

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**BİYOLOJİK MODÜL İÇERİKLİ MİNİ KÜP UYDU
LABORATUVARI TASARIM – İMALAT – KİNETİK TESTLER**

HAZIRLAYAN

DİLARA DURAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA- 2025

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**BİYOLOJİK MODÜL İÇERİKLİ MİNİ KÜP UYDU
LABORATUVARI TASARIM – İMALAT – KİNETİK TESTLER**

HAZIRLAYAN

DİLARA DURAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. DİLEK ÇÖKELİLER SERDAROĞLU

EŞ DANIŞMANI

DOÇ. DR. EVRİM GÜNEŞ ALTUNTAŞ

ANKARA- 2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı Biyomedikal Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Dilara Durak tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 20 / 01 / 2025

Tez Adı: Biyolojik Modül İçerikli Mini Küp Uydu Laboratuvarı Tasarım – İmalat – Kinetik Testler

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. Aykan BATU, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Dr. Hayrullah YILDIZ, Başkent Üniversitesi

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU, Başkent Üniversitesi (Danışman)

ONAY

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : / /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 17 / 02 / 2025

Öğrencinin Adı, Soyadı: Dilara DURAK

Öğrencinin Numarası: 22210040

Anabilim Dalı: Biyomedikal Mühendisliği

Programı: Biyomedikal Mühendisliği

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU

Tez Başlığı: Biyolojik Modül İçerikli Mini Küp Uydu Laboratuvarı Tasarım – İmalat – Kinetik Testler

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 112 sayfalık kısmına ilişkin, 17 / 02 / 2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %4'tür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı, İmza:

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bilimsel ve teknik destekleriyle K p Uydu mekanizmasını ortaya koyan Başkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Biyomedikal Mühendisliği Bölümleri'ne, sağladıkları değerli katkılar ve bilgi birikimlerini paylaşmaları için şükranlarımı sunarım. Bu proje, çalışmamın temel yapı taşını oluşturmuş ve elde edilen sonuçların şekillenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bölümler arasındaki bu disiplinler arası iş birliği, yalnızca çalışmam için değil, bilimsel anlamda da büyük bir kazanç olmuştur.

Öncelikle, tez sürecimin her aşamasında sabır, rehberlik ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Dilek   KEL LER SERDAROğLU'na ve eş danışmanım Doç. Dr. Evrim GüNEş ALTUNTAş'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın ilerlemesinde sundukları bilimsel görüşler, öneriler ve değerli yönlendirmeler benim için her zaman yol gösterici olmuştur. Bu süreçte karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında sundukları destek, çalışmamın başarisında büyük bir etken olmuştur.

Ayrıca, çalışmanın detaylarının geliştirilmesinde, farklı bakış açıları kazanmamda ve çalışmamı zenginleştirmemde önemli katkılarıyla her zaman yanımda olan Prof. Dr. Sedat NAZLIB LEK'e derin şükranlarımı sunarım. Tecrübeleri ve paylaştığı fikirler, çalışmama değer katmıştır.

Çalışmanın ilerleyişinde sağladığı destek ve yönlendirmeleriyle bana her zaman rehberlik eden Öğr. Gör. Gizem ÖZLÜ TÜRK'e gönülden teşekkür ederim. Sahip olduğu bilgi birikimi ve deneyimiyle katkıda bulunmuş, süreç boyunca yapıcı önerileriyle çalışmalarımın gelişimine önemli destek sağlamıştır.

Bunun yanı sıra, süreç boyunca çalışmanın çeşitli aşamalarında sağladığı teknik destek,  nerileri ve manevi destekleriyle süreci daha verimli hale getiren, sağladıkları rehberlikle yanımda olan Başkent Üniversitesi Araç. Gör. Göktuğ ş NALTIN'a, Başkent Üniversitesi Araç. Gör. Zeynep Büşra AYHAN'a ve değerli meslektaşım Mehmet Furkan SER M'e i ten teşekkür ederim. Fikir alışverişlerinde bulunmak, sürecin ilerlemesinde onların katkılarını görmek benim için büyük bir motivasyon kaynağı olmuştur.

Son olarak, bu süreçte sabırları, sevgileri ve her zaman yanımda olmalarıyla en büyük motivasyon kaynağım olan sevgili aileme teşekkürlerimi ifade etmek isterim. Onların varlığı, bu çalışmanın her aşamasında bana güç vermiştir.

ÖZET

Dilara DURAK

BİYOLOJİK MODÜL İÇERİKLİ MİNİ KÜP UYDU LABORATUVARI TASARIM – İMALAT – KİNETİK TESTLER

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

2025

Bu tez çalışmasında, mikrogravite koşullarının *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. NASA CubeSat standartlarına uygun olarak tasarlanan bir küp uydu yaşam bilimi modülü ve mikrogravite simülasyonu için bir 3D klinostat sistemi geliştirilmiştir. Çalışma, biyolojik deneylerin uzay ortamında güvenilir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla donanım ve mekanik tasarımlar üzerine yoğunlaşmıştır. *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin logaritmik büyüme fazındaki gelişimi, Baranyi büyüme modeli ile analiz edilmiştir. Deneyler, bakterilerin büyüme dinamiklerini etkileyen sıcaklık, başlangıç popülasyonu ve numune türü gibi faktörlerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Sonuçlar, mikrogravite simülasyonlarının bakteriyel büyüme sürecini yavaşlattığını ve stabil bir büyüme sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle 21°C sıcaklık koşulunda ortama taze hazırlanmış kültürden 10 µL ve 1 koloni başlangıç konsantrasyonu eklenmesi durumunda bakteriyel gelişimin optimal düzeyde olabileceği tespit edilmiştir. Bu çalışma, uzay biyolojisi alanında yapılacak ileri araştırmalar için güçlü bir altyapı sunmakta ve mikrogravite koşullarının biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Küp uydu, mikrogravite, *Escherichia coli* ATCC 25922, 3D klinostat, uzay biyolojisi

ABSTRACT

Dilara DURAK

**DESIGN, MANUFACTURING, AND KINETIC TESTING OF A BIOLOGICAL
MODULE-INTEGRATED MINI CUBESAT LABORATORY**

Başkent University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

2025

This thesis investigates the effects of microgravity conditions on the growth dynamics of *Escherichia coli* ATCC 25922 bacteria. A CubeSat life science module designed in accordance with NASA CubeSat standards and a 3D clinostat system for simulating microgravity were developed. The study focuses on hardware and mechanical designs to ensure the reliable execution of biological experiments in space environments. The logarithmic growth phase of *Escherichia coli* ATCC 25922 was analyzed using the Baranyi growth model. The experiments provided a detailed assessment of factors such as temperature, initial population, and sample type affecting bacterial growth dynamics. The results revealed that microgravity simulations slow down bacterial growth processes while promoting stable growth. Notably, a temperature of 21°C, fresh samples, and an initial concentration of 10 μ L and 1 colony were determined to be optimal conditions. This study provides a robust foundation for future research in space biology and offers significant insights into the effects of microgravity on biological systems.

KEYWORDS: CubeSat, microgravity, *Escherichia coli* ATCC 25922, 3D clinostat, space biology

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Türkiye'de ilk kez yaşam bilimleri (lifescience) alanında bir küp uydu projesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, küp uydunun yeryüzünde simüle edilen yörünge ortamındaki dış etkilere bağlı olarak, çoklu bir laboratuvar ortamı niteliği taşıması planlanmıştır. Bu proje, özgün tasarımıyla bilimsel araştırmalara yeni bir boyut kazandırmayı amaçlamaktadır. Küp uydu projesi, uzay mikrobiyolojisi ve uzay teknolojileri alanında önemli katkılar sağlamayı hedeflemiştir. Proje, yörünge ortamının simülasyonu sayesinde, ileri mühendislik tekniklerinin uygulanabilirliğini ortaya koymuş ve bu alanlardaki bilimsel bilgi birikimine katkı sunmuştur. Bu kapsamda, Başkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Biyomedikal Mühendisliği Bölümleri'nin ortak çalışmaları ve iş birliği ile küp uydu tasarım ve geliştirme aşamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın her aşamasında disiplinler arası iş birliği ve yenilikçi yaklaşımlar temel alınarak bilimsel ilerleme sağlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1.Küp Uydu	3
2.2.Bakteri ve Büyüme Eğrisi	4
2.3.Mikrogravite ve Klinostat Sistemi	7
3.MATERYAL METOT	10
3.1.Küp uydu yaşam bilimi modül tasarım ve imalatı	11
3.1.1.Donanım tasarımı	12
3.1.2.Mekanik tasarım.....	17
3.2.Klinostat ortam tasarım ve imalatı	19
3.3.Bakteri besiyeri ve stok hazırlama.....	23
3.3.1.Katı besiyeri	26
3.3.2.Sıvı besiyeri	27
3.4.Küp uydu yer testleri.....	29
3.4.1.Basınç Testi	30
3.4.2.İvme Testi	30
3.4.3.Piroşok Testi.....	30
3.4.4.Titreşim Testi	31
3.5.Küp Uydu Yaşam Bilimleri Modülü Bakteriyel Gelişim Testleri	32
4.SONUÇ	36
4.1.Küp uydu yaşam bilimi modül yük tasarım ve imalatı.....	36
4.1.1.Donanım tasarımı	37
4.1.2.Mekanik tasarım.....	38
4.2.Yaşam Bilim Modülü Çalışma Testi	39
4.3.Küp Uydu Yaşam Bilimleri Modülü Bakteriyel Gelişim Testleri.....	42
4.3.1.Ortam Sıcaklığının Etkisi	43

4.3.1.1.Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Süspansiyon (Grup 1).....	43
4.3.1.2.Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Koloni Bazlı (Grup 2).....	47
4.3.1.3.Klinostat Ortamında Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Süspansiyon (Grup 1)	48
4.3.1.4.Klinostat Ortamında Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Koloni Bazlı (Grup 2)	52
4.3.2.Başlangıç Bakteri Derişimi Etkisi	54
4.3.2.1.Senaryo A (Dondurulmuş) Örneklerinin Değerlendirilmesi	55
4.3.2.2.Senaryo B (Taze) Örneklerinin Değerlendirilmesi.....	57
4.3.3.Senaryo Farkının Etkisi	60
4.3.4.Mikrogravite Simülasyonunun Etkisi.....	70
4.4.Klinostat ortam tasarım ve imalatı	76
4.5.Küp uydu yer testleri.....	77
4.6.Bakteri test sonuçları.....	80
KAYNAKLAR.....	89
EKLER	92
EK-1 Devrenin Çalışma Algoritması	
EK-2 Deneyin Algoritması	

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1.Çalışma Testi Sonuç Tablosu.....	40
Tablo 4.2. Çalışma Testi Sonuç Grafiği 2	41
Tablo 4.3. Klinostatın RPM Sonuç Tablosu.....	77
Tablo 4.4. Lux Değerlerine Göre Bakteri Sayısı	81



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3D	Üç boyutlu (Three-Dimensional) modelleme ve simülasyon sistemleri.
BH1750	Işık yoğunluğunu ölçmek için kullanılan sensör.
BMP180	Basınç ve sıcaklık sensörü.
CAL POLY	California Polytechnic State University, CubeSat'ın geliştirildiği kurumlardan biri.
CFU/mL	Bir mililitredeki koloni oluşturma birimi (Colony-Forming Unit).
DNA	Deoksiribonükleik asit, genetik materyali ifade eder.
ESA	European Space Agency, Avrupa Uzay Ajansı.
FLST	Tanımlı sıvı besiyeri (Fluorocult Lauryl Sulphate Tryptose).
G	Yerçekimi ivmesi (örn: 1 G = 9,81 m/s ²).
HCl	Hidroklorik asit.
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit.
Hz	Hertz, frekans birimi.
IOD	In-Orbit Demonstration, yörünge içinde yapılan test veya demonstrasyon.
LEO	Low Earth Orbit, Dünya'nın alçak yörüngesi.
LUX	Işık yoğunluğu birimi.
MUG	4-Metilumbelliferyl-β-D-glukuronid.
mbar	Milibar, basınç birimi.
MM	Milimetre.
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Amerikan Uzay Ajansı.
OD600	600 nm dalga boyunda optik yoğunluk.
PH	Bir çözelti için asidik ya da bazik özelliği belirten parametre.
PCB	Printed Circuit Board, baskılı devre kartı.
PTD	Pathfinder Technology Demonstrator, teknoloji gösterim platformu.
RPM	Revolutions Per Minute, bir dakikadaki dönüş sayısı.
RNA	Ribonükleik asit, genetik materyalin bir formu.
TCS3200	Renk algılama sensörü.
TSB	Tryptic Soy Broth, sıvı besiyeri.
TSA	Tryptic Soy Agar, katı besiyeri.
UV	Ultraviyole, gözle görülemeyen kısa dalga boylu bir ışık türü.
W	Watt, güç birimi.
Ω	(Ohm) Elektriksel direnç birimi.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bakteri Büyüme Grafiği.....	5
Şekil 3.1.Elektronik Devre Şematik	13
Şekil 3.2. Elektronik Devre Baskısı.....	15
Şekil 3.3. Isı Devresi Baskısı.....	16
Şekil 3.4. Power Amplifikatörü Baskısı	16
Şekil 3.5. Küp Uydu Modeli Çizimi.....	17
Şekil 3.6. Küp Uydu İlk Model Görseli	18
Şekil 3.7. Küp Uydu İç Tasarım	19
Şekil 3.8. Klinostat Tasarımı	20
Şekil 3.9. β -glukuronidaz Enziminin MUG'u Parçalaması	25
Şekil 3.10. Bakteriyel Gelişiminin Akış Diyagramı.....	26
Şekil 3.11. Katı Besiyeri Çalışmalarından Örnekler A) Katı besiyeri örnek sürüntüsü alınan aşama B) Alınan sürüntünün ekimi	27
Şekil 3.12. Sıvı Besiyeri Çalışmalarından Örnekler A) Sıvı besiyerinde aktive edilmiş örnek aşaması B) Sıvı örneğin besiyerine ekilmesi	29
Şekil 4.1. Küp Uydu Donanım Sonuç Görseli.....	37
Şekil 4.2. Küp Uydu Mekanik Tasarım Sonuç Görseli	38
Şekil 4.3. Çalışma Testinden Örnekler A) Bakteri olmayan besiyeri B) Işıma yapan bakteri bulunan besiyeri.....	40
Şekil 4.4. Çalışma Testi Sonuç Grafiği	41
Şekil 4.5. Çalışma Testi Sonuç Grafiği 2	42
Şekil 4.6. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi(1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması	44
Şekil 4.7. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.....	44

Şekil 4.8. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL) oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması	45
Şekil 4.9. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.10. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması	46
Şekil 4.11. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.12. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	47
Şekil 4.13. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması	48
Şekil 4.14. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	49
Şekil 4.15. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması	50
Şekil 4.16. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	50
Şekil 4.17. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	51
Şekil 4.18. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	51
Şekil 4.19. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	52
Şekil 4.20. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.	53

Şekil 4.21. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.22. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması	55
Şekil 4.23. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	56
Şekil 4.24. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	56
Şekil 4.25. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	57
Şekil 4.26. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması	58
Şekil 4.27. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	59
Şekil 4.28. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	59
Şekil 4.29. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.	60
Şekil 4.30. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması. 61	
Şekil 4.31. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.	62
Şekil 4.32. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması	63
Şekil 4.33. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması. 63	
Şekil 4.34. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	63

Şekil 4.35. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.36. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.37. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.38. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.39. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.40. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.41. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.42. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.43. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.44. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.45. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.46. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma	70
Şekil 4.47. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	71

Şekil 4.48. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	71
Şekil 4.49. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	72
Şekil 4.50. Grup II (Katı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	72
Şekil 4.51. Grup II (Katı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	73
Şekil 4.52. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma	73
Şekil 4.53. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	74
Şekil 4.54. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	74
Şekil 4.55. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	75
Şekil 4.56. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	75
Şekil 4.57. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.	76
Şekil 4.58. Klinostat Cihazı.....	77
Şekil 4.59. Basınç Testi Sonuç Grafiği	78
Şekil 4.60. Titreşim Testi Sonuç Grafiği.....	79
Şekil 4.61. Piroşok Testi Sonuç Grafiği.....	79
Şekil 4.62. İvme Testi Sonuç Grafiği.....	80
Şekil 4.63. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir...	82

- Şekil 4.64. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta yapılan deney sonucu büyüme grafiğı.....83
- Şekil 4.65. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.....83
- Şekil 4.66. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta deney sonucu büyüme grafiğı.....84
- Şekil 4.67. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Ekimi Yapılmış ve Dondurulmuş, farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması.....85
- Şekil 4.68. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Taze Ekimi Yapılmış farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması.....86
- Şekil 4.69. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş,Ekimi Yapılmış ve Dondurulmuş,farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni),klinostat içinde A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması87
- Şekil 4.70. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Taze Ekimi Yapılmış farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması88

1. GİRİŞ

Uzay biyolojisi, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin çok yönlü bir alanı olarak öne çıkmaktadır. Çok sayıda bilimsel disiplinin bir araya geldiği bu alan, biyolojik sistemlerin mikrogravite gibi uzay ortamı koşullarındaki dinamiklerini anlamaya odaklanmıştır. Uzun süreli uzay misyonları, gezegenler arası yolculuklar ve kolonizasyon projeleri, mikrogravitenin biyolojik etkilerini anlamayı ve buna uygun biyolojik çözümler geliştirmeyi gerekli kılmıştır.

Uzay ortamında mikroorganizmalara dair yapılan araştırmalar, günümüzdeki uzay misyonları ve kolonizasyon projeleri için temel oluşturan çalışmalar arasındadır. Uzaydaki biyolojik süreçlerin daha iyi anlaşılması, astronotların sağlığından tarımsal uygulamalara kadar geniş bir yelpazede katkı sağlamaktadır. Yerçekimsiz ortamdaki organizmaların davranışları hem moleküler biyoloji hem de biyoteknoloji alanlarında yeni ufuklar açmaktadır. Küp uydu sistemi iki farklı yol izleyebilir. Bunlardan birincisi, serbest düşüş olup ortalama 580 saniye sürer. termosfer tabakasının 500. km'sine kadar yükselip, yeryüzüne geri düşüş yapmasıdır. İkincisi ise, yörüngede kalan sistem olup, sistem termosfer tabasında uyduların yer aldığı gibi yörüngede kalır ve daha uzun bir zaman sonra düşüş gerçekleştirir.

Mikrogravitenin biyolojik sistemler üzerindeki etkileri çok yönlü olup, organizmaların moleküler, hücresel ve organizma seviyesindeki fonksiyonlarını etkileyebilir. Yerçekiminin yokluğu veya minimize edilmiş bir şekilde hissedilmesi, hücresel çekirdek dinamiklerinden membran yapılarına, protein sentezinden gen ekspresyonuna kadar çeşitli biyolojik süreçlere önemli etkilerde bulunabilir. Mikrogravite ortamında gözlemlenen önemli biyolojik etkilerden bazıları şunlardır:

- Hücre Bölünmesi ve Büyümesi: Mikrogravite, hücresel çoğalma oranlarını ve büyümeyi yavaşlatabilir. Bu durum, *Escherichia coli* ATCC 25922 gibi model organizmalarda çok daha belirgin hale gelmiştir. Hücresel büyümeye etkiler, besin taşınım mekanizmalarındaki farklılıklardan ve difüzyonun kısıtlanmasından kaynaklanabilir.

- Metabolizma ve Gen Ekspresyonu: Mikrogravite, hücre metabolizmasını şekillendiren genetik yolların çalışma şekillerini değiştirebilir. Bu durum, biyolojik sistemlerin adaptasyon yeteneklerini ve stresi tolere etme kapasitesini etkileyebilir.
- Protein Yapısı ve Katlanması: Protein sentezi ve yapısal stabilite, mikrograviteden önemli ölçüde etkilenebilir. Proteinlerin üretim hızı azalabilir veya şekil bozuklukları meydana gelebilir. Bu, biyoteknolojik üretimler için kritik bir önem taşır.
- Mekanik Kuvvetlerin Eksikliği: Mikrogravite ortamında mekanik gerilimlerin azalması, hücresel düzenleme mekanizmalarını etkiler. Örneğin, mikrogravitede sitoskeleton yapılarının reorganizasyonu ve hücresel polarite kaybı gibi etkiler gözlenmiştir. Sitoskeleton (hücre iskeleti), hücrenin şeklinin korunmasını, hücre içi madde taşınımını ve hücrenin hareketini sağlayan dinamik bir yapı ağıdır. Protein bazlı bu yapı; mikrofilamentler (aktin filamentleri), mikrotübüller ve ara filamentlerden oluşur. Sitoskeleton, hücrenin mekanik dayanıklılığını sağlayarak dış kuvvetlere karşı direnç gösterir ve hücresel süreçlerin düzenlenmesine yardımcı olur [1].

Biyolojik sistemler, mikrogravitenin yarattığı bu etkilerle çoğu zaman uyum sağlamaya çalışır. Hücrelerin adaptasyon mekanizmaları, yerçekimi kaynaklı streslerin yokluğu nedeniyle yeniden düzenlenebilir. Bu adaptasyon süreçlerini anlamak, biyoteknoloji ve ilaç geliştirme gibi alanlarda önemli yeniliklere olanak tanır.

Sonuç olarak, bu araştırma, hem mikrogravitenin biyolojik sistemlere etkisini anlamak hem de uzay biyolojisi çalışmalarında ileriye dönük bir altyapı sağlamak için önemli bir adım teşkil etmektedir. İlerleyen bölümlerde, mikrogravitenin bu etkileri ayrıntılı bir şekilde ele alınacak ve *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların bulguları tartışılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. K p Uydu

K p uydular (CubeSat), standartlaştırılmış boyutları ve modüler yapıları ile uzay teknolojisi alanında yenilikçi     mler sunan küçük uydu platformlarıdır. 1999 yılında başlayan K p Uydu Projesi, California Polytechnic State University (Cal Poly), San Luis Obispo'dan Prof. Jordi Puig-Suari ve Stanford Üniversitesi Uzay Sistemleri Geliştirme Laboratuvarı'ndan (SSDL) Prof. Bob Twiggs'in ortak çalışması olarak başlatılmıştır. K p Uydu Projesi'nin amacı, maliyeti ve geliştirme süresini azaltmak, uzaya erişimi artırmak ve sık fırlatmaları sürdürülebilir hale getirmektir.

Bir Küp Uydu, standart bir boyut ve form faktörünü benimseyen bir uydu sınıfıdır ve bu birim 'U' olarak tanımlanır. 1U K p Uydu, 10 cm kenar uzunluğunda bir küp olup, kütlesi en fazla 2 kg'dır. Bu standardın birincil amacı, 1U'dan 12U'ya kadar değişen K p Uyduların tasarımına yönelik gereksinimleri sağlamaktır. K p uydular, üzerlerinde herhangi bir yakıt taşımadıkları için, zamanla yeryüzüne yaklaşır ve birkaç dakika, saat, gün, ay veya yıl içinde atmosfere girerek yanıp yok olurlar. Standartın ikincil amacı ise mevcut K p Uydu fırlatma sistemleri ve bunlara karşılık gelen arayüzler hakkında bilgi sağlamaktır. Düşük maliyetli üretimleri, kolay erişilebilirlikleri ve uyarlanabilir yapıları sayesinde eğitimden bilimsel araştırmalara ve ticari uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir [2].

K p uydular, özellikle düşük dünya yörüngesinde çalışacak şekilde tasarlanmış olup, yenilikçi bilimsel deneyler ve teknolojik doğrulama projeleri için verimli bir platform sunar. Çeşitli sensörler, deney üniteleri ve iletişim sistemleri taşıyabilme yetenekleri, onları uzay araştırmaları ve teknoloji geliştirme projelerinde popüler hale getirmiştir [3]. Ayrıca, kompakt yapıları ve esnek taşıma kapasiteleri sayesinde, daha büyük görevlerin bir parçası olarak roketlerde ek yük (secondary payload) olarak fırlatılabilirler.

Örneğin, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 2013 yılından bu yana bir dizi Yörünge   i Gösterim (IOD) CubeSat misyonu geliştirmiş ve u urmuştur; bu misyonlar, uzay teknolojilerinin ilerlemesindeki faydalarını sergilemiştir [4].

Ayrıca, NASA'nın Pathfinder Teknoloji Gösterimi (PTD) projesi, alçak Dünya yörüngesinde yeni teknolojileri test etmek için 6U CubeSat'lar kullanmaktadır ve bu da küp uyduların modern uzay keşfindeki çok yönlülüğünü ve artan önemini vurgulamaktadır [5].

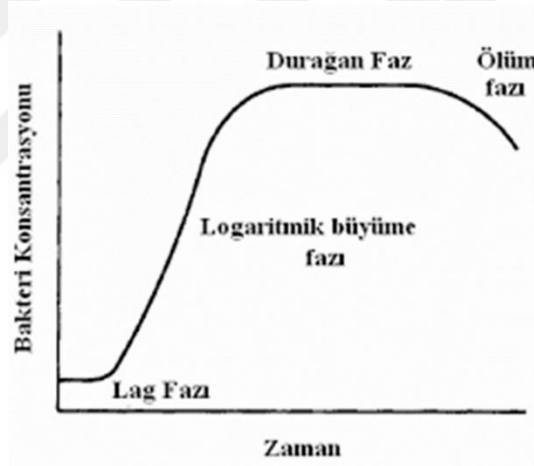
2.2. Bakteri ve Büyüme Eğrisi

Bakteriler, tek hücreli ve prokaryotik mikroorganizmalardır. Dünyanın hemen her yerinde bulunurlar ve çeşitli şekil, boyut ve metabolik özelliklere sahiptirler. Dünyanın hemen her yerinde bulunurlar ve çeşitli şekil, boyut ve metabolik özelliklere sahiptirler. Genetik materyalleri sitoplazmada serbest halde bulunur ve hücre duvarları peptidoglikan içerir. Bakteriler, morfolojik ve fizyolojik özelliklerine göre sınıflandırılır. Morfolojik olarak, şekillerine göre kok (yuvarlak), basil (çubuk) ve spiral (sarmal) olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Kok bakteriler tek tek veya farklı dizilişlerde bulunabilir; diplokoklar çift halinde, streptokoklar zincir halinde ve stafilokoklar üzüm salkımı şeklinde kümelenir. Basiller çubuk şeklinde olup kısa veya uzun formlara sahip olabilirken, spiral bakteriler ise esnek veya rijit sarmallar oluşturur. Oksijen ihtiyacına göre bakteriler aerob ve anaerob olarak iki ana gruba ayrılır. Aerob bakteriler, yaşamlarını sürdürebilmek için oksijene ihtiyaç duyar ve oksijenli solunum yaparak enerji üretirler. Anaerob bakteriler ise oksijenin varlığında hayatta kalamaz veya büyüyemezler; bunun yerine fermentasyon veya oksijensiz solunum yoluyla enerji üretirler. Anaerob bakteriler zorunlu (obligat) ve fakültatif olmak üzere ikiye ayrılır; obligat anaeroblar oksijene maruz kaldığında ölürken, fakültatif anaeroblar oksijen varlığında da yokluğunda da yaşayabilirler. Bazı bakteriler ise mikroaerofil olarak sınıflandırılır ve düşük oksijen seviyelerinde büyüyebilirler [6].

Escherichia coli, fakültatif anaerobik bir bakteri olup, oksijen varlığında aerobik solunum yapabilirken, oksijen yokluğunda fermentasyon veya anaerobik solunum yoluyla enerji üretebilir. Gram-negatif, çubuk şeklinde bir bakteri olan *Escherichia coli*, insan ve hayvanların bağırsaklarında doğal olarak bulunur ve genellikle sindirim sistemi sağlığı için faydalıdır. *Escherichia coli*, aerobik koşullarda organik bileşikleri oksijen kullanarak parçalayarak karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O) üretirken, oksijensiz ortamlarda fermentasyon yoluyla laktik asit, etanol ve diğer organik asitler gibi yan ürünler oluşturur. Fakültatif anaerob yapısı, bakterinin çeşitli çevresel koşullarda hayatta kalmasını ve adapte olmasını sağlar. Bu özellik, *Escherichia coli*'nin gıda, su ve tıbbi ortamlar gibi farklı alanlarda yaygın bulunmasına neden olmaktadır. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarında model organizma olarak

kullanılan *Escherichia coli*, genetik mühendislik ve biyoteknoloji araştırmalarında önemli bir yere sahiptir [7].

Escherichia coli, Gram-negatif ve fakültatif anaerobik bir bakteri olup, laboratuvar koşullarında genellikle 37°C sıcaklıkta ve nötr pH seviyesinde optimal büyüme gösterir. Uygun besin maddeleri sağlandığında, *Escherichia coli* yaklaşık 20 dakikada bir bölünerek hızlı bir üreme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte, çevresel koşulların değişmesi, örneğin sıcaklık ve basınçtaki farklılıklar, *Escherichia coli* 'nin büyüme hızını ve morfolojisini etkileyebilir. Yapılan araştırmalar, *Escherichia coli* 'nin 23°C ile 40°C arasındaki sıcaklıklarda ve 1 atm ile 400 atm arasındaki basınçlarda büyüyebildiğini göstermiştir. Ancak, 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, artan basınçla birlikte bölünme süresinin üstel olarak arttığı ve 250-400 atm arasında bu artışın daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, 30°C'nin altındaki sıcaklıklarda, basıncın artmasıyla önce bölünme süresinin azaldığı, ardından daha yüksek basınçlarda tekrar arttığı tespit edilmiştir [8].



Şekil 2.1. Bakteri Büyüme Grafiği

Escherichia coli ATCC 25922 bakterisinin büyüme safhaları, mikroorganizmaların laboratuvar ortamında üremesi ve büyüme dinamiklerinin anlaşılması açısından temel bir kavramdır. Bu süreç dört ana evrede incelenir (Şekil 2.1.) Lag fazı, logaritmik (log) faz, durağan faz ve ölüm fazı. İlk evre olan lag fazı, bakterilerin yeni bir ortama adapte olduğu, metabolik aktivitelerinin düzenlendiği ve hücre bölünmesinin gerçektelemediği bir hazırlık dönemidir. Bu evrede, protein sentezi ve enzim üretimi gibi metabolik süreçler baskındır. Takip eden logaritmik fazda, bakteriler ortam koşullarına uyum sağlar ve maksimum hızda bölünmeye başlar. Hücre sayısı logaritmik olarak artar, bu da bakterilerin büyüme oranlarının ölçülebilir olduğu en verimli evredir. Ancak, besinlerin tükenmeye başlaması ve

atık ürünlerin birikmesiyle durağan faza geçilir. Bu aşamada, hücre bölünmesi yavaşlar ve popülasyon büyümesi dengelenir. Son evre olan ölüm fazında ise, ortam koşullarının daha da kötüleşmesi nedeniyle hücrelerin hayatta kalma oranı azalır ve popülasyon yoğunluğu düşmeye başlar. *Escherichia coli* ATCC 25922'nin bu büyüme safhaları, besin yoğunluğu, sıcaklık ve pH gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir ve biyoteknolojik uygulamalarda mikrobiyal süreçlerin yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca *Escherichia coli*, doğal olarak β -glukuronidaz enzimi ürettiği için MUG (4-Methylumbelliferyl- β -D-Glucuronide) testi bu bakterinin spesifik tespitinde kullanılır. MUG (4-Methylumbelliferyl- β -D-Glucuronide) testi, *Escherichia coli*'nin β -glukuronidaz enzimi üretme kapasitesini belirlemek için kullanılan bir biyokimyasal testtir. Bu testte, besiyerinde bulunan MUG substratı (4-Metilumbelliferil- β -D-Glukuronid) β -glukuronidaz enzimi tarafından parçalanır. Bu parçalanma sonucu 4-metilumbelliferon (4-MU) açığa çıkar. 4-MU, UV ışık altında mavi floresan yayarak testin pozitif olduğunu gösterir. Bu yöntem, özellikle su ve gıda örneklerinde *Escherichia coli*'nin hızlı ve spesifik tespiti için kullanılır [9].

