. Tween 80 ve Wpc-70'in parçacık boyutuna etkisi azaltılmış kübik bir model ile açıklanmış ve modelin deneysel verileri açıklamada yeterli olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Model değişkenlerinden Tween 80 (A)'in tek başına etkisi ($p < 0,01$), Wpc-70 (B) ile beraber etkisi (AB) ($p > 0,05$), yine kendisinin kuadratik etkisi (A^2) ($p < 0,001$) ve Wpc-70'in kuadratik haliyle interaksyonel etkisi (AB^2) ($p < 0,01$) anlamlı bulunurken Wpc-70'in tek başına ve kuadratik etkisi önemsiz bulunmuştur.

ζ değerleri içecek örnekleri için -8,423 ile -11,733 mV arasında değişmiştir. Merkezi tümleşik deneme deseninin analizi sonucu zeta potansiyeli Azaltılmış İkinici Dereceden Model ile uyum sağlamıştır ($p < 0,05$). Modelde sadece Tween 80 (A)'in tek başına ζ 'ne etkisi önemli ve etkili bulunmuştur ($p < 0,01$). Diğer model terimlerinin Wpc-70 (B), emülgatörlerin beraber etkisi (AB), Tween 80'nin kuadratik etkisi (A^2) ($p > 0,05$) ise önemsiz bulunmuştur.

İkinici deneme grubu ile yapılan 14 günlük depolama çalışmasında parçacık boyutundaki artışın az olduğu ve ürünün nanoemülsiyon özelliğini koruduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tercih edilen emülgatör kombinasyonu depolama stabilitesi üzerinde olumlu etkilere sahip olmuştur. Yüzey aktif maddeye ek olarak tercih edilen protein içerikli yüzey aktif maddeler depolama sırasında meydana gelecek damlacık birleşmelerine karşı kararlı yapılar oluştururlar.

Tüketicilerin temiz içerikli ürünlere olan artan ilgisini içerdiği doğal emülgatör ve doğal tatlandırıcı olan keçiboynuzu ile karşılayacak olan ürünün, içecek olarak değerlendirilebilmesi için; duyusal analiz, kalite kriterleri ve raf ömrü belirleme çalışmaları yapılmalıdır. Yenilikçi bir yaklaşım olan nano üretim teknolojilerinin gıda üretim sistemlerinde kullanımı adına örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abulafia, O., Ashkenazi, E., Epstein, Y., Eliakim, A. ve Nemet, D., 2024. Characteristics of vitamin D concentration in Elite Israeli Olympic Athletes, *Nutriens*, 16, 2627-2635.
- Almults, W. R. ve German, J. B., 2001. Health enhancing properties of dairy ingredients, *Dairy Council Digest*, 7212, 7-12.
- Aswathanarayan, J. B. ve Vittal, R. R., 2019. Nanoemulsions and their potential applications in food industry, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 95.
- Ateş, A., 2018. Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11, 1, 63-69.
- Augustin, M. A. ve Sanguansri, P., 2006. Nanoscale materials development - a food industry perspective, *Trends in Food Science and Technolgy*, 17, 10, 547-556.
- Bengoechea, C., Puppo, M. C., Romero, A., Cordobés, F. ve Guerrero, A., 2007. Linear and Non-Linear viscoelasticity of emulsions containing carob protein as emulsifier, *Journal of Food Engineering*, 87, 124-135
- Buranakarl, C., Thammacharoen, S., Nuntapaitoon, M., Semsirnboon, S. ve Katoh, K., 2021. Validation of Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in goat colostrum, *Veterinary World*, 14, 3194-3199.
- Chen, C. C. ve Wagner, G., 2004. Vitamin E nanoparticle for beverage applications, *Chemical Engineering Research and Design*, 82, 1432- 1437.
- Colakoglu, F. F., Cayci, B., Yaman, M., Karacan, S., Gonulates, S. ve Ipekoglu, G., 2016. The effects of the intake of an isotonic sports drink before orienteering competitions on skeletal muscle damage, *Journal of Pyhsical The Therapy Science*, 28, 11, 3200-3204.
- Çınar, K., 2017. A review on nanoemulsions: Preparation methods and stability, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 18, 1, 73-83.
- Dasgupta, N., Ranjan, S. ve Gandhi, M., 2019. Nanoemulsions in food: market demand, *Environmental Chemistry Letters*, 17, 2, 1003-1009.
- De Wit, J. N., 1998. Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products, *Journal of Dairy Science*, 3, 81, 597-608.
- Demir, M., Demir, F. ve Aygun, H., 2021. Vitamin D deficiency is associated with COVID-19 positivity and severity of the disease, *Journal of Medical Virology*, 93, 2992-2999.

