

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

**ASKERİ ALANDAKİ ÇEVRESEL TESTLER İÇİN  
ENVANTER İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE İŞLERİN  
MAKİNELERDE ÇİZELGELENMESİ**

**HAZIRLAYAN**

**SEMİHA TÜRKMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2023**



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

**ASKERİ ALANDAKİ ÇEVRESEL TESTLER İÇİN  
ENVANTER İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE İŞLERİN  
MAKİNELERDE ÇİZELGELENMESİ**

**HAZIRLAYAN**

**SEMİHA TÜRKMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**PROF. DR. KUMRU DİDEM ATALAY**

**ANKARA – 2023**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Semiha TÜRKMEN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 01/ 06 / 2023

**Tez Adı:** Askeri Alandaki Çevresel Testler İçin Envanter İhtiyacının Belirlenmesi ve İşlerin Makinelerde Çizelgelenmesi

<b>Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)</b>	<b>İmza</b>
Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY, Başkent Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Ergün ERASLAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	.....
Dr. Öğr. Üyesi ESRA DİNLER, Başkent Üniversitesi	.....

**ONAY**

Prof. Dr. Faruk ELALDI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Tarih: ... / ... / .....

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 12/06/2023

Öğrencinin Adı, Soyadı: Semiha TÜRKMEN

Öğrencinin Numarası: 22110308

Anabilim Dalı: Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

Tez Başlığı: Askeri Alandaki Çevresel Testler İçin Envanter İhtiyacının Belirlenmesi ve İşlerin Makinelerde Çizelgelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 54 sayfalık kısmına ilişkin, 12 / 06 / 2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6'dır. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden 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: 12 / 06 / 2023

Öğrenci Danışmanı

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamda bilgisini, tecrübelerini ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyerek beni her daim destekleyen, öğrencisi olmaktan daima gurur duyacağım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY'a, değerli katkılarından dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER'e, çalışmam boyunca her türlü desteği sağlayan Abdullah DUMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni her zaman olduğu gibi bu süreçte de yürekten destekleyen kıymetli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

## ÖZET

**Semiha TÜRKMEN**

### **ASKERİ ALANDAKİ ÇEVRESEL TESTLER İÇİN ENVANTER İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE İŞLERİN MAKİNELERDE ÇİZELGELENMESİ**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı**

**2023**

Savunma Sanayiinde yurt içinde yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve üretimden doğrulamaya tüm ihtiyaçların ulusal altyapılarla çözüme ulaştırılması son derece önemlidir. İhtiyaç duyulan testlerde, müşteri ve piyasa istekleri doğrultusunda taleplerin ortaya çıkarılarak test gereksinimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Günümüz rekabet koşullarında işletmeler daha kaliteli hizmeti, daha hızlı bir şekilde müşterilerine sunmayı hedeflemektedirler. Test merkezlerinde, müşterilerden gelen talepler doğrultusunda gerçekleştirilecek olan testlerin zamanında teslim edilebilmesi oldukça önemlidir. Testlerin zamanında teslim edilememesinden kaynaklı üretim sürecinde meydana gelen aksamaların ortadan kaldırılarak, sürecin kesintisiz bir şekilde ilerleyebilmesi için darboğazların tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, Ankara ilinde Savunma Sanayii alanında hizmet veren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Çalışma için, müşterilerden bir yıl boyunca gelen askeri alandaki çevresel test talepleri incelenmiştir. İncelemeler neticesinde, savunma sanayii ürünlerinde uygulanması gereken MIL STD 810 standartlarına göre gerçekleştirilecek çevresel testlerin yapılabileceği donanımda bir test laboratuvarı kurulması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda, kurulması planlanan çevresel test laboratuvarı için gerekli test cihazları belirlenmiş, verimli bir şekilde işletilmesi için de ayrıca bir çalışma yapılmıştır. Çevresel test laboratuvarının işletiminde, sistemin ilerleyişini aksatan kısıtların tespit edilerek, sürekliliğin sağlanmasını hedefleyen değişen darboğaz yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması ile darboğazlar tespit edilmiş, işler makinelerde bekleme olmayacak şekilde çizelgelenmiştir. Böylelikle, çevresel test laboratuvarının gelen taleplere çok daha kısa sürede ve etkin bir şekilde cevap verebileceği görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER:** Savunma Sanayii, Çevresel Test Laboratuvarı, MIL STD 810, Değişen Darboğaz Sezgiseli.

## **ABSTRACT**

**Semiha TÜRKMEN**

### **DETERMINING THE NEED FOR INVENTORY FOR ENVIRONMENTAL TESTS IN MILITARY AND SCHEDULE OF WORKS ON MACHINES**

**Başkent University Institute of Science and Engineering**

**Department of Quality Engineering**

**2023**

It is extremely important to ensure the feasibility of tests that cannot be done domestically in the Defense Industry and to solve all the needs from production to verification with national infrastructures. In the required tests, it is necessary to determine the test requirements by revealing the demands in line with the customer and market demands. In today's competitive conditions, businesses aim to provide better quality service to their customers in a faster way. It is very important that the tests to be carried out in the test centers in line with the demands of the customers can be delivered on time. It is necessary to identify bottlenecks in order for the process to proceed uninterrupted by eliminating the disruptions that occur in the production process due to the inability to deliver the tests on time. This study was carried out in a company serving in the field of Defense Industry in Ankara. For the study, environmental testing requests in the military field from customers for one year were examined. As a result of the examinations, it was concluded that a test center should be established with the equipment where the environmental tests to be carried out according to the MIL STD 810 standards that should be applied in defense industry products. In this context, the necessary test equipment for the planned environmental test center was determined, and a separate study was carried out to operate it efficiently. In the operation of the test center, the changing bottleneck method, which aims to ensure continuity by identifying the constraints that hinder the progress of the system, was used. With the application of the method, bottlenecks were identified and the jobs were scheduled so that there was no waiting in the machines. Thus, it has been seen that the environmental test center can respond to incoming requests in a much shorter time and effectively.

**KEYWORDS:** Defense Industry, Environmental Testing Laboratory, MIL STD 810, Shifting Bottleneck (SB) Heuristic.



# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLOLAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR .....	4
3. SAVUNMA SANAYİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN TESTLER VE KULLANILAN STANDARTLAR.....	7
4. ASKERİ ALANDAKİ ÇEVRESEL TESTLER İÇİN ENVANTER İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE İŞLERİN MAKİNELERDE ÇİZELGELENMESİ .....	24
4.1 Çevresel Test Laboratuvarı.....	24
4.2 Değişen Darboğaz Yöntemi .....	27
4.2.1. İşlerin Makinelerde Değişen Darboğaz Yöntemi ile Çizelgenmesi ...	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR.....	55

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Çevresel Test Yöntemleri.....	12
Tablo 4.1. Çevresel Test Talepleri .....	25
Tablo 4.2. İhtiyaç Duyulan Kabin Sayısı ve Kabin Maliyeti .....	27
Tablo 4.3. İşlerin Rota ve İşlem Zamanları .....	32
Tablo 4.4. Makine 1 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	33
Tablo 4.5. Makine 1 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	33
Tablo 4.6. Makine 2 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	33
Tablo 4.7. Makine 2 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	34
Tablo 4.8. Makine 3 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	34
Tablo 4.9. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	34
Tablo 4.10. Makine 4 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	35
Tablo 4.11. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	35
Tablo 4.12. Makine 1 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	36
Tablo 4.13. Makine 1 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	36
Tablo 4.14. Makine 2 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	37
Tablo 4.15. Makine 2 İçin Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	37
Tablo 4.16. Makine 4 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	37
Tablo 4.17. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	38
Tablo 4.18. İşlerin Makinelerdeki Sıralamaları.....	38
Tablo 4.19. İşlerin Rota ve İşlem Zamanları .....	39
Tablo 4.20. Makine 1 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	39
Tablo 4.21. Makine için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	40
Tablo 4.22. Makine 2 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	40
Tablo 4.23. Makine 2 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	40
Tablo 4.24. Makine 3 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	41

Tablo 4.25. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	41
Tablo 4.26. Makine 4 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	41
Tablo 4.27. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	42
Tablo 4.28. Makine 5 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	42
Tablo 4.29. Makine 5 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	42
Tablo 4.30. Makine 6 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	43
Tablo 4.31. Makine 6 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	43
Tablo 4.32. Makine 7 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	43
Tablo 4.33. Makine 7 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	44
Tablo 4.34. Makine 8 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	44
Tablo 4.35. Makine 8 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	44
Tablo 4.36. Makine 9 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	45
Tablo 4.37. Makine 9 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	45
Tablo 4.38. Makine 2 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	46
Tablo 4.39. Makine için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	46
Tablo 4.40. Makine 3 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	47
Tablo 4.41. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	47
Tablo 4.42. Makine 4 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	47
Tablo 4.43. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	48
Tablo 4.44. Makine 5 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	48
Tablo 4.45. Makine 5 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	48
Tablo 4.46. Makine 6 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	49
Tablo 4.47. Makine 6 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	49
Tablo 4.48. Makine 7 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	49
Tablo 4.49. Makine 7 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	49
Tablo 4.50. Makine 8 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	50
Tablo 4.51. Makine 8 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	50

Tablo 4.52. Makine 9 için $ 1  r_j  L_{max}$ .....	50
Tablo 4.53. Makine 9 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler .....	51
Tablo 4.54. İşlerin Makinelerdeki Sıralamaları .....	51

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Envanter İhtiyacının Belirlenmesi ve İşlerin Makinelerde Çizelgelenmesine İlişkin Akış Şeması.....	31
Şekil 4.2. CPM Ağ Grafiği .....	32
Şekil 4.3. Güncellenen CPM Ağ Grafiği.....	36
Şekil 4.4. Son İş Takvimini Gösteren Gantt Şeması .....	38
Şekil 4.5. CPM Ağ Grafiği .....	39
Şekil 4.6. Güncellenen CPM Ağ Grafiği.....	46
Şekil 4.7. Son İş Takvimini Gösteren Gantt Şeması .....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	Alternatif akım
ATC	Atölye tipi çizelgeleme
$C_{max}$	Son işin tamamlanma zamanı
CPM	Kritik yol metodu
EDD	En erken teslim tarihi
EST	Earliest started time
EMI	Electromagnetic Interference
EMC	Electromagnetic Compatibility
FCFS	First Come, First Served
İDKS	İhtiyaç duyulan kabin sayısı
$L_{max}$	Maximum lateness
LPT	Lating Processing Time
MIL STD	Military Standard
MWSM	Middle Weight Shock Machine
ROK	Republic of Korea
SB	Shifting Bottleneck
SPT	Starting Processing Time
TTS	Toplam test süresi



# 1. GİRİŞ

Savunma sanayii, ülkenin güvenliğini korumayı ve savunma yeteneğini arttırmayı hedefleyen politikalarının bir parçasıdır. Ülkenin askeri gücünün korunması ve güçlendirilmesi amacıyla silah, araç, cihaz ve diğer askeri ekipmanların üretildiği endüstriyel bir sektördür. Bu sektör, aynı zamanda askeri teçhizat, güvenlik sistemleri, hava savunma sistemleri, denizaltı teknolojisi ve uzaya ait teknolojilerin üretimini de kapsar. Savunma sanayi, ülkenin güvenliği ve ulusal güvenliğine katkıda bulunmak amacıyla öncelikli olarak devlet tarafından desteklenir ve yönetilir.

Dünya genelinde savunma sanayi, büyük ve küresel bir sektör olarak kabul edilir. Dünya ülkeleri, güvenlik ve savunma konularındaki artan endişeler nedeniyle, bu sektöre yapılan yatırımları her geçen gün artırmaktadır. Sektör, birçok ülkede ekonominin önemli bir bileşeni haline gelmiş olup, ülkeler arasında savunma sanayi ürünlerinin ihracatı, ithalatı, ekonomik iş birliğini ve ticareti teşvik etmektedir. İleri teknolojilerin kullanımı, savunma sanayinin gelişimini desteklemekte ve bu sektörde üretilen ürünlerin niteliklerini artırmaktadır. Sonuç olarak, savunma sanayinin gelişimi, ülkelerin güvenliğini artırmanın yanı sıra, ekonomik açıdan da önemli bir faktördür.

Türkiye'de savunma sanayinin gelişimi özellikle son yıllarda hızlanmış, kısa sürede büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Türkiye, bugün silah, uçak, helikopter, füze, tank, denizaltı ve diğer askeri ekipmanların üretiminde birçok uluslararası ülke ile rekabet edebilir bir seviyeye ulaşmıştır. Savunma sektörü büyüdükçe Türkiye'nin test, altyapı ve teknolojik ihtiyaçları çoğalarak daha da stratejik hale gelmiştir [1].

Savunma projelerinde test faaliyetinin önemi çok büyüktür. Savunma sanayii ürünleri, en zorlu koşullarda çalışabilme yeteneği gerektirdiği için çevresel testlerle belirlenen standartlara uygun olmalıdır. Bu nedenle, savunma sanayiinde faaliyet gösteren çevresel test laboratuvarının önemi büyüktür. Çevresel test laboratuvarı, özellikle savunma sanayii ürünlerinin çevresel koşullardaki performansını test eden ve değerlendiren laboratuvarlardır. Bu laboratuvarlar, MIL STD 810 gibi çevresel test standartlarını kullanarak, ürünlerin dayanıklılığını işlevselliğini ve güvenilirliğini test etmektedir. MIL SD 810, savunma sanayiinde kullanılan ürünlere uygulanacak olan çevresel testleri ve kriterlerini belirleyen askeri bir standarttır. Standart, sıcaklık, nem, basınç, titreşim ve darbe koşullarını içeren bir dizi testi kapsamaktadır. Savunma sanayii ürünleri, askeri personelin güvenliği ve ülke güvenliği açısından hayati öneme sahip olması nedeniyle ürünlerin kalitesi



ve dayanıklılığı son derece önemlidir. Bu nedenle de müşteri memnuniyeti savunma sanayii şirketleri için kritik bir faktördür. Gerçekleştirilen testler ile birlikte, ürünlerin dayanıklılığı ve işlevselliği ile ilgili değerli bilgiler edinilir. Böylece, savunma sanayii şirketleri, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek kaliteli ve dayanıklı ürünler sunarak müşteri memnuniyetini artırır. Test edilme aşamasına gelen ürünün veya test edilmesi gereken sistemlerin teknik özelliklerinin, tasarım dokümanlarının, yazılımının test edene açılmaması, bilgilerin ülke içinde kalması sadece test edilen ürün, sistem özelinde değil ulusal güvenlik açısından da oldukça önemlidir [2].