Mikrogravitenin *E. coli* K12 MG1655 bakterisinin büyümesi ve gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bir 3D klinostat kullanılmıştır. Bakteri kültürleri, LB besiyerinde inkübe edilerek optik yoğunluk (OD600) ölçümleri ile büyüme takip edilmiştir. Simüle mikrogravite koşullarında, normal yerçekimi koşullarına kıyasla %20'lik bir büyüme artışı gözlemlenmiştir. Mikrogravite, DNA replikasyonu ve hücresel stres yanıtı ile ilgili genlerde 2 ila 3 kat artışa neden olmuştur. Ek olarak, belirli metabolik yolların aşağı regüle olduğu saptanmıştır [10].

Daha önceki çalışmalarda, mikrogravitenin *Escherichia coli*'nin büyüme fazları üzerindeki etkilerini incelemek ve bu değişimlerin altında yatan fiziksel mekanizmaları anlama üzerine çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, *E. coli* kültürleri yedi farklı Space Shuttle görevinde ticari biyoproses cihazları kullanılarak büyütülmüş ve Dünya kontrol grupları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde büyüme kinetikleri, hücre popülasyon yoğunluğu ve mikrogravitenin sıvı dinamiklerine etkisi değerlendirilmiştir. Optik yoğunluk ölçümleri spektrofotometreler aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve veriler gerçek zamanlı olarak yer kontrol merkezine aktarılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, uzay ortamında *E. coli*'nin lag fazının kısaldığı, eksponansiyel büyüme fazının uzadığı ve son hücre popülasyon yoğunluğunun yaklaşık iki katına çıktığı belirlenmiştir. Bu bulgular, mikrogravitenin hücre

büyümesini doğrudan değil, hücre çevresindeki sıvı ortamı etkileyerek dolaylı olarak değiştirdiğini ve besin alımı ile metabolik atık uzaklaştırma süreçlerinin değişime uğradığını göstermektedir [11].

Escherichia coli ATCC 25922, mikrogravitenin biyolojik etkilerini incelemek için sıkça tercih edilen model organizmalardan biridir. Bu bakterinin tercih edilme nedenleri şunlardır:

- Hızlı Büyümesi ve Kolay Üretimi: *Escherichia coli* ATCC 25922, kısa ikilenme süreleri ile laboratuvar ortamında kolayca çoğaltılabilir.
- Genetik Olarak Manipüle Edilebilirlik: Genetik çalışmalar için uygundur ve genetik kodları kolayca değiştirilebilir.
- Uzay Ortamına Dayanıklılık: Zorunlu aerob olmadığı için *Escherichia coli* ATCC 25922, uzay ortamında kullanımının elverişli olduğu kanıtlanmıştır.
- Geniş Literatür: *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerine yapılan genetik ve biyolojik araştırmaların bolluğu, onu ideal bir model organizma yapar.

Escherichia coli ATCC 25922 'nin bu avantajları, mikrogravite koşullarında büyük bir veri tabanı oluşturarak biyolojik sistemler üzerine yeni bilgiler sunar. Aynı zamanda, uzay biyolojisi çalışmaları için de yenilikçi uygulamaların test edilmesi için ideal bir organizmadır.

2.3. Mikrogravite ve Klinostat Sistemi

Mikrogravite, yerçekimi kuvvetinin çok düşük seviyelerde hissedildiği bir ortamı ifade eder ve bu ortam, biyolojik organizmalar üzerinde benzersiz etkiler yaratmaktadır. Mikrogravite, bir nesnenin maruz kaldığı ivmenin, Dünya'daki standart yerçekimi ivmesinin (yaklaşık $9,8 \text{ m/s}^2$) çok küçük bir kısmına, genellikle milyonda birine (10^{-6} g) düştüğü ortamları tanımlar. Bu durum, serbest düşüş sırasında veya uzay araçlarının yörüngede hareketi esnasında deneyimlenir. Örneğin, Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS), Dünya etrafında yaklaşık 400 km yükseklikte yörüngede dönerken sürekli serbest düşüş halinde olduğundan, içindeki astronotlar mikrogravite koşullarını yaşarlar. Bu ortamda, yerçekimi kuvvetleri tamamen ortadan kalkmaz, ancak çok düşük seviyelere iner, bu nedenle "mikro" (çok küçük) terimi kullanılır. Mikrogravite ortamları, bilim insanlarına yerçekiminin etkilerinin minimize edildiği deneyler yapma fırsatı sunar [12].

Mikrograviteyi Dünya'da simüle etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri, uçakların belirli bir açıyla yükselip alçalmasıyla gerçekleştirilen "parabolik uçuş" yöntemidir; bu teknik, kısa süreli (yaklaşık 22 saniye) mikrogravite ortamları sağlar. Ayrıca, döner biyoreaktör sistemleri (RCCS) gibi cihazlar, hücre ve doku kültürlerinde mikrogravite etkilerini taklit etmek için kullanılır. Bu sistemler, hücrelerin sürekli rotasyonu yoluyla mikrogravite benzeri bir ortam oluşturur ve biyolojik araştırmalarda fayda sağlar. Bunun yanı sıra, rastgele konumlandırma makineleri (RPM) ve klinostatlar gibi cihazlar da mikrograviteyi simüle etmek için kullanılır; bu cihazlar, numunelerin farklı eksenler etrafında sürekli döndürülmesiyle mikrogravite etkilerini taklit eder. Bu yöntemler, mikrogravitenin biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini incelemek için önemli araçlardır [12].

Yer tabanlı mikrogravite simülasyon sistemleri, uzay ortamında çalışma yapmak yerine daha az maliyetli ve kontrol edilebilir bir alternatif sunar. 3D klinostatlar, mikrograviteyi simüle etmek için en yaygın olarak kullanılan sistemlerdendir. Bu cihazlar, numuneyi çift eksen etrafında döndürerek algılanan net yerçekimini minimuma indirir.

3D klinostat kullanımı, *Escherichia coli* ATCC 25922 gibi mikroorganizmaların büyüme etkileyen faktörlerini ayrıntılı olarak incelemek için etkili bir yöntem sunmaktadır. Mikrogravite etkisinin simüle edildiği bu ortamlarda, bakteriyel büyümeyi etkileyen parametrelerin şu faktörlerle optimize edilmesi hedeflenir:

- Sıcaklık: Deney sırasında örneklerin bulunduğu alanın sıcaklığının 20 ila 25°C arasında değişeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, deneysel koşulların belirlenen sıcaklık aralığını temsil edebilmesi amacıyla, muhtemel sıcaklık değerleri olan 21°C ve 23°C arası farklı koşullar test edilmiştir.
- Besin Maddesi ve Ortam Seçimi: Çalışmada UV ışımanın oluşmasına imkan verebilecek besiyeri (FLST) tercih edildi. Besiortamına ekim öncesinde farklı ortamlarda (sıvı ve katı besiortamları) geliştirilmiş bakteriler ile çalışılarak, inokülasyonda kullanılan mikroorganizmaların sıvıda dağılmış hücre ya da katıda geliştirilmiş koloni olması durumunda oluşabilecek farklılıklar incelendi.
- Dönüş Hızı: Dönme parametrelerinin mikrogravite simülasyonu etkisi üzerindeki rolü değerlendirilmiştir.

Mikrogravite, moleküler seviyede önemli etkiler yaratmaktadır. Protein sentez mekanizmalarından gen ekspresyonuna kadar çok sayıda biyokimyasal yolak, mikrogravitenin etkilerine açıktır. Özellikle:

- RNA ve DNA Stabilitesi: Mikrogravite, genetik materyalin stabilitesini etkileyebilir ve mutasyon oranlarını artırabilir.
- Metabolik Adaptasyon: Hücrel enerji üretim yolları mikrogravitede yeniden organize olur.
- Mekanik Kuvvetlerin Eksikliği: Bu durum, sitoskeleton yapılarında değişikliğe neden olabilir.

Bu çalışmanın temel amacı, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin mikrogravite ortamındaki büyüme dinamiklerini anlamak ve bu alandaki bilgi boşluğunu doldurmaktır. Mikrogravitenin büyümeye, metabolizmaya ve gen ekspresyonuna etkilerini anlamak, uzun vadeli uzay misyonlarında biyolojik sistemlerin devamını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, bu araştırma, hem mikrogravitenin biyolojik sistemlere etkisini anlamak hem de uzay biyolojisi çalışmalarında ileriye dönük bir altyapı sağlamak için önemli bir adım teşkil etmektedir. İlerleyen bölümlerde, mikrogravitenin bu etkileri ayrıntılı bir şekilde ele alınacak ve *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların bulguları tartışılacaktır.

3. MATERYAL METOT

Bu çalışmada, mikrogravite koşullarının *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri üzerindeki etkilerini incelemek için donanım ve deneysel süreçler titizlikle tasarlanmıştır. Çalışma, iki temel bileşen üzerine yoğunlaşmıştır: mikrograviteyi simüle etmek amacıyla geliştirilen bir 3D klinostat sistemi ve biyolojik deneylerin uzay ortamında gerçekleştirilmesini sağlamak için tasarlanan bir küp uydu yaşam bilimi modülü.

Klinostat sistemi, mikrogravite etkilerini simüle etmek için tasarlanmış çift eksenli bir döner mekanizmadır. Bu sistemde, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisi örnekleri hassas dönüş hızlarıyla döndürülerek yerçekimi etkileri minimize edilmiştir. Sistem, Arduino Nano mikrodenetleyicisi ile kontrol edilmiştir ve dönüş hızları elde edilmiştir. Bu hız değerleri, biyolojik örneklerin etkili bir şekilde mikrogravite koşullarında simüle edilmesini sağlamıştır.

Küp uydu yaşam bilimi modülü, NASA CubeSat standartlarına uygun olarak 2U boyutlarında tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Modül, sensör entegrasyonları ile biyolojik verilerin hassas bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. Donanımda kullanılan BH1750 ışık sensörü, TCS3200 renk tanıma sensörü ve BMP180 basınç-sıcaklık sensörü, deney sırasında örneklerin çevresel parametrelerini izlemek üzere kullanılmıştır. Ayrıca, modülün içindeki sıcaklığı kontrol etmek için bir ısıtma devresi tasarlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda, *Escherichia coli* ATCC 25922 suşu kullanılmış ve büyüme dinamiklerini analiz etmek için hem sıvı (Tryptic Soy Broth) hem de katı (Tryptic Soy Agar) besiyerleri hazırlanmıştır. İki farklı ortamda geliştirilen bakteri hücreleri floresan ışımının oluşacağı ve takip edileceği FLST besiortamına aktararak denemeler gerçekleştirilmiştir. Baranyi büyüme modeli temel alınarak, sıcaklık, numune tipi ve başlangıç konsantrasyonuna bağlı olarak büyüme süreçleri incelenmiştir. Veriler, matematiksel modellemeler ile analiz edilmiş ve büyüme eğrileri çıkarılmıştır.

Bu metotlarla, mikrogravitenin bakteriyel büyüme üzerindeki etkilerini incelemek ve bu alandaki bilgi boşluklarını dolduracak veriler elde etmek hedeflenmiştir.

3.1. K p uydu yaşam bilimi modül tasarım ve imalatı

K p uydu projelerinde yaşam bilimi modülünün tasarım ve imalatı, biyolojik deneylerin uzay ortamındaki dinamik koşullarda güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini hedefler. Bu süreçte donanım ve mekanik tasarımlar, modülün işlevselliğini, dayanıklılığını ve verimliliğini maksimize etmek için bir araya getirilmiştir. Donanım tasarımında, uzay koşullarına uygun sensörler ve mikro denetleyiciler entegre edilerek deneysel verilerin hassas bir şekilde toplanması sağlanmıştır. Mekanik tasarım ise, NASA CubeSat standartlarına uyumlu olarak modüler bir yapı oluşturarak fırlatma ve operasyon sırasında maksimum stabilite sağlamayı amaçlamıştır. Yaşam bilimi modülünde yer alan biyolojik örneklerin büyüme ve metabolik aktiviteleri, bu ileri teknoloji bileşenler ve uygun yerleşim sayesinde hassas bir şekilde gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır.

Toplu kültürde yetiştirilen bakteriler dört büyüme aşamasından geçerek ilerler: gecikme, üstel, durağan ve  l m. Gecikme aşaması, bakterilerin hızlı hücre büyümesi ve bölünmesi yeteneğine sahip fizyolojik bir duruma ulaşması için geçen süredir. Üstel aşama, DNA replikasyonunun, RNA transkripsiyonunun ve protein üretiminin sabit, hızlı bir oranda gerçekleştiği en hızlı hücre büyümesi ve bölünmesi aşamasıdır. Sabit faz, besin sınırlaması ve/veya toksik ara madde birikimi nedeniyle bakteri büyümesinin yavaşlaması ve düzleşmesi ile karakterize edilir. Ölüm aşaması, ciddi besin sınırlaması sonucu hücre lizisinin meydana geldiği aşamadır [13].

Escherichia coli ATCC 25922 bakterisinin bu aşamalardan ikisi baz alınarak incelemesi yapılacaktır. *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisi deneysel çalışmalarda en çok tercih edilen bakteri türü olduğu için bu bakteriye dair deneysel sonuçlar fazla olması, zorunlu aerob olmadığı için uzay ortamı koşullarına zorunlu aerob bakterilere göre daha çok uyum sağlaması ve ikilenme süresi yirmi dakika olduğu için olgunlaşma süreci kısa olması nedeniyle tercih edilen bakteri olarak seçilmiştir [14].

Bu  alışma, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin uzay ortamındaki farklı büyüme parametrelerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, bakterinin logaritmik büyüme fazında, roket faydalı yük kompartımanı içinde, 2U boyutunda bir platformda uzay koşullarına verdiği tepkiler analiz edilecektir. Bu doğrultuda, uzay ortamı parametrelerinin; mikrogravite koşullarını simüle etmek amacıyla 3D klinostat kullanılarak, *E. coli*

bakterisinin uzay ortamında maruz kalabileceği yerçekimi, sıvı dinamiği ve adaptasyon süreçleri gibi parametreler baz alınarak bakteriyel büyüme üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

Projenin temelini, Küp Uydu platformu oluşturmaktadır. Küp Uydu'nun, yeryüzünde uzay yörüngesel çevresini simüle eden çoklu laboratuvar ortamı olarak işlev görmesi hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, hem mikrogravite koşullarının hem de diğer uzay ortamı değişkenlerinin bakteriyel gelişim üzerindeki etkilerini yeryüzü laboratuvarlarında incelemeyi mümkün kılacaktır.

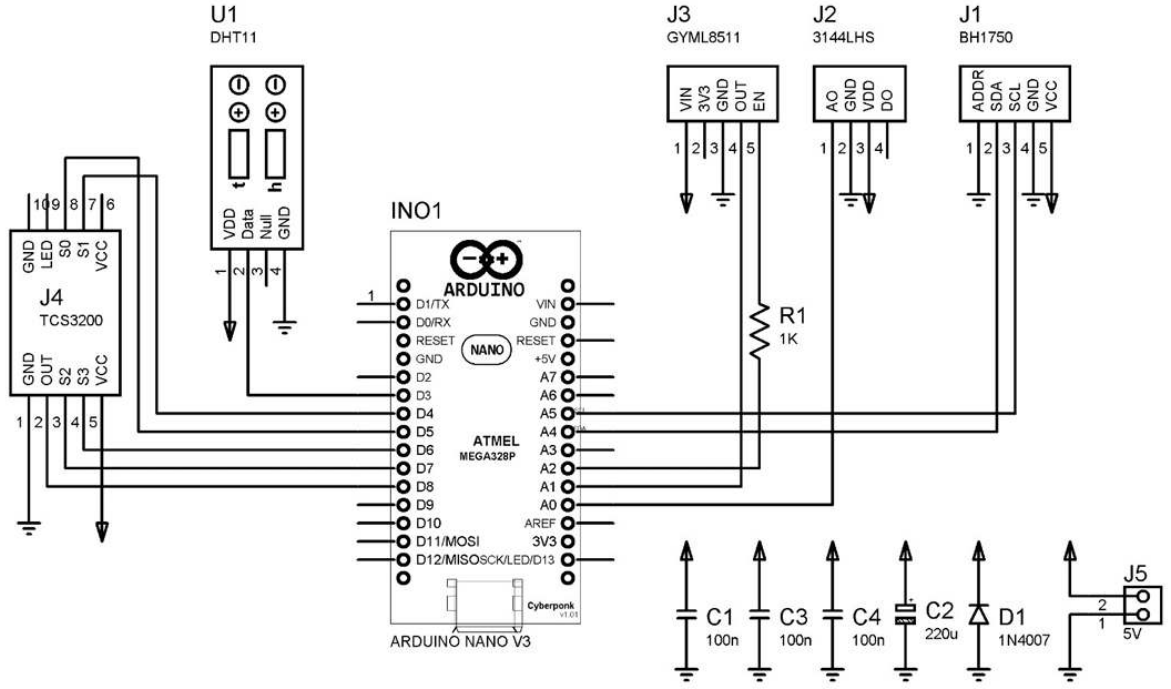
Çalışma, daha önce tasarlanmış bir küp uydu platformunu temel alarak, *Escherichia coli* ATCC 25922'nin logaritmik büyüme fazında uzay koşullarına verdiği tepkileri ölçmeye odaklanmaktadır. Bu kapsamda, bakterinin büyüme kinetikleri, gen ekspresyonu ve metabolik aktivitelerindeki değişimlerin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, uzay biyolojisi alanında gerçekleştirilecek daha kapsamlı araştırmalara öncülük etme potansiyeli taşımaktadır.

3.1.1. Donanım tasarımı

Bu çalışmanın kapsamında devre tasarımlarının prototip çalışmaları ve baskı devre kartı (PCB) üretim süreçleri sistematik bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. İzlenilen adımlar aşağıda detaylandırılmıştır:

i. Proteus Şematik Tasarım ve Breadboard Kurulumu

Öncelikle devrenin Proteus yazılımında şematik tasarımı gerçekleştirilmiş ve simülasyon çalışmalarıyla doğrulanmıştır (Şekil 3.1). Ardından, tasarım breadboard üzerinde gerçek donanım ile kurulmuş ve sistemin beklenen şekilde çalıştığı test edilmiştir.



Şekil 3.1.Elektronik Devre Şematik

ii. PCB Çizimi ve Hazırlık Aşamaları

PCB çizimi, CAD tabanlı bir tasarım yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve layout çıktıları tek bir sayfa üzerinde alınmıştır. Daha sonra devre şemaları bir makas yardımıyla birbirinden ayrılmıştır.

Devrenin uygulanacağı bakır plakalar uygun boyutlarda kesilmiş ve plakalar alkol ve mendil yardımıyla temizlenmiştir. Bakır plakaların yüzeyinde derin kesikler veya pürüzlük bulunmadığı için zımparalama işlemi gerekmemiştir.

iii. Baskı Transferi

Devre şemaları, şemanın mürekkepli yüzeyi bakır plakaya temas edecek şekilde bant yardımıyla plakalara yapıştırılmıştır. Baskı transfer sırasında şemanın bulunduğu kağıdın doğrudan ısıya maruz kalmaması için bakır plaka bir peçeteye sarılmış ve şema yüzeyi yukarıda kalacak şekilde bir ahşap zemin üzerine yerleştirilmiştir. Plaka, 15-16 dakika boyunca yüksek sıcaklık ve basınç altında tutulmuş ve mürekkepli alanın bakır plakaya transferi sağlanmıştır. Daha sonra parça soğumaya bırakılmıştır.

iv. Asit Havuzu Kullanımı

Soğuyan plaka, peçete ve kağıttan ayrıldıktan sonra mürekkepli alanlar kontrol edilmiş ve eksik transfer edilen bölgeler asetat kalemi yardımıyla düzeltilmiştir. Hazırlanan plaka, hidroklorik asit (HCl) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) karışımından oluşan asit banyosuna daldırılmış ve korunan yolların dışındaki bakır şeritlerin çözülmesi sağlanmıştır.

v. Zımparalama ve Temizleme

Asit banyosundan çıkarılan plakalar, istenmeyen mürekkepli kalıntıları temizlemek ve bakır yolların netliğini sağlamak için dikkatlice zımparalanmıştır. Bu işlem sırasında korunan yollar zarar görmeyecek şekilde hassas bir yaklaşım izlenmiştir.

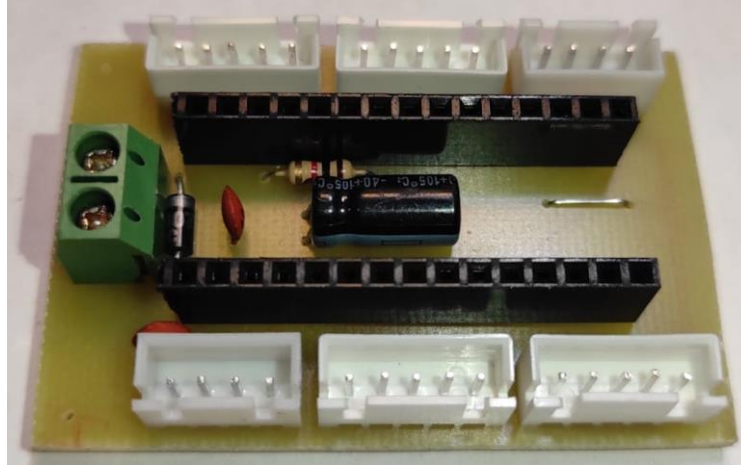
vi. Delik Açılması

Komponentlerin yerleştirileceği delikler, 1.5 mm matkap ucu kullanılarak açılmıştır. Delme işlemi sırasında dairelerin merkezine dikkat edilmiş ve yolların zarar görmemesi sağlanmıştır.

vii. Komponent Yerleştirilmesi ve Lehimleme

Delinen pin bağlantı noktalarına devre elemanları yerleştirilmiş ve lehimleme işlemi tamamlanmıştır. Lehimleme işleminde 24 W havyanın yanı sıra lehim teli kullanılmış ve fazla bacaklar yan keski yardımıyla temizlenmiştir. Son olarak, devrenin yollarının iletimi bir multimetre yardımıyla kontrol edilmiş ve tespit edilen hatalar gerekli lehim düzeltmeleriyle giderilmiştir.

Bu adımlar sonucunda prototip devre, istenilen şekilde tamamlanmış ve çalışabilir duruma getirilmiştir. (Şekil 3.2.) Çalışmanın akış diyagramı EK-1 de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Elektronik Devre Baskısı

Küp uydu projesinde donanım tasarımı, uzay koşullarına dayanıklılık, sınırlı alan verimliliği ve modüler arası entegrasyon üzerine odaklanmıştır. Donanım bileşenleri; Arduino Nano mikrodenetleyici, BH1750 lux sensörü, TCS3200 renk tanıma sensörü ve BMP180 basınç, GY8511 UV sensör ve sıcaklık sensörü gibi parçalardan oluşmaktadır.

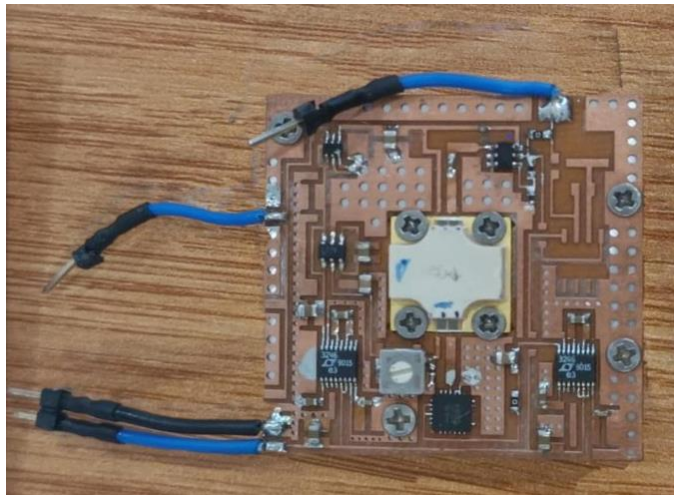
- Arduino Nano: Daha kompakt boyutları ve enerji verimliliği sayesinde küçük hacimli küp uydu sisteminde tercih edilmiştir. Kontrol merkezi olarak tüm modüller ile haberleşmekte ve veri işleme görevini yerine getirmektedir.
- BH1750 Lux Sensörü: *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin ürettiği floresan ışımanın ışık yoğunluğuyla orantılı ölçülmesini sağlamıştır. Sensör, mürettebatın bakteriyel aktiviteleri izlemek için Arduino'ya anlık veri aktarmaktadır.
- TCS3200 Renk Sensörü: Bakteri floresansının rengi ve yoğunluğu üzerinden analiz yaparak *Escherichia coli* ATCC 25922 büyüme oranının belirlenmesinde kullanılmıştır. Sensör, renk verilerini dijital sinyallere dönüştürerek Arduino Nano'ya iletmiştir.
- BMP180 Basınç ve Sıcaklık Sensörü: Uzay koşullarındaki basınç ve sıcaklık değişimlerini kaydetmiş, sistemin termal stabilizasyonu için geri besleme sağlamıştır.
- GY8511 UV Sensörü: Ultraviyole ışığın varlığını tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Sensör, UV ışık kaynağının aktif olup olmadığını belirlemek için anlık veri sağlayarak sistemin doğru çalışmasını güvence altına almıştır.
- Isı Devresi: Şekil 3.3' de tasarlanan devrede DHT11 sıcaklık ve nem sensörü ile modülün sıcaklığını ölçecek ve sıcaklık bilgisini Arduino Nanoya aktaracaktır.

Sıcaklığın 37 °C'nin altına düşmesi durumunda Arduino Nano tarafından BDX53C transistörü tetiklenerek devrede bulunan 47Ω – 5W taş dirence 28V gerilim verilerek yaşam bilimleri modülünün içerisi uygun sıcaklığa getirilecektir.



Şekil 3.3. Isı Devresi Baskısı

- Power Amplifikatörü: Güç amplifikatörleri, genellikle transistörler veya tüpler gibi yarı iletken veya vakumlu elektronik bileşenlerden oluşurlar (Şekil 3.4). Transistör tabanlı güç amplifikatörleri, daha yaygın ve daha kompakt olmaları nedeniyle tercih edilmiştir.



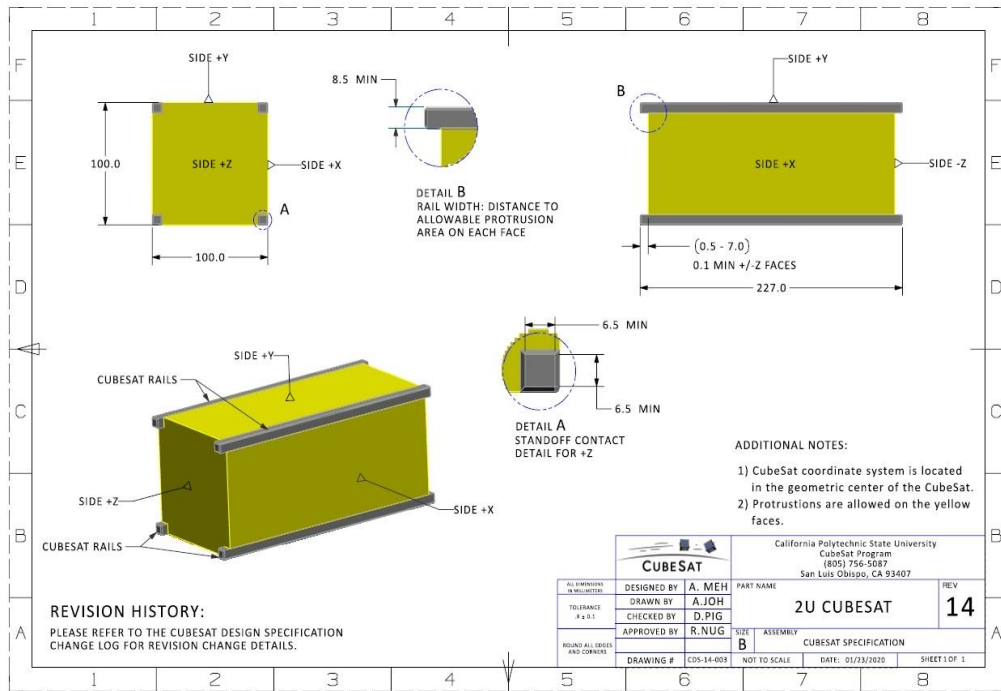
Şekil 3.4. Power Amplifikatörü Baskısı

3.1.2. Mekanik tasarım

Mekanik tasarımlar, alüminyum alaşımlı bir yapı kullanılarak inşa edilir. Uydunun bir yüzeyinde güneş panelleri, diğer yüzeyinde ise iletişim antenleri bulunmaktadır. İç kısmında bataryalar, işlemci kartları ve haberleşme modülleri gibi bileşenler yer almaktadır. Ayrıca, termal yalıtım ve darbe emici yapılarla çevre koşullarına karşı korunmaktadır. İtki sistemleri ve yönlendirme sensörleri, uydunun belirli yüzeylerine monte edilerek ağırlık merkezi dengesi sağlanmıştır. Tasarımlar, uyduyu uzay ortamının zorlu koşullarına dayanıklı hale getirmeyi amaçlanarak tasarlanır [15].

Mekanik tasarım, NASA CubeSat Design Specification standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Küp uyd, 2U boyutlarında (100 mm x 100 mm x 227 mm) olacak şekilde 6061 alüminyum alaşımı kullanılarak üretilmiştir. (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6)

- Yapısal Bileşenler:
 - İskelet Sistemi: Düşük ağırlık ve yüksek dayanım sağlamak için hafif alüminyum profiller tercih edilmiştir.
 - Montaj Panelleri: Modüler arası bileşenlerin güvenli yerleşimi için alüminyum kompozit paneller kullanılmış ve titreşim testleri ile onaylanmıştır.

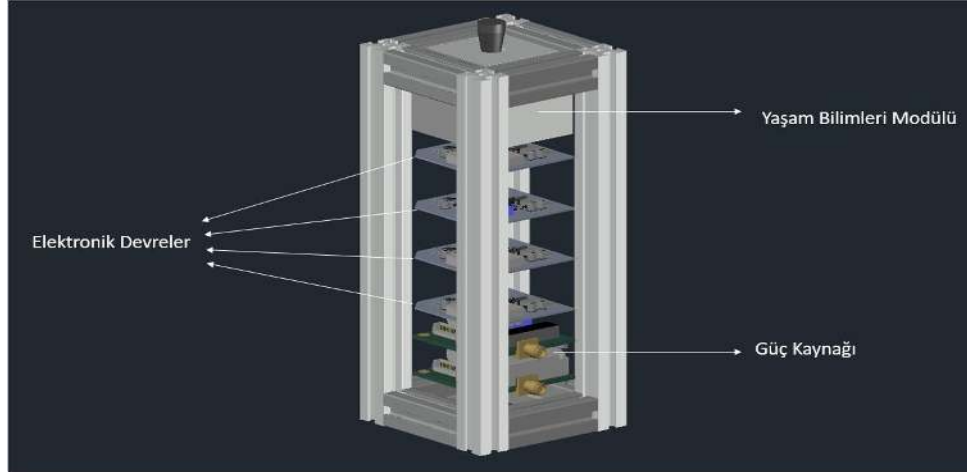


Şekil 3.5. Küp Uydü Modeli Çizimi [16]



Şekil 3.6. Küp Uydu İlk Model Görseli

- **Modül Yerleşimi:**
 - a) **Üst Kat:** Yaşam bilimleri modülü, eppendorf tüplerinin yerleştirildiği bölümdür. Tüp tutucuları çoklu sıkıştırma ile sıkı sabitlenmiştir. Yaşam bilimleri modülünün içerisinde bakterinin üreyeceği eppendorf tüpü, gözlem yapmak için GY8511 UV sensör, BH1750 ışık şiddeti ölçen sensör, DHT11 sıcaklık-nem sensörü ve ısıtma devresi bulunacaktır (Şekil 3.7).
 - b) **Alt Kat:** Elektronik sistem modülü. Arduino Nano, haberleşme modülü ve voltaj regülatörü burada konumlandırılmıştır.
- **Titreşim ve Montaj:** Roket fırlatma sırasındaki mekanik yüklere dayanıklılığı sağlamak için bileşenler elastik tutucular ve mekanik vidalar kullanılarak sabitlenmiş, stabilite sağlanmıştır.