- El-Sherbiny, M., Eldosoky, M., El-Shafey, M., Othman Elkattawy, H., Bedir, T. ve MohsenElsherbiny, N., 2018. Vitamin D nanoemulsion enhances hepatoprotective effect of conventional vitamin D in rats fed with a high-fat diet, *Chemico-Biological Interactions*, 288, 65-75.
- Erbaş, M., 2006. Yeni bir gıda grubu olarak fonksiyonel gıdalar, Türkiye 9. Gıda Kongresi; Bolu.
- Ersoy, G., 2016. Fiziksel uygunluk (fitnes) spor ve beslenme ile ilgili temel öğretiler, 2.Baskı, Nobel Tıp Kitapevleri, Ankara
- Ersoy, G., 2010. Egzersiz ve spor performansı için beslenme, 3.Basım, Betik Kitap, Ankara.
- Fidan, F., Alkan, B. M. ve Tosun, A., 2014. Çağın pandemisi: D vitamini eksikliği ve yetersizliği, *Turkish Journal of Osteoporosis*, 20, 2, 71-74.
- German, J. B., Dillard, C. J., Walzem ve R. L., 2001. Whey products and dairy ingredients for health: A review, *United States Dairy Export Council*, 40, 10, 1197–1211.
- Gönen Aydın, C., 2014. Sporcularda D vitaminin etkileri, *Spor Hekimliği Dergisi*, 49, 3, 111– 122.
- Günel, N., 1999. Keçi Boynuzu (*Ceratonia Siliqua L.*) hum Türkiye’deki coğrafi yayılışı, ekolojik ve floristik özellikleri, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 2, 60-74.
- 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.
- Hasani, F., Pezeshki, A. ve Hamishehkar, H., 2002. Effect of surfactant and oil type on size droplets of betacarotene-bearing nanoemulsions, *Materials Science*, 20, 153-158.
- Hasani-Javanmardi, M., Fallah, A. A. ve Abbasvali, M., 2021. Effect of safflower oil nanoemulsion and cumin essential oil combined, *Food Science and Techonology*, 147, 367-373.
- Holick, M. F., Binkley, N. C., Bischoff-Ferrari, H. A., Gordon, M. C., Hanley, D. A. ve Heaney, R. P., 2011. Evaluation, treatment and prevention of vitamin D deficiency: an endocrine society clinical practice guideline, *The Journal Of Clinical Endocrinology Metabolism*, 96, 1911-1930.
- Holick, M., F. ve Chen, T. C., 2008. Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences, *The American Journal Of Clinical Nutrition*, 87, 1080-1086.