Türkiye’de savunma amaçlı geliştirilen ürünlerin yurt dışında test edilmesi için her yıl milyonlarca dolar kaynak ülkemiz dışına çıkmaktadır. Harcanan paranın yanı sıra, yurt dışına gönderilen ürünlere ilişkin gizlilik ve güvenlik hususlarının ihlâl edilebilme riski de ortaya çıkmaktadır [3-6]. Bu bağlamda, ürünlerin geliştirme ve doğrulama testlerinin yurtiçinde etkin bir şekilde gerçekleştirilebiliyor olması savunma sanayii için önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun için, savunma projeleri ele alınırken ürünlerin test edilebileceği test merkezlerini de hesaba katmak gerekmektedir. Sonuç olarak, Savunma Sanayiinde yurtiçinde yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve üretimden doğrulamaya tüm ihtiyaçların ulusal altyapılarla etkin bir şekilde çözüme ulaştırılmasının büyük bir öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Bu çalışma, yalnızca yurt dışında gerçekleştirilebilen testlerin yurt içinde de gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak test altyapılarının oluşturulması, yurt dışında gerçekleştirilen testler için harcanan kaynağın azaltılması, gerçekleştirilen testler ile birlikte yüksek kaliteli ve dayanıklı ürünler sunarak müşteri memnuniyetinin artırılması, sektörün ihtiyaç duyduğu testler ve test cihazlarının analiz edilmesi, laboratuvarlardaki takvim yoğunluğu nedeniyle testlerdeki gecikmelerin azaltılması, laboratuvarın verimli bir şekilde işletilerek zamanın optimize edilmesi ve çalışanların maksimum verim ile çalışmalarını sağlamayı amaçlamaktadır. Literatürde, çevresel testlerle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde sivil alandaki çalışmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca çevresel testlaboratuvarı kurulumuna ve işletimine yönelik herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Çalışmada test laboratuvarı işletimi için önerilen Değişen Darboğaz Sezgiseli (SB Sezgiseli)’ ne dair yapılan çalışmalar incelendiğinde daha çok üretim alanında yapıldığı görülmektedir. Bu anlamda, yapılan bu çalışma gerek içeriği gerekse yöntemin kullanıldığı alan ile birlikte literatüre katkı sağlayacaktır. Bu çalışma için, Ankara Türkiye’de mevcut bir savunma sanayii firması seçilmiştir. Firmadaki çevresel testlere dair veriler çalışma için kullanılmıştır. Çevresel test laboratuvarında İhtiyaç duyulan testler ve test cihazlarının

belirlenmesi ve etkin işletiminin sağlanması noktasında kullanılması planlanan Değişen Darboğaz Yöntemi ile amacına ulaştığı görölmüştür.

Bu çalışma toplam dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde Dünya'da Türkiye'de Savunma Sanayii alanındaki gelişmelerden, savunma projelerindeki test ihtiyaçlarından, Savunma Sanayii projelerindeki gizliliğin korunmasının gerekliliğinden ve değişen darboğaz yöntemine ilişkin literatür taramasından kısaca bahsedilmiştir. İkinci bölümde, değişen darboğaz yönteminin açıklamasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çevresel test laboratuvarı kurulumuna yönelik yapılan çalışma anlatılmış, son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR

Çalışmanın bu bölümünde çevresel testler, çizelgeleme ve değişen darboğaz yöntemi hakkındaki literatür taramasına yer verilmiştir.

Akkurt ve Hasgöl, [7] literatürde bulunan 2007-2022 yıllarına ait toplam 48 adet darboğaz tespiti çalışmalarını incelemiş, kullanılan yöntemleri açıklamış ve analiz etmiştir. İncelenen çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre darboğaz tespitinde en çok benzetim yönteminin kullanıldığı görülmüştür ayrıca dönüm noktası yöntemi, aktif dönem yöntemi ve matematiksel yöntemler de darboğaz tespitinde diğer yöntemlere göre daha fazla kullanıldığı da görülmüştür. Son yıllarda ise artan yapay zeka çalışmaları ile birlikte makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların daha fazla kullanılmaya başladığı tespit edilmiştir.

Rossit ve Tohme, [8] Endüstri 4.0 sistemlerindeki çizelgeleme süreçlerini analiz etmişlerdir. Yeni paradigmaya uygun teknolojileri ve kesintiler nedeniyle programların revize edilmesi gereken bağlamda karar vermeyi nasıl etkileyebileceğini araştırmışlardır. Amaç maksimum gecikmeyi en aza indirmek olduğunda, tek bir makinede yeniden çizelgelemeyi gerçekleştirmişlerdir. Yaklaşımları, siber-fiziksel üretim sistemlerinin hesaplama potansiyellerinden yararlanmaya izin veren tolerans planlamalarını içermektedir. Yaklaşımın üretim süreçlerindeki kesintileri gidermek için anında kararlar alabileceği görülmektedir. Problem için matematiksel formalizmleri tanımlanmış ve çözüm yolları sunulmuştur.

Reşat, [9] Esnek atölye tipi üretim çizelgeleme probleminin kapasite kısıtları altında programlanması için karmaşık tamsayı doğrusal optimizasyon modelinin tasarlanması ve geliştirilmesi kesin çözüm algoritması kullanılarak sağlamıştır. İki amaçlı çizelgeleme problemleri için e-kısıt yöntemini kullanarak daha hızlı ve verimli çözüm setleri elde etmektedir. İki amaçlı çizelgeleme problemi için geliştirilen karmaşık tamsayı doğrusal optimizasyon modelinin çözüm aşamasında GAMS programlama dili kullanılmış, firmanın üretim maliyetlerinde %16.6'lık bir iyileşme olduğu görülmüştür.

Tezcan, [10] darboğaz teorisi konusunda teorik bir çerçeve oluşturmuş ve darboğaz teorisinin bir sanayi işletmesinde uygulama sonuçlarını incelemiştir. Firmada, müşteri siparişlerinin gelmesi ve sevk edilmesi aşamasına kadar ilgili tüm proseslerde toplam 1 yıl boyunca gözlem yapılmış ve birtakım bulgular elde edilmiştir. Sistem içinde yer alan darboğazlar kimi zaman makine, kimi zaman çalışanlar, kimi zamansa üst yönetim kararları olarak tespit edilmiştir. Darboğaz oluşturan makinelerin kapasitelerinin arttırılması için

molalarda çalışılması ve yeni makine alınması, çalışan motivasyonu için performansa dayalı prim sistemi ve iş basitleştirme-sadeleştirme yönünde uygulamalar, firmanın çıktısını artırma hedefinde oldukça faydalı olduğu görülmüştür.

Demirkol vd., [11] çalışmada, mağaza çizelgeleme problemleri için Değişen Darboğaz (SB) yönteminin performansı incelenmiştir. Kapsamlı hesaplama deneyleri, literatürdeki karşılaştırmalı değerlendirme problemlerinin yanı sıra üç farklı yönlendirme yapısı ve 1000'e kadar işlemle rastgele oluşturulmuş birkaç bin test problemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı alt problem çözüm prosedürlerinin, yeniden optimizasyon prosedürlerinin ve darboğaz seçim kriterlerinin çözüm kalitesi ve süresi üzerindeki etkisini belirlemek için SB'nin birkaç farklı versiyonu incelenmiştir. Sonuçlar, SB'nin performansının iş yönlendirmelerinden önemli ölçüde etkilendiğini ve optimal alt problem çözümleri ve her yinelemede tam yeniden optimizasyona sahip SB'nin dağıtım kurallarından tutarlı bir şekilde daha iyi performans gösterdiğini, ancak büyük problemler için yüksek hesaplama süreleri gerektirdiğini göstermektedir. Maksimum gecikmenin, diğer performans ölçümlerine göre iyi performans göstererek onları pratik kullanım için daha çekici hale getirdiği tespit edilmiştir.

Kaplan vd., [12] çalışmalarında, jet tipi savaş uçağı ile taşınan bir faydalı yükün içindeki ekipmanların tasarımında yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin edilen, deneysel ve askeri şartnamelerin önerdiği yapısal cevaplar kullanılarak en iyileme hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmanın asıl amacı askeri şartnamelerin önerdiği cevap limitlerini, deneysel çalışmalar ile beraber değerlendirmek ve YSA kullanılarak tahmin edilen ve askeri şartnameden alınan yapısal cevapların havacılık yapılarındaki etkilerini karşılaştırmaktır.

Park et al., [41] ROK'ta (Kore Cumhuriyeti)'nde çalışması amaçlanan bir savaş uçağı için her seviyede tüm yöntemler kullanılarak MIL-STD-810G'e dayalı olarak bir dizi çevresel test gerçekleştirilmiştir. Böylelikle savaş uçağının, Kore yarımadasındaki ortama uyacak şekilde test yöntemleri ve test seviyelerini belirlemiştir.

Thürer et al., [43] yüksek çeşitlilikte sipariş üzerine üretim yapan bir mağazada beş farklı darboğaz tespit yönteminin performansını değerlendirmek için benzetim yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması sonucunda, etkin sürenin veya kullanım yönteminin, kuyruk durumuna odaklanan bir darboğaz tespit yönteminden daha iyi bir sonuçlar verdiği bu nedenle daha verimli olduğu kanaatine varılmıştır.

Kim ve Kang, [42] Kore'de kullanılması planlanan silah sistemlerinin sıcaklık spesifikasyonu için Kore ve komşu bölgelerinin sıcaklık analizinin sonuçlarını açıklamaktadır. Analizde, Kore silah sistemleri için uygun sıcaklıklar verilmiştir.

Madenoglu, [22] çalışmasında hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin bir çeşidini incelemiştir. Gönderim kurallarının yanı sıra sezgisel algoritmalar da sorunu çözmek için kullanılmıştır. Zamanın optimize edilmesi amaçlanmıştır. Tespit edilen faktörlerin sonuca etkilerini göstermek için iş sayısı, makine sayısı, üretim aşaması sayısı, eksik operasyon oranların değişiminin incelendiği deneyler gerçekleştirilmiştir. Önerilen hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerinde SPTF kuralı ile oluşturulan sezgisel algoritmanın sonucu diğer sezgisellerden çok daha iyi sonuç vermiştir.

Leblebiciler, [25] Pultrüzyon yöntemi ile üretilen U profili kompozit malzemesinden, üç nokta eğilme, basma ve çekme testleri için numuneler hazırlanarak bir kısmı sıcaklık şoku testine maruz bırakılmıştır. Sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin mekaniksel testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma neticesinde, sıcaklık şoku testine maruz bırakılan kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve basma testleri sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sıcaklık şoku testi uygulanmayan numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen çekme dayanımlarının sıcaklık şoku testi yapılmayan numunelerin çekme dayanımları ile yaklaşık aynı olduğu tespit edilmiştir.

Sirkeci, [27] esnek atölye tipi çizelgeleme problemi ele alınmış ve gerçek hayat probleminde uygulaması yapılmıştır. İşlerin ve işlere ait operasyonların makinelere atanması ve işlerin son işin tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçüklenmesi amacıyla makinelerde sıralanması problemine yönelik çözüm yaklaşımları sunulmuştur. Çalışmanın sonunda karar verilen yöntemle problemin çözümü gerçekleştirilmiş ve eski durum ile karşılaştırılmıştır. Buna göre kazanç elde edilmiştir.

Ruhlusaraç, [38] çalışmada, bir üretim çizelgeleme problemi olan 5 makine ve 23 işe sahip akış tipi bir çizelgeleme test problemi bazı meta sezgiseller ile çözülmüştür. Problem için çeşitli parametreler kullanılarak elde edilen çizelgeler ile işlerin maksimum tamamlanma süreleri ve hesaplanan CPU işlem zamanları tablolar halinde verilmiştir. Sonuç olarak, tüm yöntemlerin çözüm sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve ABC (Artificial Bee Colony) algoritmasının daha küçük parametrede ve daha kısa sürede optimal çizelgeyi sunduğu tespit edilmiştir.

Literatür incelendiğinde çevresel testler için envanter belirlenmesine yönelik olarak herhangi bir çalışma bulunmadığı ayrıca değişen darboğaz yönteminin genellikle üretim sistemlerindeki çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Yöntemle ilgili test cihazlarına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

### 3. SAVUNMA SANAYİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN TESTLER VE KULLANILAN STANDARTLAR

Savunma sanayiindeki ürünler ortaya çıkarken belli aşamalardan geçer. İlk olarak, ihtiyacın doğru şekilde tanımlanması gerekir. Daha sonra, belirlenen ihtiyaca yönelik tasarım yapılır. Tasarım sürecinin tamamlanmasının ardından, tasarlanan prototipin geliştirilmesine başlanır. Geliştirilen ürünün tasarımında, yazılımında veya bileşenlerinde dışa bağımlılık söz konusuysa, test aşamasında herhangi bir sorun ile karşılaşıldığında çözümü bağımsız bir şekilde bulmak son derece zor olacaktır. Bir ürünün test aşaması genel olarak ikiye ayrılır. Birincisi geliştirme testleri, ikincisi ise doğrulama veya onaylama testleridir. Türkiye’de savunma ve sivil amaçlarla geliştirilen ürünlerin yurtdışında test edilmesi için her yıl milyonlarca dolar kaynak ülkemiz dışına çıkmaktadır. Bu kaynağın ülke içerisinde kalması savunma sanayiini çok daha verimli hâle getirebilecektir. Harcanan paranın yanı sıra, yurtdışına gönderilen ürünlere ilişkin gizlilik ve güvenlik hususlarının ihlâl edilebilmesi riski kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda, ürünlerin geliştirme ve doğrulama testlerinin yurt içinde gerçekleştirilmesi savunma sanayii için önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun için de, savunma projeleri ele alınırken ürünlerin test edilebileceği test merkezlerini de hesaba katmak gerekmektedir.