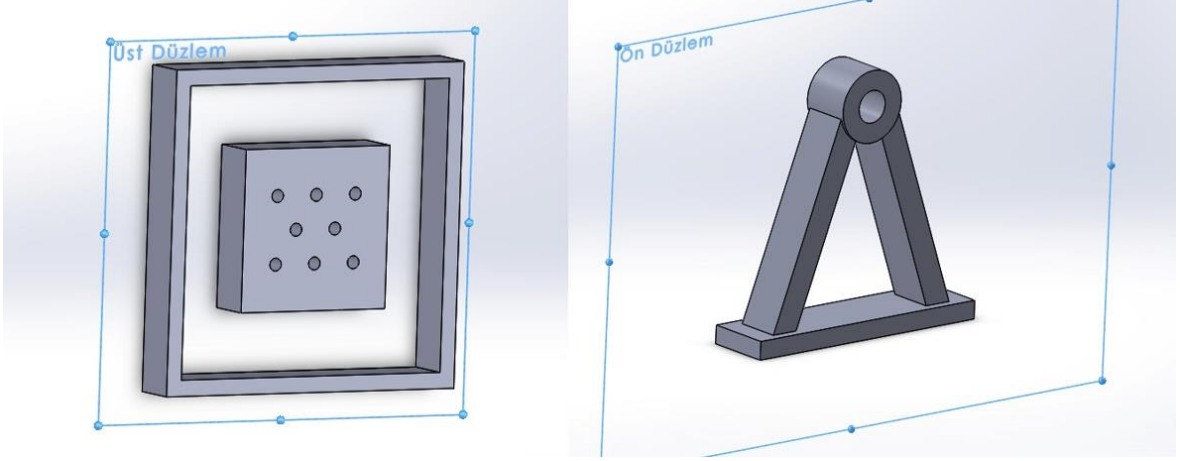
Şekil 3.7. Küp Uydu İç Tasarım

3.2. Klinostat ortam tasarım ve imalatı

Klinostat tasarımı, mikrogravite koşullarını simüle etmek üzerine geliştirilmiştir. Tasarlanan 3D klinostat sistemi, dönüş mekanizması kullanarak bakteriyel ve biyolojik deneylerde mikrogravite etkisini oluşturmayı amaçlamıştır.

Teknik Bileşenler:

- **Dönüş Mekanizması:** Hassas kontrol edilebilen bir mikrosteeper motor kullanılmış ve dönüş hızı 20-30 RPM olarak ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır.
- **Merkezsiz Tutucular:** Eppendorf tüplerinin merkezde simetrik olarak yerleştirilmesi, dönüş esnasında dengeyi korumak için optimize edilmiştir.
- **Kontrol Sistemi:** Arduino Nano tabanlı kontrol yazılımı kullanılmış ve motor dönüşü sabit şekilde sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Klinostat Tasarımı

3D klinostat, bir Bilgisayar Destekli Tasarım aracı olan SolidWorks kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarımın ana bileşenleri; iki ayakta durması için stand, iki birbirine bağlı çerçeve ve bir bakteri örnekleri için yuvadan oluşur (Şekil 3.8). Bu bileşenler 3D yazıcılarla üretilmiştir. Hareketin sağlanması için iki servo motorun rpm hızları yazılımla düzenlenmiş Arduino nano kullanılmıştır.

Aktüatörler, bir Arduino NANO mikrodenetleyici ile kontrol edilmiştir. Bu mikrodenetleyici, çerçevelerin hızlarını ayarlayan basit bir Arduino C programı ile çalıştırılmıştır. İç ve dış çerçeve arasındaki bağlantılar, servo motor ile birlikte olup hareketi için aynı gramaj ve boyutta vidalar kullanılmıştır.

Mikrogravite simülasyonlarında kullanılan klinostat sistemleri, iki ekseninde dönen hareketin bir sonucu olarak numunenin toplam ivmesini minimize etmeyi hedefler. Bu ivme ($a(t)$) şu şekilde modellenmiştir [17]:

$$a(t) = \sqrt{((\omega_1^2 r_x^2 \cos^2(\omega_2 t)) + (\omega_2^2 r_y^2 \sin^2(\omega_1 t)))} \quad (2.1)$$

Bu denklemde:

- ω_1 : X ekseninde etrafındaki açısal hız (radyan/saniye cinsinden),
- ω_2 : Y ekseninde etrafındaki açısal hız (radyan/saniye cinsinden),
- r_x : Numunenin X ekseninden olan uzaklığı (metre cinsinden),
- r_y : Numunenin Y ekseninden olan uzaklığı (metre cinsinden),

- t: Zaman (saniye cinsinden).

Bu model, numune üzerindeki yerçekimi etkisini sürekli değişen yönlerde dağıtarak algılanan net yerçekimini minimuma indirir. Dönüş hızlarının ve numunenin radyal mesafelerinin doğru seçilmesi, bu simülasyonun etkinliğini belirler. Bu bilgiler ışığında sistemin rpm hızları için iki farklı değer grubu belirlenmiştir;

İlk örnek için (2.1) numaralı denklem, bir numunenin mikrograviteyi simüle etmek için hissettiği ivmenin zamanla nasıl değiştiğini hesaplar. Denklemdaki terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir:

- ω_1 : X eksenini etrafında dönen motorun açısal hızıdır. 4 rpm (dakikadaki dönüş sayısı) olarak verilmiştir ve radyan/saniye cinsine dönüştürüldüğünde 0.418 rad/s değerine sahiptir.
- ω_2 : Y eksenini etrafında dönen motorun açısal hızıdır. 1.8 rpm olarak verilmiştir ve radyan/saniye cinsine dönüştürüldüğünde 0.188 rad/s değerine sahiptir.
- r_x : Numunenin X eksenindeki motora olan uzaklığıdır. 2.5 cm olarak verilmiştir ve metre cinsine çevrildiğinde 0.025 m olarak alınır.
- r_y : Numunenin Y eksenindeki motora olan uzaklığıdır. 7.5 cm olarak verilmiştir ve metre cinsine çevrildiğinde 0.075 m olarak alınır.
- t: Zaman değişkenidir ve 0 ile 10 saniye arasında değişen bir dizi değer kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Dönme hızları RPM cinsinden verilmiştir ve radyan/saniyeye şu şekilde dönüştürülmüştür:

$$\omega_1 = 4 \times (2\pi / 60) \approx 0.418 \text{ rad/s} \quad (2.2)$$

$$\omega_2 = 1.8 \times (2\pi / 60) \approx 0.188 \text{ rad/s} \quad (2.3)$$

Numunenin radyal uzaklıkları:

- $r_x = 2.5 \text{ cm} = 0.025 \text{ m}$,
- $r_y = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$.

Zaman değişkeni t, 0 ile 10 saniye arasında, 1000 eşit zaman adımına bölünmüştür.

(2.4) numaralı terim, X eksenindeki motordan kaynaklanan ivmeyi temsil eder:

$$\omega_1^2 r_x^2 \cos^2(\omega_2 t) = (0.418)^2 \times (0.025)^2 \cos^2(0.188 t) \approx 0.00109 \cos^2(0.188 t) \quad (2.4)$$

(2.5) numaralı terim, Y eksenindeki motordan kaynaklanan ivmeyi temsil eder:

$$\omega_2^2 r_y^2 \sin^2(\omega_1 t) = (0.188)^2 \times (0.075)^2 \sin^2(0.418 t) \approx 0.00266 \sin^2(0.418 t) \quad (2.5)$$

Her iki eksen den kaynaklanan ivme büyüklükleri toplanarak toplam ivme şu (2.6) numaralı eşitlik ile hesaplanır:

$$a(t) = \sqrt{((0.00109 \cos^2(0.188 t)) + (0.00266 \sin^2(0.418 t)))} \quad (2.6)$$

- Maksimum İvme: 0.0163 m/s^2 ($1.66 \times 10^{-3} \text{ g}$)
- Ortalama İvme: 0.0108 m/s^2 ($1.10 \times 10^{-3} \text{ g}$)

İkinci örnek için (2.1) numaralı denklem aynı şekilde bir numunenin mikrograviteyi simüle etmek için hissettiği ivmeyi hesaplamak için kullanılır. Değerler bu durumda farklıdır ve aşağıdaki gibidir:

- ω_1 : X eksen i etrafında dönen motorun açısal hızıdır. 3 rpm olarak verilmiştir ve radyan/saniye cinsine dönüştürüldüğünde 0.314 rad/s değerine sahiptir.
- ω_2 : Y eksen i etrafında dönen motorun açısal hızıdır. 1.5 rpm olarak verilmiştir ve radyan/saniye cinsine dönüştürüldüğünde 0.157 rad/s değerine sahiptir.
- r_x ve r_y : Numunenin motora olan uzaklıkları aynı kalmıştır (0.025 m ve 0.075 m).
- t : Zaman değişkeni yine 0 ile 10 saniye arasında değişen bir dizi olarak alınmıştır.

Dönme hızları RPM cinsinden verilmiştir ve radyan/saniyeye şu şekilde dönüştürülmüştür:

$$\omega_1 = 3 \times (2\pi / 60) \approx 0.314 \text{ rad/s} \quad (2.7)$$

$$\omega_2 = 1.5 \times (2\pi / 60) \approx 0.157 \text{ rad/s} \quad (2.8)$$

Numunenin radyal uzaklıkları:

- $r_x = 2.5 \text{ cm} = 0.025 \text{ m}$,
- $r_y = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$.

Zaman değişkeni t, 0 ile 10 saniye arasında, 1000 eşit zaman adımına bölünmüştür.

(2.9) numaralı terim, X eksenindeki motordan kaynaklanan ivmeyi temsil eder:

$$\omega_1^2 r_x^2 \cos^2(\omega_2 t) = (0.314)^2 \times (0.025)^2 \cos^2(0.157 t) \approx 0.000616 \cos^2(0.157 t) \quad (2.9)$$

(2.10) numaralı terim, Y eksenindeki motordan kaynaklanan ivmeyi temsil eder:

$$\omega_2^2 r_y^2 \sin^2(\omega_1 t) = (0.157)^2 \times (0.075)^2 \sin^2(0.314 t) \approx 0.001385 \sin^2(0.314 t) \quad (2.10)$$

Her iki eksenden kaynaklanan ivme büyüklükleri toplanarak toplam ivme şu şekilde hesaplanır:

$$a(t) = \sqrt{((0.000616 \cos^2(0.157 t)) + (0.001385 \sin^2(0.314 t)))} \quad (2.11)$$

- Maksimum İvme: 0.0131 m/s² (1.34×10^{-3} g)
- Ortalama İvme: 0.0094 m/s² (9.6×10^{-4} g)

3.3. Bakteri besiyeri ve stok hazırlama

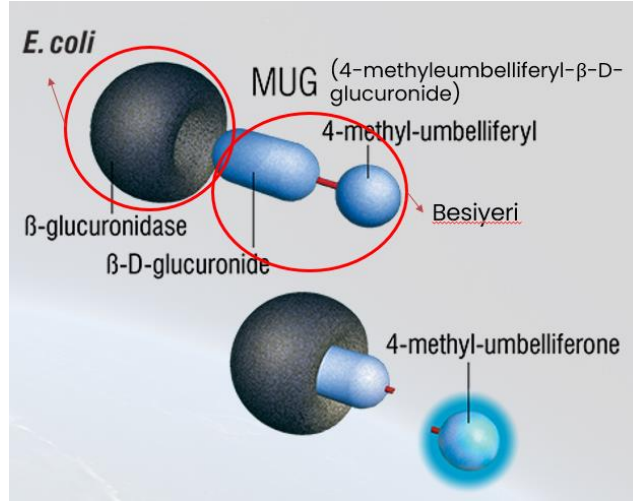
Deneyde sıvı agar ile ekim ve aktive edilme aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir: *Escherichia coli* ATCC 25922 suşu, hem sıvı besiyeri (Tryptic Soy Broth, TSB) hem de katı besiyeri (Tryptic Soy Agar, TSA) ortamlarında aktive edilmiştir. Aktivasyonun ilk aşamasında, kriyoprezervatif ortamda saklanan bakteriler aseptik koşullarda alınarak TSB ortamına inoküle edilmiştir. TSB, *Escherichia coli* ATCC 25922 'nin metabolik gereksinimlerini karşılamak için protein hidrolizatları ve karbonhidrat kaynaklarını içeren zenginleştirilmiş bir sıvı ortamdır. İnokülasyondan sonra kültür, bakterilerin metabolik aktivitesinin yeniden başlaması ve eksponansiyel büyüme fazına geçmesi amacıyla, mezofilik bir organizma olan *Escherichia coli* ATCC 25922 'nin optimum büyüme sıcaklığı olan 37 °C'de inkübe edilmiştir.

Katı ortamda aktivasyon için, Tryptic Soy Agar (TSA) üzerine sürme yöntemi kullanılmıştır. Sürme işlemi sırasında, steril öze yardımıyla bakteri kültürü seçilen bir bölgeye temas ettirilmiş ve ardından agar yüzeyine dört farklı bölge çizilerek yayılmıştır.

Her bölge arasında öze sterilize edilmiş, böylece bakterilerin sayısının kademeli olarak azaltılması sağlanmıştır. Bu yöntem, kolonilerin izole edilmesini ve tek bir hücreden oluşan homojen koloniler elde edilmesini sağlamıştır.

Aktive edilen bakteriler, sıvı ortamdan belirli hacimlerde (1.5 µL, 10 µL ve 15 µL) örnek alınarak, üretici firma (MERCK) protokolüne uygun şekilde hazırlanmış, 1.5 mL FLST Broth içeren steril eppendorf tüplerine aseptik koşullarda inoküle edilmiştir. Katı ortamda aktive edilen bakteriler için, TSA üzerindeki izole kolonilerden bir koloni alınarak FLST Broth içeren tüplere inoküle edilmiştir. FLST Broth, özellikle seçici ve destekleyici özellikte bir besiyeri olup, bakterilerin sıvı ortamda büyüme ve metabolik aktivitelerinin gözlemlenmesini sağlamaktadır. FLST Broth (Fluorocult Lauryl. Sulphate Tryptose), bu çalışmada belirli avantajlar sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu besiyeri, *Escherichia coli* ATCC 25922 gibi model organizmaların büyümesi için gerekli olan metabolik ihtiyaçları karşılayan tanımlı bir kompozisyona sahiptir. Besiyerinin tanımlı yapısı, deneysel değişkenlerin hassas bir şekilde kontrol edilmesini mümkün kılar ve bu, mikrogravite gibi özel çevresel koşullarda yapılan çalışmalarda büyük önem taşır.

Sıvı formda olması nedeniyle FLST Broth, homojen bir büyüme ortamı sağlayarak mikroorganizma büyüme kinetiklerinin güvenilir şekilde izlenmesine olanak tanır. Ayrıca, çalışmada kullanılan floresans tabanlı analizler için FLST Broth'un berrak yapısı avantaj sağlamaktadır. Özellikle, 4-Methylumbelliferyl-β-D-glucuronide (MUG) testi gibi spesifik analizlerde, bu besiyeri büyük bir kolaylık sunar. *Escherichia coli* ATCC 25922 tarafından üretilen β-glukuronidaz enziminin MUG'u parçalayarak floresan bir ürün oluşturduğu bu analizde (Şekil 3.9), FLST Broth'un şeffaf yapısı, oluşan floresansın kolaylıkla tespit edilmesini destekler [18].



Şekil 3.9. β-glukuronidaz Enziminin MUG’u Parçalaması

Buna ek olarak, FLST Broth’un minimal yan etkilere ve düşük kontaminasyon riskine sahip olması, deneylerin güvenilirliğini artırmaktadır. Tüm bu nedenlerle, FLST Broth’un seçimi, çalışmanın hedefleri doğrultusunda uygun bir tercih olarak değerlendirilmiştir. Bu besiyeri, hem mikrogravitenin biyolojik etkilerini incelemek hem de hassas floresans analizlerini gerçekleştirmek için ideal bir ortam sağlamaktadır.

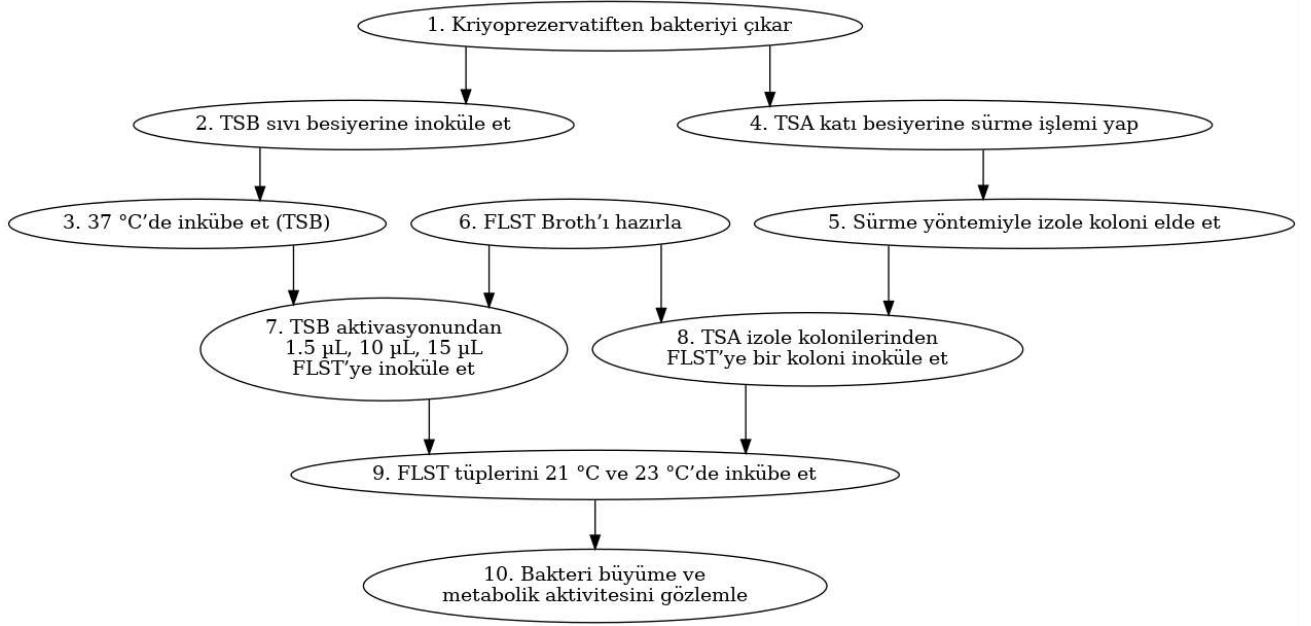
Son aşamada, tüm tüpler 37 °C’de inkübasyona alınarak bakterilerin sıvı ortamda üremeleri ve metabolik aktivitelerinin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu süreç, bakterilerin moleküler biyolojik analizler için uygun yoğunluk ve aktivitede kültürler oluşturması amacıyla titizlikle gerçekleştirilmiştir.

FLST Broth, besiyeri üretici firma tarafından (*MERCK*) önerildiği şekilde hazırlanmıştır [19] :

- Dehidre besiyeri, 36,5 g/L olacak şekilde damıtık su içinde eritilir.
- Otoklavda 121 °C’ta 15 dakika sterilize edilir. Sterilizasyon sonrası 25 °C’ta pH’sı $6,8 \pm 0,2$ ’dir. (Hazırlanmış besiyeri berrak ve sarımsı renktedir.)
- *FLST* besiyeri, steril eppendorf tüpüne 1.5 mL hacminde dağıtılır.

21D1.5 gibi örnekler yani sonunda 1.5 yazan örnekler için daha önceden Tryptic Soy Broth (TSB) ile ekimi yapılmış *Escherichia coli* ATCC 25922 suşundan 1.5 µL alınarak her bir örnek için 2 adet olacak şekilde içerisinde FLST olan eppendorf tüplerine ekilmiştir. 21D10 gibi örnekler yani sonunda 10 yazan örnekler için daha önceden TSB besiyerine ekimi yapılmış *Escherichia coli* ATCC 25922 suşundan 10 µL alınarak her bir örnek için 2 adet olacak şekilde içerisinde FLST olan eppendorf tüplerine ekilmiştir. 21D15 gibi örnekler

yani sonunda 15 yazan örnekler için için daha önceden TSB besiyerine ekimi yapılmış *Escherichia coli* ATCC 25922 suşundan 15 µL alınarak her bir örnek için 2 adet olacak şekilde içerisinde FLST olan eppendorf tüplerine ekilmiştir. 21DK gibi örnekler yani sonunda K yazan örnekler için ise Tryptic Soy Agar (TSA) besiyerine sürme yöntemiyle daha önceden hazırlanmış petri kabında üremeye bırakılmış bakteri kolonisinden 1 adet koloni alınarak içerisinde FLST olan eppendorf tüpüne ekilmiştir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. Bakteriyel Gelişiminin Akış Diyagramı

3.3.1. Katı besiyeri

Sürme yöntemiyle petri kutusundaki katı besiyerinin belirlenen farklı bölgelerine numune ile temas ettirilen özenin sırayla sürülmesiyle numunenin miktarı ve içerdiği mikroorganizma sayısı giderek azalır. Böylece bakterilerin her sürme alanına bir önceki alandan daha az sayıda düşmeleri sağlanır. Son sürme alanında bakteri sayısı teke düşer. Bu bakteriler teke düştükleri bölgelerde çoğalarak tek koloni oluşturur. Bu yöntemle ekimin amacı her canlı hücrenin inkübasyon sonucu bir adet koloni oluşturmaktır. Bu nedenle sürme yöntemine tek koloni düşürme yöntemi de denir. Ekimi yapılacak örnek öze ile stok kültürden alınır. Agarlı besiyerini içeren petri kutusu sol elin ayasına yerleştirilir ve bu elin

3.3.2. Sıvı besiyeri

27

Soy Broth (TSB) kullanılmıştır. TSB, içerdği enzimatik sindirilmiş soya proteinleri ve kazein gibi zengin besin kaynaklarıyla, mikroorganizmaların büyüme gereksinimlerini destekleyen bir sıvı ortamdır. Bakterilerin, kriyoprezervatif içeren stok kültürden alınarak TSB'ye inoküle edilmesi sırasında aseptik teknikler kullanılmış ve dış kontaminasyonu önlemek için steril ekipmanlar tercih edilmiştir.

TSB ortamı, *Escherichia coli* ATCC 25922 'nin karbon, nitrojen, amino asit ve diğer büyüme faktörleri gibi temel ihtiyaçlarını karşılarken aynı zamanda hücre metabolizmasının hızla aktive olmasını sağlar. İnokülasyon sonrası, TSB içerisine eklenen bakteriler 37 °C'de inkübasyona alınmıştır. Bu sıcaklık, *Escherichia coli* ATCC 25922 gibi mezofilik mikroorganizmalar için optimum büyüme koşulunu sağlamaktadır.

İnkübasyon sürecinde bakteriler lag fazından çıkıp eksponansiyel büyüme fazına geçmiştir. Bu aşamada, hücrelerin metabolik aktivitesi artmış, DNA replikasyonu, RNA sentezi ve protein translasyonu gibi temel biyokimyasal süreçler maksimum hızda gerçekleşmiştir. TSB ortamındaki sürekli karışım (örneğin, orbital shaker kullanılarak) oksijen transferini artırmış ve aerobik metabolizmayı desteklemiştir. Bu, *Escherichia coli* ATCC 25922 'nin hızlı bir şekilde çoğalmasını ve moleküler biyoloji deneyleri için yüksek yoğunlukta kültür oluşturulmasını sağlamıştır. Bu aşamalar Şekil 3.12'deki gibi gerçekleşmiştir.

TSB ortamında gerçekleştirilen bu süreç, sonraki deneysel adımlarda kullanılmak üzere canlı, sağlıklı ve hızlı çoğalan bir bakteri kültürü elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 3.12. Sıvı Besiyeri Çalışmalarından Örnekler A) Sıvı besiyerinde aktive edilmiş örnek aşaması B) Sıvı örneğin besiyerine ekilmesi

3.4.Küp uydu yer testleri

Küp uydu yer testleri, uydunun uzay ortamındaki zorlu koşullara karşı dayanıklılığını ve görev sırasında güvenilir bir şekilde çalışabilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilir. Uzay görevlerinde, mekanik, termal ve elektronik sistemlerin entegre bir şekilde çalışması hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, yer testleri sırasında sistemin fırlatma, vakum, şok ve titreşim gibi koşullarda gösterdiği performans detaylı bir şekilde incelenir. Bu testlerin sonuçları, uydunun uzay ortamına hazırlıklı olduğunu ve potansiyel zayıf noktaların önceden tespit edilip iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koyar.

Basınç testi, uydunun vakum ortamında çalışabilirliğini ve basınca duyarlı bileşenlerin performansını değerlendirmek için yapılır. Bu test sırasında sıcaklık, UV endeksi ve ışık yoğunluğu sensörlerinin kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Elektronik sistemlerin basınç farkından etkilenmediği ve akım kontrolü ile voltaj değerlerinin sabit kaldığı tespit edilmiştir. İvme testlerinde, fırlatma sırasında oluşacak yüksek ivme kuvvetlerinin uydunun yapısına ve elektronik sistemlerine etkisi incelenmiştir. Tüm eksenlerde tutarlı sonuçlar alınmış ve sistemlerin bu koşullara karşı uyumlu çalıştığı doğrulanmıştır. Piroşok testinde, ani şok dalgalarının etkisi analiz edilmiş ve kritik bileşenlerin bu yükler altında stabil çalıştığı görülmüştür. Titreşim testleri ise, fırlatma sırasında meydana gelen titreşimlerin sistem üzerindeki etkilerini ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Farklı titreşim profillerinde alınan sonuçlar, uydunun genel dayanıklılığını doğrulamakla birlikte, bazı eksenlerde iyileştirilmesi gereken alanlara da işaret etmiştir.

3.4.1. Basınç Testi

Basınç testi MIL-STD-810G Metot 500.5 standardına göre [20] gerçekleştirilmiş olup amacı uydunun vakum ortamında çalışabilme yeteneğini ve basınca duyarlı bileşenlerin (örneğin sızdırmazlık, vanalar) performansını test etmektir. Koşulları, basınç seviyesi $<10^{-5}$ mbar (uzay ortamını simüle etmek için) olup test süresi 24-48 saattir.

Prosedür sıralaması şu şekildedir;

1. Uydu, termal vakum odasına yerleştirilir.
2. Oda içindeki basınç kontrollü bir şekilde düşürülerek vakum ortamı oluşturulur.
3. Uydu çalıştırılarak, elektronik sistemlerin performansı ve basınç farkına duyarlı bileşenlerin işlevselliği kontrol edilir.

3.4.2. İvme Testi

İvme testi MIL-STD-810G Metot 513.6 standardına göre [21] gerçekleştirilmiş olup amacı roket fırlatma sırasında uydunun yüksek ivme kuvvetlerine dayanıklılığını doğrulamaktır. Koşulları, ivme aralığı 5g - 20g olup süre fırlatma sırasında beklenen süre (genellikle birkaç dakika) kadardır.

Prosedür sıralaması şu şekildedir;

1. Uydu, özel bir ivme test tablasına monte edilir.
2. Simüle edilen fırlatma ivme profili, X, Y ve Z eksenlerinde uygulanır.
3. İvme ölçerler (accelerometreler) ile ivme seviyeleri izlenir.
4. Test sonrasında yapısal deformasyon ve elektronik sistem işlevselliği kontrol edilir.

3.4.3. Piroşok Testi

Piroşok testi MIL-STD-810G Metot 516.6 standardına göre [22] gerçekleştirilmiş olup amacı roketin uydudan ayrılması sırasında meydana gelen ani şok dalgalarının, uydunun yapısına ve bileşenlerine olan etkisini değerlendirmektir. Koşulları, pik ivme 1000g - 10,000g olup darbe süresi 0.1 ms - 2 ms'dir.

Prosedür sıralaması şu şekildedir;

1. Uydu, bir piroşok test düzeneğine yerleştirilir.
2. Ayrılma olayı simüle edilerek, mekanik şok bir patlama diski veya çekiç sistemi ile uygulanır.
3. Şok ölçerler ile kaydedilen titreşimler analiz edilir.
4. Test sonrasında yapısal deformasyon, bağlantı elemanlarının bütünlüğü ve elektronik sistem işlevselliği kontrol edilir.

3.4.4. Titreşim Testi

Titreşim testi MIL-STD-810F/G standardına göre [23] gerçekleştirilmiş olup amacı fırlatma sırasında meydana gelen titreşimlerin uydunun mekanik yapısına ve elektronik sistemlerine zarar verip vermediğini değerlendirmektir. Koşulları, frekans aralığı 20 Hz - 2000 Hz, amplitüd 0.1 g - 10 g (uydu ağırlığı ve roket profiline bağlı olarak değişir) olup deney süresi her eksen için minimum 1 dakikadır

Prosedür sıralaması şu şekildedir;

1. Uydu, özel titreşim tablasına (vibration shaker) sabitlenir.
2. X, Y ve Z eksenlerinde, roket fırlatma profiline uygun frekansta ve genlikte titreşim uygulanır.
3. Test sırasında akselerometrelerle titreşim verileri kaydedilir.
4. Test sonrasında mekanik deformasyon olup olmadığı kontrol edilir ve elektronik sistem işlevselliği test edilir.

Basınç testi, uydunun vakum ortamında çalışabilirliğini ve basınca duyarlı bileşenlerin performansını değerlendirmek için yapılır. Bu test sırasında sıcaklık, UV endeksi ve ışık yoğunluğu sensörlerinin kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Elektronik sistemlerin basınç farkından etkilenmediği ve akım kontrolü ile voltaj değerlerinin sabit kaldığı tespit edilmiştir. İvme testlerinde, fırlatma sırasında oluşacak yüksek ivme kuvvetlerinin uydunun yapısına ve elektronik sistemlerine etkisi incelenmiştir. Tüm eksenlerde tutarlı sonuçlar alınmış ve sistemlerin bu koşullara karşı uyumlu çalıştığı doğrulanmıştır. Piroşok testinde, ani şok dalgalarının etkisi analiz edilmiş ve kritik bileşenlerin bu yükler altında stabil çalıştığı görülmüştür. Titreşim testleri ise, fırlatma sırasında meydana gelen titreşimlerin sistem üzerindeki etkilerini ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Farklı titreşim profillerinde alınan sonuçlar, uydunun genel

dayanıklılığını doğrulamakla birlikte, bazı eksenlerde iyileştirilmesi gereken alanlara da işaret etmiştir.

3.5. Küp Uydu Yaşam Bilimleri Modülü Bakteriye Gelişim Testleri

Örnek gruplarının bilgisi ve çalışma senaryoları Grup ve Senaryo olarak adlandırılmıştır.

Grup I (Sıvı Besiyeri), başlangıç bakteri popülasyonu geliştirme ortamı (sıvı besiyeri) demektir. Çalışmalarımızın ilk grubunu oluşturan bu deneylerde, başlangıç bakteri popülasyonu sıvı besiyerinde suspanse edilmiştir. Bu yaklaşım, bakterilerin sıvı ortamda gelişimini ve davranışını incelemek üzerine odaklanmıştır. Grup II (Katı Besiyeri), başlangıç bakteri popülasyonu geliştirme ortamı (katı besiyeri) demektir. İkinci grup deneylerde ise başlangıç bakteri popülasyonu koloni bazlı olarak katı besiyerinde ele alınmıştır. Bu çalışmalarda, katı besiyeri kullanılmasının temel amacı, bakterilerin fırınlanma ve operasyonel süreçlere karşı dayanıklılığını değerlendirmektir.

Senaryo A (Dondurulmuş) dondurulmuş örnek, olup bu senaryoda bakteriler fırlatma öncesinde dondurularak saklanmıştır. Bu yöntem, uzun süreli saklama ve transfer işlemleri sırasında örneklerin dayanıklılığını test etmeye odaklanmıştır. Senaryo B (Taze) taze örnek olup bu senaryoda ise bakteriler taze olarak örneklenmiş ve hemen kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu yöntem, operasyonel süreçlerde taze örnek kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymayı amaçlamıştır.