- Hu M., McClements, D. J. ve Decker E. A., 2003. Impact of whey protein emulsifiers on the oxidative stability of salmon oil-in-water emulsions, *Journal Of Agricultural Food Chemistry*, 51, 5, 1435–1439.
- İlyasoğlu, H. ve El, S. N., 2010. Nanoemülsiyonlar: Oluşumları, yapıları ve kollodial salınım sistemleri olarak gıda sektöründe kullanım alanları, *The Journal Of Food*, 35, 2, 143-150.
- Jafari, S. M., He, Y. ve Bhandari, B., 2006. Nano-Emulsion production by sonication and microfluidization a comparison, *International Journal of Food Properties*, 9, 3, 475-485.
- Jasmina, H., Dzana, H., Alisa, E., Edina, V. ve Ognjenka, R., 2017. Preparation of nanoemulsions by high-energy and lowenergy emulsification methods, *International Federation For Medical and Biological Engineering Proceedings*, 62, 317-315.
- Jeličić, I., Božanić, R. ve Tratnik, L., 2008. Whey-based beverages-a new generation of diary products, *Mljekarstvo*, 58, 3, 257-274.
- Jeukendrup, A. E. ve Wong, L., 2010. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20, 1, 112-121.
- Jin, W., Xu, W., Liang, H., Li, Y., Liu, S. ve Li, B., 2016. Nanoemulsions for food: properties, production, characterization, and applications, *Emulsions*, 1, 1-36.
- Kadappan, A. S., 2019. The efficacy of nanoemulsion-based delivery systems to improve vitamin d3 bioaccessibility and bioavailability, *Yüksek Lisans Tezi*, University of Massachusetts Amherst, ABD.
- Kaszuba, M., Corbett, J. C., Watson, F. M. ve Jones, A., 2010. High-concentration zeta potential measurements using light-scattering techniques, *Philosophical transactions, Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 368, 4439- 4451.
- Kaur, G., Singh, P. ve Sharma, S., 2021. Physical, morphological, and storage studies of cinnamon based nanoemulsions developed with Tween 80 and soy lecithin: a comparative study, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2386- 2398.
- Khalid, A., Arshad, M., Imran, A., Khalid, S. ve Shah, M., 2023. Development, stabilization, and characterization of nanoemulsion of vitamin D3-enriched canola oil, *Frontiers in Nutrition*, 10, 120-125.
- Koç, B. ve Kaymak Ertekin, F., 2010. Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları, *Gıda* 35, 1, 1-8.

- Komaiko, J. ve McClements, D. J., 2015. Low-energy formation of edible nanoemulsions by spontaneous emulsification: Factors influencing particle size, *Journal of Food Engineering*, 146, 122–128.
- Koşar, S., 2022. D vitamini ile zenginleştirilmiş keçiyoynuzu özütü içeren izotonik sporcu içeceği geliştirilmesinde nanoemülsiyon hazırlama denemesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Köse, N., 2023. Karvakrol yüklü nanoemülsiyonların karakterizasyonu ve antimikrobiyal etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Küçük, S. C., Yıbar, A., Saltıklar, G. ve Beynel, S., 2024. The association of vitamin D insufficiency/deficiency with metabolic syndrome, quality of life and depression in postmenopausal women, *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 13, 95-104.
- Lane, K. E., Li, W., Smith, C. ve Derbyshire, E., 2013. The bioavailability of omega-3-rich algal oil is improved by nanoemulsion technology using yogurt as a food vehicle, *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1264–1271.
- Laouini, A., Fessi, H. ve Charcosset, C., 2012. Membrane emulsification: A promising alternative for vitamin E encapsulation within nano-emulsion, *Journal of Membrane Science*, 423, 85-96.
- Li, M., Ma, Y. ve Cui, J., 2014. Whey-protein-stabilized nanoemulsions as a potential delivery system for water-insoluble curcumin, *Food Science and Technology*, 59, 1, 49-58.
- Maughan, R. J., Goodburn, R., Griffin, J., Irani, M., Kirwan, J. P. ve Leiper, J. B., 1993. Fluid replacement in sport and exercise- -a consensus statement, *British Journal Of Sports Medicine*, 27, 1, 34-35.
- Maurya, V. ve Aggarwal, M., 2019. Fabrication of nano-structured lipid carrier for encapsulation of vitamin D3 for fortification of ‘Lassi’; A milk based beverage, *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 193, 760-796.
- McClements, D. J. ve Jafari, S. M., 2018. Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 251, 55-79.
- McClements, D. J., 2012. Nanoemulsions versus microemulsions: Terminology, differences, and similarities., *Soft Matter*, 8, 1719-1729.
- McClements, D. J. ve Li, Y., 2010. Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food component, *Advances in Colloid and Interface Science*, 159, 213-228.