Test merkezi (laboratuvarı) kısaca, belirli bir sistem/alt sistem veya prototipin çalışabilirliği ve işlerliğine dair deneme ve kontrollerin yapıldığı merkez olarak tanımlanabilir. Test edilecek sisteme ya da alt sisteme göre farklı testlerin uygulandığı test merkezlerinde, gerek duyulan teçhizat, malzeme ve diğer isterler test uygulanan sisteme göre farklılık göstermektedir. Savunma Sanayiinde genel olarak yapılan testler; çevresel testler, hava-kara-deniz araçları testleri, elektronik harp testleri, uydu, yazılım testleri ve atışlı testlerdir. Savunma projelerinde test faaliyetinin önemi çok büyüktür.

Test, belirli bir kriter veya standartlar doğrultusunda bir kişinin veya sistemin bilgi, beceri veya performansını ölçmeye yönelik bir araçtır. Test, bir sistemin ya da ürünün belirtilen kriterleri sağlayabilmesi, bu kriterleri aşması ya da bu kriterleri sağlayamaması durumları için gerçekleştirilen uygulamalardır.

Test, tek bir eylemden ziyade aslında bir süreçtir. Test, planlama ve kontrol ile başlar, senaryolarının tasarlanması, çıkış kriterlerinin değerlendirilmesi, raporlama ile devam eder ve sonlandırılır.

Ürünlerin tanımlı gereksinimleri sağladığını belirlemek, kullanıma hazır olma durumunu ölçmek için doğrulama kullanılır. Doğrulama ile ürünü kullanacak kişilerin isteklerinin karşılanıp karşılanmadığı, geçерleme ile ise ürünün içsel niteliğine ilişkin izleme ve denetim etkinlikleri gerçekleştirilir. Doğrulama, bir şeyin doğruluğunun, geçerliliğinin veya kesinliğinin incelenmesi ve onaylanması için yapılan bir işlemdir. Bu işlem genellikle verilerin, sistemlerin, ürünlerin veya prosedürlerin güvenilirliğini veya performansını ölçmek veya doğrulamak için kullanılır.

Ürünün amacına ve müşterinin isteklerine uygun ürün olduğunu göstermeye geçерleme denir. Geçerleme, özellikle yapılan model veya tahminlerin gerçek verilerle uyumlu olup olmadığının veya bir sistem veya alt sistemin gerekli gereksinimleri karşılama durumunun doğrulanması için kullanılır.

Test edilme aşamasına gelen ürünün veya test edilmesi gereken sistemlerin teknik özelliklerinin, tasarım dokümanlarının, yazılımının test edene açılmaması, bilgilerin ülke içinde kalması sadece test edilen ürün, sistem özelinde değil ulusal güvenlik açısından da çok önemlidir. Bu maksatla, Savunma Sanayiinde yurtiçinde yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve üretimden doğrulamaya tüm ihtiyaçların ulusal altyapılarla çözüme ulaştırılması büyük önem arz etmektedir.

Savunma Sanayiinde genel olarak gerçekleştirilen testler; çevresel testler, hava-kara-deniz araçları testleri, EMI/EMC testleri, elektronik harp testleri, uydu, yazılım testleri, atışlı testler, güç testleri, titreşim ve modal testleri, kimyasal ve metalurjik testlerdir.

Çevresel testler, ürünlerin ömür devirleri boyunca maruz kaldıkları farklı iklim koşullarını ve mekanik stresi simüle eder. Bir ürünün tasarımında veya hizmette, özellikle aşırı seviyelerde oluşabilecek performanstaki zayıflıkları ortaya çıkarmaktadır. Bu testlerle, kullanılacak sistemlerin platformlara entegre edildikten sonra sahada kullanılırken ortaya çıkabilecek kalite kusurlardan kaynaklı zararların önüne geçilmesi amaçlar. Test edilemeyen ekipmanların kullanımı neticesinde kalite kusurlarından kaynaklanan maddi zarar, tazminat, firma itibarında zedelenme gibi durumlar gerçekleşmektedir. Bu kayıpların önüne geçebilmek için ekipman kullanıma sunulmadan önce kalitesi mutlaka teyit edilmelidir. Çevresel testler, sadece kaliteyi teyit etmekle kalmamakta aynı zamanda kalite güvencesinin vazgeçilmez ön koşulu olmaktadır.

Genel olarak, çevresel testler, ürünlerin koşullar ne olursa olsun mükemmel çalışacak yapı kalitesine sahip olduğunu gösterir. Test sırasında olası zayıflıklar belirlenebilir ve ürün iyileştirmeleri erken bir aşamada başlatılabilir. Bu nedenle diğer testlerin ön koşulu olarak çok daha önemli bir yere sahiptir.

EMI/EMC Testleri, askeri alanda can ve mal kaybına neden olan elektromanyetik etkileşim problemleri sonucunda askeri amaçlı kullanılacak elektronik cihazların ve sistemlerin elektromanyetik olarak uyumlu olması için gerçekleştirilen testlerdir.

Güç Testleri, uçak platformları, helikopter platformları, İHA-SİHA Sistemleri, Elektronik Donanımlar, Aviyonik Sistemler, Uzay Sistemleri, Tüm Alt Sistemler, tüm elektrikli ve Elektronik Sistemlerde kullanılır. Ekipmanların, farklı güç koşulları altında verimli ve sorunsuz çalışmaya devam edebilmesi için güç koşullarının ekipmanlar üzerindeki etkisini görmek için uygulanan testlerdir.

Titreşim ve Modal Testleri, mekanik/elektronik/elektromekanik sistem ve alt sistemler ile çeşitli savunma sanayii ve diğer sanayii kuruluşlarının ihtiyacına yönelik sistem ve alt sistemlerin titreşim testleri, şok testleri, modal testleri ve yerde titreşim testleri ile analizleri gerçekleştirilmektedir.

Kimyasal ve Metalurjik Testler, askeri ve sivil amaçlı kullanılan malzemelerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca enerjik malzemelerin darbe hassasiyetini belirlemek için de yapılır.

Savunma Sanayiinde gerçekleştirilen testlerde başlıca kullanılan standartlar, MIL STD 810, MIL STD 461, MIL STD 464, MIL STD 704, MIL STD 1275, MIL STD 1399, MIL STD 1553, MIL STD 1130, MIL STD 202, MIL STD 883, MIL STD 750 standartlarıdır.

MIL STD 461 Standardı, elektrikli, elektronik ve elektromekanik ekipman ve alt sistemlerin elektromanyetik girişim emisyonlarının ve duyarlılığının kontrol edilmesi için kriterleri belirlemektedir.

MIL STD 464 Standardı, hava, deniz, uzay ve yer savunma sistemlerinde kullanılan mühimmatın ve ilgili ekipmanın elektromanyetik uyumluluğu için minimum kabul edilebilir standartlar içermektedir.

MIL STD 704 Standardı, uçak, elektrik sistemi ve harici güç ve havadan kullanım ekipmanı arasındaki uyumluluğu sağlamak ve elektrik kullanım ekipmanının giriş terminallerinde sağlanan uçak elektrik gücünün gereksinimlerini ve özelliklerini tespit etmektir.

MIL STD 1275 Standardı, araca monte edilecek cihaz ve ekipmanlara deneyleri yapmak ve yapılacak test yöntemlerini tanımlamaktadır. Askeri araçlardaki 28-VDC elektrik sistemlerinin özelliklerini kapsar ve elektromanyetik uyumluluk (EMC), başlangıç modu, normal çalışma modu, jeneratör modu çalışması ve bunların ilişkili ani artışları,



dalgalanmaları ve çalışma limitleri dahil olmak üzere askeri kara platformu elektrik sistemleri için ayrıntılı gereksinimleri sağlar.

MIL STD 1399 Standardı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından onaylanmış bir askeri standarttır. Amacı, gemide alternatif akım (AC) elektrik gücü kullanacak gemi kullanıcı ekipmanının tasarımına uygulanabilir standart arayüz gerekliliklerini ve kısıtlamaları tanımlamaktadır.

MIL STD 1553 Standardı, uçakta dijital, komut ve cevap, zaman bölmeli çoklama teknikleri için gereksinimler belirlemektedir. Veri yolu hattı arayüz elektronikleri kapsamaktadır. Ayrıca çok katlı veri yolu ve kullanılacak elektriksel ve fonksiyonel formatlarda çalışma ve bilgi akışı kavramını da tanımlamaktadır.

MIL STD 1130 Standardı, mekanik ve elektriksel olarak kararlı, lehimsiz sarılmış, tek, katı, yuvarlak tel ve uygun şekilde tasarlanmış sargı direkleri ile yapılan elektrik bağlantılarının üretilmesi için gereklilikleri açıklamaktadır.

MIL STD 202 Standardı, askeri operasyonları çevreleyen doğal elementlerin ve koşulların zararlı etkilerine karşı direnci belirlemek için elektronik ve elektrikli bileşen parçalarının test edilmesi için tek tip yöntemler oluşturur.

MIL STD 803 Standardı, askeri ve uzay operasyonlarını kapsayan doğal koşulların zararlı etkilerine karşı direnci tespit etmek için çeşitli test yöntemlerini barındırır.

MIL STD 750 Standardı, askeri operasyonları çevreleyen doğal koşulların zararlı etkilerine karşı direnci belirlemek için temel çevresel testler, fiziksel ve elektrik testleri dahil olmak üzere yarı iletken cihazları test etmek için kullanılacak yöntemleri içerir.

MIL STD 810 Standardı, askeri standart anlamına gelir. ABD Savunma Bakanlığı'nın ABD Ordusu, Hava Kuvvetleri ve Deniz Kuvvetlerinin yanı sıra Çevre Bilimleri ve Teknoloji Enstitüsünün yayını da olan bir test yöntemi standardıdır. Test numunesinin kullanım ömrü boyunca maruz kalabileceği çevre koşullarından kaynaklı olumsuz durumları ve numunenin dayanım sınırlarını tespit etmek amacı ile ürünün hizmet çalışma ortamının oluşturacağı etkileri kontrol eden test yöntemlerini içeren bir standarttır. Standard, test kriterlerini hazırlamış olsa dahi test metodolojisini tanımlamayı ekipman üreticisi ve son kullanıcıya bırakır. Standardın amacı, test numunesine saha çalışma ortamı uyarlanarak analiz edilmesi ve test prosedürlerinin geliştirilmesi, çevresel etkiler dizisi, zamanı ve numune çalışma ömrünün tespit edilmesi, test numunesinin gerekli şartlara uygunluk durumunun ortaya çıkarılmasıdır.

Standard, ilk kez 14 Ocak 1962 yılında yayımlanmıştır. Zaman içerisinde MIL-STD-810, yeni test yöntemleri, açıklamalar, farklı test şiddetleri ve süreleriyle bir dizi versiyona tabi tutulmuştur.

23 Ocak 1964' de MIL STD 810A, 15 Ocak 1967'de MIL-STD-810B, 3 Kasım 1975'de MIL-STD-810C, 19 Temmuz 1983'de MIL-STD-810D, 14 Temmuz 1989'da MIL-STD-810E, 1 Ocak 2000'de MIL-STD-810F, 31 Ekim 2008'de MIL-STD- 810G, 31 Ocak 2019'da ise son versiyon olan MIL-STD-810 H yayımlanmıştır. MIL STD 810 H, 1089 sayfadan oluşmaktadır.

MIL STD 810 standardının rehberlik ettiği ve test metodu sunduğu hususlar ile,

1. Çevresel stres dizilerini, sürelerini ve ekipman yaşam döngüleri seviyelerini tanımlamak,
2. Ekipmana ve çevresel yaşam döngüsüne uygun analiz ve test kriterleri geliştirmek üzere kullanılmak,
3. Çevresel yaşam döngüsü streslerine maruz kaldığında ekipmanın performansını değerlendirmek,
4. Ekipman tasarımında, malzemelerde, üretim süreçlerinde, paketleme tekniklerinde ve bakım yöntemlerinde eksiklikleri ve kusurları belirlemek,
5. Sözleşmeye bağlı gereksinimlere uygunluğu göstermek amaçlanmaktadır.

MIL STD 810 Standardı, 3 ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, çevresel tasarım ve test uyarılama sürecinde yönetim, mühendislik ve teknik roller açıklanmaktadır. (Üretim, çevresel tasarım test koordinasyonu) İkinci bölüm, test uyarılama yönergeleri kullanılarak uygulanacak çevresel laboratuvar test yöntemlerini içermektedir. Üçüncü bölüm ise çeşitli kaynaklardan derlenmiş iklim verileri ve rehberliğin bir özetini içermektedir. Standard, tasarım veya test özellikleri getirmez bunun yerine, materyal sistemi performans gereksinimlerine dayalı gerçekçi materyal tasarımları ve test yöntemleri ile sonuçlanan çevresel süreci açıklar. Standartın ikinci bölümünde yer alan test yöntemlerinde, 29 adet test ve bunların uygulanma şekillerine ait 29 adet yöntem açıklanmıştır. Bu yöntemlere ait de 98 adet prosedür tanımlanmıştır.

Çevresel Testler, iklimlendirme, mekanik ve aşındırma-dayanım olmak üzere üç başlık altında toplanabilir. İklimlendirme testleri, yüksek sıcaklık testleri, düşük sıcaklık testleri, nem testleri, sıcaklık şoku testleri, buzlanma-donma testleridir. Mekanik testler, titreşim testleri, mekanik şok testleri, ivmelendirme testleri, akustik gürültü testleri, piroşok

testleri, atış şoku testleridir. Aşındırma-dayanım testleri ise yağmurlama testleri, tuz sisi testleri, yüksek irtifa testleri, daldırma testleri, sıvı kirletme testleri, güneş ışınması testleri, mantarlaşma testleridir. İklimlendirme, mekanik ve aşındırma-dayanım olmak üzere üç başlık altında toplanan çevresel testlere ilişkin yöntemler Tablo 3.1 ile verilmiştir.