Baranyi büyüme modeli, mikrobiyal büyüme dinamiklerini tanımlamak için kullanılan bir matematiksel modeldir. Bu model, özellikle lag fazının (adaptasyon dönemi) ayrıntılı bir şekilde modellenmesine olanak tanır. Baranyi modeli, bir sistemin başlangıç popülasyonunun (N_0), maksimum büyüme kapasitesinin (N_{max}), maksimum büyüme hızının (μ_{max}) ve lag faz süresinin (λ) birleşik etkilerini içerir. Modelin temel denklemi şu şekilde ifade edilir [24]:

Bu denklemde:

$$N(t) = N_{\max} - \ln \left(1 + \frac{\exp(N_{\max} - N_0) - 1}{\exp(-\mu_{\max}t) + \exp(\lambda\mu_{\max})} \right) \quad (2.12)$$

- t: Zaman (saat, gün vb.).
- N(t): Zaman içindeki logaritmik popülasyon büyüklüğü (ör. OD600, CFU/mL).
- N₀: Başlangıç popülasyonu (ör. deneyin ilk OD değeri).
- N_{max}: Maksimum büyüme kapasitesi (ör. durgunluk fazındaki OD değeri).
- $\mu_{\max}$: Maksimum büyüme hızı (saat başına büyüme oranı).
- λ : Lag faz süresi (adaptasyon süresi).

Baranyi modelini uygulamak için öncelikle deneysel büyüme verileri (OD veya CFU değerleri) toplanır. Daha sonra, bu veriler yukarıdaki denklemle uyumlu hale getirilir ve parametreler optimize edilir. Python gibi yazılımlarda `curve_fit` veya benzeri araçlarla model, verilere oturtularak parametreler tahmin edilir. Sonuçta, model büyüme fazlarının belirlenmesi ve yorumlanması için bir eğri üretir.

Baranyi büyüme grafiği, mikroorganizmanın büyüme koşullarının iyi tanımlanmış olduğu durumlarda oluşur. Bu koşullar şunları içerir:

a. Besin ve Çevre Koşulları:

Besinlerin yeterli miktarda mevcut olması, pH, sıcaklık ve oksijen seviyelerinin optimum aralıkta bulunması gerekir. Mikroorganizmalar, bu tür koşullarda hızlı bir şekilde büyüme gösterebilir. Eğer ortam stresli veya yetersizse, Baranyi grafiğindeki lag fazı belirgin şekilde uzar.

b. Başlangıç Popülasyonu:

Başlangıç popülasyonunun (N₀) homojen olması gerekir. Çok düşük popülasyonlarda büyüme eğrisi yeterince belirgin olmayabilir. Bu durum modellemenin doğruluğunu etkiler.

c. Kontrollü Işık ve Gravite Şartları:

Baranyi modeli, ışık şiddeti gibi çevresel faktörlerin büyüme üzerindeki etkisini de yansıtır. Dalga boyu ve ışık yoğunluğunun mikrobiyal metabolizmayı etkilediği durumlarda, modelin parametreleri (özellikle $\mu_{\max}$ ve λ) değişebilir.

d. Ölçüm Frekansı:

Büyüme verilerinin düzenli aralıklarla alınması, modelin doğruluğu için önemlidir. Zaman serilerindeki boşluklar, eğrinin düzgün oluşmasını engelleyebilir.

Bu koşullarda, mikroorganizmanın büyüme süreci Baranyi modeli ile kolayca analiz edilebilir ve grafikte lag, logaritmik ve durgunluk fazları net bir şekilde gözlemlenir.

Küp uydu ortamlarında, mikroorganizmaların büyümesi mikrogravite ve sınırlı kaynaklar gibi benzersiz koşullar nedeniyle farklılık gösterir. Mikrogravite ortamı, hücrelerin besin alım mekanizmalarını, metabolik hızlarını ve genel büyüme süreçlerini doğrudan etkiler. Bu tür ortamların Baranyi modeli çerçevesinde nasıl değerlendirilebileceği aşağıda açıklanmıştır:

a. Mikrogravite Koşulları:

Mikrogravite, sıvı ve gazların karışımını sınırlar, bu da hücrelerin besin ve oksijen erişimini etkileyebilir. Bunun sonucu olarak:

- Lag fazı (λ) uzar, çünkü hücreler bu alışılmadık çevreye adapte olmaya çalışır.
- Maksimum büyüme hızı (μ_{max}) yavaşlar, çünkü besin taşınımı yerçekimsiz ortamda kısıtlanır.
- Maksimum popülasyon (N_{max}) seviyesine ulaşmak daha uzun sürebilir.

b. Işık ve Enerji Şartları:

Küp uydu sistemlerinde enerji sınırlamaları nedeniyle sabit bir ışık kaynağı sağlanamayabilir. Bu durum fotosentetik mikroorganizmalar için büyüme dinamiklerini doğrudan etkiler. *Escherichia coli* ATCC 25922 gibi heterotrof organizmalarda bile ışık seviyeleri, metabolik yanıtlar ve biyolojik saatleri etkileyebilir.

c. Modelin Uyarlanması:

Küp uydu ortamlarında Baranyi modelini uygulamak için mikrogravitenin etkilerini denkleme dahil etmek önemlidir. Bu durum, μ_{max} ve λ parametrelerinde mikrograviteye bağlı değişiklikleri göz önünde bulunduran bir düzenleme ile yapılabilir.

d. Uygulama Önerileri:

Mikrogravite altında büyüme dinamiklerini izlemek için uygun ölçüm cihazlarının (örneğin optik yoğunluk sensörleri) kullanılması gereklidir. Ayrıca, besin maddelerinin kontrollü bir şekilde sunulması ve çevresel değişikliklerin minimum düzeyde tutulması büyüme eğrilerinin güvenilirliği açısından önemlidir.

Baranyi modeli için uygunluk değerlendirme kriterleri şu şekildedir;

- Kısa lag süresi ($\lambda < 10$): Mikroorganizmaların çevreye hızlı adapte olduğunu gösterir.
- Yüksek maksimum büyüme hızı ($\mu_{max} > 0.05$): Metabolik aktivitenin güçlü olduğunu yansıtır.
- Yüksek maksimum popülasyon (N_{max}): Popülasyon büyüme kapasitesinin iyi olduğunu ifade eder.

4. SONUÇ

4.1. K p uydu yaşam bilimi modül y k tasarım ve imalatı

Bu çalışmada, uzay biyolojisi araştırmalarında kullanılmak üzere bir küp uydu yaşam bilimi modülü tasarlanmış ve üretilmiştir. Modül, biyolojik deneylerin hassas bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla, NASA CubeSat standartlarına uygun olarak 2U boyutlarında tasarlanmış ve biyolojik yüklerin güvenliği ile verimli bir şekilde çalışabilmesi için optimize edilmiştir.

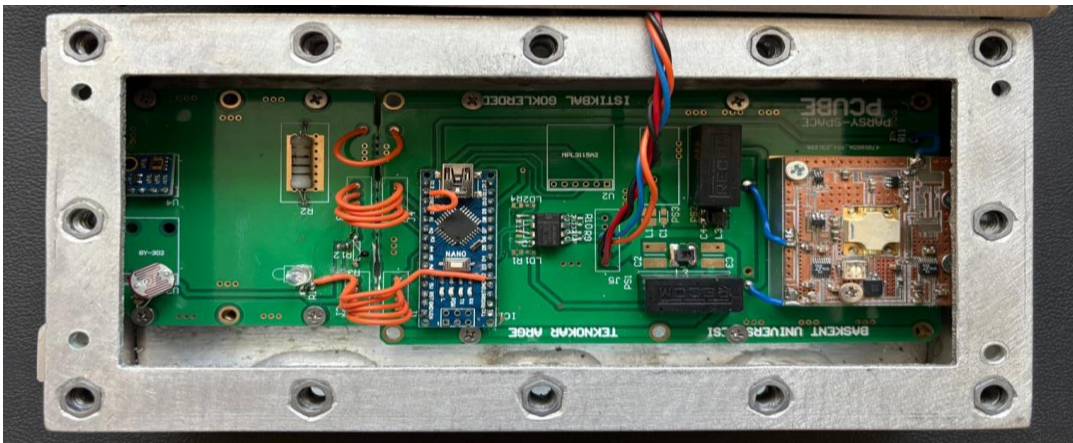
Donanım tasarımında, sensörlerin ve kontrol sistemlerinin entegrasyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir. BH1750 ışık sensörü, TCS3200 renk tanıma sensörü ve BMP180 basınç-sıcaklık sensörü gibi ileri teknoloji bileşenler kullanılarak biyolojik verilerin hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır.

Mekanik testlerde, modülün titreşim, basınç ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılığı doğrulanmıştır. Roket fırlatma sırasında oluşabilecek mekanik yüklerin, modülün yapısal bütünlüğü üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar, modülün uzay görevlerinde güvenilir bir biyolojik deney platformu olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu tasarım ve üretim süreçleri, uzay biyolojisi araştırmalarında kullanılacak standartlara uygun, fonksiyonel ve dayanıklı bir altyapı sağlayarak, bilimsel amaçlar doğrultusunda önemli bir katkı sunmaktadır. Geliştirilen modül, gelecekteki uzay biyolojisi deneyleri için hem mikroorganizma büyüme dinamiklerini anlamada hem de çevresel koşulların etkilerini değerlendirmede kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

4.1.1. Donanım tasarımı

Proje kapsamında, elektronik kartların birleştirilmesi ve mekanik bir muhafaza içine yerleştirilmesi, dayanıklılık ve işlevsellik açısından kritik bir mühendislik çözümü olarak tasarlanmıştır. Elektronik kartlar, mekanik titreşimlere ve dış etkenlere karşı koruma sağlamak amacıyla alüminyum bir kasa içerisine sabitlenmiş ve vida bağlantıları ile sağlamlaştırılmıştır. Devre bağlantılarının güvenli bir şekilde yapılması için kablo yönetimi titizlikle organize edilmiş ve kısa devre ile hata risklerini minimize etmek amacıyla kablolar izole edilmiştir. Küp uydu donanım tasarımı, uzay koşullarında güvenilirlik, sınırlı alan verimliliği ve modüller arası entegrasyona odaklanmıştır. Sistemde kullanılan Arduino Nano mikrodenetleyici, BH1750 lux sensörü, TCS3200 renk sensörü ve BMP180 basınç ve sıcaklık sensörü gibi bileşenler, yaşam bilimi deneylerinde ihtiyaç duyulan hassas veri toplama ve işleme süreçlerini desteklemektedir. Örneğin, Arduino Nano, tüm modüllerin haberleşme ve kontrol merkezi olarak çalışırken; BH1750 lux sensörü bakteriyel floresans ışık yoğunluğunu ölçmüş, TCS3200 renk sensörü ise bakteriyel büyüme oranlarını analiz etmiştir. Ayrıca, BMP180 sensörü uzay ortamındaki basınç ve sıcaklık değişimlerini kaydetmiş ve bu bilgiler termal stabilizasyon için geri besleme sağlamıştır. Isı kontrol devresi, yaşam bilimleri modülünün sıcaklık gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarlanmış, bu süreçte sıcaklık sensörlerinden alınan veriler, ısıtıcı devreyi kontrol ederek uygun koşulları sağlamıştır. Güç amplifikatörleri ise sistemin enerji verimliliğini ve kompakt yapısını desteklemiştir.



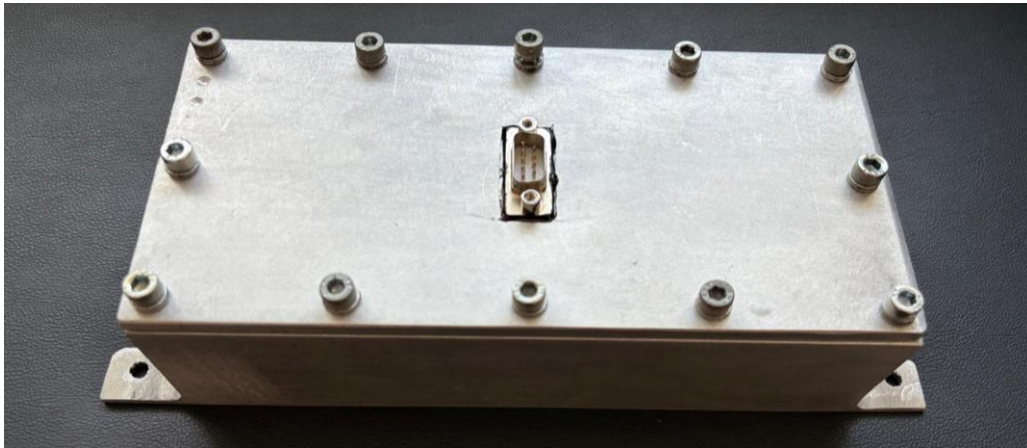
Şekil 4.1. Küp Uydu Donanım Sonuç Görseli

Tüm bu donanım tasarımı (Şekil 4.1), küp uydu modülünün uzay ortamında güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak ve proje hedeflerini karşılamak üzere tasarımı revize edilmiştir.

4.1.2. Mekanik tasarım

Mekanik tasarım sürecinde gerçekleştirilen analizler ve testler sonucunda, küp uydu yapısında birtakım yeniliklere gidilmiştir. İlk tasarımda yer alan 2 katmanlı iç yerleşim düzeni, hem yaşam bilimi modülü hem de elektronik bileşenlerin bir arada daha kompakt ve verimli bir şekilde yerleştirilebilmesi amacıyla tek bir alana indirgenmiştir. Bu düzenleme ile küp uydunun iç tasarımında modüller arasında ayrı katmanlar kullanılmadan, tüm bileşenlerin aynı hacim içerisinde entegre bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

Ayrıca, dış yapının tamamen kaplanmasına ve en boyutunun yarıya düşürülmesine karar verilmiştir. Bu değişiklik, uzay koşullarında yapısal dayanıklılığı artırırken, aynı zamanda iç bileşenlerin daha iyi korunmasını ve termal kontrolün daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Kullanılan 6061 alüminyum alaşımı, ağırlık ve dayanıklılık açısından optimum özellikler sunmuş ve NASA CubeSat Design Specification standartlarına tam uyum sağlamıştır.



Şekil 4.2. Küp Uydu Mekanik Tasarım Sonuç Görseli

Sonuç olarak, küp uydu mekanik tasarımı, yaşam bilimi modülü ve elektronik sistem modülünün ayrıştırılmadan tek bir hacimde birleştirilmesi ve dış yapının tamamen kaplanması ile daha kompakt, dayanıklı ve verimli bir yapı haline getirilmiştir (Şekil 4.2).

Bu değişiklikler, sistemin uzay koşullarındaki uzun vadeli güvenilirliğini artırmış ve montaj sürecini basitleştirmiştir.

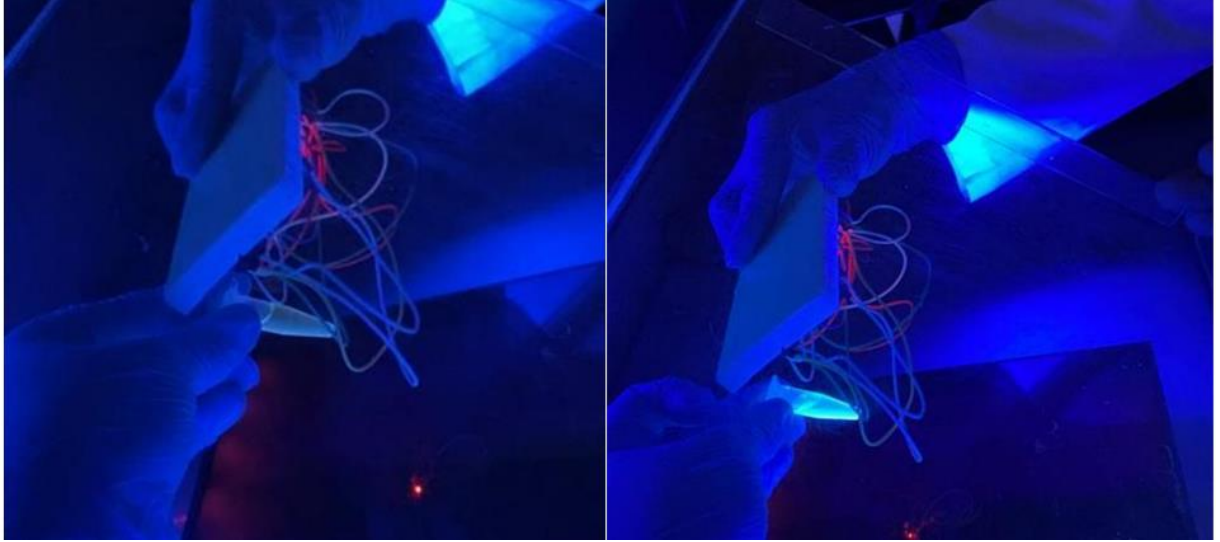
4.2. Yaşam Bilim Modülü Çalışma Testi

MUG (4-methylumbelliferyl- β -D-glucuronide) substratı *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterileri için karakteristik olan MUGaz enzimi ile parçalanır. Parçalanma ürünlerinden 4-methylumbelliferone, uzun dalga boylu (366 nm) UV lamba ile floresan ışımaya verir. MUG eklenmiş besiyerinde bakterinin MUGaz enzimi aktivitesi ile oluşan floresan ışımaya özellikli metabolitin tespiti UV ışık ile gözlenebilir. Bu çalışmada bu metabolik olaydan faydalanarak ortamda oluşan floresan ışımaya özellikli metabolitin LUX değeri ile ölçülmesi hedeflenmiştir [9].

Deneyler, cam tüp ve Eppendorf tüp kullanılarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Daha önce ekimi yapılmış, üreme gerçekleşmiş besiyeri ile üreme olmamış besiyeri kullanılarak devre yardımıyla ölçümler alınmıştır.

İlk aşamada, cam tüp kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, UV ışığının LUX değeri ölçülmüş, ardından üreme olmayan bakterilerin bulunduğu boş besiyerinin yaydığı ışınım LUX cinsinden kaydedilmiştir. Son olarak, üreme gerçekleşmiş besiyerinin UV ışık altında oluşturduğu ışınım ölçülmüştür.

İkinci deneysel aşamada, cam tüp yerine Eppendorf tüp kullanılmıştır. Bu aşamada, Eppendorf tüp içerisinde yer alan bakteri kültürü ile cam tüp içerisindeki kültür aynı örnekten alınarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen gözlemler, ilk aşamada elde edilen sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. (Şekil 4.3)

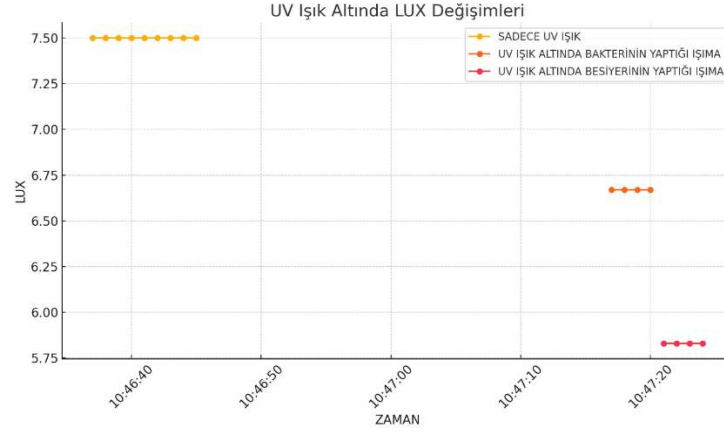


Şekil 4.3. Çalışma Testinden Örnekler A) Bakteri olmayan besiyeri B) Işıma yapan bakteri bulunan besiyeri

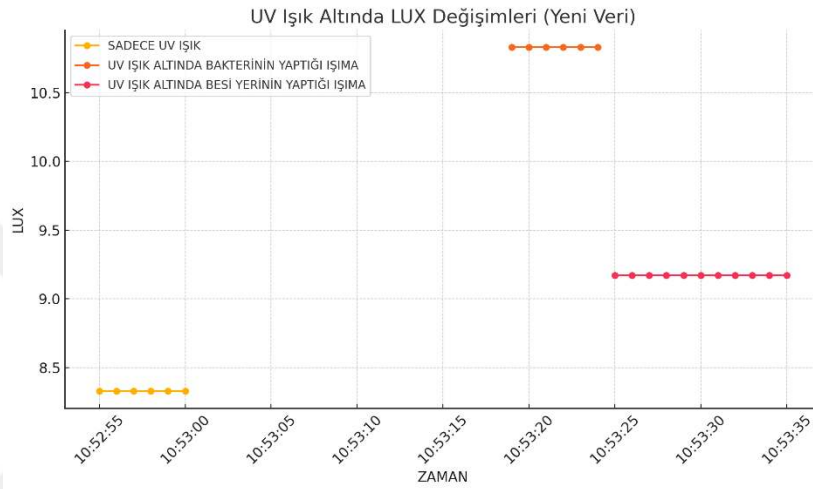
Sonuçlar, bakteri miktarının arttığı durumlarda, elde edilen ışık şiddetinin LUX biriminde anlamlı bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, cam tüp ile Eppendorf tüp kullanılarak yapılan ölçümler karşılaştırıldığında, Eppendorf tüpün, üreme gerçekleşmiş ve gerçekleşmemiş durumları ayırt etmede daha belirgin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. (Tablo 4.1 ve Şekil 4.4.)

Tablo 4.1.Çalışma Testi Sonuç Tablosu

ZAMAN	LUX	ÖLÇÜM
10.46.37	7.5	SADECE UV IŞIK
10.46.38	7.5	
10.46.39	7.5	
10.46.40	7.5	
10.46.41	7.5	
10.46.42	7.5	
10.46.43	7.5	
10.46.44	7.5	
10.46.45	7.5	UV IŞIK ALTINDA BAKTERİNİN YAPTIĞI IŞIMA
10.47.17	6.67	
10.47.18	6.67	
10.47.19	6.67	
10.47.20	6.67	UV IŞIK ALTINDA BESİYERİNİN YAPTIĞI IŞIMA
10.47.21	5.83	
10.47.22	5.83	
10.47.23	5.83	
10.47.24	5.83	



Sonuçlar, bakteri miktarının arttığı durumlarda, elde edilen ışık şiddetinin LUX biriminde anlamlı bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, cam tüp ile Eppendorf tüp kullanılarak yapılan ölçümler karşılaştırıldığında, Eppendorf tüpün, üreme gerçekleşmiş ve gerçekleşmemiş durumları ayırt etmede daha belirgin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. (Tablo 4.2 ve Şekil 4.5)



Şekil 4.5. Çalışma Testi Sonuç Grafiği 2

4.3. Küp Uydu Yaşam Bilimleri Modülü Bakteriyel Gelişim Testleri

Küp uydu yaşam bilimi modülleri, mikroorganizma büyüme dinamiklerini anlamak ve mikrogravitenin biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini incelemek için kritik bir platform sunar. Bu çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme süreçleri, NASA CubeSat standartlarına uygun olarak geliştirilen bir küp uydu yaşam bilimi modülünde değerlendirilmiştir. Modül, biyolojik verilerin hassas bir şekilde toplanmasını sağlamak için sensörler ve sıcaklık kontrol mekanizmalarıyla donatılmıştır.

Deneyler, bakterilerin farklı çevresel koşullara tepkisini incelemek amacıyla çeşitli başlangıç popülasyon yoğunlukları ve sıcaklık seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Özellikle, mikrogravite ortamını simüle eden koşullarda büyüme dinamikleri ve stabilite analizleri yapılmıştır. Bu değişkenler EK-2'de gösterilmiştir. Bu testler, bakteriyel büyüme üzerinde

sıcaklık, başlangıç popülasyonu ve numune türü gibi değişkenlerin etkilerini ortaya koymuş ve uzay biyolojisi alanındaki bilgi boşluklarını dolduracak değerli veriler sunmuştur.

4.3.1. Ortam Sıcaklığının Etkisi

Mikroorganizmaların büyüme ve metabolik aktiviteleri, çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Özellikle sıcaklık, hücresel süreçlerin hızını ve organizmaların genel fizyolojik durumunu doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Bu çalışmada, farklı sıcaklık koşullarında *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri incelenmiştir. Deneyler hem bakteriyel büyüme hızını hem de stabilitesini değerlendirmek amacıyla oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu iki sıcaklık aralığı, uzay görevleri sırasında olası çevresel değişiklikleri simüle etmek için seçilmiştir.

4.3.1.1. Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Süspansiyon (Grup 1)

Grup I (Sıvı Besiyeri) olarak adlandırılan grupta, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin başlangıç popülasyonunun sıvı besiyerinde süspanse edilmesi sağlanmıştır. Sıvı ortam, bakteriyel büyümenin doğal koşullar altında değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Deneylerde, başlangıç popülasyon yoğunluğu 1.5 µL, 10 µL ve 15 µL (düşük, orta, yüksek) olmak üzere üç farklı konsantrasyon olarak belirlenmiştir. Her konsantrasyon için sıcaklık etkisi ayrı ayrı değerlendirilmiş ve büyüme dinamikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu grup, mikrogravite ortamına benzer şekilde, bakteriyel büyüme süreçlerini anlamak için kritik bilgiler sağlamaktadır.

23D1.5 ve 21D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.6. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

23T1.5 ve 21T1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.7’de sunulmuştur.



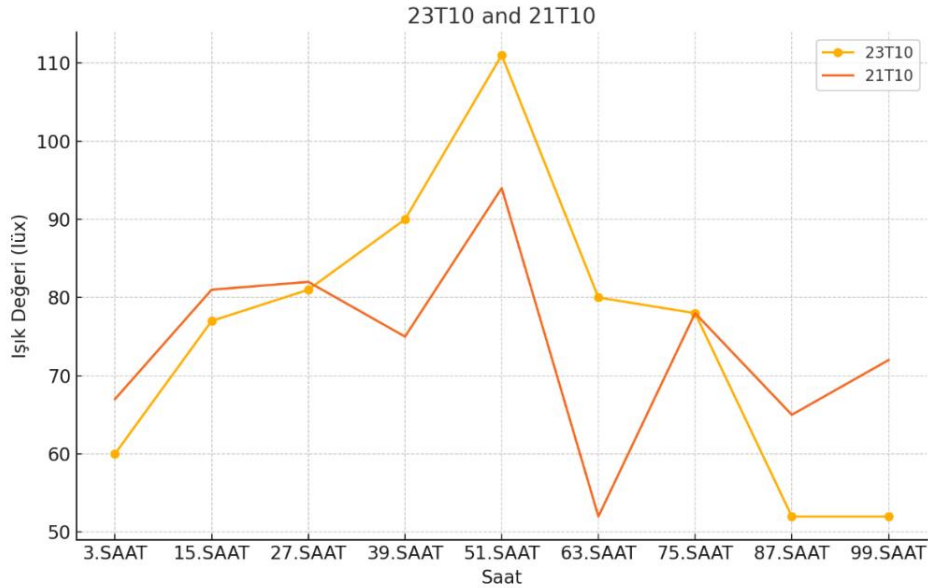
Şekil 4.7. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

23D10 ve 21D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L) oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L) oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

23T10 ve 21T10: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.9’da sunulmuştur.



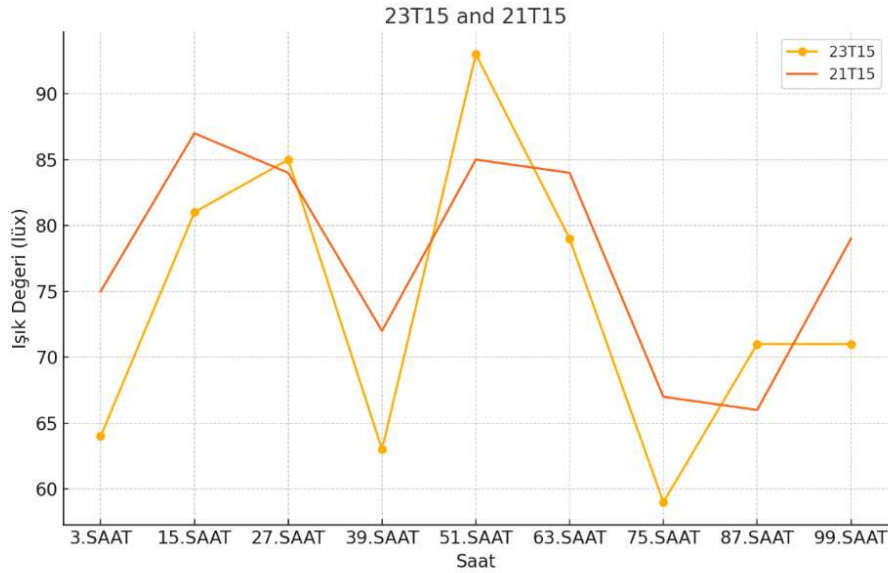
Şekil 4.9. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

23D15 ve 21D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.10’da sunulmuştur.



Şekil 4.10. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

23T15 ve 21T15: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

4.3.1.2. Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Koloni Bazlı (Grup 2)

Bu grupta, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisi katı besiyerinde koloni bazlı olarak değerlendirilmiştir. Katı ortam, bakterilerin yüzeyde büyümesini ve koloni oluşturma dinamiklerini anlamak için kullanılmaktadır. Deneylerde, başlangıç popülasyonu bir koloni olarak belirlenmiş ve bu koloni, farklı sıcaklık koşullarında (21°C ve 23°C) büyüme davranışlarını incelemek amacıyla değerlendirilmiştir.

Koloni bazlı yaklaşımlar, bakteriyel büyüme sürecinde farklı popülasyon yoğunluklarının etkilerini izole etmek için ideal bir yöntem sunar. Bu grup, özellikle katı besiyerinin mikrogravite simülasyonlarındaki kullanım potansiyelini değerlendirmek ve uzay ortamında uzun vadeli bakteriyel stabiliteyi anlamak için kritik bilgiler sağlamaktadır. Elde edilen veriler, koloni bazlı büyüme süreçlerinin sıvı ortama kıyasla nasıl farklılıklar gösterdiğini ortaya koyarak deneysel tasarıma katkı sunmuştur.

21DK ve 23DK: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

21TK ve 23TK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.13’da sunulmuştur.



Şekil 4.13. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

Deneylerde *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamiklerini değerlendirmek amacıyla farklı örnek durumları ve sıcaklık koşulları test edilmiştir. Çalışmada hem dondurulmuş hem de taze örnekler kullanılmış ve bu örnekler sıvı besiyeri ortamında farklı başlangıç popülasyon yoğunlukları ile incelenmiştir. Örneklerin büyüme davranışları, 21°C ve 23°C sıcaklık koşullarında değerlendirilerek, bu iki sıcaklık aralığının bakteriyel gelişim üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

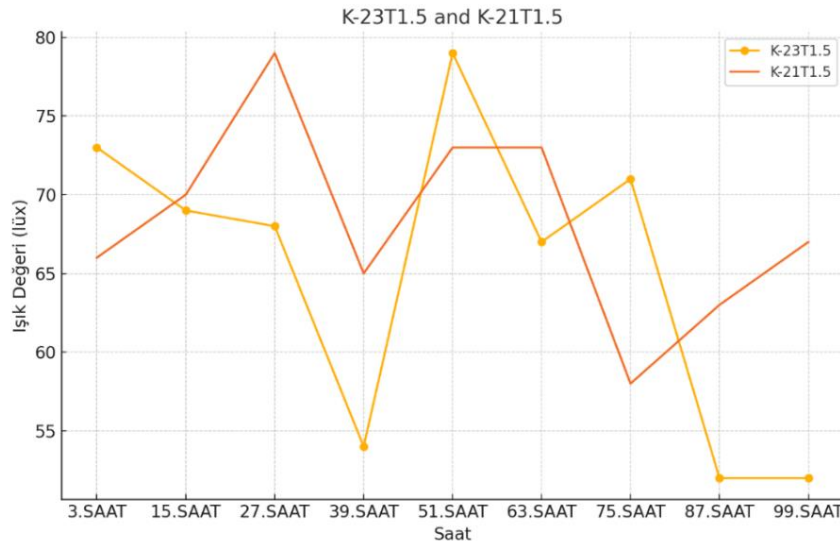
4.3.1.3. Klinostat Ortamında Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Süspansiyon (Grup 1)

Mikrogravite simülasyonu için tasarlanan klinostat ortamında, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin başlangıç popülasyonu sıvı besiyerinde süspansiyon edilerek incelenmiştir. Bu deney grubu, sıvı ortamın dinamik koşullarda bakteri büyümesini nasıl etkilediğini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Sıvı ortam olarak Tryptic Soy Broth (TSB) kullanılmış ve bakteriyel büyüme sıcaklık, başlangıç konsantrasyonu ve mikrogravite simülasyonunun etkileri altında analiz edilmiştir.