- Mehmood, T. ve Ahmed, A., 2020. Tween 80 and Soya-Lecithin-based food-grade nanoemulsions for the effective delivery of vitamin D, *Langmuir*, 36, 11, 2886-2892.
- Mehmood, T., Ahmad, A., Ahmed, A. ve Ahmed, Z., 2017. Optimization of olive oil based O/W nanoemulsions prepared through ultrasonic homogenization: A response surface methodology approach. *Food Chemistry*, 229, 790-796.
- Morales-Villar, A. B., Maldonado-Hernández, J., Álvarez-Licona, N. E., Piña-Aguero, M. I., Villalpando-Hernández, S., Robledo-Pérez, R. M., Díaz-Rangel, I., Barbosa-Cortés, M. L. ve Núñez-García, B. A., 2024. Determinants of vitamin D status in healthy young adults from Mexico City, *Archives of Medical Research*, 55, 3-4.
- O'Reilly, J. ve Wong, S. H., 2013. Effect of a carbohydrate drink on soccer skill performance following a sport-specific training program, *Journal of Exercise Science & Fitness*, 11, 95-101.
- Orkun, T. ve Ersoy, G., 2010. Yeni bir spor içeceği: Süt, Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 4, 2, 98-108.
- Ozturk, B., Argin, S., Özilgen, M. ve McClements, D. J. 2015. Formation and stabilization of nanoemulsion-based vitamin e delivery systems using natural biopolymers: Whey protein isolate and gum arabic., *Food Chemistry*, 188, 256– 263.
- Öncül Börekçi, N., 2019. Current information on Vitamin D deficiency, *The Journal of Turkish Family Physician*, 10, 35-42.
- Özçiçek, C. D., Giray, F. H. ve Şahin, A., 2012. Raflardaki yeni ürün fonksiyonel gıdalar ve getirdikleri, 10. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Konya, 948–955.
- Peshkovsky, A. S. ve Bystrak, S., 2014. Continuous-flow production of a pharmaceutical nanoemulsion by high-amplitude ultrasound: Process scale-up, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 82, 132-136.
- Pingping, H., Pu, F., Haoyang, Z., Diao, M., Zhao, C., Xi, C. ve Zhang, T., 2019. Whey protein stabilized nanoemulsion: A potential delivery system for ginsenoside Rg3 whey protein stabilized nanoemulsion: Potential Rg3 delivery system, *Food Bioscience*, 31, 2537-2544.
- Sari, T. P., Mann, B., Kumar, R., Singh, R. R. B., Sharma, R., Bhardwaj, M. ve Athira, S., 2014. Preparation and characterization of nanoemulsion encapsulating Curcumin, *Food Hydrocolloids*, 43, 540-546.

- Sarmandio, C. C., Téllez-Medina, D. I., Viveros-Contreras, R., Cornejo-Mazón, M., Figueroa-Hernández, C. Y., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., García, H. S. ve Gutiérrez-López, G. F., 2018. Zeta potential of food matrices, *Food Engineering Reviews*, 10, 113-138.
- Schoener, A. L., Zhang, R. S., Weiss, J. ve McClements, D. J., 2019. Fabrication of plantbased vitamin D 3-fortified nanoemulsions: Influence of carrier oil type on vitamin bioaccessibility, *Food Function*, 10, 4, 1826-1835.
- Shavi, M. H., Hosseini, M., Jahanshahi, M., Meyer, R. L. ve Darzi, G. N., 2015. Evaluation of critical parameters for preparation of stable clove oil nanoemulsion, *Arabian Journal of Chemistry*, 12, 8, 3225-3230.
- Silanikove, N., Landau, S., Or, D., Kababya, D., Bruckental, I. ve Nitsan, Z., 2006. Analytical approach and effects of condensed tannins in carob pods (*Ceratonia Siliqua*) on feed intake, Digestive and Metabolic Responses of Kids, *Livestock Science*, 99, 29-38.
- Sirke, C., 2023. Defneyaprağı (*Lauris Nobilis*) esansiyel yağının nanoemülsiyon formunun *sitophilus granarius*'a karşı insektisit etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Sultan, N., Arif, T., Shah, I. ve Khan, W., 2024. Effect of vitamin D on body mass index in football athletes, *Pedagogy of Physical Culture And Sports*, 28, 118-129.
- Suyanto, A., Noor, E., Rusli, M. S. ve Fahma, F., 2019. Nano-emulsion and nano-encapsulation of fruit flavor: Review, *International Conference on Food Science & Technology*, 292, 1, 12-25.
- Şahin, S. S., 2021. Fındık yağı nanoemülsiyonu oluşumu ve fiziksel kararlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- T.C. Resmi Gazete, Türk Gıda Kodeksi Sporcu Gıdaları Tebliği, 25308, 2003.
- Tian, Y., Chen, L. ve Zhang, W., 2016. Influence of ionic surfactants on the properties of nanoemulsions emulsified by nonionic surfactants Span 80/Tween 80, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 37, 1511-1517.
- Turnagöl, H. H., Aktitiz, S., Korur, D. C. ve Kuru, D., 2020. Farklı spor dallarında spor ve enerji içeceklerinin kullanımı ve performansa etkileri, *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, 31, 1, 29-44.
- Uçar, F., Taşlıpınar, M. Y., Soydaş, A. Ö. ve Özcan, N., 2012. Ankara Etlik İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesine başvuran hastalarda 25-OH vitamin D düzeyleri, *European Journal of Basic Medical Sciences*, 2, 12-15.
- Wacker, M. ve Holick, M., 2013. Sunlight and Vitamin D: A global perspective for health, *Dermato-Endocrinology*, 5, 51-108.