Tablo 3.1. Çevresel Test Yöntemleri

Test Adı	Yöntem
Alçak Basınç (Yükseklik)	500.6
Yüksek Sıcaklık	501.7
Düşük Sıcaklık	502.7
Sıcaklık Şoku	503.7
Sıvılarla Kirlenme	504.3
Güneş Işınması	505.7
Yağmurlama	506.6
Nem	507.6
Mantar	508.8
Tuz Sisi	509.7
Kum ve Toz	510.7
Patlayıcı Atmosfer	511.7
Daldırma	512.6
Hızlanma	513.8
Titreşim	514.8
Akustik Gürültü	515.8
Şok	516.8
Piroşok	517.3
Asidik Atmosfer	518.2
Silah Ateşi Şoku	519.8
Sıcaklık, Nem, Titreşim ve Yükseklik	520.5
Buzlanma/Dondurucu Yağmur	521.4
Balistik Şok	522.2
Vibro-Akustik Sıcaklık	523.4
Donma/Çözülme	524.1
Zaman Dalga Formu Çoğaltma	525.2
Ray Darbesi	526.2
Çoklu Uyarıcı	527.2
Gemi Ekipmanlarının Mekanik Titreşimleri	528.1

MIL STD 810 Standardında yer alan Tablo 3.1 ile verilen testlere ve yöntemlere ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir.

## **Yöntem 500.6 Düşük Basınç (İrtifa)**

Teste tabi olan malzemenin düşük basınçlı bir ortama dayanıp dayanamayacağını ve/veya çalışıp çalışmadığını ve/veya hızlı basınç değişikliklerine dayanıp dayanamayacağını belirlemek için kullanılır. Yöntem 500.6, dört prosedür içermektedir. Bunlar sırasıyla, Prosedür I - Depolama/Hava Taşımacılığı, Prosedür II - Çalışma/Hava Taşımacılığı, Prosedür III - Hızlı Dekompresyon, Prosedür IV - Patlayıcı Dekompresyon'dur.

Prosedür I - Depolama/Hava Taşımacılığı, malzeme nakliye/depolama konfigürasyonunda yüksek yer irtifalarında taşınacak veya depolanacaksa veya hava yoluyla taşınacaksa uygun olur.

Prosedür II - Çalışma/Hava Taşımacılığı, malzemenin düşük basınç koşulları altındaki performansını belirlemek için kullanılmaktadır. Prosedür I'den önce gelebilir. Düşük basınçlı depolama, hızlı veya patlayıcı dekompresyon gereksinimleri yoksa, bu prosedür tek başına kullanılabilir.

Prosedür III - Hızlı Dekompresyon, Çevredeki ortamın basıncındaki hızlı bir düşüşün, yakındaki personeli veya içinde taşındığı platformu (kara aracı veya uçak) tehlikeye atacak bir malzeme reaksiyonuna neden olup olmayacağını belirlemek için kullanılır.

Prosedür IV - Patlayıcı Dekompresyon, arızası kokpit personelini tehlikeye atabilecek sızdırmaz kokpit ekipmanı gibi öğeler için daha uygundur. Bu testin bir amacı, malzeme arızasının personeli tehlikeye atmamasını sağlamak olduğundan ve kargo bölmesinde patlayıcı bir dekompresyona neden olacak kadar ciddi bir felaket arızası, büyük olasılıkla, uçağı düşüreceğinden, uygulamanın uygunluğu değerlendirilmelidir.

## **Yöntem 501.7 Yüksek Sıcaklık**

Yüksek sıcaklık koşullarının malzeme güvenliği, bütünlüğü ve performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yardımcı olacak verileri elde etmek için yüksek sıcaklık testleri kullanılır. Test kabineye yerleştirilen malzeme, gerçek kullanım ve/veya depolama koşullarında karşılaşılabilecek uygun yüksek sıcaklık koşullarında uygun süre ile bekletilerek test sırasında veya sonunda malzemenin performansı gözlemlenerek varsa hatalar kaydedilir. Yöntem 501.7, üç prosedürden oluşmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Depolama, Prosedür II - Operasyon, Prosedür III - Operasyonel için Taktik-Yedek'dir.

Prosedür I - Depolama, depolama sırasındaki yüksek sıcaklıkların malzemelerin bütünlüğü ve malzemenin güvenliği/performansını nasıl etkilediğini ölçmek için kullanılır. Bu test prosedürü, test ögesinin malzemenin depolama durumunda karşılaşılabilecek yüksek sıcaklıklara (ve uygun olduğunda düşük neme) maruz bırakılmasını ve ardından yüksek sıcaklık ortam koşullarında operasyonel testin yapılmasını içerir.

Prosedür II - Operasyon, çalışma esnasında yüksek ortam sıcaklıklarının malzeme performansını nasıl etkileyebileceğini araştırmak için kullanılır.

Prosedür III - Operasyonel için Taktik-Yedek, depolama veya nakliye durumundaki ekipmanlar için değil, nispeten kısa bir süre içinde çalışır durumda olması gereken operasyonel konfigürasyondaki malzemeler için kullanılır.

### **Yöntem 502.7 Düşük Sıcaklık**

Depolama, çalıştırma ve manipülasyon sırasında düşük sıcaklık koşullarının malzeme güvenliği, bütünlüğü ve performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yardımcı olacak verileri elde etmek için kullanılır. Standardın, 108. Sayfasından başlar ve 11 sayfa sürer. Yöntem 502.7, üç prosedürden oluşmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Depolama, Prosedür II - Operasyon, Prosedür III - Manipülasyon'dur.

Prosedür I - Depolama, depolama sırasındaki düşük sıcaklıkların depolama sırasında ve sonrasında malzeme güvenliğini ve depolama sonrası performansı nasıl etkilediğini araştırmak için kullanılır.

Prosedür II - Operasyon, malzemenin düşük sıcaklıklı ortamlarda nasıl çalıştığını araştırmak için kullanılır.

Prosedür III - Manipülasyon, ağır, soğuk hava giysileri giyen personel tarafından malzemenin ne kadar kolay kurulabileceğini ve sökülebileceğini araştırmak için kullanılır.

### **Yöntem 503.7 Sıcaklık Şoku**

Malzemenin, fiziksel hasar veya performans düşüşü yaşamadan çevredeki atmosfer sıcaklığındaki ani değişikliklere dayanıp dayanamayacağını belirlemek için kullanılır. Metot 503.7, standardın 120. Sayfasından başlar ve 15 sayfa sürer. Yöntem 503.7, tek prosedürün dört farklı varyasyonunu içerir. Prosedür I - Sabit Aşırı Sıcaklıktan Kaynaklanan Şok, Prosedür I - A- Sabit Aşırı Sıcaklıklardan Kaynaklanan Tek Yönlü Şok, Prosedür I – B - Sabit Aşırı Sıcaklıktan Kaynaklanan Tek Döngülü Şoklar, Prosedür I – C - Sabit Aşırı Sıcaklıktaki Çok Döngülü Şoklar, Prosedür I – D - Kontrollü Ortam Sıcaklığına veya Ortam Sıcaklığından Kaynaklanan Şoklar'dır.

### **Yöntem 504.3 Sıvılar ile Kirlenme**

Malzemenin (veya malzeme numunelerinin), yaşam döngüsü boyunca aralıklı olarak veya uzun süreler boyunca karşılaşılabileceği ve uygulanabilecek kirlenici sıvılara geçici olarak maruz kaldığında etkilenip etkilenmediğini belirlemek için kullanılır. Yöntem 504.3'e ait prosedür bulunmamaktadır.

### **Yöntem 505.7 Güneş Işılması**

Direkt güneş ışınımının malzeme üzerindeki ısıtma etkilerini belirlemek ve doğrudan güneş radyasyonunun etkilerini belirlemeye yardımcı olur. Yöntem 505.7, iki prosedürden oluşmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Döngü (Isınma ve/veya minimum aktinik etkiler), Prosedür II - Aktinik Etkiler'dir.

Prosedür I - Döngü (Isınma ve/veya minimum aktinik etkiler), malzemenin, güneş ışığına maruz kaldığında ve sonrasında bozulma olmadan performans göstermesi beklenerek, sıcaklığa karşı tepkisi ölçülür.

Prosedür II - Aktinik Etkiler, uzun süre güneş ışığına maruz kalmanın malzeme üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılır.

### **Yöntem 506.6 Yağmurlama**

Suyun malzemeye girmesini önlemede koruyucu kapakların, kasaların ve contaların etkinliği, malzemenin suya maruz kalma sırasında ve sonrasında performans gereksinimlerini karşılama yeteneği, yağmur nedeniyle malzemede meydana gelen herhangi bir fiziksel bozulma, herhangi bir su tahliye sisteminin etkinliği ya da paketlenmiş bir malzemeye sunulan korumanın etkinliği tespit edilir. Yöntem 506.6, üç prosedürden oluşmaktadır. Prosedür I - Yağmur ve Rüzgarlı (Esen) Yağmur, Prosedür II - Şiddetli Yağmur, Prosedür III - Damlama'dır.

Prosedür I - Yağmur ve Rüzgarlı (Esen) Yağmur, açık havada konumlandırılacak ve yağmurdan veya esen yağmurdan korunmasız olacak malzemeler için kullanılır.

Prosedür II - Şiddetli Yağmur, Malzemenin, şiddetli yağmura maruz kaldığında; su geçirip geçirmediğini tespit etmek için kullanılır. Daha ziyade büyük boyuttaki malzemelerin testi için tercih edilir.

Prosedür III - Damlama, malzeme yağmurdan korunuyorsa ancak üst yüzeylerden yoğunlaşma veya sızıntı nedeniyle suya maruz kalabiliyorsa kullanılır. Damlama testinin iki varyasyonu vardır; birincisi genellikle yoğunlaşma nedeniyle olabilecek malzeme için ve ikincisi ise yoğun yoğunlaşmaya veya yukarıdan sızıntıya maruz kalabilecek malzeme içindir.

### **Yöntem 507.6 Nem**

Bu yöntemin amacı, malzemenin sıcak, nemli bir atmosferin etkilerine karşı direncini belirlemektir. Yöntem, iki prosedürden oluşur. Bunlar, Prosedür I - Depolama ve Taşıma Kaynaklı Doğal Döngüler, Prosedür II - Ağırlandırılmış Nem.

Prosedür I - Depolama ve Taşıma Kaynaklı Doğal Döngüler, depolama veya nakliye sırasında oluşabilecek koşulları temsil eden üç farklı döngüyü ve ayrıca üç farklı doğal ortam koşullarını içerir.

Prosedür II - Ağırlandırılmış Nem, malzeme, doğada bulunandan daha yüksek sıcaklık ve nem seviyelerine daha kısa süreli maruz bırakılarak üzerindeki sıcaklık, nem etkisi ölçülür.

### **Yöntem 508.8 Mantar**

Malzemeyi oluşturan materyallerin veya bunların birleştirilmiş kombinasyonunun mantar gelişimini destekleyip desteklemediği, materyalde mantarın ne kadar hızlı büyüyeceği, mantarın malzemeyi, görevini ve malzeme üzerinde mantarın büyümesini takiben kullanım güvenliğini nasıl etkilediğinin ölçülmesi için kullanılır. Bu yönteme ait prosedür bulunmamaktadır.

### **Yöntem 509.7 Tuz Sisi**

Malzemeler üzerindeki koruyucu kaplamaların ve cilaların etkinliğini belirlemek için gerçekleştirilir. Tuz birikintilerinin malzemenin fiziksel ve elektriksel yönleri üzerindeki etkilerini belirlemek için de uygulanabilir.

### **Yöntem 510.7 Kum ve Toz**

Kuru üfleme veya üfleme toz yüklü atmosferlere maruz kalması muhtemel tüm optik, elektronik cihazların kuma ve toza karşı dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılır. İki prosedürden oluşmaktadır. Prosedür I - Toz, Prosedür II - Kum'dur.

Prosedür I - Toz, malzemenin, tozlu ve rüzgarlı ortamlarda; tozun çatlaklara dolması, açıklıkları ve filtreleri tıkanması vb. etkilerini tespit etmek için yapılır.

Prosedür II - Kum, malzemenin, kumlu ve rüzgarlı ortamlarda; depolanması veya çalıştırılması durumunda malzemedeki deformasyonlar vb. durumlarda direncin belirlenmesi için yapılır.

### **Yöntem 511.7 Patlayıcı Atmosfer**

Malzemenin, yakıt-hava patlayıcı ortamlarda tutuşmaya neden olmadan çalışabilme kabiliyetini göstermek, veya malzeme içinde meydana gelen bir patlama veya yanma reaksiyonunun kontrol altına alınarak dışına yayılmayacağını gösterebilmek için kullanılır. İki adet prosedür bulunmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Patlayıcı Atmosfer ve Prosedür II - Patlama Muhafazası'dır.

Prosedür I - Patlayıcı Atmosfer, Bu prosedür her türlü mühürlü ve mühürsüz malzeme için geçerlidir. Bu test, test ögesinin ortamı tutuşturmadan yakıt buharı ortamında çalıştırılabilmesini değerlendirir.

Prosedür II - Patlama Muhafazası, Bu prosedür, test ögesinin kasasının veya diğer muhafazaların, dahili bir malzeme arızasının sonucu olan bir patlama veya alev oluşmasını belirlemek için kullanılır.

### **Yöntem 512.6 Daldırma**

Malzemenin, suya tümüyle veya kısmi daldırılması durumunda, dayanıklılığını ve daldırma sırasında veya sonrasında çalışıp çalışmadığını belirlemek için yapılır. İki prosedürden oluşmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Daldırma ve Prosedür - II Sudan Geçiş (Sığ/Derin)'dir.

Prosedür I - Daldırma, malzemenin; suya tümüyle maruz kalması durumundaki etkileri inceler.

Prosedür - II Sudan Geçiş (Sığ/Derin), Zırlı araç, tank ve vb. araçlarda taşınmak üzere tasarlanan malzemenin sudan geçişi sırasında, üzerinde oluşabilecek etkileri inceler.