Başlangıç popülasyonu yoğunlukları, 1.5 µL, 10 µL ve 15 µL olmak üzere üç farklı seviyede belirlenmiştir. Bu yoğunluklar, bakteriyel büyüme eğrilerinin başlangıç konsantrasyonuna göre nasıl farklılık gösterdiğini anlamak amacıyla seçilmiştir. Deneylerde sıcaklık, 21°C ve 23°C olarak ayarlanmış ve klinostat sistemindeki çift eksenli dönüş mekanizması, bakteriyel örneklerin algıladığı yerçekimini minimuma indirmek için optimize edilmiştir.

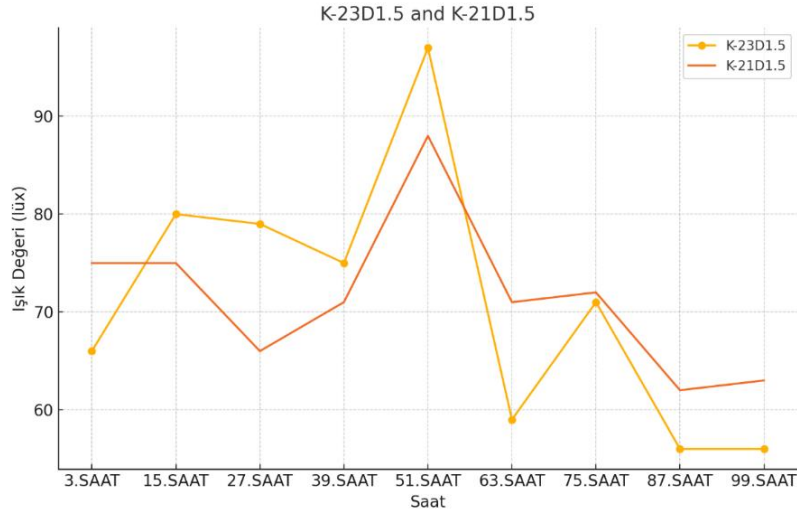
Klinostat ortamında büyüme süreci boyunca Baranyi büyüme modeli kullanılarak, bakterilerin logaritmik faz dinamikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu grup, mikrogravite simülasyonlarının bakteriyel gelişim üzerindeki etkilerini ortaya koyarak uzay biyolojisi deneyleri için kritik veriler sunmaktadır.

K-21T1.5 ve K-23T1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL, Taze), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.14'te sunulmuştur.



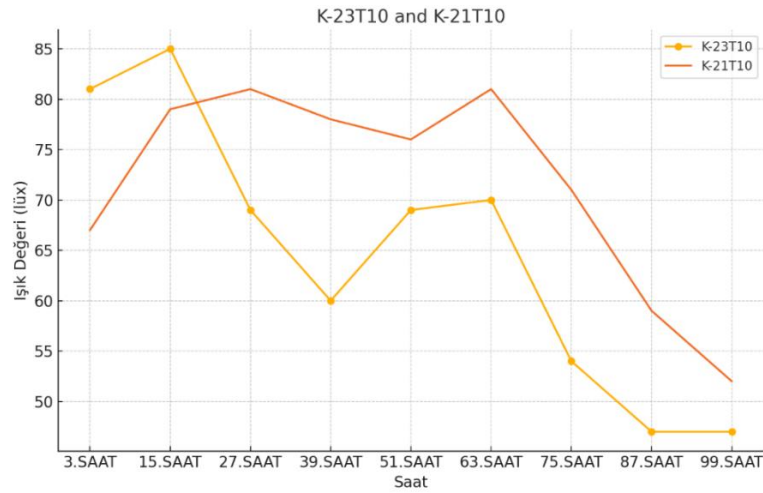
Şekil 4.14. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

K-21D1.5 ve K-23D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.15'da sunulmuştur.



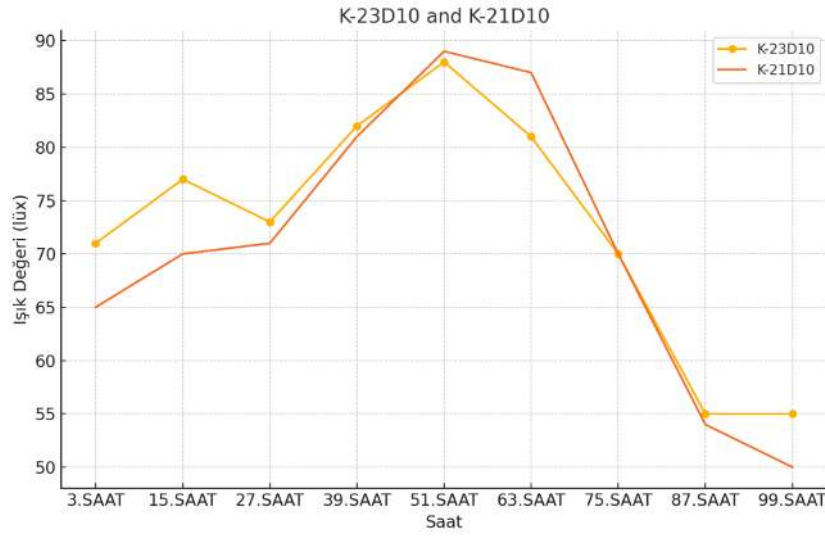
Şekil 4.15. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması

K-21T10 ve K-23T10: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.16’da sunulmuştur.



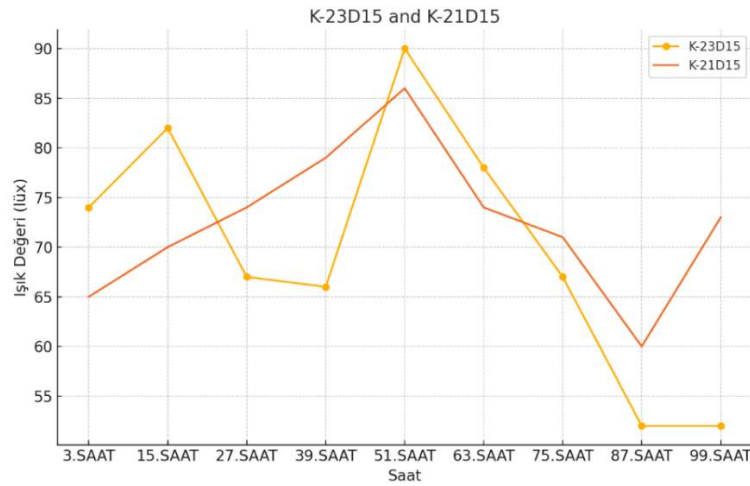
Şekil 4.16. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

K-21D10 ve K-23D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.17’de sunulmuştur.



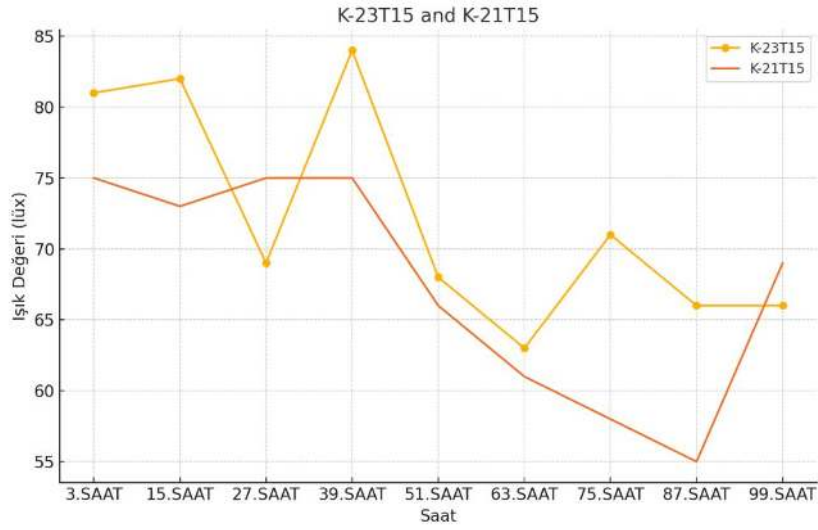
Şekil 4.17. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

K-21D15 ve K-23D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.18’de sunulmuştur



Şekil 4.18. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

K-21T15 ve K-23T15: Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.19’de sunulmuştur



Şekil 4.19. Grup I (Sıvı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

4.3.1.4. Klinostat Ortamında Başlangıç Bakteri Popülasyonu Geliştirme Ortamı Koloni Bazlı (Grup 2)

Klinostat ortamında yapılan bu çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin başlangıç popülasyonu katı besiyerinden elde edilen koloni bazlı örneklerle değerlendirilmiştir. Bu deney grubu, bakterilerin mikrogravite simülasyonu altındaki katı ortamda büyüme davranışlarını incelemek amacıyla tasarlanmıştır. Katı ortam olarak Tryptic Soy Agar (TSA) kullanılmış ve başlangıç popülasyonu bir koloni olarak belirlenmiştir.

Deneylerde, bakteriyel büyüme süreci sıcaklık (21°C ve 23°C) ve klinostatın çift eksenli dönüş mekanizması altında gözlemlenmiştir. Klinostat ortamındaki koloni bazlı büyüme, bakterilerin yüzeyde çoğalma eğilimlerini ve mikrogravite simülasyonlarına karşı adaptasyon mekanizmalarını anlamak için kritik bilgiler sağlamıştır.

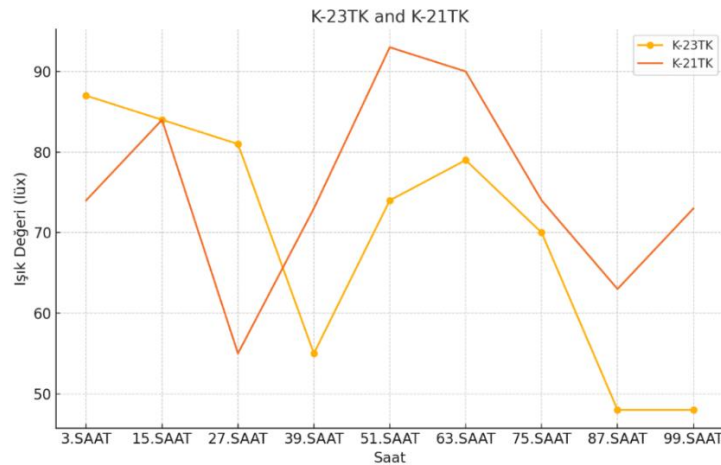
Bu deneylerde elde edilen veriler, katı ortamın mikrogravite simülasyonu altındaki stabilitesini ve koloni bazlı büyüme dinamiklerinin sıvı ortama kıyasla nasıl farklılık gösterdiğini analiz etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, uzay biyolojisi deneylerinde katı ortamların potansiyel faydalarını ortaya koyarak, gelecekteki araştırmalar için değerli bir temel sunmuştur.

K-21DK ve K-23DK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.20’de sunulmuştur



Şekil 4.20. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

K-21TK ve K-23TK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.21’de sunulmuştur



Şekil 4.21. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve oda sıcaklığından düşük (21°C) iki örneğin karşılaştırılması.

Bu çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri, klinostat ortamında mikrogravite simülasyonu ve standart yerçekimi koşulları altında karşılaştırılmıştır. Klinostat ortamında bakteriler, çift eksenli bir döner mekanizma ile yerçekimi etkisi minimize edilerek değerlendirilmiştir. Yerçekimi koşullarındaki deneylerde ise benzer sıcaklık ve popülasyon yoğunlukları kullanılarak büyüme dinamikleri incelenmiştir.

Büyüme süreçlerinde, klinostat ortamında plato fazına geçiş süresinin uzadığı ve bunun bakteriyel metabolizmanın mikrogravite koşullarına uyum sağlama süreci ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerde, bakterilerin büyüme dinamiklerini değerlendirmek için sıcaklık 21°C ve 23°C olarak ayarlanmış, başlangıç popülasyonu yoğunluğu 10 µL olarak belirlenmiştir. Taze ve dondurulmuş örnekler ayrı gruplar halinde incelenerek büyüme eğrileri analiz edilmiştir.

Klinostat ortamında büyüme sürecinin değerlendirilmesi için Baranyi büyüme modeli kullanılmış ve sıcaklık ile örnek türlerinin büyüme üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Taze örneklerin daha tutarlı büyüme eğrileri sergilediği ve 21°C'nin düşük sıcaklık avantajı sağlayarak büyüme hızını kontrol altında tuttuğu belirlenmiştir. Dondurulmuş örneklerde ise hızlı bir başlangıç büyümesi görülmüş, ancak stabilite sorunları yaşanmıştır. Bu metodoloji, mikrogravite simülasyonu ile yerçekimi koşulları arasındaki farkları anlamak ve uzay biyolojisi deneyleri için uygun koşulları belirlemek için kullanılmıştır.

4.3.2. Başlangıç Bakteri Derişimi Etkisi

Bu bölümde, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin farklı başlangıç popülasyon derişimlerinin büyüme dinamikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Deneyler, sıvı besiyeri (Tryptic Soy Broth) ve katı besiyeri (Tryptic Soy Agar) kullanılarak gerçekleştirilmiş, başlangıç popülasyonu yoğunlukları 1.5 µL, 10 µL, 15 µL sıvı örnekler ve 1 koloni şeklinde seçilmiştir. Bu derişim ve popülasyon formatları, büyüme hızını, plato fazına geçiş süresini ve genel stabiliteyi karşılaştırmak amacıyla optimize edilmiştir.

Başlangıç derişimi ve popülasyon tipi, bakteriyel büyüme sürecinin logaritmik fazına geçişini ve popülasyonun toplam büyüklüğünü doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Deneyler, 21°C ve 23°C sıcaklık koşullarında hem taze hem de dondurulmuş örnekler

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Baranyi büyüme modeli ile analiz edilen veriler, başlangıç derişiminin ve popülasyon tipinin büyüme dinamikleri üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde ortaya koymuştur.

4.3.2.1.Senaryo A (Dondurulmuş) Örneklerinin Değerlendirilmesi

Senaryo A (Dondurulmuş) kapsamında, büyüme deneyleri dondurulmuş *Escherichia coli* ATCC 25922 örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Dondurulmuş örneklerin, metabolik aktivitenin yeniden başlaması için adaptasyon sürecine ihtiyaç duyması nedeniyle, başlangıç popülasyon yoğunluğuna ve popülasyon tipine bağlı olarak farklı büyüme hızları ve stabilite özellikleri sergilediği gözlemlenmiştir.

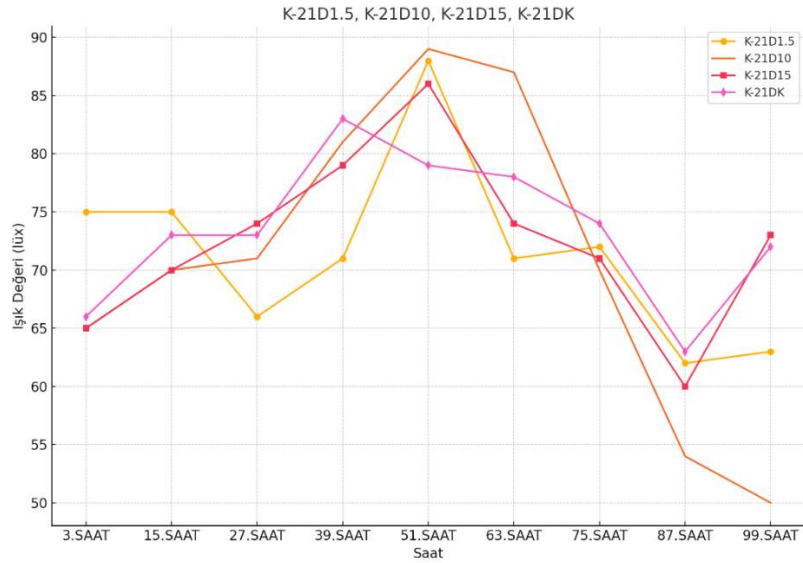
21D1.5, 21D10, 21D15 ve 21DK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.22'de sunulmuştur.



Şekil 4.22. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması

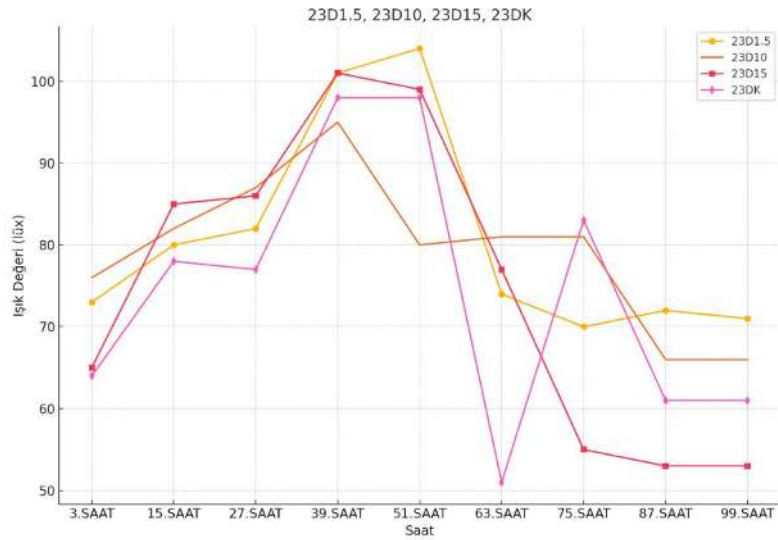
K-21D1.5, K-21D10, K-21D15 ve K-21DK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15

μL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C 'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.23'de sunulmuştur.



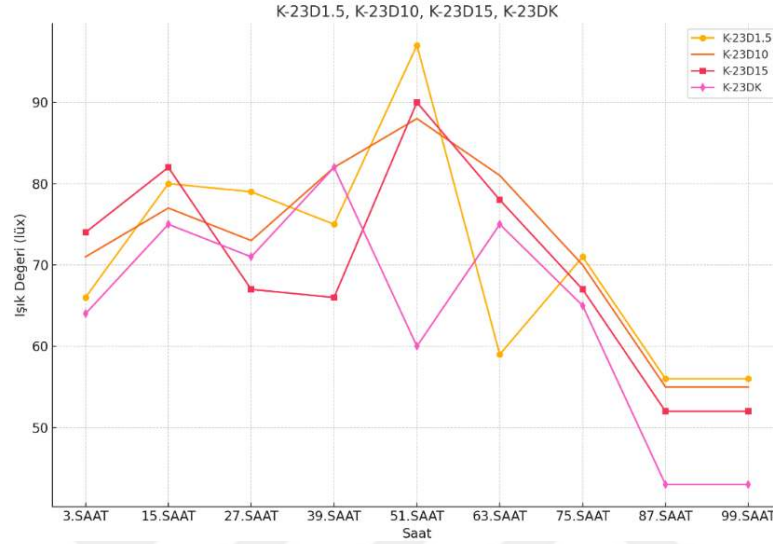
Şekil 4.23. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C 'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

23D1.5, 23D10, 23D15 ve 23DK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), 23°C 'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.24'de sunulmuştur



Şekil 4.24. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), 23°C 'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

K-23D1.5, K-23D10, K-23D15 ve K-23DK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.25'de sunulmuştur



Şekil 4.25. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

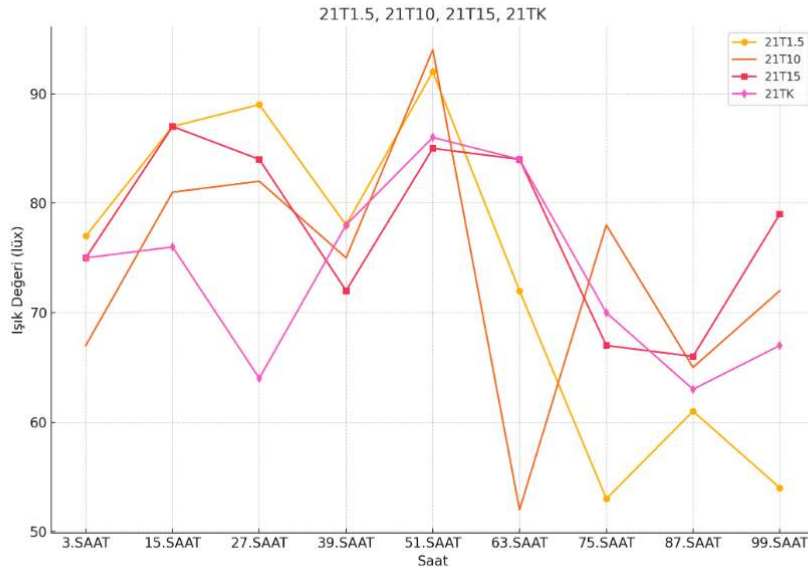
4.3.2.2. Senaryo B (Taze) Örneklerinin Değerlendirilmesi

Senaryo B (Taze) kapsamında, büyüme deneyleri taze *Escherichia coli* ATCC 25922 örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Taze örnekler, metabolik olarak aktif olduklarından, başlangıç popülasyon yoğunluğuna ve popülasyon tipine bağlı olarak farklı büyüme hızları ve stabilite özellikleri sergilemiştir.

Bu çalışmada, 21°C ve 23°C sıcaklık koşullarında, sıvı besiyeri için 1.5 μ L, 10 μ L ve 15 μ L; katı besiyeri için ise 1 koloni başlangıç popülasyonu ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Analizler, başlangıç popülasyonunun artmasıyla logaritmik faza geçiş süresinin kısaldığını, ancak yüksek popülasyon yoğunluğunun plato fazına erken ulaşımına neden olduğunu göstermiştir. Katı besiyerindeki 1 koloni ile yapılan deneyler, sıvı besiyerine kıyasla daha yavaş bir başlangıç büyümesi sergilemiş, ancak plato fazında daha stabil bir eğilim göstermiştir.

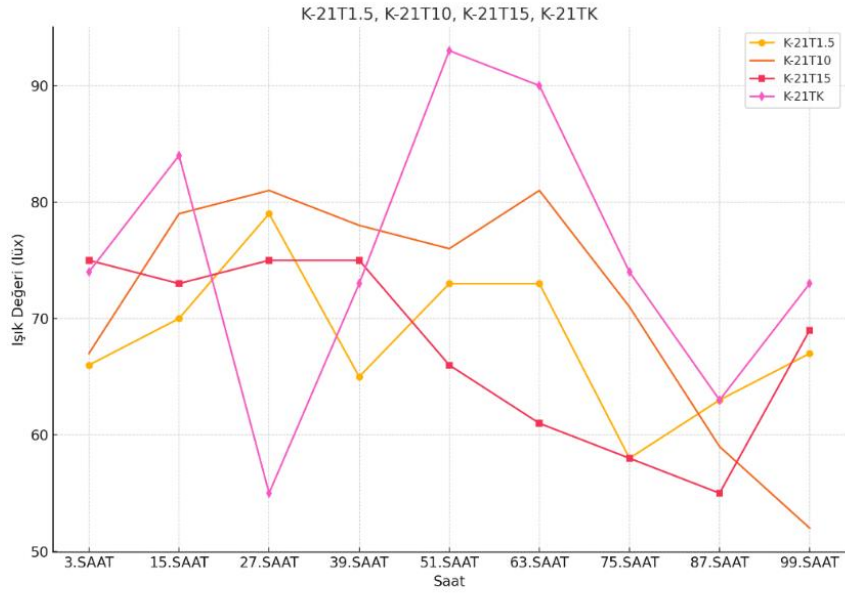
Sonuçlar, başlangıç popülasyonunun ve ortam tipinin büyüme dinamiklerini optimize etmek için kritik faktörler olduğunu ortaya koymuştur. Taze örneklerin 10 μL başlangıç popülasyonu sıvı besiyerinde, 1 koloni başlangıç popülasyonu ise katı besiyerinde büyüme oranı ve stabilite arasında ideal bir denge sağlamış ve bu kombinasyonlar en uygun koşul olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, uzay biyolojisi deneyleri için hem sıvı hem de katı besiyerlerinin kullanımına yönelik stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

21T1.5, 21T10, 21T15 ve 21TK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.26'da sunulmuştur



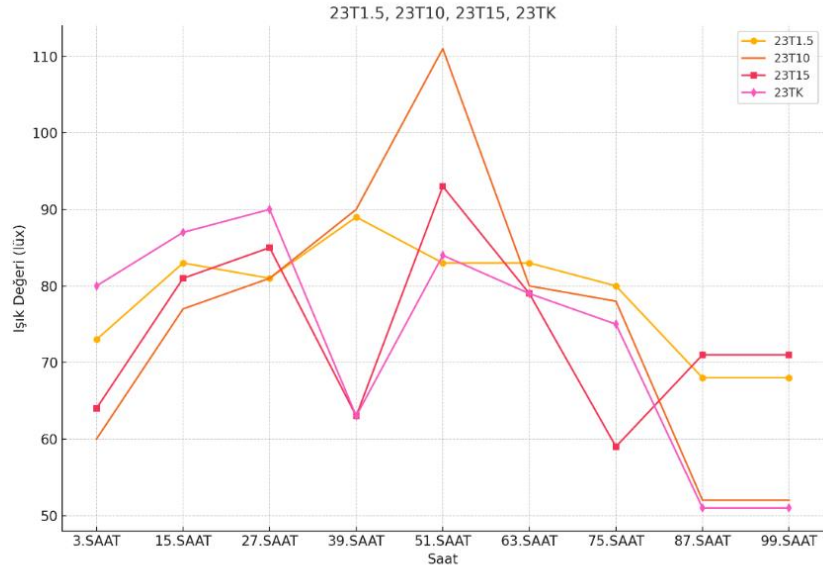
Şekil 4.26. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması

K-21T15, K-21T10, K-21T15 ve K-21TK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μL , 10 μL , 15 μL ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.27'de sunulmuştur.



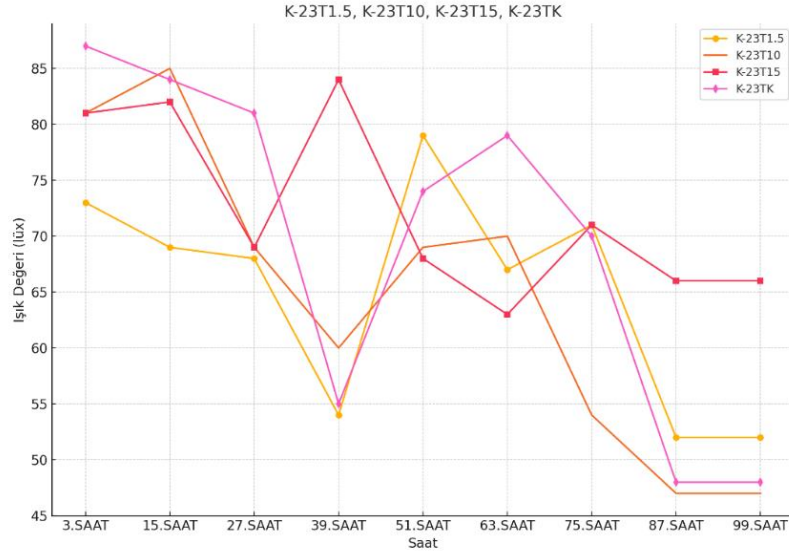
Şekil 4.27. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında 21°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

23T1.5, 23T10, 23T15 ve 23TK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.28'de sunulmuştur



Şekil 4.28. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

K-23T1.5, K-23T10, K-23T15 ve K-23TK: Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması Şekil 4.29'da sunulmuştur.



Şekil 4.29. Grup I (Sıvı Besiyeri) ve Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması.

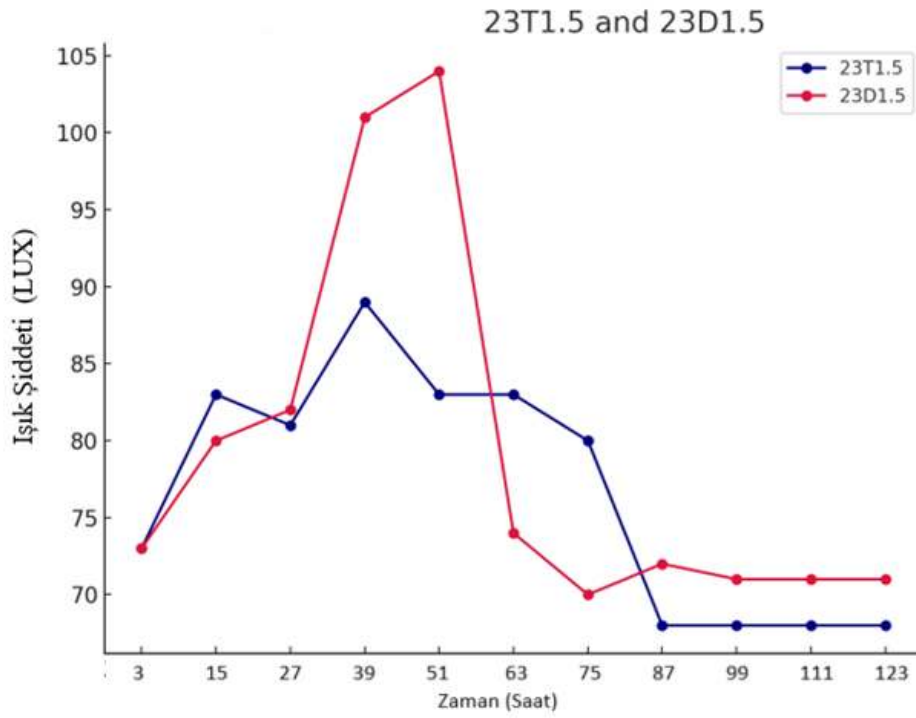
4.3.3. Senaryo Farkının Etkisi

Bu bölümde, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri üzerindeki Senaryo A (Dondurulmuş) (dondurulmuş örnekler) ve Senaryo B (Taze) (taze örnekler) arasında karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Her iki senaryo, bakteriyel büyüme hızını, logaritmik faza geçiş süresini ve plato fazındaki stabiliteyi etkileyen farklı başlangıç koşullarını temsil etmektedir. Deneylerde sıvı ve katı besiyerleri kullanılarak, 1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L sıvı örnekler ve 1 koloni katı örnekler değerlendirilmiştir.

Dondurulmuş örnekler (Senaryo A), hızlı bir başlangıç büyümesi sergilemiş ancak plato fazına erken ulaşmıştır. Bu durum, metabolik aktivitenin başlangıçta hızlı bir şekilde artmasına karşın, zamanla stabilitenin düşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Taze örnekler (Senaryo B) ise daha yavaş bir başlangıç büyümesi göstermiş, ancak plato fazına geçiş daha uzun sürmüş ve büyüme eğrileri daha stabil bir yapı sergilemiştir.

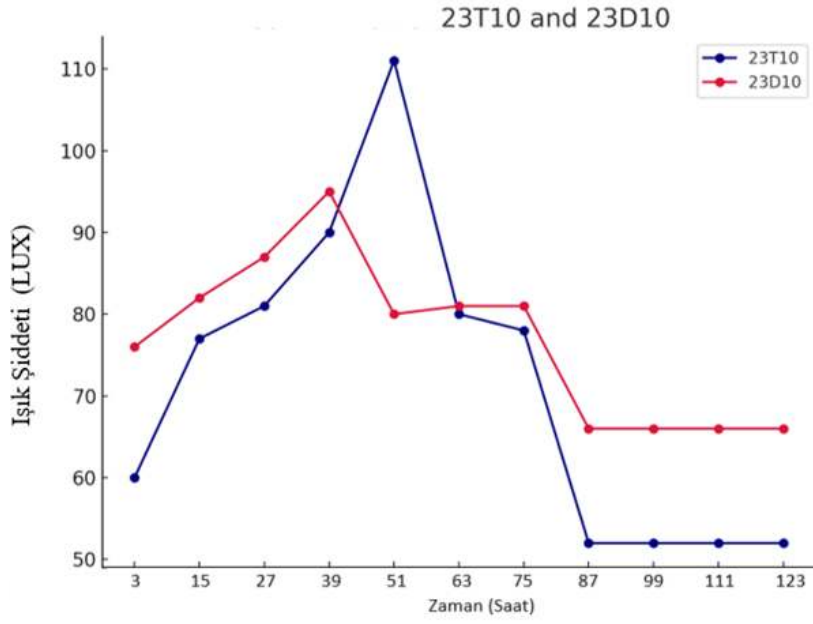
Sıcaklık koşullarına bağlı olarak Senaryo B (Taze), özellikle 21°C'de, daha iyi bir stabilite sağlamıştır. Bu sıcaklıkta taze örnekler, metabolik süreçlerini optimize ederek uzay biyolojisi deneyleri için daha uygun bir profil sunmuştur. Sonuçlar, taze örneklerin dondurulmuş örneklerle kıyasla uzun vadeli deneylerde daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu analiz, uzay ortamında biyolojik deneyler için başlangıç örnek türü ve senaryo seçiminin önemini vurgulamaktadır.