- Yetkin, İ., Çimen, A. R., 2010. Obezite tedavisinde diyet ve egzersiz, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Endokrinoloji ve Metabolizma Bilim Dalı, 4, 23-24.
- Yılmaz, K. ve Şen, V., 2020. Is vitamin D deficiency a risk factor for COVID-19 in children, *Pediatr Pulmonol*, 55, 12, 3595-3601.
- Yılmaz, M. Y., 2009. Keçiyoynuzu suyu üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yoon, J. H., Park, C. S., Seo, J. H., Choi, Y. S. ve Ahn, Y. M., 2011. Clinical characteristics and prevalence of vitamin D insufficiency in children less than two years of age, *Clinical and Experimental Pediatrics*, 54, 298-303.
- Zulli, F., Suter, F., Schmid, D. ve Liechti, C., 2006. Preparation and properties of coenzyme Q10 nanoemulsions, *Materials Science*, 28, 6, 561-568.
- Zunft, H. J. F., Lüder, W., Harde, A., Haber, B., Graubau, H. J., Koebnick, C. ve Grünwald, J., 2003. Carob pulp preparation rich in soluble fibre lowers total and ldl cholesterol in hypercholesterolemic patients, *European Journal of Nutrition*, 42, 235-242.
- URL-1, <https://www.ais.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods.pdf>, Erişim tarihi: 03.10.2024.
- URL-2, <<http://merlab.metu.edu.tr/tr/system/files/Belgeler/TanitimBrosurleri/PZL.pdf>>, Erişim tarihi: 06.09.2024.
- URL-3, <<https://www.statease.com/blog/understanding-lack-of-fit-when-to-worry/>>, Erişim tarihi: 06.09.2024.
- URL-4, <https://bandelin.com/Bedienungsanleitung/HD/HD_2xxx_GB_BANDELIN.pdf>, Erişim tarihi: 05.09.2024.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nilsu ŞEVİK

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Sakarya Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2012-2016

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 2021-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Uno-Unmaş Unlu Mamüller Sanayi / Üretim Stajı
2. Ankara Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü / Laboratuvar Stajı
3. Erciyes Börek / Üretim ve Kalite Sorumlusu
4. Bağdat Baharatları / Kalite Yönetim Temsilcisi
5. TP Dış Ticaret Gıda San ve Tic Ltd Şti (Turkproses) / Denetçi-Danışman

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Şahmurat, F. ve Şevik, N., 2024. Development of an isotonic sports drink fortified by vitamin D using nanoemulsion preparation technology by ultrasonication, 6. International Dicle Scientific Research And Innovation Congress, Diyarbakır.