### **Yöntem 513.8 İvmelenme**

Malzemenin, çalışma ortamında hızlanması, yavaşlaması veya çeşitli kuvvetlere maruz kalması durumunda ve sonrasında bozulmaksızın işlev göstermesini sağlayıp, sağlamadığını tespit etmek için kullanılır. Yöntem 513.8, dört prosedürden oluşur. Bunlar, Prosedür I - Yapısal Test, Prosedür II - Operasyonel Test, Prosedür III - Çarpışma Güvenliği İvme Testi, Prosedür IV - Güç Testi'dir.

Prosedür I - Yapısal Test, Malzemenin hizmet içi ivmelerin neden olduğu yüklere yapısal olarak dayanıp dayanamayacağını göstermek için kullanılır.

Prosedür II - Operasyonel Test, malzemenin hizmet içi hızlanmanın neden olduğu yüklere maruz kalması sırasında ve sonrasında bozulma olmadan çalışıp çalışamayacağını göstermek için kullanılır.



Prosedür III - Çarpışma Güvenliği İvme Testi, Bir çarpışma sırasında veya sonrasında, personel için tehlike arz edebilecek yapısal malzeme arızalarını açıklamak için kullanılır.

Prosedür IV - Güç Testi, Prosedür IV, esas olarak sinüs patlaması kullanan birincil yapılarda spesifik yükler üretmeyi amaçlayan bir mukavemet testidir.

### **Yöntem 514.8 Titreşim**

Yöntemin amacı, malzemenin maruz kalabileceği yaşam döngüsünde titreşime maruz kalması halinde dayanıklılığını belirleyebilmek için kullanılır. Yöntem 514.8, dört prosedürden oluşmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Genel Titreşim, Prosedür II - Serbest Kargo Taşımacılığı, Prosedür III - Büyük Montajlı Taşıma, Prosedür IV - Uçak Taşıma ve Serbest Uçuş'dur.

Prosedür I - Genel Titreşim, Güvenli kargo olarak taşınacak veya bir araçta kullanılmak üzere konumlandırılacak malzeme için kullanılır. Bu prosedür, kara taşıtları ile sabit ve döner kanatlı hava taşıtları için geçerlidir.

Prosedür II - Serbest Kargo Taşımacılığı, Kamyonlar, treylerler veya paletli araçlarda/üzerinde taşınacak ve taşıma aracına sabitlenmemiş (bağlı) malzeme için kullanılır.

Prosedür III - Büyük Montajlı Taşıma, Bu prosedürün amacı, tekerlekli veya paletli araçlarla kurulan veya taşınan büyük malzeme gruplarının neden olduğu titreşim ve şok ortamını çoğaltmaktır. Yüksek oranda araç kütlesi oluşturan büyük montajlara veya gruplara ve aracın ayrılmaz bir parçasını oluşturan malzemelere uygulanabilir.

Prosedür IV - Uçak Taşıma ve Serbest Uçuş, Tüm uçak depolarının, çevresel yaşam döngülerinin sabit kanatlı uçak taşıma ve serbest uçuş bölümlerine, karadan veya denizden fırlatılan füzelerin serbest uçuş aşamalarına uygulanır.

### **Yöntem 515.8 Akustik Gürültü**

Malzemenin, fonksiyonel performansında ve/veya yapısal bütünlüğünde kabul edilemez bir bozulma olmaksızın belirtilen akustik ortama dayanacak yeterliliğini belirleyebilmek için gerçekleştirilir. Bu yönteme ait üç adet prosedür bulunmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Dağınık Alan Akustik Gürültüsü, Prosedür II - Otlatma Olayı Akustik Gürültü, Prosedür III - Boşluk Rezonansı Akustik Gürültüsüdür.

## **Yöntem 516.8 Şok**

Malzemenin, nakliye ve hizmet ortamlarının herhangi birinde veya tümünde güvenlik amacıyla genel malzeme sistemi bütünlüğünün değerlendirilmesi için yapılır. Sekiz adet prosedür bulunmaktadır. Prosedür I - Fonksiyonel Şok, Prosedür II - Taşıma Şoku, Prosedür III - Kırılabilirlik, Prosedür IV - Transit Bırakma, Prosedür V - Çarpma Tehlikesi Şok Testi, Prosedür VI - Tezgah Taşıma, Prosedür VII - Sarkaç Darbesi, Prosedür VIII - Mancınık Fırlatma/Tutuklanan Çıkarmadır.

Prosedür I - Fonksiyonel Şok, malzemeyi işlevsel modunda test etmeyi ve malzemenin şoka karşı fiziksel bütünlüğünü, sürekliliğini ve işlevselliğini değerlendirmeyi amaçlar.

Prosedür II - Taşıma Şoku, malzeme, bir nakliye konteynerine ihtiyaç duyduğunda kullanılacaktır. Bir taşıma düşme yüksekliğine minimum kritik şok direnci seviyesini belirtir. Bu prosedür, füze güdüm sistemleri, hassas test ekipmanları, jiroskoplar, atalet yönlendirme platformları gibi aşırı kırılabilir malzemelerin testi için tasarlanmamıştır.

Prosedür III - Kırılabilirlik, ambalajın malzeme için tasarlanabilmesi veya malzemenin nakliye ve/veya taşıma gereksinimlerini karşılamak üzere yeniden tasarlanabilmesi için bir malzemenin sağlamlığını veya kırılabilirliğini belirlemek için kullanılır.

Prosedür IV - Transit Bırakma, transit veya kombinasyon halinde veya saha kullanımı için hazırlanmış (savaş durumunda insan, kamyon, demiryolu vb. ile taşınan) malzeme için tasarlanmıştır. Malzemenin, transit veya kombinasyon durumunun dışında olduğu zaman, rutin bakım sırasında, bir raftan çıkarılırken, yerleştirilirken yükleme ve boşaltma sırasında şoklara karşı dayanıklılığını belirlemek için kullanılır.

Prosedür V - Çarpma Tehlikesi Şok Testi, benzetilmiş çarpışma koşulları sırasında malzeme bağlantılarının veya muhafaza konfigürasyonunun yapısal bütünlüğünü doğrulamak için kullanılır.

Prosedür VI - Tezgah Taşıma, malzemenin, tezgah taşıma, tezgah bakımı veya paketleme sırasında karşılaşılan temsili şok seviyelerine dayanma kabiliyetini belirlemek için kullanılır.

Prosedür VII - Sarkaç Darbesi, Büyük nakliye konteynerlerinin yatay darbelere direnme kabiliyetini test etmeyi ve paketleme yöntemlerinin, konteyner darbe aldığı anda koruma sağlama kabiliyetini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu test, kazara elleçleme etkilerini simüle etmek içindir ve yalnızca kaza sonucu darbelere duyarlı konteynerlerde kullanılır.

Prosedür VIII - Mancınık Fırlatma/Tutuklanan Çıkarma, mancınık fırlatmalarına ve durdurulmuş inişlere tabi olan sabit kanatlı uçaklara veya uçaklara monte edilen malzemelerin testi için tasarlanmıştır.

### **Yöntem 517.3 Piroşok**

Malzemenin monte edildiği yapısal bir konfigürasyon üzerinde bir piroteknik cihazın patlamasının neden olduğu şok etkilerine, malzemenin yapısal ve işlevsel olarak dayanıklılığını, şok azaltma prosedürlerinin uygulanabilmesi için malzemenin piroşok ile ilgili kırılma düzeyini deneysel olarak tahmin etmek için kullanılır. Yöntemde toplam beş adet prosedür bulunmaktadır. Prosedür I - Gerçek Konfigürasyona Sahip Yakın Alan, Prosedür II - Simüle Konfigürasyona Sahip Yakın Alan, Prosedür III - Mekanik Test Cihazı ile Orta Alan, Prosedür VI - Mekanik Bir Test Cihazı Kullanarak Uzak Alan, Prosedür V - Elektrodinamik Çalkalayıcı Kullanarak Uzak Alandır.

### **Yöntem 518.2 Asidik Atmosfer**

Malzemelerin ve koruyucu kaplamaların aşındırıcı atmosferlere karşı direncini ve gerektiğinde operasyonel yetenekler üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılır.

### **Yöntem 519.8 Ateş Şoku**

Silahların ateşlenmesi sırasında karşılaşılan nispeten seyrek, kısa süreli geçici yüksek hızlı tekrarlayan şok girdisine malzemenin yapısal ve işlevsel olarak dayanabileceğine dair bir güven derecesi sağlamak için gerçekleştirilir. Yönteme ait prosedür bulunmamaktadır.

### **Yöntem 520.5 Sıcaklık, Nem, Titreşim ve İrtifa**

Yer ve uçuş operasyonları sırasında güvenlik, bütünlük ve performans açısından havadaki elektronik ve elektro-mekanik malzeme üzerindeki sıcaklık, nem, titreşim ve irtifa birleşik etkilerini belirlemek için kullanılır. Yönteme ait üç prosedür bulunmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Mühendislik Geliştirme, Prosedür II - Uçuş veya Görev Desteği, Prosedür III - Platform Zarfi'dir.

### **Yöntem 521.4 Buzlanma/Donma Yağmur**

Buzlanma testi, buzlanmanın malzemenin operasyonel kabiliyeti üzerindeki etkisini değerlendirmek için yapılır. Bu yöntem ayrıca, sahada kullanılacak öngörülen araçlar da dahil olmak üzere buz çözme ekipmanı ve tekniklerinin etkinliğini değerlendirir. Yönteme ait prosedür bulunmamaktadır.

## **Yöntem 522.2 Balistik Şok**

Bu yöntem, genellikle iki veya daha fazla cisim arasındaki momentum değişimini veya bir sıvı veya gaz ile bir katı arasındaki momentum değişimini içeren bir dizi balistik şok testini içerir. Bu yönteme ait 6 adet prosedür bulunmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Balistik Gövde ve Kule (BH&T), Tam Spektrum, Balistik Şok Kalifikasyonu, Prosedür II - Büyük Ölçekli Balistik Şok Simülatörü (LSBSS), Prosedür III - Sınırlı Spektrumlu, Hafif Şok Makinesi (LWSM), Prosedür IV - Sınırlı Spektrum, Mekanik Şok Simülatörü, Prosedür V - Sınırlı Spektrumlu, Orta Ağırlıklı Şok Makinesi (MWSM), Prosedür VI - Tabla Düşürmedir.

Prosedür I - Balistik Gövde ve Kule (BH&T), Tam Spektrum, Balistik Şok Kalifikasyonu, zırhlı araçlar üzerindeki balistik darbelerle ilişkili şokun simüle edilerek, içine malzeme monte edilmiş bir "Balistik Gövde ve Kule'ye (BH&T) mermilerin ateşlenmesiyle gerçekleştirilir.

Prosedür II - Büyük Ölçekli Balistik Şok Simülatörü (LSBSS), Büyük Ölçekli Balistik Şok Simülatörü (LSBSS) gibi cihazlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşım, ağırlığı 500 Kg'a (1100 lbs) kadar olan bileşenler için kullanılır.

Prosedür III - Sınırlı Spektrumlu, Hafif Şok Makinesi (LWSM), 113,6 kg'dan (250 lb) daha hafif olan ve 3 kHz'in üzerindeki frekanslara duyarlılığı ortadan kaldırmak için MIL-S-901 standardının atıfta bulunduğu Hafif Şok Makinesi (LWSM) kullanılarak yapılabilir.

Prosedür IV – Sınırlı Spektrum, mekanik Şok Simülatörü, hafif bileşenleri test etmek için mekanik şok simülatörleri bulunmaktadır. (en küçük makine için 0,5 ila 1,8 kg (1 ila 4 lb); diğer yüklenici makineler için daha yüksek). Bu simülatörlerde, 10 kHz'e kadar bir şok üretir.

Prosedür V - Sınırlı Spektrumlu, Orta Ağırlıklı Şok Makinesi (Medium Weight Shock Machine) (MWSM), 2273 kg'dan (5000 lb) hafif ve 1 kHz'in üzerindeki frekanslara duyarlı olmayan bileşenler, MIL-S-901 Standardının atıfta bulunduğu Orta Ağırlık Şoku Makinesi kullanılarak 10 Hz ila 1 kHz aralığında test edilebilir. Orta Ağırlıklı Şok Makinesinin kullanımı, şok monteli ve/veya yüksek frekanslara duyarlı olmayan ağır bileşenler ve alt sistemler için uygun olabilir.

Prosedür VI - Tabla Düşürme, zırhlı bir araçta şok korumasına ihtiyaç duyulan şok monteli hafif bileşenler (tipik olarak 18 kg'dan daha az) bir düşürme tablosu kullanılarak 500 Hz'e kadar olan frekanslarda balistik şok hassasiyeti açısından değerlendirilir.

#### **Yöntem 523.4 Vibro-Akustik/Sıcaklık**

Sabit taşıma uçuşu sırasında harici olarak taşınan uçak depoları üzerindeki titreşim, akustik gürültü ve sıcaklığın sinerjik etkilerini belirlemek için gerçekleştirilir. Yönteme ait prosedür bulunmamaktadır.

#### **Yöntem 524.1 Dondurma Çözme**

Soğuktan sığağa veya sıcaktan soğuğa gerçekleşen ortam transferinin neden olduğu nemin etkilerine dayanma yeteneğini belirler. Üç adet prosedür bulunmaktadır. Bunlar, Prosedür I - Günlük Döngü Etkileri, Prosedür II - Sisleme, Prosedür III - Hızlı Sıcaklık Değişimidir.

Prosedür I - Günlük Döngü Etkileri, günlük döngünün etkilerini, buz veya yoğuşma ya da yüksek bağıl nem varken, gündüz ısınması ve geceleri donma için tipik olan donma noktasının biraz üstünde ve altında değişen sıcaklıklara maruz kalan malzeme üzerindeki etkileri simüle etmek için kullanılır.

Prosedür II - Sisleme, uçak, füze veya roket vb. ekipmanların soğuktan sıcak bir ortama ya da soğuk bir ortamdan sıcak bir ortama geçişi ile meydana gelen sislemenin ekipmanların üzerindeki etkilerinin değerlendirmek için kullanılır.

Prosedür III - Hızlı Sıcaklık Değişimi, sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama (donma) ve ardından tekrar sıcak ortama taşınacak olan malzemede meydana gelen yoğuşmanın malzemeler üzerindeki etkilerinin değerlendirmek için kullanılır.