23T1.5 ve 23D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.30'da sunulmuştur.



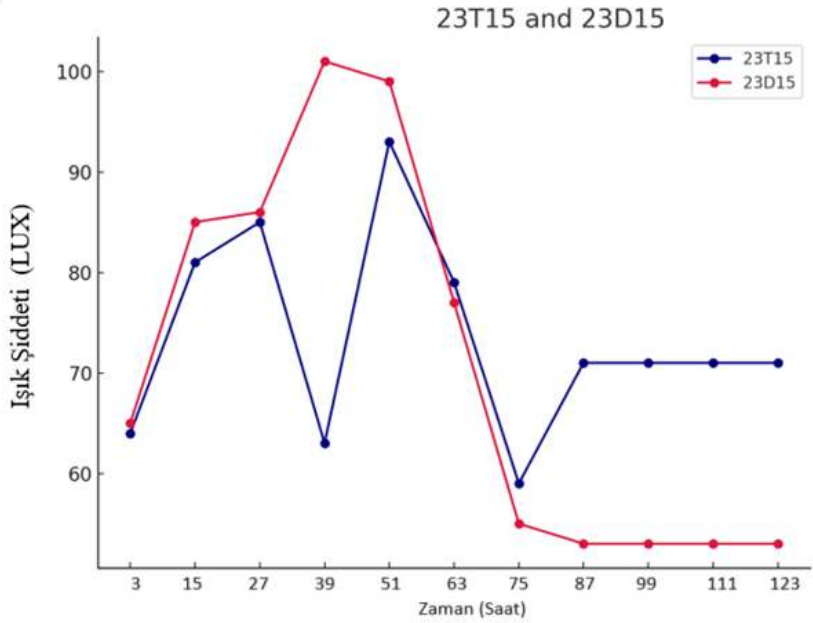
Şekil 4.30. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

23T10 ve 23D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.31'de sunulmuştur.



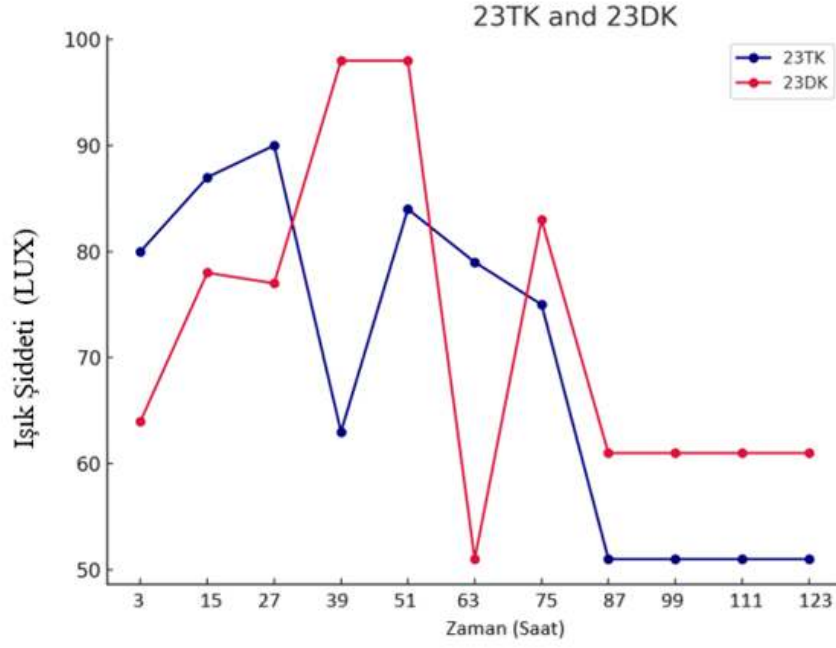
Şekil 4.31. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

23T15 ve 23D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.32’de sunulmuştur



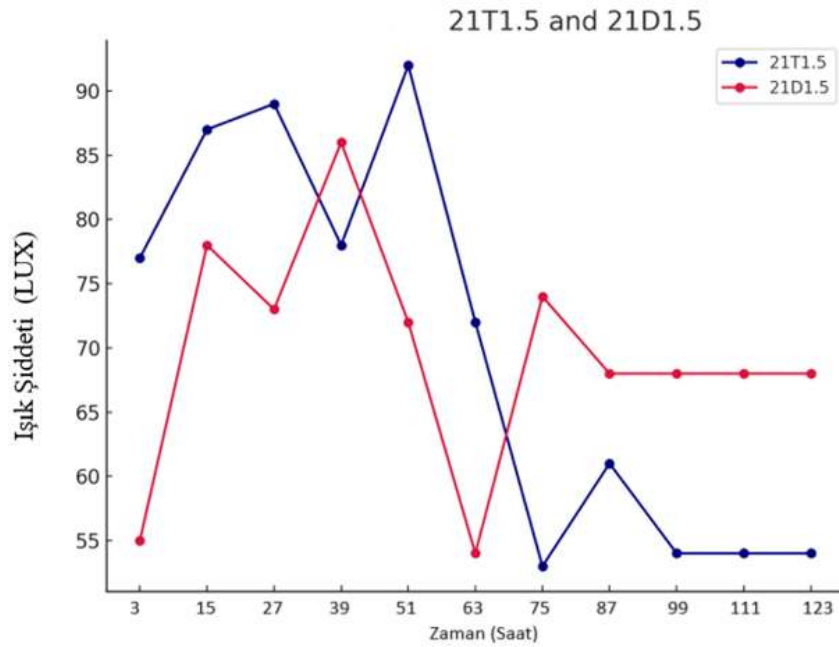
Şekil 4.32. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

23TK ve 23DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.33’da sunulmuştur



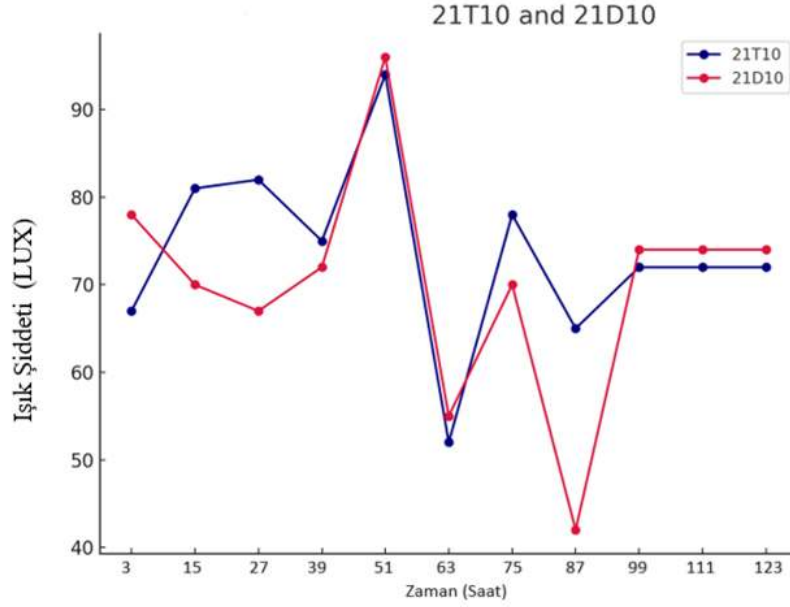
Şekil 4.33. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

21T1.5 ve 21D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.34’da sunulmuştur.



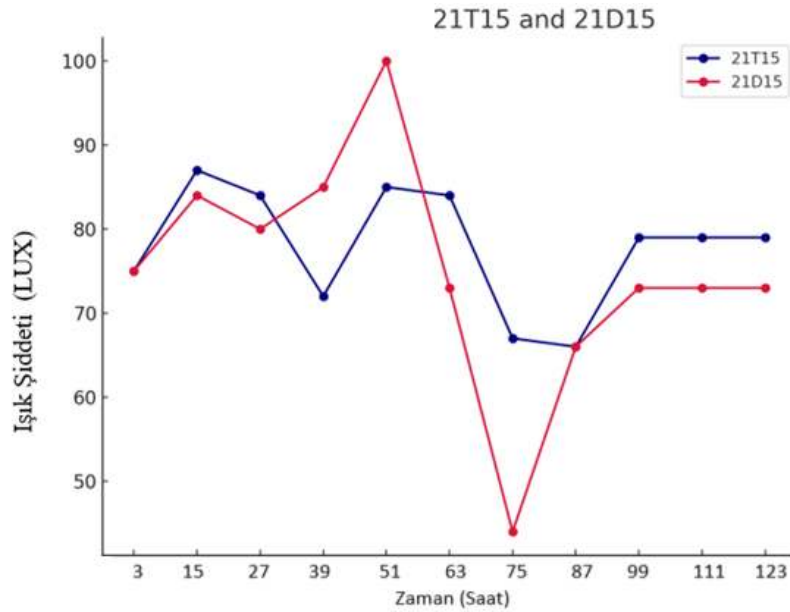
Şekil 4.34. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

21T10 ve 21D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.35’de sunulmuştur.



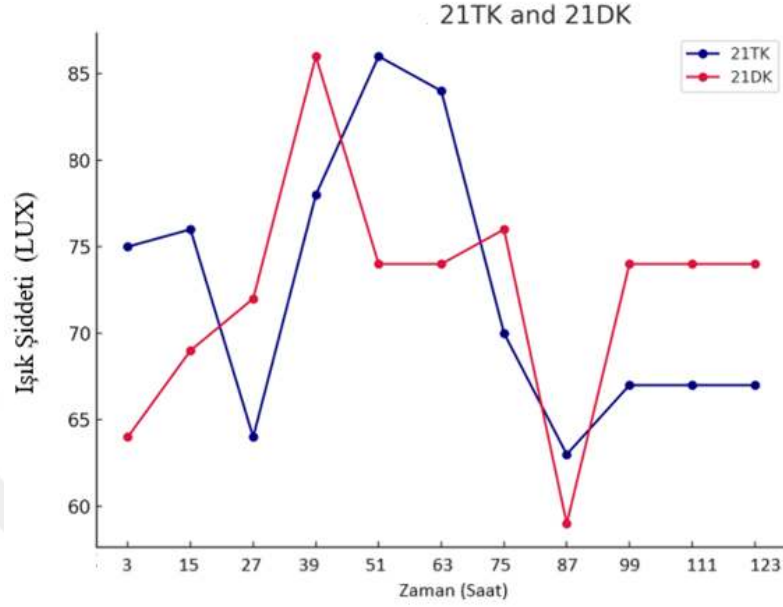
Şekil 4.35. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

21T15 ve 21D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.36’de sunulmuştur.



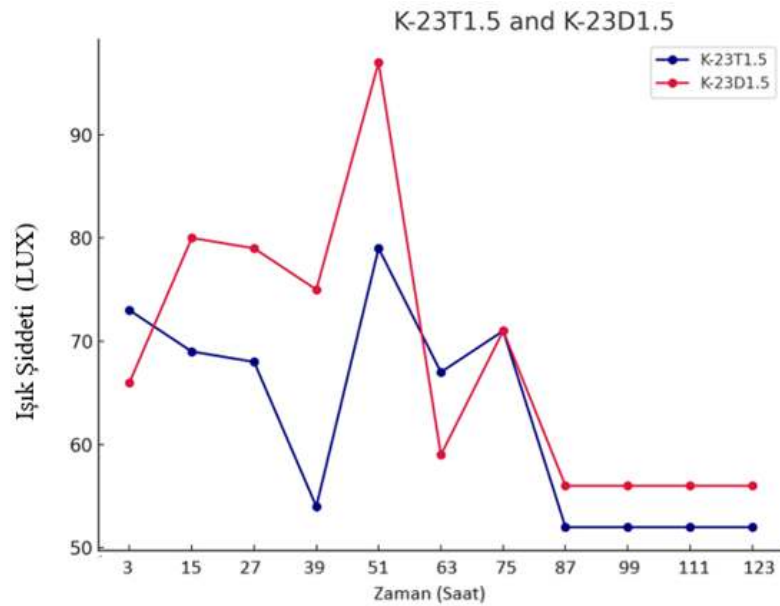
Şekil 4.36. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

21TK ve 21DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.37’da sunulmuştur



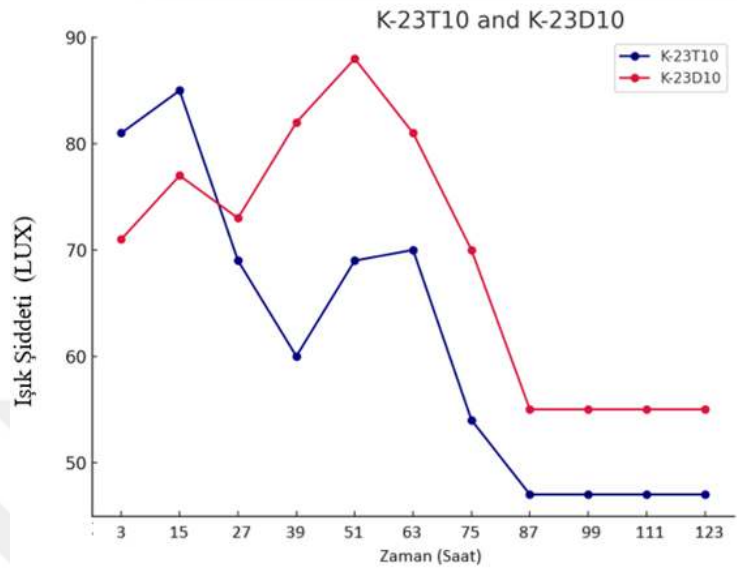
Şekil 4.37. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-23T1.5 ve K-23D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.38’de sunulmuştur



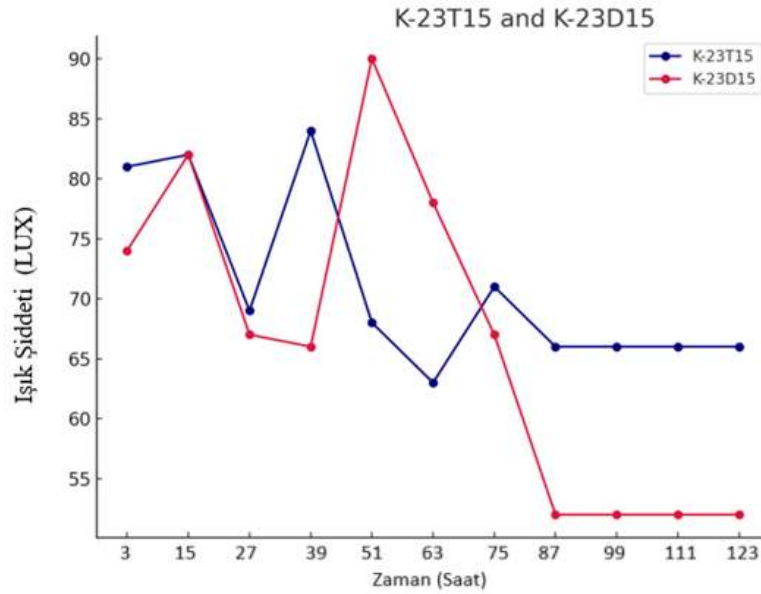
Şekil 4.38. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-23T10 ve K-23D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.39’de sunulmuştur.



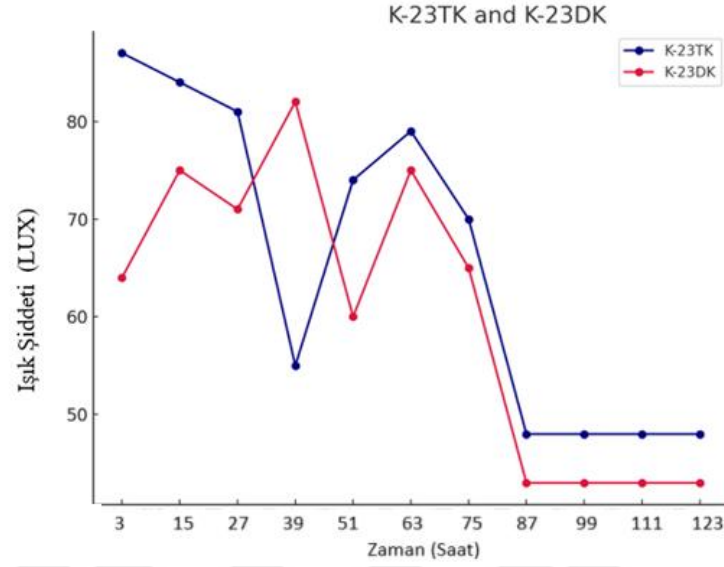
Şekil 4.39. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-23T15 ve K-23D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.40’da sunulmuştur.



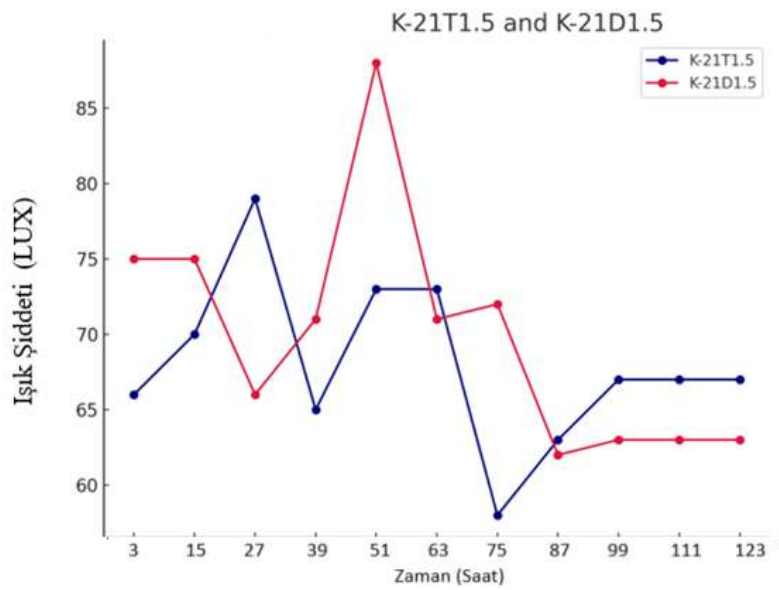
Şekil 4.40. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-23TK ve K-23DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.41’de sunulmuştur.



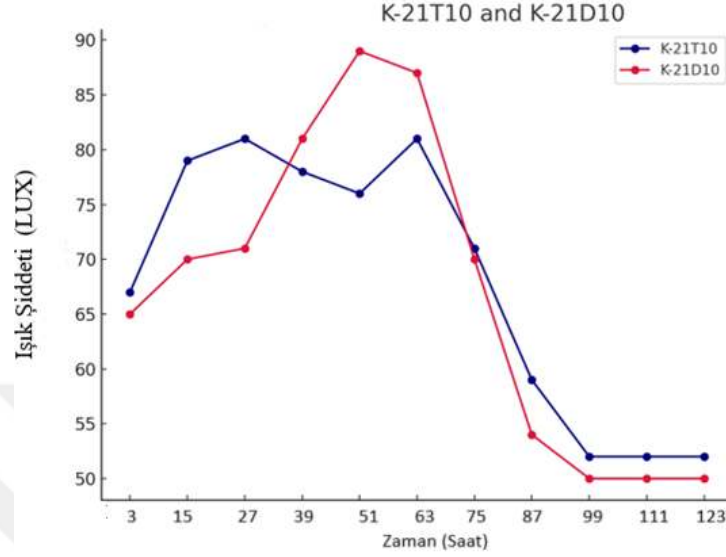
Şekil 4.41. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması

K-21T1.5 ve K-21D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.42’de sunulmuştur.



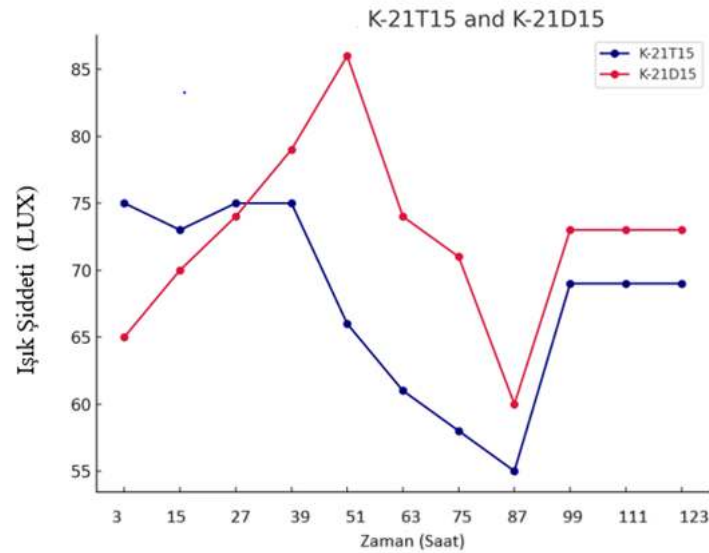
Şekil 4.42. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması

K-21T10 ve K-21D10: Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.43’da sunulmuştur.



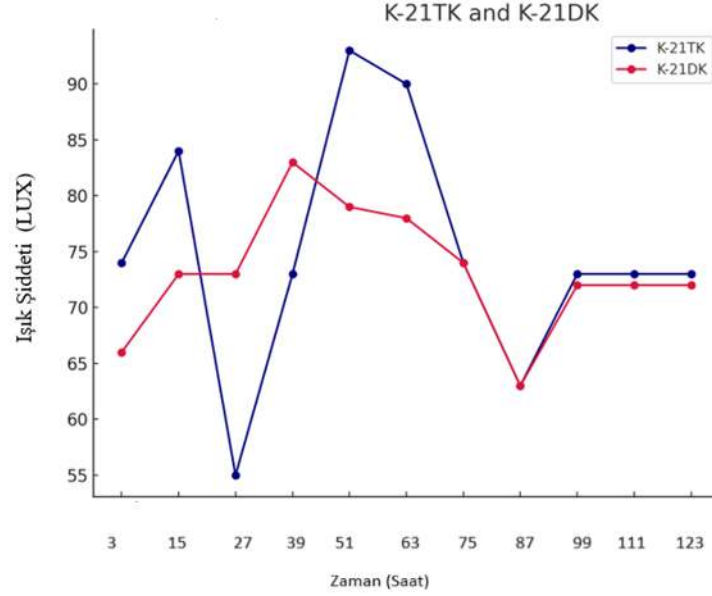
Şekil 4.43. Grup I (Sıvı Besiyeri), orta başlangıç bakteri derişimi (10 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-21T15 ve K-21D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.44’da sunulmuştur.



Şekil 4.44. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

K-21TK ve K-21DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması Şekil 4.45’da sunulmuştur.



Şekil 4.45. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük (21°C) ve dondurulmuş durumda iki örneğin karşılaştırılması.

Çalışma sonuçları, farklı başlangıç bakteri derişimleri, sıcaklıklar ve örnek durumlarının büyüme eğrilerini nasıl etkilediğini detaylı bir şekilde göstermektedir. Grup I (Sıvı Besiyeri)’de yer alan K-21T15 ve K-21D15 örnekleri, yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 µL) ile klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta (21°C) ve dondurulmuş durumda incelenmiş ve iki farklı koşulun karşılaştırması yapılmıştır. Bu örneklerde büyüme eğrilerinden biri sabit bir artış gösterirken, diğerinde plato fazına erken ulaşılmıştır. Benzer şekilde, 21T10 ve 21D10 örneklerinde orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL) ile yine klinostat ortamında oda sıcaklığından düşük bir sıcaklık (21°C) ve dondurulmuş durumlar karşılaştırılmıştır.

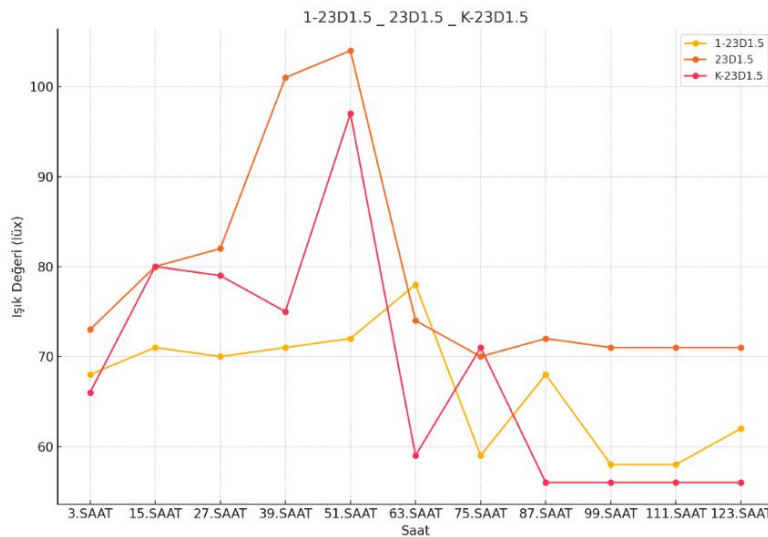
Diğer bir grup olan Grup II (Katı Besiyeri) örneklerinde, 23T1.5 ve 23D1.5 düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL) ile klinostat ortamında oda sıcaklığına yakın (23°C) ve dondurulmuş durumlar karşılaştırılmıştır. Bu grupta da benzer şekilde bir örnek sabit bir büyüme artışı gösterirken, diğer örnek plato fazına erken ulaşmıştır. Aynı grupta yer alan K-23T10 ve K-23D10 örneklerinde ise orta başlangıç bakteri derişimi (10 µL) ile oda sıcaklığına yakın (23°C) koşullar altında dondurulmuş ve taze durumlar karşılaştırılmıştır.

4.3.4. Mikrogravite Simülasyonunun Etkisi

Bu bölümde, mikrogravite simülasyonunun *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Mikrogravite koşullarını simüle etmek için klinostat sistemi kullanılmış ve çift eksenli dönüş mekanizmasıyla yerçekimi etkisi minimize edilmiştir. Deneyler, hem sıvı hem de katı besiyerlerinde, 1.5 µL, 10 µL, 15 µL sıvı örnekler ve 1 koloni katı örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

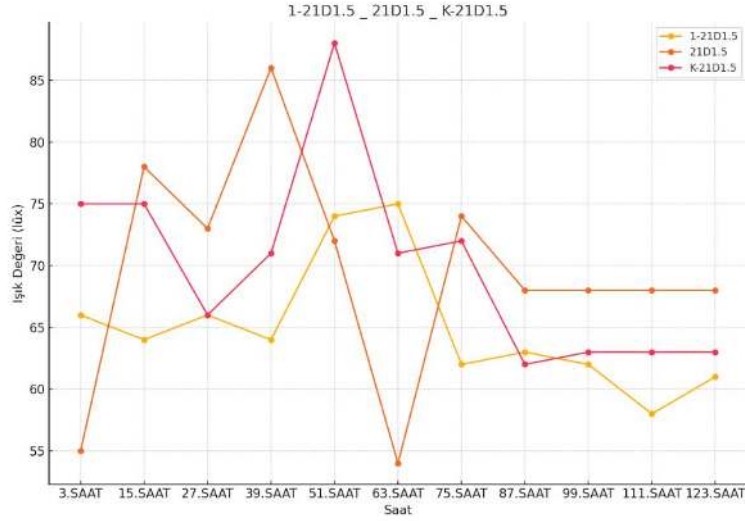
Mikrogravite simülasyonunda, bakteriyel büyüme hızının standart yerçekimi koşullarına kıyasla yavaşladığı, ancak plato fazına geçiş süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, mikrogravitenin hücrelerin metabolik süreçlerini yavaşlatması ve besinlerin difüzyon mekanizmasındaki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Mikrogravite ortamında taze örneklerin daha stabil büyüme eğrileri sergilediği, dondurulmuş örneklerin ise hızlı başlangıç büyümesine rağmen stabilite kaybı yaşadığı tespit edilmiştir.