#### **Yöntem 525.2 Zaman Dalga Formu Tekrarlanması**

Malzemenin sahada maruz kalması muhtemel olan ölçülmüş veya analitik olarak belirlenmiş test süresine yapısal ve işlevsel olarak dayanıklılığını test etmek veya test süresinin tekrarlanarak uygulaması halinde malzemenin kırılma seviyesini deneysel olarak tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemde prosedür bulunmamaktadır.

#### **Yöntem 526.2 Ray Darbe**

Sistemlerin, alt sistemlerin ve birimlerin taşıma sürecinde meydana gelen vagon çarpma koşullarında ve lojistik koşullar sırasında meydana gelebilecek darbe etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Bu yöntemde prosedür bulunmamaktadır.

#### **Yöntem 527.2 Çoklu Uyarıcı Testi**

Malzemenin; birden fazla eksende, belirli bir dinamik ortama, durağan, durağan olmayan veya şoka maruz kalma gibi yapısal ve işlevsel olaylara dayanıklılığını

gösterebilmek için kullanılır. Bu yöntemde prosedür bulunmamaktadır.

### **Yöntem 528.1 Gemi Ekipmanlarının Mekanik Titreşimleri**

Askeri gemi teçhizatının, yaşam döngüsünde titreşime maruz kalması halinde dayanıp dayanmayacağı, çalışıp, çalışmayacağını belirleyebilmek için kullanılır. Yönteme ait prosedür bulunmamaktadır.

#### **4. ASKERİ ALANDAKİ ÇEVRESEL TESTLER İÇİN ENVANTER İHTİYACININ BELİRLENMESİ VE İŞLERİN MAKİNELERDE ÇİZELGELENMESİ**

Çalışma yapılan firma Savunma Sanayii alanında faaliyet göstermekte olup, 2017 yılında kamu özel iş birliği ile kurulmuştur.

Firmanın faaliyetleri içerisinde; yerli test alt yapı envanterinin çıkarılması, Türkiye’de yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve üretimden doğrulamaya tüm ihtiyaçların ülkemiz yetenekleri ile çözüme kavuşturulması, kamu malı test envanterinin işletiminin sağlanması gibi önemli faaliyetler yer almaktadır. Ayrıca firmanın kendi bünyesinde geliştirmiş olduğu “Online Test Ekosistemi ve Yerli Test Altyapı Envanteri” ile test ihtiyacı olan firmalar ile test altyapısına sahip firma ve laboratuvarların bir platformda buluşması sağlanmaktadır. Firmanın başlatmış olduğu envanter çalışması ile savunma sanayi firmalarının ihtiyaç duyduğu testlerin (temel standartlar olan “MILSTD (212, 461F, 810G, 810 H), DO (160, 178, 254)”), boyutları 1m<sup>3</sup>’ün altında olan ürünler için yaklaşık %90’ının yurt içinden karşılanmasını sağlanabilmektedir.

Firmada Balistik Testler, Çevresel Testler, EMI-EMC Testleri, KBRN Testleri, Siber Güvenlik ve Yazılım Testleri, Kara Araçları Testleri yapılmaktadır. Ayrıca Siber Güvenlik ve Savunma Sanayiindeki ürünlerin belgelendirilmesi ve özellikle askeri standartlara yönelik eğitimler de gerçekleştirilmektedir.

##### **4.1 Çevresel Test Laboratuvarı**

Özellikle Savunma Sanayii alanında yurt içinde yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve üretimden doğrulamaya tüm ihtiyaçların ulusal altyapılarla çözüme ulaştırılmasının firmanın amaçlarında yer aldığı ve son derece önemli olduğu daha önce de belirtilmiştir. İhtiyaç duyulan testlerde, müşteri ve piyasa istekleri doğrultusunda taleplerin ortaya çıkarılarak test gereksinimlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Firma aracılığı ile gerçekleştirilen testler incelendiğinde “Online Test Ekosistemi ve Yerli Test Altyapı Envanteri” üzerinden en fazla talebin çevresel testlerden geldiği görülmektedir. Zaman içerisinde gerçekleştirilen talep analizi neticesinde firmanın kendine ait özellikle askeri alandaki çevresel testleri gerçekleştirebilecek donanımda bir çevresel test laboratuvarına sahip olması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Savunma Sanayiinde kullanılan çevresel testlerin talep analizi üzerine yapılacak bu çalışma ile birlikte; firmanın çevresel test laboratuvarı kurarken öncelikli olarak yatırım

yapması gereken test cihazlarının belirlenmesi, yurt dışında gerçekleştirilebilen testlerin yurt içinde de gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak test altyapılarının oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu sayede sektörün ihtiyaç duyduğu testler ve test cihazları analiz edilecek, buna bağlı olarak da firmanın yatırım yapacağı testlaboratuvarındaki test cihazlarının belirlenmesi sağlanmış olacaktır.

Çalışma için, firmaya bir sene içerisinde gelen askeri alandaki çevresel test talepleri filtrelenerek, MIL STD 810 standardında yer alan prosedürlere göre alt gruplara ayrılmıştır. Gruplamadan sonra her bir prosedürden gelen test talep adedi belirlenmiştir. Her bir testin prosedürü için MIL STD 810 standardında tavsiye edilen süre baz alınmıştır. Test adeti ile test süresi çarpılarak toplam test süresi elde edilmiştir. Bu doğrultuda, çevresel test talepleri için çıkarılan envanter Tablo 4.1. ile verilmiştir.

Tablo 4.1. Çevresel Test Talepleri

Test Cihazı	Testler	Prosedürler	Test Adeti	Süre (Gün)	Toplam Test Süresi
İklimlendirme	Yüksek Sıcaklık	Prosedür I – Depolama	55	1	55
		Prosedür II – Operasyon	60	1	60
		Prosedür III- Operasyonel için Taktik-Yedek	0	1	0
İklimlendirme	Düşük Sıcaklık	Prosedür I – Depolama	55	1	55
		Prosedür II – Operasyon	61	1	61
		Prosedür III- Operasyonel için Taktik-Yedek	0	1	0
İklimlendirme	Sıcaklık Şoku	Prosedür I – A- Sabit Aşırı Sıcaklıklardan Kaynaklanan Tek Yönlü Şok	7	1	7
		Prosedür I – B- Sabit Aşırı Sıcaklıktan Kaynaklanan Tek Döngülü Şoklar	14	1	14
		Prosedür I – B- Sabit Aşırı Sıcaklıktan Kaynaklanan Tek Döngülü Şoklar	9	2	18
		Prosedür I – C- Sabit Aşırı Sıcaklıktaki Çok Döngülü Şoklar	2	2	4
		Prosedür I – D- Kontrollü Ortam Sıcaklığına veya Ortam Sıcaklığından Kaynaklanan Şoklar			
İklimlendirme	Sıvılar ile Kirlenme	-	25	3	75
Buzlanma	Buzlanma/Donma Yağmur	-	9	2	18
Titreşim	Titreşim	-	94	1	94
Titreşim	Gemi Ekipmanlarının Mekanik Titreşimleri	-	4	2	8



Tablo 4.1. devam ediyor

Titreşim	Şok	Prosedür I - Fonksiyonel Şok	68	1	68
		Prosedür II – Taşıma Şoku	2	0.5	1
		Prosedür III – Kırılabilirlik	1	0.5	0.5
		Prosedür V - Çarpma Tehlikesi Şoku	19	1	19
		Prosedür VI - Tezgah Taşıma	31	0.25	7.75
		Prosedür VII - Sarkaç Darbesi	0	-	-
		Prosedür VIII - Mancınık Fırlatma/Tutuklanan Çıkarma	0	-	-
		Serbest Yük	Titreşim	-	4
Düşürme	Şok	Prosedür IV - Transit Bırakma	8	0.5	4
		Prosedür I - Yapısal Test	34	0.5	17
İvmelendirme	İvmelendirme	Prosedür II - Operasyonel Test	31	0.5	15.5
		Prosedür III – Çarpışma Güvenliği İvme Testi	19	0.5	9.5
		Prosedür IV – Güç Testi			
Yağmurlama	Yağmurlama	Prosedür I -Yağmur ve Rüzgarlı (Esen) Yağmur	38	0.5	19
		Prosedür II – Şiddetli Yağmur	7	0.5	3.5
		Prosedür III – Damlama	21	0.5	10.5
		Prosedür I- Depolama/Hava Taşımacılığı	31	1	31
Düşük Basınç	Düşük Basınç (İrtifa)	Prosedür II- Çalışma/Hava Taşımacılığı	45	1	45
		Prosedür III- Hızlı Dekompresyon	17	1	17
		Prosedür IV- Patlayıcı Dekompresyon	17	1	17
		Prosedür I – Daldırma	4	0.5	2
		Prosedür – II Sudan Geçiş (Sığ/Derin)	1	1	1
Kum ve Toz	Kum ve Toz	Prosedür I – Toz	50	2	100
		Prosedür II – Kum	39	1	39
Güneş Işılması	Güneş Işılması	Prosedür I – Döngü (Isınma ve/veya minimum aktinik etkiler)	31	3	93
		Prosedür II – Aktinik Etkiler'dir.	31	10	310
Mantar	Mantar	-	42	28	1176
IP	Toz ve Su Geçirmezlik	-	12	2	24

Tablo 4.1. ile verilen toplam test süresi (TTS) Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TTS = \text{Test Adedi} \times \text{Test Süresi} \quad (4.1)$$

Tablo 4.2. ile verilen çevresel test taleplerine göre ihtiyaç duyulan kabin sayısı (İDKS) hesabı için Eşitlik 4.2 kullanılmıştır. Denklemden yıllık ortalama çalışma süresi 240 gün olarak alınmıştır.

$$İDKS = \frac{\text{Toplam Test Süresi}}{\text{Yıllık Ortalama Çalışma Süresi}} \quad (4.2)$$

Hesaplanan İDKS ve kabin maliyetleri Tablo 4.2. ile verilmiştir.

Tablo 4.2. İhtiyaç Duyulan Kabin Sayısı ve Kabin Maliyeti

Test Cihazı	İhtiyaç Duyulan Kabin Sayısı (İDKS)	Kabin Maliyeti
İklimlendirme	5	322,050.00 €
Buzlanma	1	90,000.00 €
Titreşim	1	268,000.00 €
Serbest Yük	1	21,200.00 €
Düşürme	1	15,800.00 €
İvmelendirme	1	337,665.00 €
Yağmurlama	1	310,000.00 €
Düşük Basınç	1	315,000.00 €
Daldırma	1	5,000.00 €
Kum ve Toz	1	480,000.00 €
Güneş Işılması	2	170,000.00 €
Mantar	2	101,540.00 €
IP	2	90,000.00 €

#### 4.2 Değişen Darboğaz Yöntemi

Sıralama, bir grup işin belli başlı özelliklerine göre sıralaya dizilmesidir. Makine, işçi, donanım v. b gibi sınırlı kaynakların belirli bir kısıt, amaç ve zaman doğrultusunda işlere atanması konusunda karar verme sürecine çizelgeleme denir. Bir ürünü meydana getiren iş parçalarının eldeki tek ya da çok sayıda makinelerde hangi sırada, ne zaman işleneceğinin belirlenmesine iş çizelgeleme denir.

Çizelgeleme, birçok üretim endüstrisinde ve hizmet sektöründe kullanılan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme yöntemi ile üretim ya da hizmet merkezinde işlem görmesi gereken birden fazla işin “hangi sıra” ile yapılması gerektiği belirlenebilmektedir. Belirlenen sıralama bir performans kriteri veya kuralına göre değerlendirilmektedir. Örneğin ilk gelen ilk işlem görür ya da en acil olan ilk işlem görür gibi kurallar bunlardan bazıları olabilmektedir. Çizelgelemenin temel amaçları; görevlerin sıralanması, zaman yönetimi, planlama ve verimlilik artışı olarak sıralanabilmektedir. Bu sayede üretim veya hizmet alanındaki olanaklar etkin bir biçimde kullanılabilenmekte, müşteriden gelen taleplere mümkün olduğunca hızlı cevap verilebilmekte, işler teslim tarihlerinde gecikme olmadan bitirilerek fazla mesai çalışmaları da en aza indirgenebilmektedir. Başlıca çizelgeleme uygulamaları, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme, tedarik zincirinde planlama ve çizelgeleme, proje çizelgeleme ve atölye tipi çizelgelemedir.

Üretim çizelgeleme problemleri, atölyeye geliş şekline göre ve işlerin ve makinelerin sayısına göre olmak üzere ikiye ayrılır. Atölyeye geliş şekline göre, dinamik ve statik, işlerin ve makinelerin sayısına göre olanlar ise tek makineli ve paralel makineli çizelgeleme olarak ikiye ayrılmaktadır.

Dinamik problemlerde, belirli bir dönem için iş listesi bilinmekte ve genelde bu listede herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Statik problemlerde ise iş listesi sıklıkla ve rasgele değişmekte, işler düzenli aralıklarla atölyeye gelmemektedir. Dolayısıyla işlerin sıralamalarının sürekli değişim göstermesi gerekebilmektedir.

Tek makineli çizelgeleme, işlerin sıralı bir şekilde işlem gördüğü çizelgeleme problemidir. Bu tür çizelgeleme problemlerinde, gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duymakta ve işlerin sadece hangi sırada yapılacağına belirlenmesine çalışılmaktadır. [29]

Paralel makineli üretim çizelgeleme problemleri ise akış tipi (Flow Shop) ve atölye tipi (Job Shop) makine çizelgeleme problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Paralel makineli çizelgeleme, birbiriyle özdeş makinelerin paralel olarak yerleştiği ve işlerin tesadüfi olarak herhangi bir makinede işlenebildiği tek makine ortamının daha genişletilmiş halidir.