1-23D1.5, 23D1.5 ve K-23D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırması Şekil 4.46'da sunulmuştur



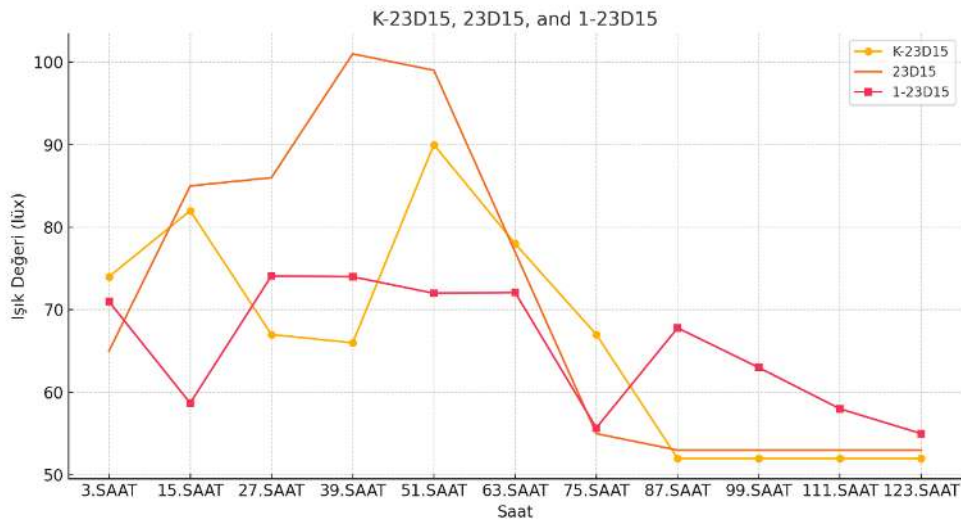
Şekil 4.46. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 µL), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma

1-21D1.5, 21D1.5 ve K-21D1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.47’da sunulmuştur



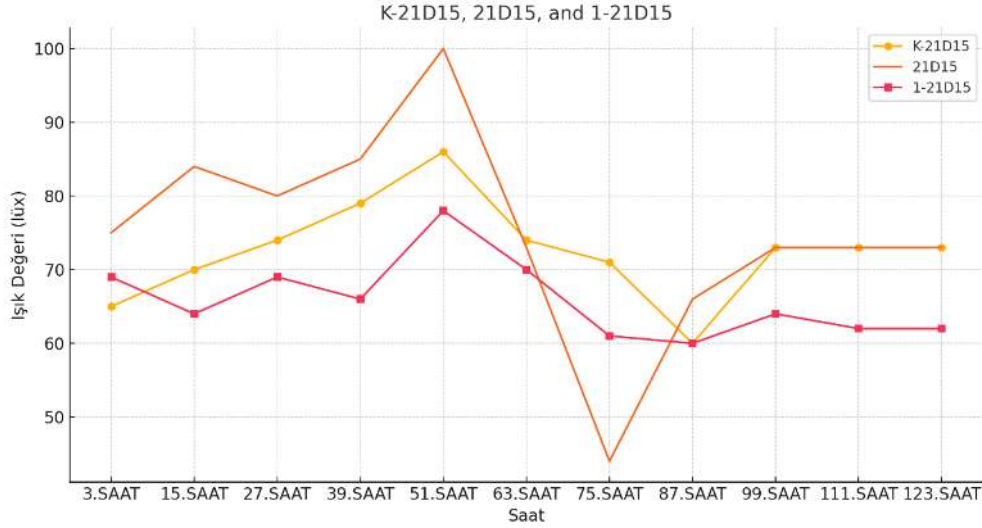
Şekil 4.47. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-23D15, 23D15 ve K-23D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.48’da sunulmuştur



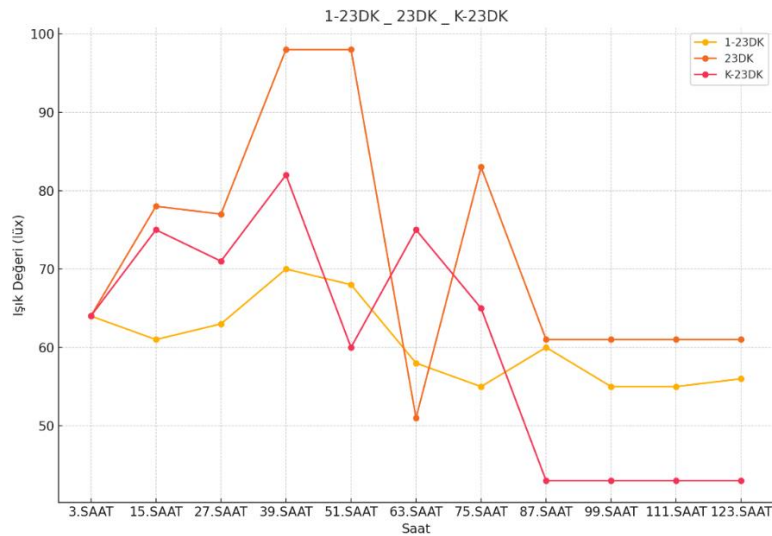
Şekil 4.48. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-21D15, 21D15 ve K-21D15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.49'da sunulmuştur



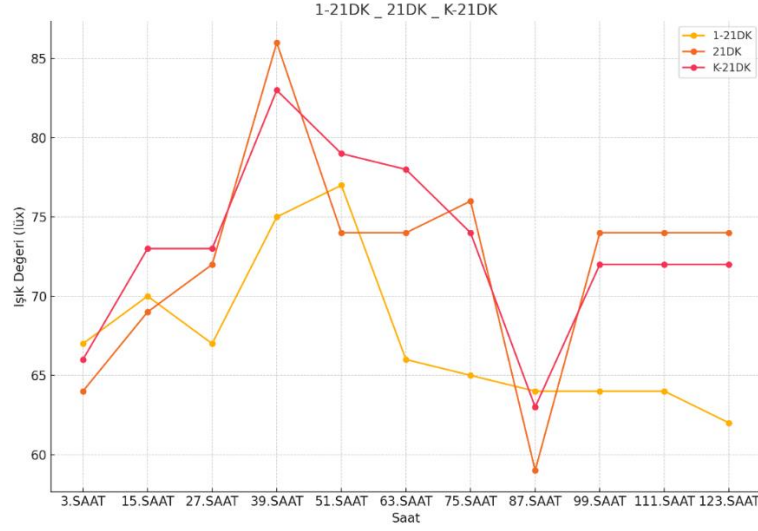
Şekil 4.49. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-23DK, 23DK ve K-23DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.50'da sunulmuştur



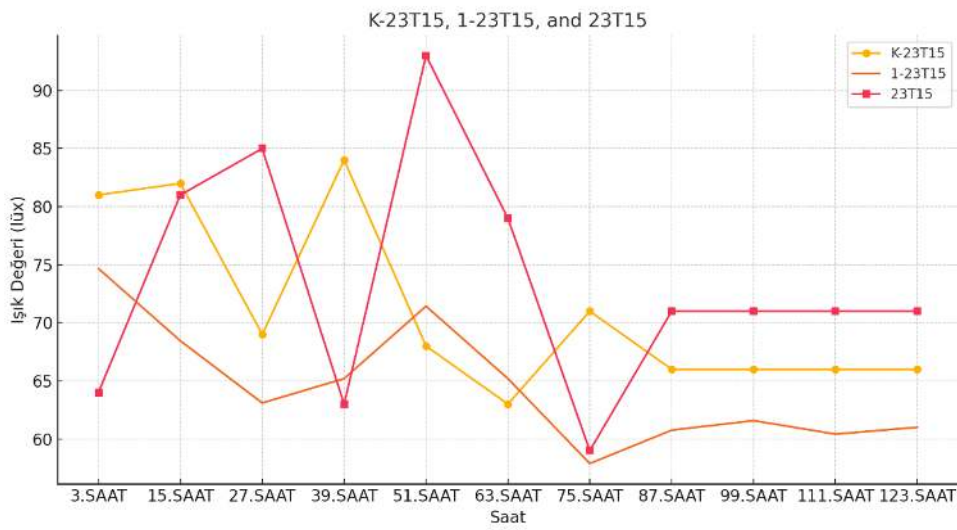
Şekil 4.50. Grup II (Katı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-21DK, 21DK ve K-21DK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.51’da sunulmuştur



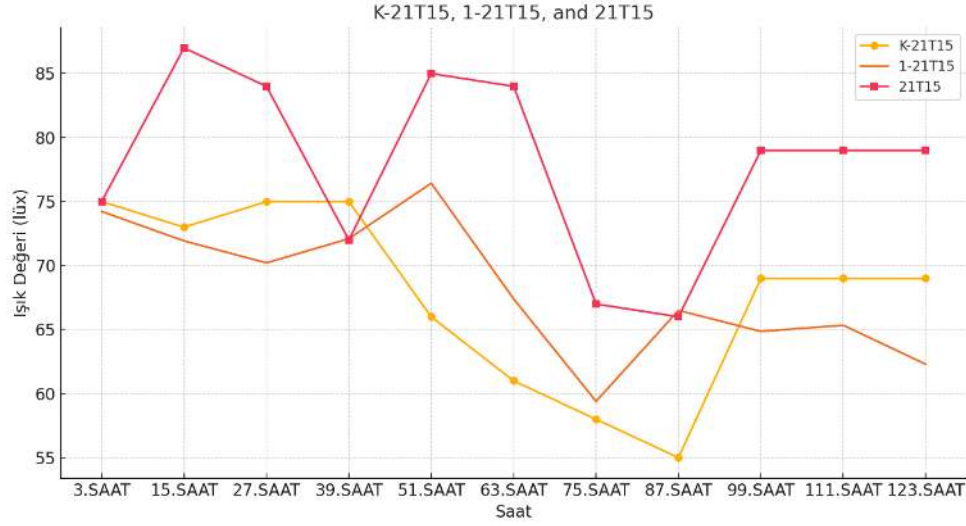
Şekil 4.51. Grup II (Katı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-23T15, 23T15 ve K-23T15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırması Şekil 4.52’da sunulmuştur



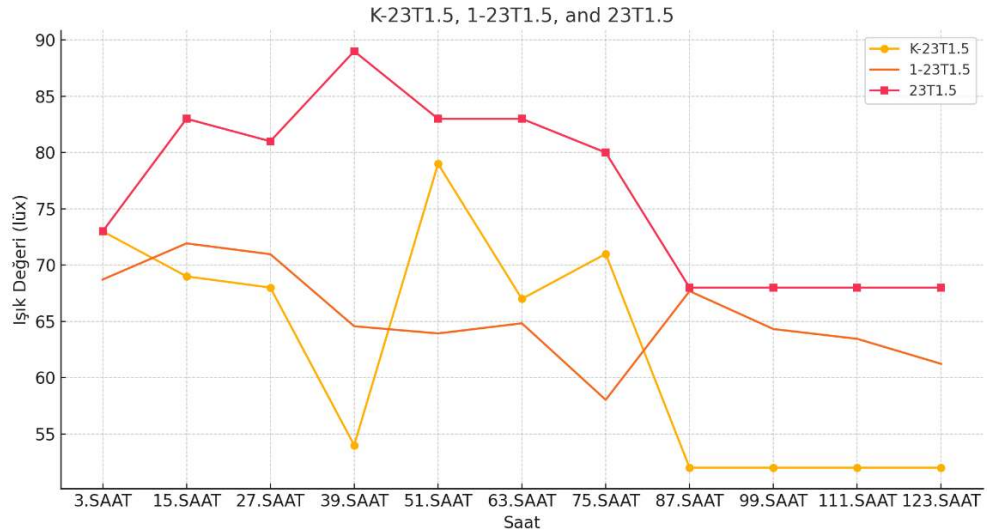
Şekil 4.52. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma

1-21T15, 21T15 ve K-21T15: Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.53'da sunulmuştur



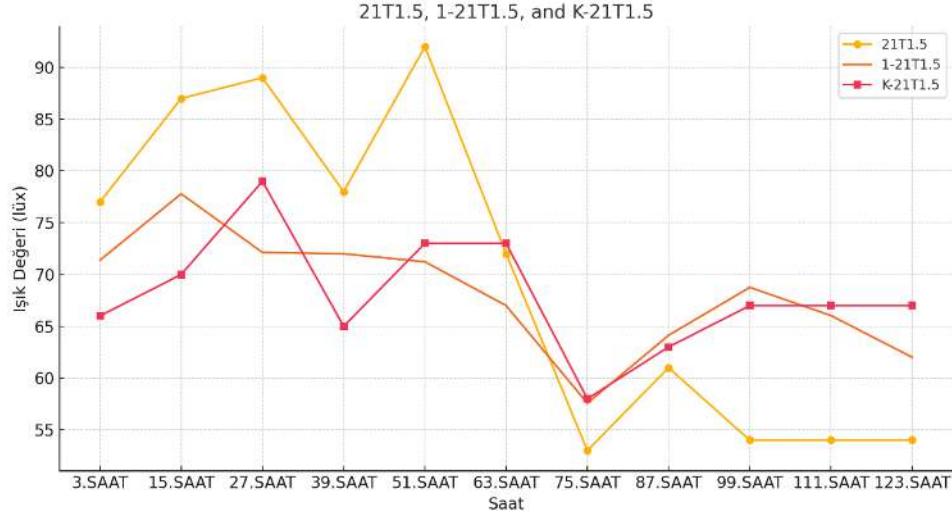
Şekil 4.53. Grup I (Sıvı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (15 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-23T1.5, 23T1.5 ve K-23T1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.54'da sunulmuştur



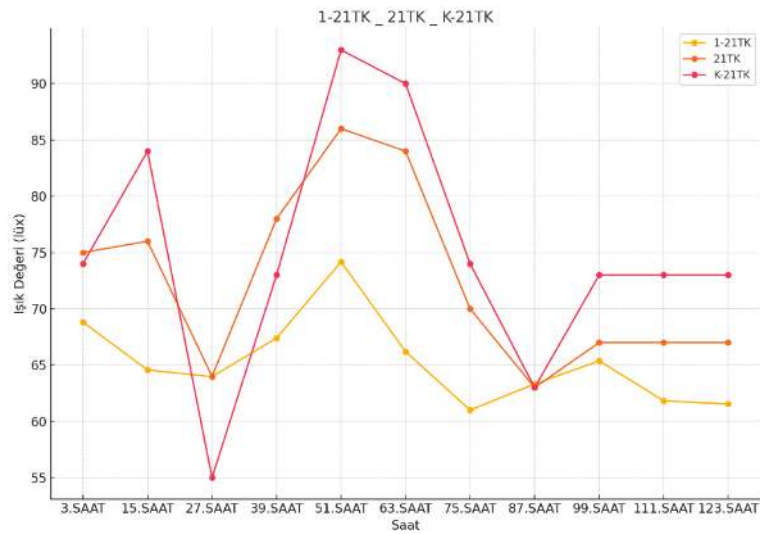
Şekil 4.54. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-21T1.5, 21T1.5 ve K-21T1.5: Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.55’da sunulmuştur



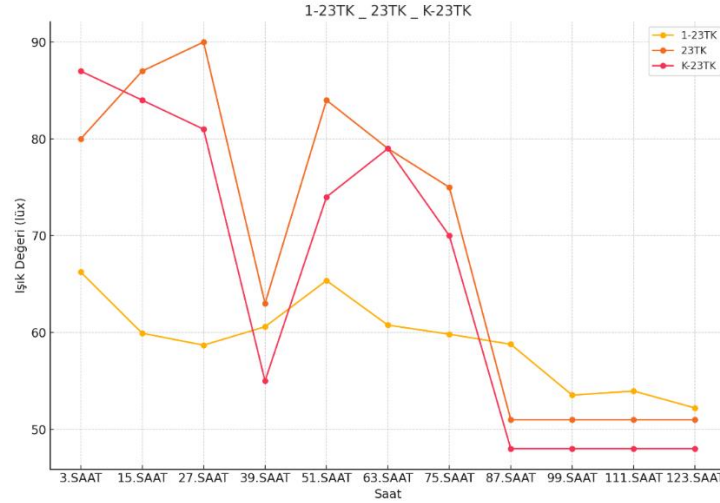
Şekil 4.55. Grup I (Sıvı Besiyeri), düşük başlangıç bakteri derişimi (1.5 μ L), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-21TK, 21TK ve K-21TK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.56’da sunulmuştur



Şekil 4.56. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığından düşük (21°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

1-23TK, 23TK ve K-23TK: Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma Şekil 4.57’da sunulmuştur



Şekil 4.57. Grup II (Katı Besiyeri), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), oda sıcaklığına yakın (23°C), birinci ve ikinci deneyler ile klinostat ortamındaki farklılıkları inceleyen karşılaştırma.

4.4.Klinostat ortam tasarım ve imalatı

Klinostat sistemi, mikrogravite simülasyonu sağlamak amacıyla tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu sistem, çift eksenli dönüş mekanizmasıyla bakteriyel örneklerin algıladığı yerçekimi etkisini minimize etmeyi hedeflemiştir. Klinostat tasarımında, 3 rpm ve 1.5 rpm dönüş hızları, mikrogravite koşullarını en iyi şekilde simüle etmek için optimize edilmiştir. Sistem, Arduino Nano mikrodenetleyicisi ile kontrol edilmiş ve hareket sabitliği sağlanmıştır.

Deneylerde, klinostat ortamının bakteriyel büyüme üzerindeki etkileri analiz edilmiş ve mikrogravitenin büyüme hızını yavaşlattığı, plato fazına geçiş süresini uzattığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, klinostat ortamında sıcaklık koşulları (21°C ve 23°C) ile başlangıç popülasyonu yoğunlukları gibi değişkenlerin büyüme dinamikleri üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenmiştir.

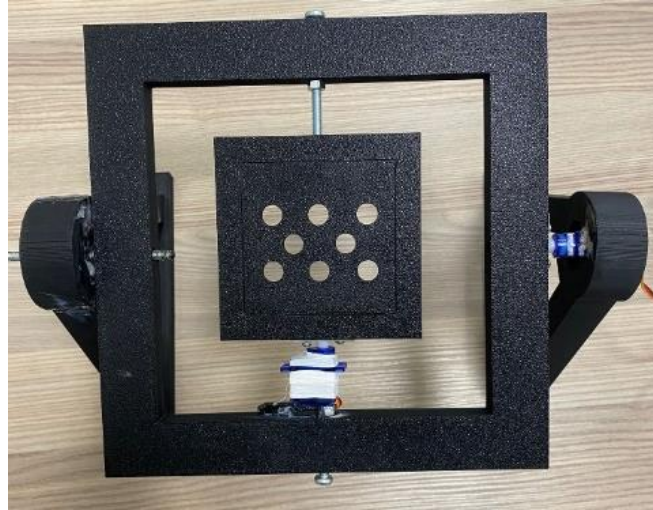
Sonuçlar, klinostat ortamının, mikrogravite koşullarında bakteriyel büyüme süreçlerini anlamak ve optimize etmek için etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Bu sistem, uzay biyolojisi deneyleri için kritik bir altyapı sunmaktadır. (Tablo 4.3)

Tablo 4.3. Klinostatın RPM Sonuç Tablosu

Oran	Maksimum İvme (m/s ²)	Ortalama İvme (m/s ²)	Uygunluk
4 rpm ve 1.8 rpm	0.0163 (1.66 × 10 ⁻³ g)	0.0108 (1.10 × 10 ⁻³ g)	Mikrograviteye Yakın
3 rpm ve 1.5 rpm	0.0131 (1.34 × 10 ⁻³ g)	0.0094 (9.6 × 10 ⁻⁴ g)	Mikrogravite İçin Daha Uygun

- 3 rpm ve 1.5 rpm oranı, mikrograviteyi daha iyi simüle eder çünkü hem maksimum hem de ortalama ivme, 10⁻³ g sınırına daha yakındır.
- Bu oranlarla çalışmanız, mikrogravite koşullarını daha doğru bir şekilde simüle eder ve deneysel doğruluk sağlar.

Bu sonuçlar çerçevesinde 3 rpm ve 1.5 rpm oranı seçilerek sistemin yazılımına eklenmiş ve sistem tamamlanmıştır. (Şekil 4.58)



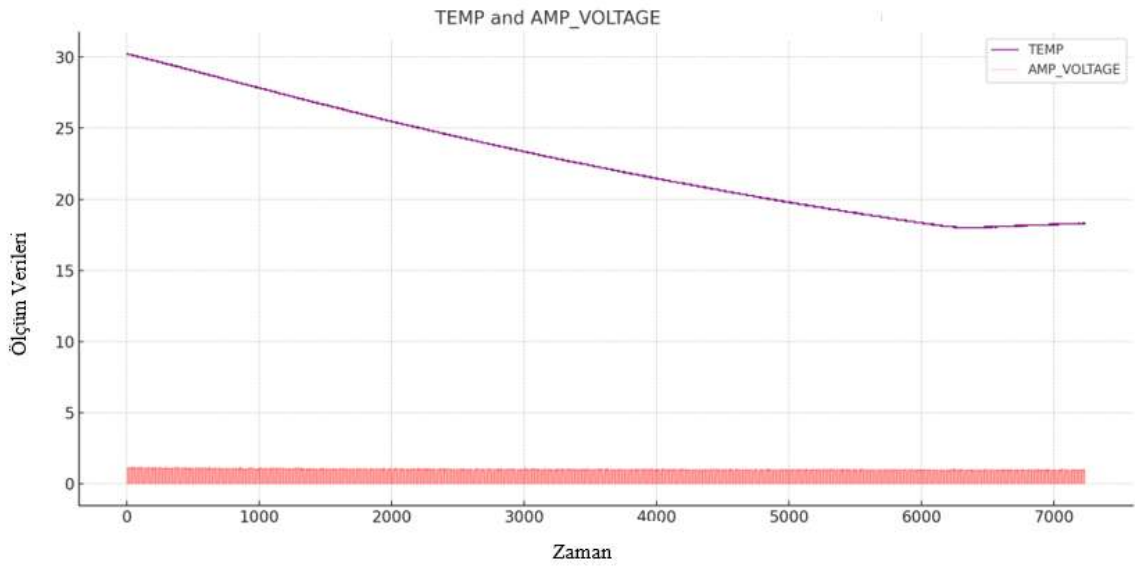
Şekil 4.58. Klinostat Cihazı

4.5.Küp uydu yer testleri

Küp uydu yaşam bilimi modülünün dayanıklılığını ve performansını değerlendirmek için bir dizi yer testi gerçekleştirilmiştir. Bu testler, uydunun uzay ortamında karşılaşılabileceği

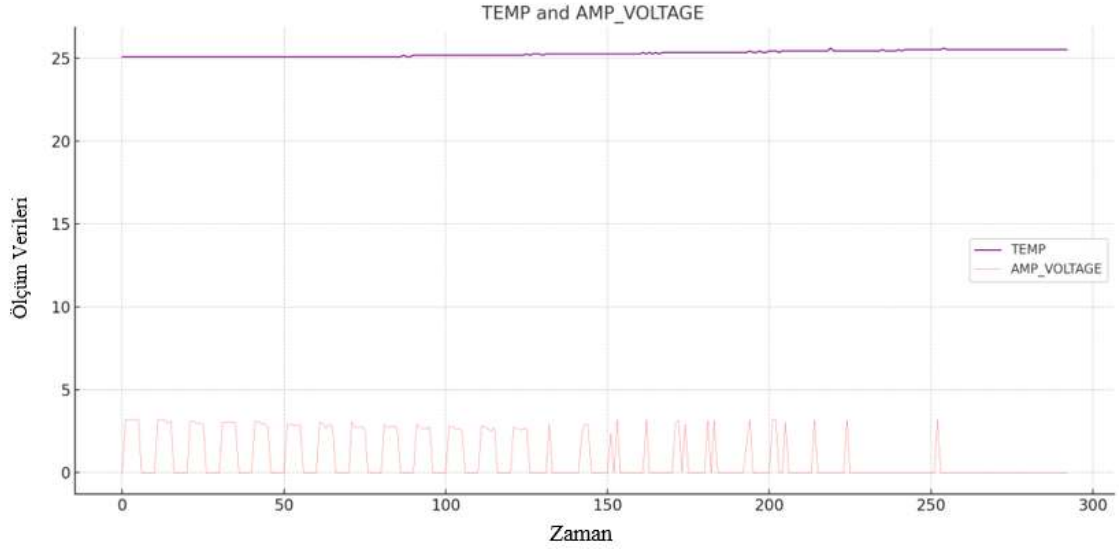
zorlu koşullara dayanıklılığını ve güvenilir çalışabilirliğini doğrulamak amacıyla yapılmıştır. Testler, basınç, titreşim, piroşok ve sıcaklık gibi faktörleri simüle eden özel test protokolleri kullanılarak uygulanmıştır.

Basınç Testi: Uydunun vakum ortamında çalışma kabiliyetini değerlendirmek için basınç testleri yapılmıştır. Modül, termal vakum odasına yerleştirilmiş ve basınç $<10^{-5}$ mbar seviyesine düşürülerek uzay ortamını simüle eden koşullar sağlanmıştır. Test sırasında sıcaklık, UV endeksi ve ışık yoğunluğu sensörlerinin kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Elektronik sistemlerin basınç farkından etkilenmediği ve veri kaybı yaşanmadığı doğrulanmıştır (şekil 4.59).



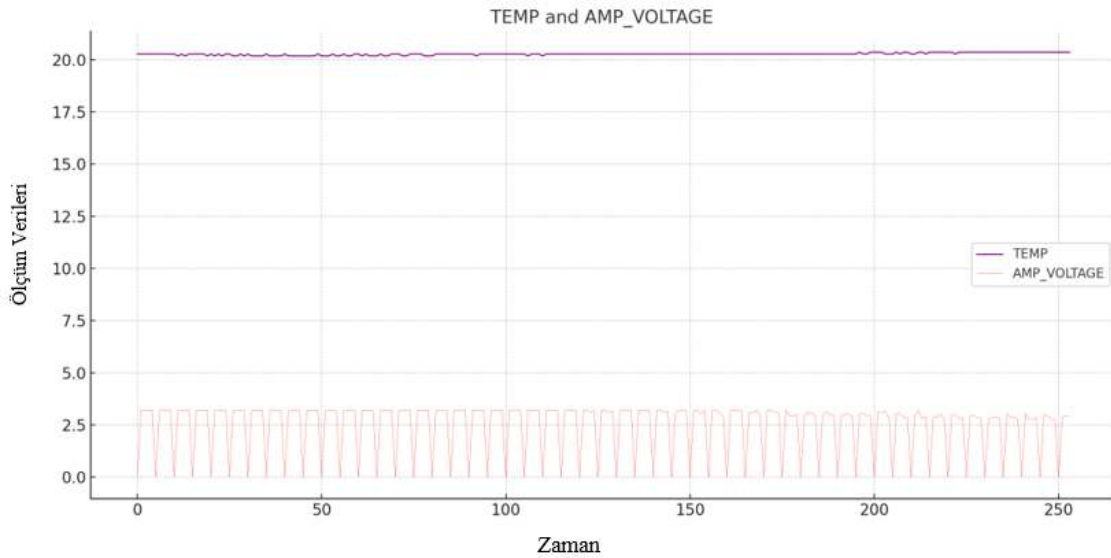
şekil 4.59. Basınç Testi Sonuç Grafiği

Titreşim Testi: Fırlatma sırasında meydana gelebilecek titreşimlerin modül üzerindeki etkilerini değerlendirmek için titreşim testleri uygulanmıştır. X, Y ve Z eksenlerinde, farklı frekans ve genlik seviyelerinde titreşim profilleri uygulanmış ve akselerometrelerle ölçümler yapılmıştır. Tüm eksenlerde sistemin tutarlı bir performans sergilediği ve yapısal deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiştir (şekil 4.60).



Şekil 4.60. Titreşim Testi Sonuç Grafiği

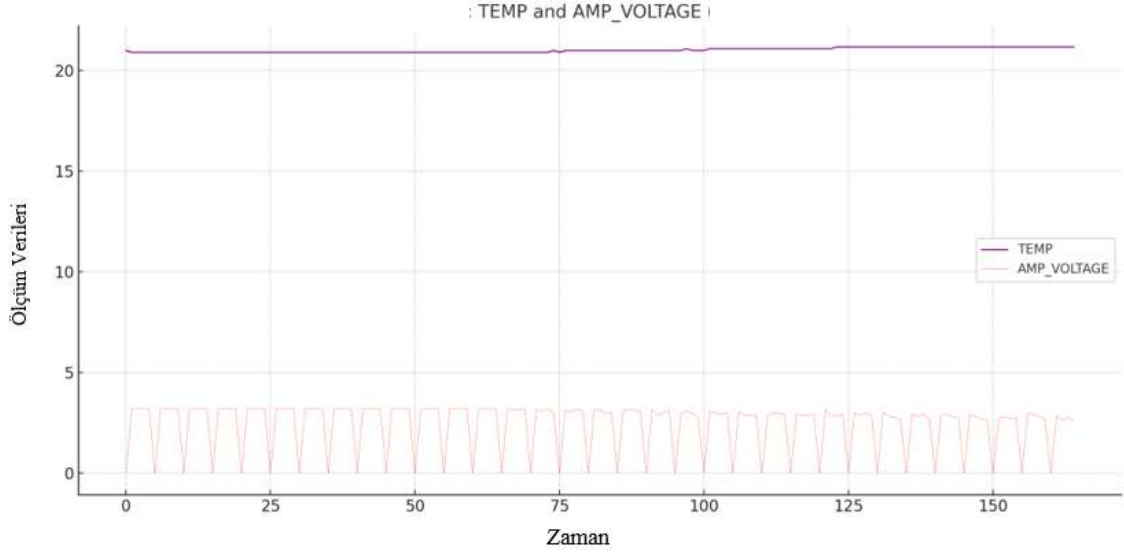
Piroşok Testi: Roketin uydudan ayrılması sırasında meydana gelen ani şok dalgalarının etkilerini değerlendirmek amacıyla piroşok testleri gerçekleştirilmiştir. Modül, simüle edilen şok dalgalarına maruz bırakılmış ve yapısal bütünlüğünün yanı sıra elektronik sistemlerin çalışabilirliği doğrulanmıştır. Sensörlerde herhangi bir performans kaybı gözlemlenmemiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.61. Piroşok Testi Sonuç Grafiği

İvme Testi: Roket fırlatma sırasında uydunun yüksek ivme kuvvetlerine dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla ivme testleri gerçekleştirilmiştir. X, Y ve Z

eksenlerinde, farklı ivme seviyelerinde simüle edilen fırlatma profilleri uygulanmıştır. Testler sırasında sıcaklık, UV ve ışık yoğunluğu sensörlerinin stabil çalıştığı ve tüm eksenlerde tutarlı veriler sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.62). Elektronik sistemlerin yüksek ivme kuvvetlerine karşı kararlı bir şekilde çalıştığı doğrulanmış ve yapısal deformasyon oluşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.62. İvme Testi Sonuç Grafiği

Tüm yer testleri, küp uydu yaşam bilimi modülünün uzay ortamında güvenilir şekilde çalışabileceğini göstermiştir. Modülün yapısal dayanıklılığı, elektronik performansı ve sensör kararlılığı, uzay biyolojisi deneylerinin başarıyla gerçekleştirilmesi için yeterli düzeyde olduğu doğrulanmıştır.

4.6.Bakteri test sonuçları

Bu çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterisinin büyüme dinamikleri, farklı sıcaklık, başlangıç koşulları ve mikrogravite simülasyonları altında analiz edilmiştir. Deneylerde kullanılan taze ve dondurulmuş örnekler, sıvı ve katı besiyerlerinde 21°C ve 23°C sıcaklık koşullarında değerlendirilmiştir. Ayrıca, klinostat sistemi ile mikrogravite simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bakteriyel büyüme eğrileri, Baranyi büyüme modeli kullanılarak analiz edilmiş ve bu modelle elde edilen büyüme parametreleri ile küp uydu koşulları arasındaki uyum değerlendirilmiştir.

- Sıcaklık Etkisi:

- 21°C, bakteriyel büyüme için daha stabil bir ortam sağlamış ve büyüme hızında düzenli bir artış sergilenmiştir.
- 23°C, başlangıçta hızlı bir büyüme sağlasa da zamanla büyüme hızında düşüşe yol açmış ve hücre metabolizmasında stres belirtileri gözlemlenmiştir.
- Başlangıç Koşulları:
 - Taze Örnekler: Taze örnekler, çevresel koşullara uyum sağlama kapasitesinin yüksek olması nedeniyle daha stabil büyüme eğrileri sergilemiştir. Özellikle 1-21TK (Taze, 21°C), büyüme hızında yavaş bir artış ve uzun süreli stabilite sağlamıştır.
 - Dondurulmuş Örnekler: Dondurulmuş örnekler, başlangıçta hızlı büyüme göstermiş ancak plato fazına daha erken ulaşmıştır. Bu durum, metabolik stres ve kaynak tüketiminin hızlanmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 25922'nin büyüme dinamikleri ile ışık yoğunluğu (lux) arasındaki ilişki spektrofotometrik ölçümler kullanılarak incelenmiştir. Deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de özetlenmiştir:

Tablo 4.4. Lux Değerlerine Göre Bakteri Sayısı

Lux (ışık yoğunluğu)	Bakteri Sayısı (hücre/mL)
68.72	8.52×10^6
72.00	2.07×10^7
74.67	2.67×10^7

Bu verilere dayalı olarak oluşturulan grafik, ışık yoğunluğu ile bakteri sayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu açıkça göstermektedir. Grafik eğimi, $a=3,080,165.44$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, ışık yoğunluğunda bir lux (1 lux) artışın, bakteriyel büyüme açısından 3,080,165.44 hücre/mL artışa karşılık geldiğini ifade etmektedir.

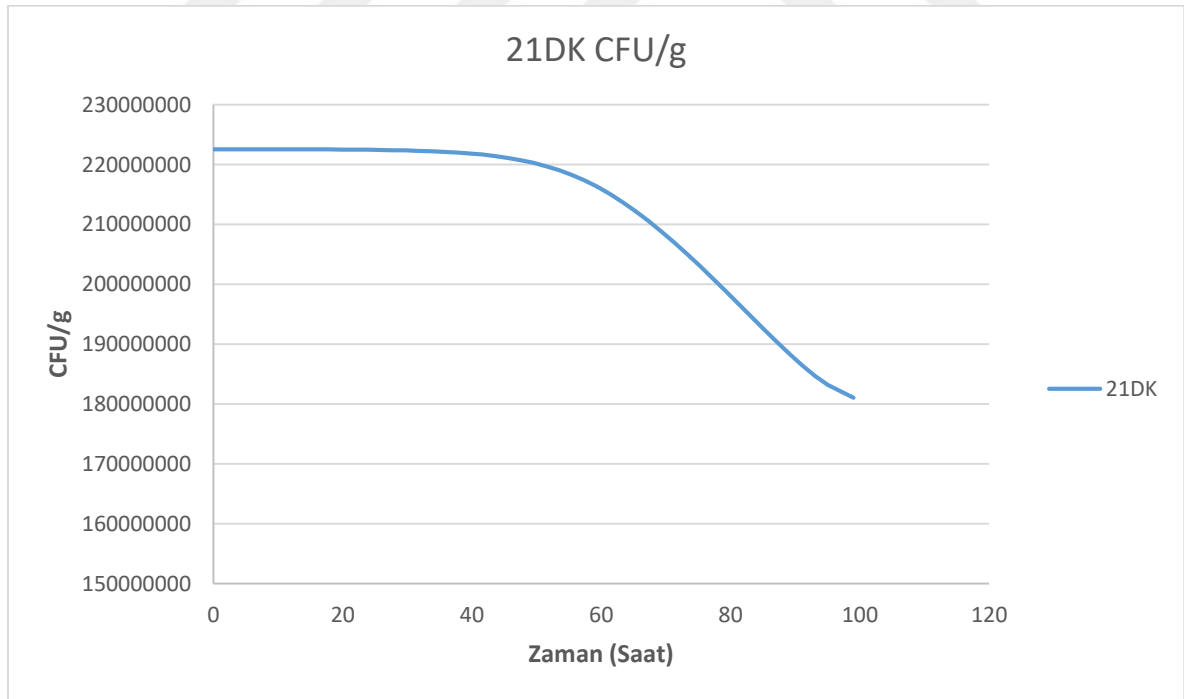
Bu doğrusal ilişki, ışık yoğunluğunun *Escherichia coli* ATCC 25922'nin büyüme dinamikleri üzerindeki etkisinin doğrusal olduğunu göstermektedir. Grafik şu şekilde modellenmiştir:

$$Y=3,080,165.44 X \quad (3.1)$$

Bu modelde, Y, hücre sayısını (hücre/mL), X ise ışık yoğunluğunu (lux) temsil etmektedir. Bulgular, ışık yoğunluğundaki artışın bakteriyel büyümeyi hızlandırdığını ve bu büyümenin doğrusal bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

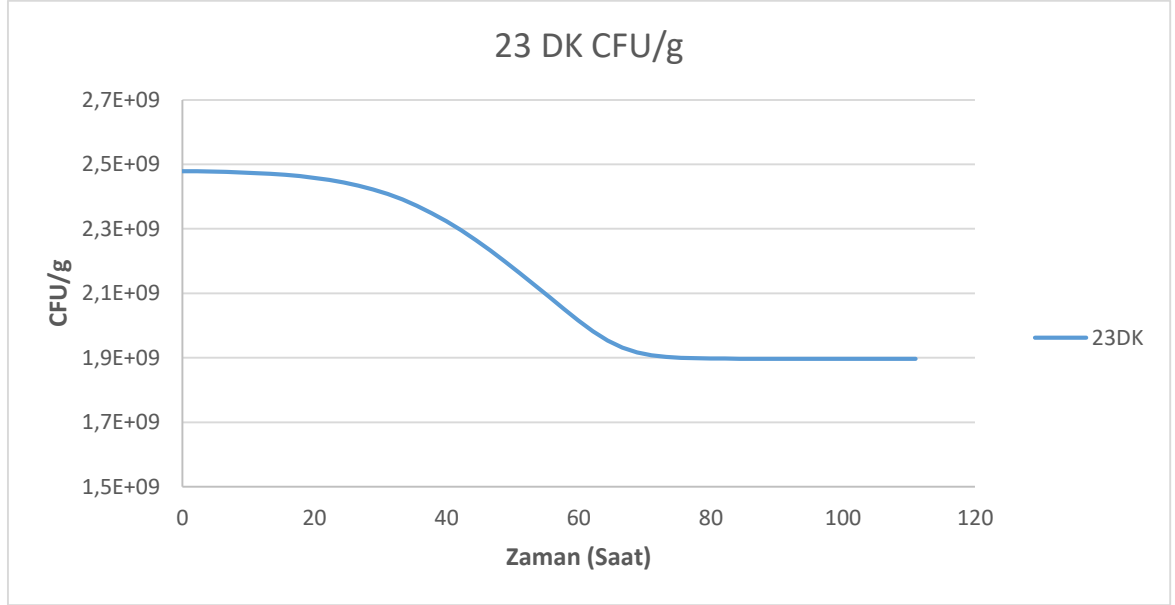
Bu eğim değeri, mikrogravite simülasyonları gibi hassas deney ortamlarında ışık şiddetinin etkisini daha iyi anlamak ve kontrol etmek için önemli bir referans sağlamaktadır. Özellikle, ışık kaynaklı metabolik aktivitelerin optimize edilmesi, biyolojik süreçlerin verimliliğini artırabilir ve uzay biyolojisi uygulamalarında faydalı sonuçlar doğurabilir. Ayrıca, bu ilişkinin farklı sıcaklık ve besiyeri koşullarında nasıl değiştiğinin incelenmesi, ışık yoğunluğunun biyolojik sistemler üzerindeki etkisinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir. Baranyi modeli ile kullanılabilir örneklerin görselleri şu şekildedir;

- I. 21DK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.



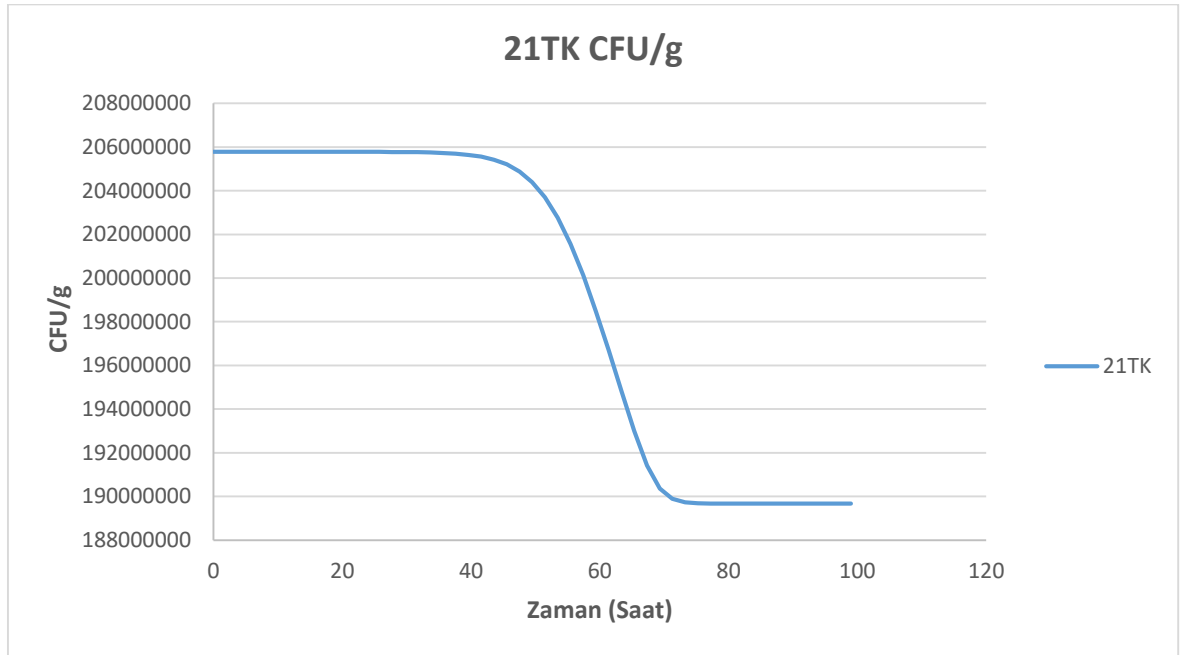
Şekil 4.63. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.

- II. 23DK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.



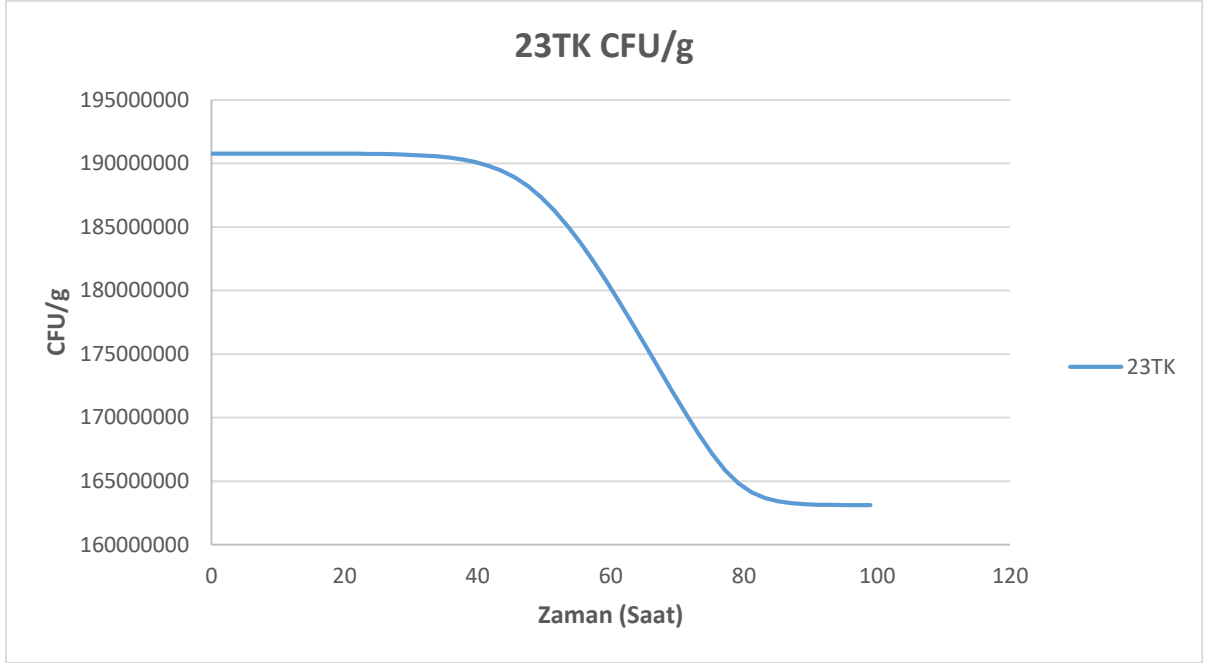
Şekil 4.64. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo A (Dondurulmuş), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta yapılan deney sonucu büyüme grafiğı

- III. 1-21TK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.



Şekil 4.65. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 21°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir

IV. 1-23TK: Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta yapılan deneyin Baranyi analizini içerir.



Şekil 4.66. Grup II (Katı Besiyeri), Senaryo B (Taze), yüksek başlangıç bakteri derişimi (1 Koloni), 23°C sıcaklıkta deney sonucu büyüme grafiğı

21DK, 21°C'de düzenli bir büyüme hızı sergilemiş ve 39 saat civarında plato fazına ulaşmıştır. Bu durum, mikroorganizma için 21°C'nin optimal bir ortam sunduğunu ve büyüme kaynaklarının tükenmeye başladığını göstermektedir. Maksimum ışık yoğunluğu (LUX) değeri yaklaşık 73.75 olduğunda, bakteri sayısı 2.67×10^7 hücre/mL olarak kaydedilmiştir. Bu sonuç, çevresel koşulların üst düzey büyüme için yeterli ancak aşırı yüksek popülasyonlara izin vermediğini işaret etmektedir.

Buna karşın, 23DK'de 23°C'deki büyüme hızındaki düşüş, bu sıcaklığın hücre metabolizması üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermiştir. Bakteri sayısı 2.07×10^7 hücre/mL'den 8.52×10^6 hücre/mL'ye düşmüştür. Bu durum, bu sıcaklığın uzun vadeli büyüme için uygun olmadığını ortaya koymaktadır. 23°C'nin metabolik stres artışına ve enerji kaynaklarının daha hızlı tükenmesine neden olduğu düşünülmektedir.

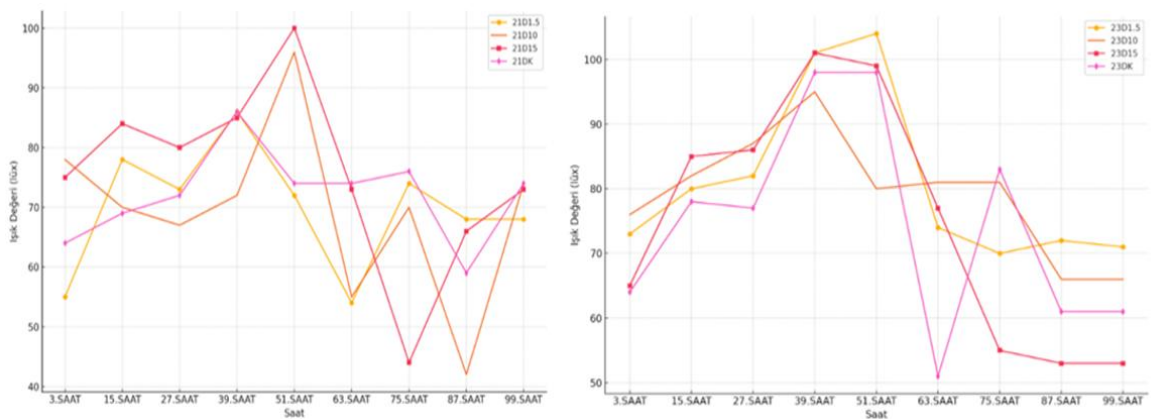
1-21TK taze örneklerde, LUX değerleri stabil bir azalma sergilemiş ve bu durum, 21°C'nin stabiliteyi desteklediğini göstermiştir. Bakteri sayısı 2.67×10^7 hücre/mL'den 2.07×10^7 hücre/mL'ye azalmıştır. Çevresel stresle uyum sağlama kapasitesinin yüksek

olduğu belirlenmiştir. Bunun aksine, 1-23TK'de, 23°C'deki büyüme hızının düşük olması ve enerji kaynaklarının etkin kullanılamaması, metabolik stresi artırmıştır. Bu örneklerde bakteri sayısı 2.07×10^7 hücre/mL'den 1.68×10^7 hücre/mL'ye azalmıştır. Bu sonuçlar, 23°C'nin metabolik stresi daha da belirgin hale getirdiğini göstermektedir.

Klinostat sistemi kullanılarak yapılan mikrogravite simülasyonları, bakteriyel büyüme hızını yavaşlatmış ve plato fazına geçiş süresini uzatmıştır. Mikrogravite ortamında taze örneklerin daha stabil büyüme eğrileri sergilediği, dondurulmuş örneklerin ise hızlı büyüme sonrası stabilite kaybı yaşadığı gözlemlenmiştir.

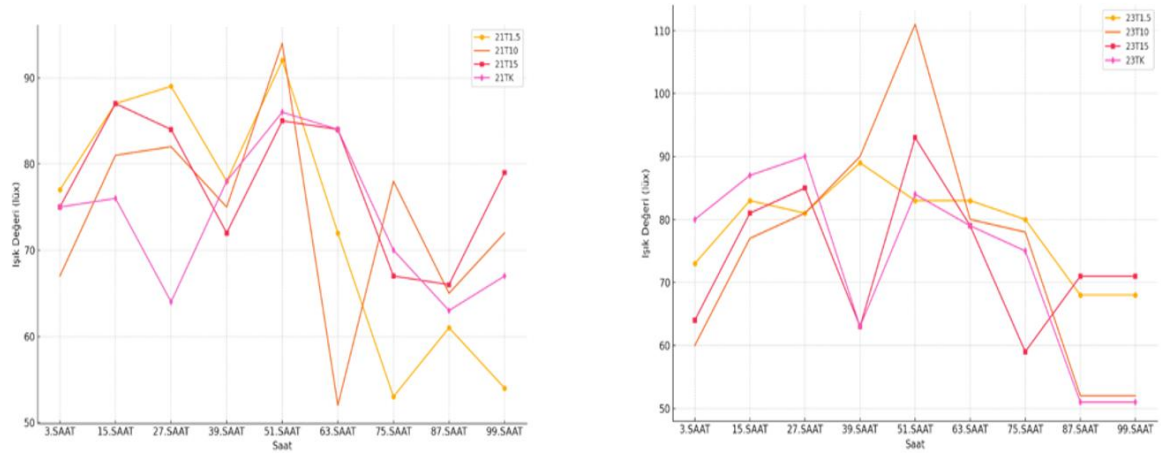
- 1-21TK (Taze, 21°C): Mikrogravite simülasyonu altında en stabil büyüme eğrisini sergileyen örnek olmuştur.
- 23DK (Dondurulmuş, 23°C): Başlangıçta hızlı büyüme göstermiş, ancak büyüme hızı düşüşe geçmiş ve popülasyon yoğunluğu azalmıştır.

Sonuç olarak, mikrogravite simülasyonunun mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini anlamak ve gelecekteki uzay biyolojisi çalışmaları için optimize edilmiş koşullar belirlemek için kritik bilgiler sağlamaktadır. 21°C'nin daha stabil bir büyüme ortamı sunduğu, 23°C'nin ise metabolik stres yarattığı sonucuna varılmıştır. Taze örnekler, uzun vadeli stabilite ve süreklilik açısından öne çıkmıştır. Bu bulgular, uzay biyolojisi çalışmalarına önemli katkılar sağlamaktadır.



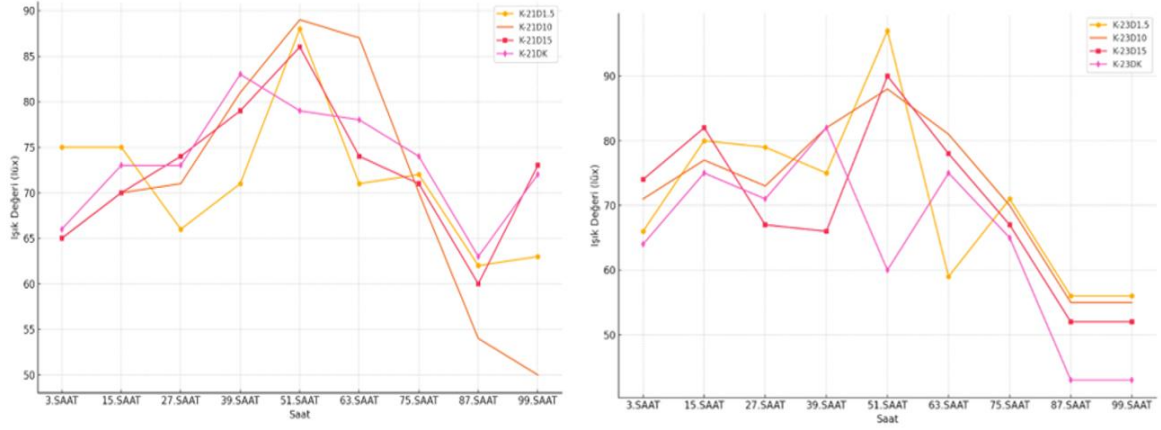
Şekil 4.67. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Ekimi Yapılmış ve Dondurulmuş, farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), A) 21°C ve B) 23°C'de yapılan deneylerin karşılaştırılması

Başlangıç bakteri derişimi ve sıcaklık etkisi sonuçlarını değerlendirecek; Şekil 4.67 ve Şekil 4.68’de sıvı ve katı besi yerinde aktive edilmiş, dondurulmuş ve taze örneklerde 21°C sıcaklık, bakteriyel büyümenin daha yavaş fakat stabil olduğu bir ortam sağlarken; 23°C sıcaklık hızlı büyüme sağlamakla birlikte stabilite sorunlarına neden olmuştur.



Şekil 4.68. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Taze Ekimi Yapılmış, farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması

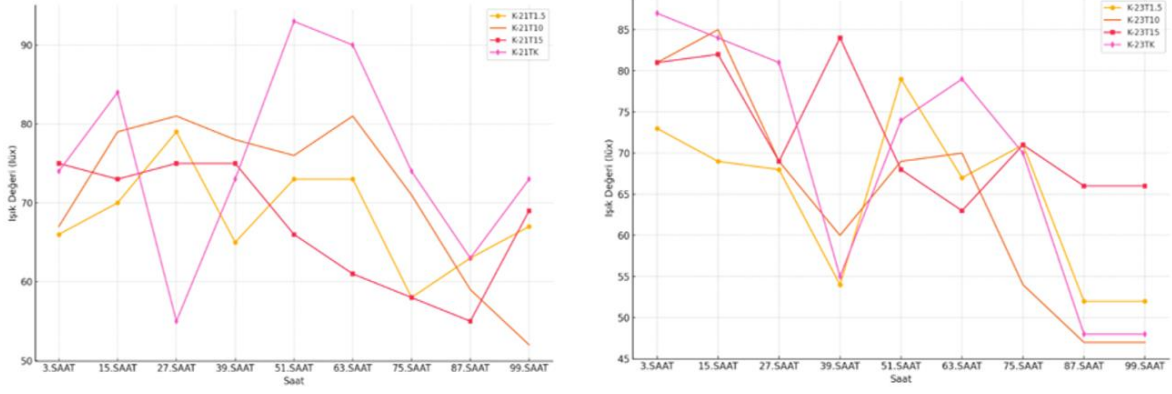
Bu çalışmada, 21°C ve 23°C sıcaklık koşullarında, sıvı besiyeri için 1.5 µL, 10 µL ve 15 µL; katı besiyeri için ise 1 koloni başlangıç popülasyonu ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Analizler, dondurulmuş örneklerde başlangıç popülasyonunun artmasının logaritmik faza geçiş süresini belirgin şekilde kısaltmadığını, ancak yüksek popülasyon yoğunluğunun yine de plato fazına erken ulaşımına neden olduğunu göstermiştir. Katı besiyerindeki 1 koloni ile yapılan deneyler, sıvı besiyerine kıyasla daha uzun adaptasyon süresi gerektirmiş, ancak plato fazına ulaşıldığında daha stabil bir büyüme eğrisi sergilemiştir.



Şekil 4.69. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Ekimi Yapılmış ve Dondurulmuş, farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 μ L, 10 μ L, 15 μ L ve 1 Koloni), klinostat ortamında A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması

Başlangıç bakteri derişimi ve sıcaklık etkisi sonuçlarını değerlendirirsek; Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’de sıvı ve katı besi yerinde aktive edilmiş, dondurulmuş ve taze örneklerde 21°C sıcaklık, bakteriyel büyümenin daha yavaş fakat stabil olduğu bir ortam sağlarken; 23°C sıcaklık hızlı büyüme sağlamakla birlikte stabilite sorunlarına neden olmuştur. Sıcaklık koşulları da mikrogravite simülasyonunda önemli bir rol oynamıştır. 21°C sıcaklık, büyüme hızını kontrol altında tutarak daha stabil sonuçlar sağlamış; 23°C sıcaklık ise büyüme hızını artırmakla birlikte plato fazına erken ulaşımına neden olmuştur. Katı besiyerinde mikrogravite simülasyonu, büyüme eğrilerinin daha yavaş ancak stabil olmasına katkı sağlamış, bu da uzun vadeli deneyler için avantaj sunmuştur.

Sonuçlar, mikrogravite simülasyonunun biyolojik sistemlerin büyüme dinamiklerini anlamak ve optimize etmek için kritik bir araç olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, uzay biyolojisi araştırmalarında mikroorganizmaların adaptasyon mekanizmalarını incelemek için önemli bir temel oluşturmuştur.



Şekil 4.70. Sıvı Besiyeri ve Katı Besiyeri Kullanılarak Aktive Edilmiş, Taze Ekimi Yapılmış, farklı başlangıç bakteri derişimleri (1.5 µL, 10 µL, 15 µL ve 1 Koloni), klinostat ortamında A) 21°C ve B) 23°C’de yapılan deneylerin karşılaştırılması

Öneriler ve Optimal Koşullar

- Optimal Sıcaklık: 21°C, büyüme stabilitesi ve sürdürülebilirliği açısından en uygun sıcaklık olarak belirlenmiştir.
- Başlangıç Örnekleri: Dondurulmuş örnekler, uzun vadeli stabilite ve düşük metabolik stres nedeniyle uzay biyolojisi deneyleri için daha uygundur.
- Başlangıç Popülasyonu: 10 µL başlangıç derişimi ve 1 koloni başlangıç derişimi büyüme hızı ve stabilite arasında ideal bir denge sağlamıştır.

Gelecek çalışmalarda, öncelikle bakteri örneği küp uydu sisteminin içerisindeyken küp uydu yer testlerine tabi tutulması planlanmaktadır. Sonraki aşamada ölüm fazındaki bakteri örnekleri uzay koşulları için hazırlanıp deneyleri yapılacaktır. Böylelikle bir bakterinin uzay koşullarına verdiği tepkilerin hepsi irdelenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] B. Alberts et al., "The Cytoskeleton," in *Molecular Biology of the Cell*, 7th ed. New York: Garland Science, 2022, pp. 963-1013
- [2] A. Johnstone, *CubeSat design specification (1U-12U)*, rev. 14, CP-CDS-R14. The CubeSat Program, Cal Poly SLO, July 2020.
- [3] NASA. (2015, October 23). CubeSats transform technology while expanding educational opportunities. [Online]. Available: <https://appel.nasa.gov/2015/10/23/cubesats-transform-technology-while-expanding-educational-opportunities/>
- [4] European Space Agency. *ESA Technology CubeSats*. [Online]. Available: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Technology_CubeSats/ESA_Technology_CubeSats. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [5] Wikipedia. *Pathfinder Technology Demonstrator*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pathfinder_Technology_Demonstrator. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [6] S. Tekin Koruk, Bakteriyel Direnç Mekanizmaları, 2013. [Online]. Available: <https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2013/07/15.00-16.30-Do%C3%A7-Dr.-S%C3%BCda-TEK%C4%B0N-KORUK.pdf>. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [7] M. T. Madigan, K. S. Bender, D. H. Buckley, W. M. Sattley, and D. A. Stahl, *Brock Biology of Microorganisms*, 15th ed. Pearson, 2018.
- [8] M. Y. Hussaini, "A review of the dynamic stability of plates and shells," arXiv preprint, arXiv:1209.4132, Sep. 2012. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1209.4132>. Accessed: Jan. 14, 2025
- [9] A. J. Author et al., "High-resolution experimental study and numerical modeling of population dynamics in a bacteria culture," *arXiv preprint*, arXiv:1912.08389, Dec. 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1912.08389>
- [10] H. Lee, S. Popodi, H. Tang, and P. L. Foster, "Rate and molecular spectrum of spontaneous mutations in the bacterium *Escherichia coli* as determined by whole-genome sequencing," *PLoS One*, vol. 7, no. 3, p. e57860, 2012. [Online]. Available: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0057860&type=printable>. Accessed: Jan. 14, 2025.)
- [11] J. C. Murrell and H. Gilbert, "Regulation of methane oxidation in methanotrophs," *Microbiology*, vol. 143, no. 2, pp. 449-455, 1997. [Online]. Available: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/micro/10.1099/00221287-143-2-449>. Accessed: Jan. 14, 2025.

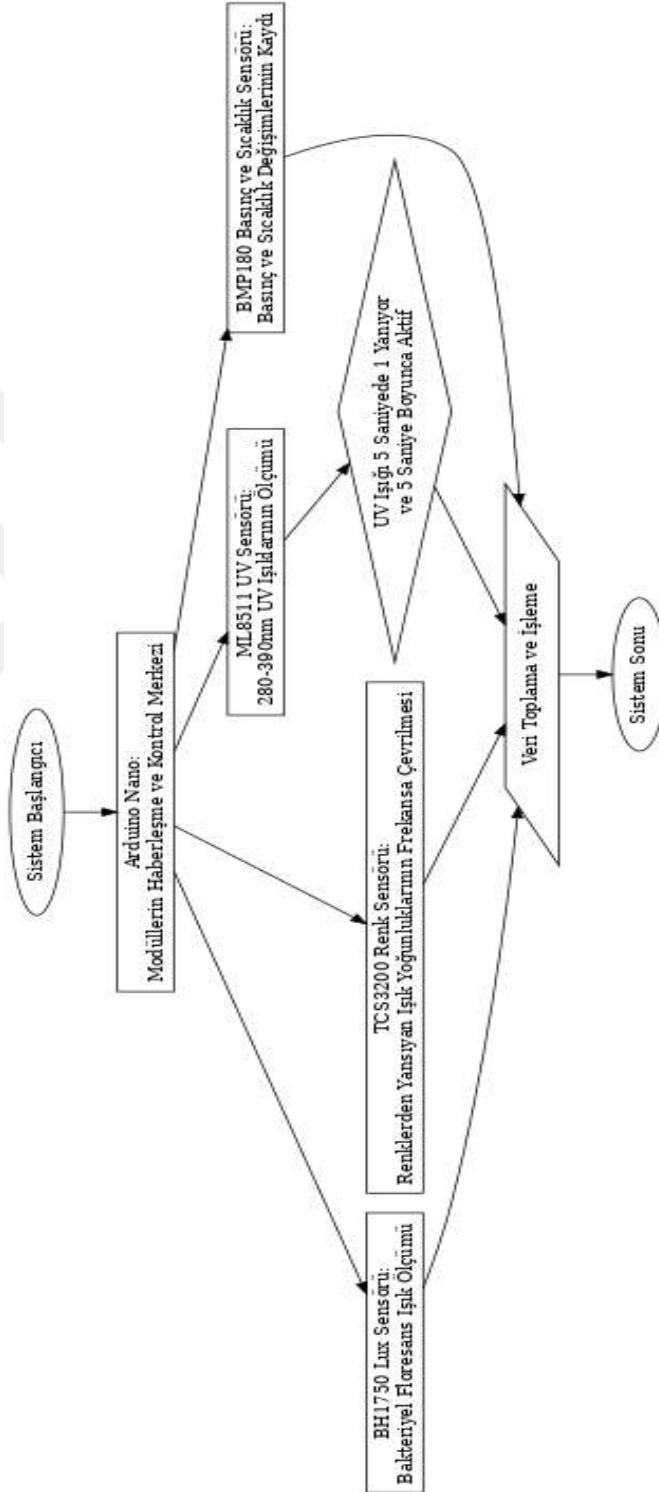
- [12] N. Tanriverdi, "Esansiyel Tremorda Derin Beyin Stimülasyonu," *Türk Nöroşirürji Dergisi*, vol. 23, no. 4, pp. 475-481, 2013. [Online]. Available: https://norosirurji.dergisi.org/pdf/pdf_TND_1402.pdf. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [13] JoVE Science Education Database, Microbiology, *Growth Curves: Generating Growth Curves Using Colony Forming Units and Optical Density Measurements*. JoVE, Cambridge, MA, 2023.
- [14] D. Sağlam, S. Durmaz, H. Kılıç, M. A. Atalay, B. D. Erçal, Ş. Şarlı, ve D. Perçin, "Kan kültürlerinden izole edilen *Escherichia coli* suşlarında genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz sıklığı ve antibiyotik direnç paternleri," *Ankem Derg.*, cilt 25, sayı 4, ss. 250-255, 2011.
- [15] B. A. Clegg, "The Development and Future of CubeSats," *Aerospace*, vol. 10, no. 5, p. 464, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2226-4310/10/5/464>. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [16] J. Li, M. Post, T. Wright, ve R. Lee, "Design of attitude control systems for CubeSat-class nanosatellite," *J. Control Sci. Eng.*, cilt 2013, sayı 1, no. 657182, 2013.
- [17] (D. Barnhart, "Evolution of small satellite technology and the implications for mission design," *Frontiers in Space Technologies*, vol. 3, p. 1032610, 2022. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/spacetechnologies/articles/10.3389/frspt.2022.1032610/full>. Accessed: Jan. 14, 2025.):
- [18] G. Ö. Çilak, H. Selamoğlu, D. Dülger, F. Kurukama, C. Çağlar, D. Assylbekov, ve K. Halkman, "The comparison of rapid *Escherichia coli* tests based on MUG and ultraviolet supported indole," *J. Microbiol. Meth.*, 2016.
- [19] Merck Millipore, "Material Safety Data Sheet for Luria-Bertani Broth," [Online]. Available: https://www.emdmillipore.com/US/en/product/msds/MDA_CHEM112588 Origin=PDP. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [20] Roketsan, *Akreditasyon Sertifikası - Test Mühendisliği*, 2021. [Online]. Available: <https://www.roketsan.com.tr/uploads/docs/cevresel-test-hizmetleri/1627544392> Accessed: Jan. 14, 2025.
- [21] ST Test ve Otomasyon. İvme Testi - Çevresel Test Hizmetleri. [Online]. Available: <https://stest.com.tr/cevresel-test/ivme-testi/>. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [22] Roketsan, *Akreditasyon Sertifikası - Test Mühendisliği*, 2021. [Online]. Available: <https://www.roketsan.com.tr/uploads/docs/cevresel-test-hizmetleri/1627544392> Accessed: Jan. 14, 2025.
- [23] Roketsan, Çevresel Test Hizmetleri, [Online]. Available: <https://www.roketsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/hizmetlerimiz/cevresel-test-hizmetleri>. Accessed: Jan. 14, 2025.
- [24] T. A. McMeekin, J. Olley, D. A. Ratkowsky, and T. Ross, "A dynamic approach to predicting bacterial growth in food," *International Journal of Food Microbiology*, vol.

14, no. 1, pp. 33-41, 1991. [Online]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/15326559_A_Dynamic_Approach_to_Predicting_Bacterial-Growth_in_Food. Accessed: Jan. 14, 2025.



EKLER

EK-1 Devrenin Çalışma Algoritması



EK-2 Deneyin Algoritması