Akış tipi çizelgelemede, iş akışı tek bir yönde olup işlerin izledikleri rotalar aynıdır. Aynı zamanda üretim sırasında her işlem için belirli bir süre ayrılmıştır. [30]

Atölye tipi çizelgeleme (ATÇ) problemleri, işçiler, makineler, araçlar vb. gibi kaynakların belirli görevlere atanması ve bu görevlerin bir zaman çizelgesi içinde optimize edilmesiyle ilgilidir. Bu tür problemlerde, işler önceden belirlenmiş rotayı izleyerek gerçekleştirilmektedir. Atölye tipi çizelgeleme, n tane iş ve m tane makineden meydana gelen bir sistemde, rotaları birbirinden farklı olabilen işlerin çizelgelenmesinde kullanılmaktadır. Bu tip çizelgeleme problemlerinde, her iş farklı sayıda işleme sahiptir. Her bir işlem için öncelik sırası bulunmakta ve bir işlem sadece bir makinede yapılabilmektedir.

Atölye tipi çizelgeleme problemlerini çözmek için birkaç araştırmacı tarafından çeşitli buluşsal yöntemler geliştirilmiştir. Bu buluşsal yöntemlerin çoğu Conway, Maxwell ve Miller (1967), Baker (1974), Rinnooy (1976), Bellman, Esogbue ve Nabeshima (1982), French (1982), Morton ve Pentico (1993) ve Pinedo (1995) tarafından geliştirilerek, rapor edilmiştir. [7] Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde tavsiye edilen farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Shifting Bottleneck (SB) sezgiselinin özellikle son dönemlerde geliştirilmiş, darboğaz oluşturan makinelerin yönetimi için en iyi çözümü üreten tek algoritma olduğu bilinmektedir.

Atölye tipi çizelgeleme problemlerini, yüksek hesaplama karmaşasından dolayı

geleneksel optimizasyon yöntemleriyle çözerek optimal sonuçlarını elde etmek oldukça güçtür. Bu nedenle sıklıkla büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümü için optimuma en yakın sonuçları veren metasezgisel yöntemlere başvurulmaktadır. Bu tür problemlerde, darboğaz kaynaklar, üretim sürecinin hızını veya verimliliğini sınırlayan kısıtlamalar olarak ortaya çıkmaktadır.

Metasezgisel yöntemlerden biri olan değişen darboğaz sezgiseli, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kullanılır ve darboğaz kaynakların optimize edilmesine odaklanır. Bu yöntemde, her iterasyonda bir darboğaz kaynak seçilir ve bu kaynağın performansı iyileştirilmeye çalışılır. Ardından, yeni çizelgeleme çözümü oluşturulur ve darboğaz kaynak güncellenir. Bu adımlar, belli bir durma kriterine ulaşıncaya kadar tekrarlanır.

Bu yöntem, diğer geleneksel yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar verir. Diğer yöntemler, süreçlerin belirli bir noktasında kaynaklardan hangilerinin yoğun olarak kullanıldığını tespit ederek, darboğazı belirlemektedir. Ancak bu yöntemler, süreçteki değişkenlikler ve farklı koşullar nedeniyle yanıltıcı sonuçlar verebilir. Değişen darboğaz yöntemi, süreçteki değişkenlikleri ve farklı koşulları dikkate alarak darboğaz noktasını dinamik olarak tespit etmeye çalışır. Yöntemde, darboğaz noktası süreçteki farklı koşullara göre değişebilir ve sürecin farklı noktalarında farklı kaynaklar darboğaz noktasını oluşturabilir. Yöntemde, süreçteki kaynakların kullanımı ve verimliliği sürekli olarak izlenir ve bu veriler, sürecin farklı koşullar altında darboğaz noktasının nerede olduğunu belirlemek için kullanılır. Değişen darboğaz yöntemi, süreçlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine ve süreçlerdeki verimliliğin artırılmasına yardımcı olur. Süreçlerin ve zamanın optimize edilmesi ve kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması için oldukça önemli bir araçtır.

SB sezgiseli, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde darboğaz makinelerinin yönetimini başarılı bir şekilde simüle eden tek buluşsal yöntemdir. Darboğazlar bir süreci yavaşlatan veya geciktiren aksaklıklar ya da engellerdir. Süreçte aksaklık yaratan noktaların tespit edilmesi gerekmektedir. Darboğaz oluşturan makinalar, verimliliğini ve hızı kısıtlayan en etkili faktörlerden biridir. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, darboğaza sebep olan makinenin tespit edilmesi tüm işlerin hızını ve etkinliğini arttıracaktır.

Adams, Balas ve Zawack tarafından yapılan çalışmada SB sezgiselinin performansını, farklı öncelik kuralları (SPT, LPT, FCFS, vb.) ile kıyaslamak için 40 test problemi çözülmüş, SB sezgiselinin diğer sezgisellere oranla üstünlük sağladığı açıkça görülmüştür. Aynı çalışmada, çok daha büyük boyutlu test problemleri için de çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaların ardından yapılan karşılaştırmalar neticesinde SB

sezgiselinin 30 iş, 10 makineden daha büyük problemler için optimum sonuçları verdiği görülmüştür. [44]. SB sezgiseli, her iş için başlama ve bitiş zamanlarını tespit ederek, işin minimum sürede tamamlanmasını sağlamaktadır. Değişen darboğaz yöntemi ile bir makinenin kesintisiz olarak aktif olabileceği süre belirlenebilmektedir. Bu da sistem içerisindeki engellerin, aksaklıkların çok daha iyi anlaşılmasını sağlayarak, daha güvenilir bir darboğaz tespiti sağlar. Darboğazları iyileştirmek, tüm çalışma sistemini iyileştirir. Yöntem, makinenin aktif olduğu süreye dayalı olarak esnek imalat sistemlerinde darboğazları ve bunların kaymasını tespit etmek için yeni bir yöntem sağlar. Sunulan aktif süre yöntemi, bir makinenin kesintisiz olarak aktif olduğu süreye bağlı olarak darboğazı belirler. Yöntem, yalnızca kısa vadeli değişen darboğazları tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda bir makinenin darboğaz olma olasılığı şeklinde uzun vadeli darboğazları da belirler.

Değişen darboğaz yöntemi,  $C_{max}$  ve  $L_{max}$  hedeflerini bulmak için etkili bir yöntemdir.  $C_{max}$  değeri grafikteki en uzun yolu yani son işin tamamlanma zamanını,  $L_{max}$  ise maksimum gecikmeyi ifade etmektedir. SB Sezgiseli, yinelemeli bir yöntemdir. Yöntemin her yinelemesinde,  $|r_j| L_{max}$  metodolojisi kullanılarak bir darboğaz makinesi tanımlanır.  $L_{max}$ 'ı en aza indirgeyecek şekilde işlerin makinelerdeki sıralaması bulunur. Yöntem, üç aşamadan oluşmaktadır. [13]

**Adım 1:** En uzun yolu hesapla.

$M_0 = \emptyset$  olarak ayarlanır ve CPM ağı çizilerek  $C_{max}$  bulunur.

**Adım 2:** Her makine için en iyi sıralamayı bul.

Her bir  $m \in M_0$  makinesi için  $|r_j| L_{max}$  problemi çözülür ve  $m$  makinesinde en iyi sıralama bulunur.

**Adım 3:** En erken başlama ve en geç tamamlanma zamanlarını hesapla.

İşlerin  $r_j$  ve  $d_j$  değerleri, çizilen CPM ağı üzerinden hesaplanır.

$r_j$ :  $m$  makinesi üzerindeki " $m, j$ " düğümü için en erken başlama zamanını,  $d_j$ :  $m$  makinesi üzerinde, " $m, j$ " düğümü için en geç tamamlanma zamanını gösterir.

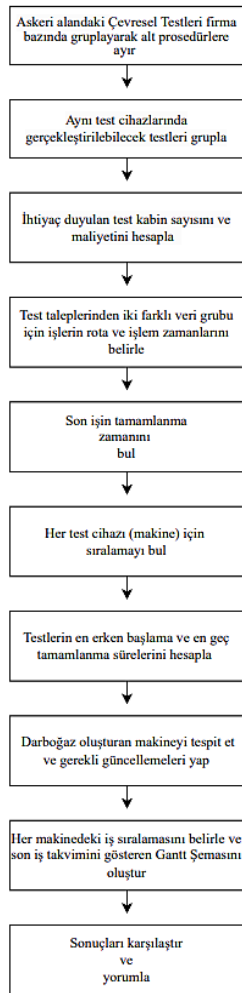
**Adım 4:** Darboğaz oluşturan makineyi tespit et. Gerekli güncellemeleri yap.

#### 4.2.1. İşlerin Makinelerde Değişen Darboğaz Yöntemi ile Çizelgelenmesi

Savunma sanayiindeki ürünlerin testlerinin zamanında teslim edilememesinden kaynaklı olarak üretim süreçlerinde ciddi aksamalar meydana gelmektedir. Son derece karmaşık olan bu süreçlerin yönetimi ve optimizasyonu oldukça güçtür.

Teste tabi tutulacak ürünler, farklı test cihazlarında, farklı rotalar ile ilerlemek durumundadır. Gelen her test talebindeki iş grubu farklı sayıda işleme sahip olup her iş için öncelik sırası mevcuttur ve testlerin gerçekleştirilebileceği makineler farklı olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada,  $n$  tane iş ve  $m$  tane makineden meydana gelen bir sistemde, rotaları birbirinden farklı olabilen işlerin çizelgelenmesinde kullanılan atölye tipi çizelgeleme kullanılmıştır.

Bu çizelgelemenin kullanıldığı yöntemlerden biri olan değişen darboğaz yöntemi, çalışma yapılan firma tarafından kurulması planlanan çevresel test laboratuvarında makinelerde yaşanacak darboğazların belirlenerek sürecin kesintisiz ve aksama olmaksızın ilerleyebilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Envanter İhtiyacının Belirlenmesi ve İşlerin Makinelerde Çizelgelenmesine İlişkin Akış Şeması

Çalışmada, askeri alandaki çevresel testler için envanter ihtiyacının belirlenmesi ve işlerin makinelerde çizelgelenmesi için önerilen yöntem olan değişen darboğaz sezgiseline

ilişkin akış şeması Şekil 4.1. 'de yer almaktadır.

Değişen darboğaz yönteminin uygulanmasına yönelik olarak, firmaya bir yıl içerisinde gelen Tablo 4.1. 'de yer alan test taleplerinden iki firma özelinde seçim yapılarak, işlerin (test taleplerinin) rota ve işlem zamanları (test süreleri) ele alınmıştır. Rota ve işlem zamanları ele alınırken standardın tavsiye ettiği testler için belirlenmiş önceliklendirme göz önünde bulundurulmuştur. Gelen taleplerden yedi tane test talebi iş olarak seçilmiştir. Bunlardan üç tanesi ilk firmaya ait olduğu için birinci veri seti, diğerleri ise ikinci veri seti olarak belirlenmiştir.

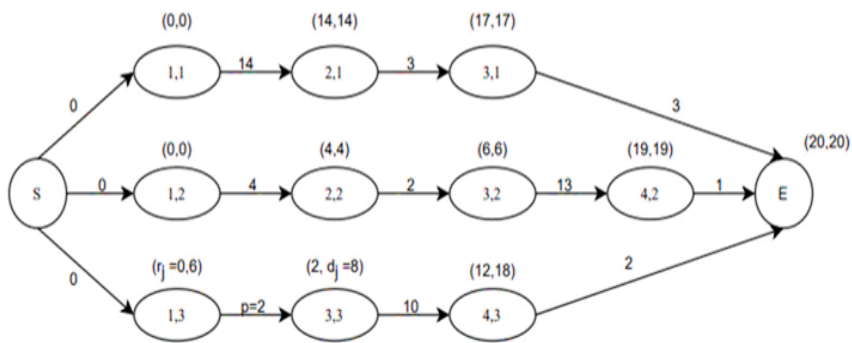
Belirlenen test talepleri için değişen darboğaz yöntemi uygulanarak çözümler elde edilmiş, mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Öncelikle ilk gruba ait üç iş için değişen darboğaz yöntemi uygulanmıştır. Bu iş grubu için, işlerin rota ve işlem zamanları Tablo 4.3. 'de verilmiştir.

Tablo 4.3. İşlerin Rota ve İşlem Zamanları

İş	Rota ve İşlem Zamanları			
$j_1$	$M_1$ (14)	$M_2$ (3)	$M_3$ (3)	
$j_2$	$M_1$ (4)	$M_2$ (2)	$M_3$ (13)	$M_4$ (1)
$j_3$	$M_1$ (2)	$M_3$ (10)	$M_4$ (2)	

Adım 1:  $M_0 = \emptyset$  olarak ayarlanır ve CPM ağı çizilerek  $C_{max}$  hesaplanır.



Şekil 4.2. CPM Ağ Grafiği

CPM ağındaki en uzun yol incelendiğinde, birinci ve ikinci iş için 20 olduğu görülmektedir. Böylelikle  $C_{max} = 20$  olarak bulunur.  $|r_j| L_{max}$  problemi her bir makine ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) için aşağıdaki şekilde çözülür.

Makine 1

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4. 4 . Makine 1 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(1,1)	(1,2)	(1,3)
$p_{1j}$	14	4	2
$r_{1j}$	0	0	0
$d_{1j}$	14	4	8

$1| r_j| L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, sıralamanın  $\{ j_2, j_3, j_1 \}$  şeklinde olacağı görülür. Sıralama, sadece en erken teslim tarihi EDD (Earliest Due Date)'ne göre değil, aynı zamanda işlerin  $r_j$  değerleri de göz önünde bulundurularak yapılır. Makine 1'de  $L_{max}$ ' ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 4.5. ile verilmiştir.

Tablo 4.5. Makine 1 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{1j}$	$r_{1j}$	$S_{1j}$	$C_{1j}$	$d_{1j}$	$L_{1j}$
2	4	0	0	4	4	0
3	2	0	4	6	8	-2
1	14	0	6	20	14	6

Tablo 4.5. ile verilen değerler incelendiğinde, Makine 1' deki maksimum gecikmenin 6 olduğu görülmektedir. Bu nedenle,  $L_{max}(1) = 6$  olarak bulunur.

Makine 2

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.6. Makine 2 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(2,1)	(2,2)	(2,3)
$p_{2j}$	3	2	-
$r_{2j}$	14	4	-
$d_{2j}$	17	6	-

En küçük  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{ j_2, j_1 \}$  şeklindedir. Makine 2'de  $L_{max}$ ' ı minimize eden değerler Tablo 4.7. ile verilmiştir.



Tablo 4. 7. Makine 2 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{2j}$	$r_{2j}$	$S_{2j}$	$C_{2j}$	$d_{2j}$	$L_{2j}$
2	2	4	4	6	6	0
1	3	14	6	9	17	-8

Elde edilen sıralamanın Makine 2’de uygulanması sonucu elde edilen  $L_j$  değerleri incelendiğinde herhangi bir gecikme olmayacağı görülür. Bu nedenle, Makine 2 için maksimum gecikme değeri  $L_{max}(2) = 0$  olarak bulunur.

### Makine 3

$|1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.8. Makine 3 için  $|1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(3,1)	(3,2)	(3,3)
$p_{3j}$	3	13	10
$r_{3j}$	17	6	2
$d_{3j}$	20	19	18

Makine 3’deki  $d_j$  değerleri incelendiğinde, sıralamanın  $\{j_3, j_2, j_1\}$  şeklinde olacağı görülür.

Makine 3’de  $L_{max}$ ’ ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 4.9. ile verilmiştir.

Tablo 4.9. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{3j}$	$r_{3j}$	$S_{3j}$	$C_{3j}$	$d_{3j}$	$L_{3j}$
3	10	2	2	12	18	-6
2	13	6	12	25	19	6
1	3	17	25	28	20	8

Elde edilen sıralamanın Makine 3’de uygulanması sonucu maksimum gecikme 8 olacaktır.

Yani  $L_{max}(3) = 8$  olarak bulunur.

Makine 4

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.10. Makine 4 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(4,1)	(4,2)	(4,3)
$p_{4j}$	-	1	2
$r_{4j}$	-	19	12
$d_{4j}$	-	20	20

Makine 4’de  $1| r_j| L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{ j_3, j_2 \}$  şeklinde elde edilir. Makine 4 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler Tablo 4.11. ile verilmiştir.

Tablo 4.11. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{4j}$	$r_{4j}$	$S_{4j}$	$C_{4j}$	$d_{4j}$	$L_{4j}$
3	2	12	12	14	20	- 6
2	1	19	14	15	20	-5

Elde edilen sıralamanın Makine 4’de uygulanması sonucu maksimum gecikmenin olmadığı görülür. Yani  $L_{max}(4) = 0$  olarak bulunur. Bu aşamada, başka makine kalmadığı için darboğaz oluşturan makine tespit edilir. Darboğaz oluşturan makine maksimum  $L_{max}$  değerine sahip olan makinedir. Elde edilen tüm  $L_{max}$  değerleri Eşitlik 4.3-4.5 ile verilmiştir.

$$L_{max}(1) = 6 \quad (4.3)$$

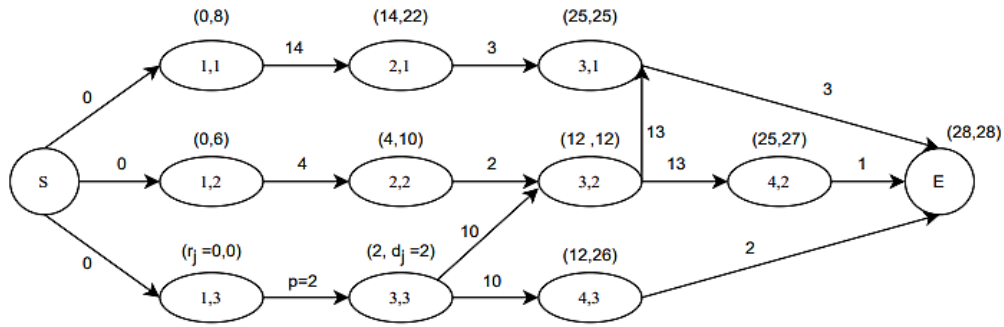
$$L_{max}(2) = L_{max}(4) = 0 \quad (4.4)$$

$$L_{max}(3) = 8 \quad (4.5)$$

Değerler incelendiğinde maksimum  $L_{max}$  değerinin Makine 3’ de olduğu görülür. Bu nedenle, Makine 3 darboğaz oluşturan makine olarak seçilir ve Adım 1 burada sonlandırılır. Maksimum  $L_{max}$  değeri 8 bulunduğu için  $C_{max}$  değeri yeniden hesaplanır. Yeni  $C_{max}$  değeri Eşitlik 4. 6 ile verilmiştir.

$$C_{max}' = C_{max} + L_{max}(3) = 20 + 8 = 28 \quad (4.6)$$

Adım 2:  $M_0 = \{M_3\}$  olarak ayarlanır ve CPM ağı güncellenir.



Şekil 4.3. Güncellenen CPM Ağ Grafiği

Güncellenen CPM ağı kullanılarak  $M_1, M_2, M_4$  için  $L_{max}$  değeri yeniden hesaplanır.

Makine 1

$|r_j| L_{max}$

Tablo 4.12. Makine 1 için  $|r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(1,1)	(1,2)	(1,3)
$p_{1j}$	14	4	2
$r_{1j}$	0	0	0
$d_{1j}$	22	10	2

$M_1$ 'de  $|r_j| L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{j_3, j_2, j_1\}$ 'dir.  $M_1$  üzerinde elde edilen sıralamaya göre elde edilecek olan değerler Tablo 4.13. ile verilmiştir.

Tablo 4.13. Makine 1 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{1j}$	$r_{1j}$	$S_{1j}$	$C_{1j}$	$d_{1j}$	$L_{1j}$
3	2	0	0	2	2	0
2	4	0	2	6	10	-4
1	14	0	6	20	22	-2

Elde edilen değerler incelendiğinde Makine 2'de gecikme olmadığı görülür ve  $L_{max}(1) = 0$  olarak bulunur.

## Makine 2

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.14. Makine 2 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(2,1)	(2,2)	(2,3)
$p_{2j}$	3	2	-
$r_{2j}$	14	4	-
$d_{2j}$	25	12	-

Makine 2’de  $1|r_j|L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralamanın  $\{j_2, j_1\}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 2 için maksimum gecikmeyi en küçükleyen değerler Tablo 4.15 ile verilmiştir.

Tablo 4.15. Makine 2 İçin Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{2j}$	$r_{2j}$	$S_{2j}$	$C_{2j}$	$d_{2j}$	$L_{2j}$
2	2	4	4	6	12	-6
1	3	14	6	9	25	-16

Elde edilen sonuçlara bakıldığında Makine 2’ de gecikme olmadığı görülür. Dolayısıyla  $L_{max}(2) = 0$  olarak bulunur.

## Makine 4

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.16. Makine 4 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3
Operation	(4,1)	(4,2)	(4,3)
$p_{4j}$	-	1	2
$r_{4j}$	-	25	12
$d_{4j}$	-	28	28

$M_4$ ’de  $1|r_j|L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu en küçük gecikmeyi verecek olan sıralama  $\{j_3, j_2\}$  şeklindedir.  $M_4$  üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler Tablo 4.17. ile verilmiştir.

Tablo 4.17. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{4j}$	$r_{4j}$	$S_{4j}$	$C_{4j}$	$d_{4j}$	$L_{4j}$
3	2	12	12	14	28	-14
2	1	25	14	15	28	-13

Elde edilen sıralamanın Makine 4’de uygulanması sonucu maksimum gecikmenin olmadığı görülür. Yani  $L_{max}(4) = 0$  olarak bulunur. Elde edilen tüm  $L_{max}$  değerleri Eşitlik 4.7 ile verilmiştir.

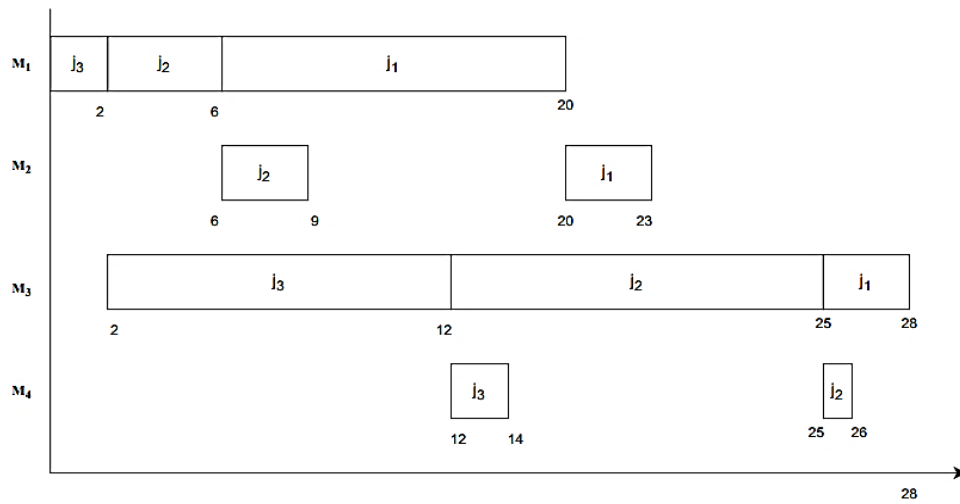
$$L_{max}(1) = L_{max}(2) = L_{max}(4) = 0 \quad (4.7)$$

$L_{max}$  değerleri Makine 1, Makine 2 ve Makine 4’ de sıfır bulunduğu için optimum  $C_{max}$  değeri değişmez. Tüm işlerin makinelerdeki sıralaması Tablo 4.18. ile verilmiştir.

Tablo 4.18. İşlerin Makinelerdeki Sıralamaları

Makine	İş Sırası
$M_1$	$\{j_3, j_2, j_1\}$
$M_2$	$\{j_2, j_1\}$
$M_3$	$\{j_3, j_2, j_1\}$
$M_4$	$\{j_3, j_2\}$

Bu sıralamaya göre çizilen Gantt Şeması ise Şekil 4.4. ile verilmiştir.



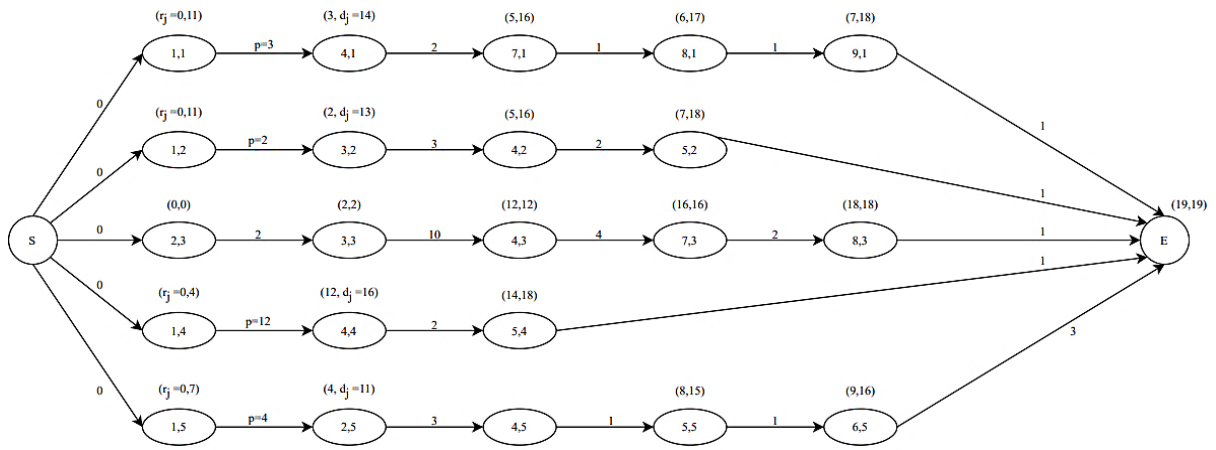
Şekil 4.4. Son İş Takvimini Gösteren Gantt Şeması

Toplam dört iş ve sekiz makineden oluşan ikinci veri seti için, işlerin rota ve işlem zamanları Tablo 4.19. ile verilmiştir.

Tablo 4.19. İşlerin Rota ve İşlem Zamanları

İş	Rota ve İşlem Zamanı				
$j_1$	$M_1$ (3)	$M_4$ (2)	$M_7$ (1)	$M_8$ (1)	$M_9$ (1)
$j_2$	$M_1$ (2)	$M_3$ (3)	$M_4$ (2)	$M_5$ (1)	
$j_3$	$M_2$ (2)	$M_3$ (10)	$M_4$ (4)	$M_7$ (2)	$M_8$ (1)
$j_4$	$M_1$ (12)	$M_4$ (2)	$M_5$ (1)		
$j_5$	$M_1$ (4)	$M_2$ (3)	$M_4$ (1)	$M_5$ (1)	$M_6$ (3)

Adım 1:  $M_0 = \emptyset$  olarak ayarlanır ve CPM ağı çizilerek  $C_{max}$  bulunur.



Şekil 4.5. CPM Ağ Grafiği

$|1| r_j| L_{max}$  problemi her bir makine ( $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8, M_9$ ) için aşağıdaki şekilde çözülür.

Makine 1

$|1| r_j| L_{max}$

Tablo 4. 20. Makine 1 için  $|1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
$p_{1j}$	3	2	-	12	4
$r_{1j}$	0	0	-	0	0
$d_{1j}$	14	13	-	16	11

Tablo 4.20.'deki değerler incelendiğinde minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralamanın  $\{j_5, j_2, j_1, j_4\}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 1'de  $L_{max}$ 'ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 4.21. ile verilmiştir.

Tablo 4. 21. Makine için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{1j}$	$r_{1j}$	$S_{1j}$	$C_{1j}$	$d_{1j}$	$L_{1j}$
5	4	0	0	4	11	-7
2	2	0	4	6	13	-7
1	3	0	6	9	14	-5
4	12	0	9	21	16	5

Tablo 4.21. ile verilen değerler incelendiğinde, Makine 1' deki maksimum gecikmenin 5 olduğu görülmektedir. Bu nedenle,  $L_{max}(1) = 5$  olarak bulunur.

Makine 2

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.22. Makine 2 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
$p_{2j}$	-	-	2	-	3
$r_{2j}$	-	-	0	-	4
$d_{2j}$	-	-	2	-	14

$1| r_j| L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, minimum  $L_{max}$  değerini verecek sıralama  $\{j_3, j_5\}$  şeklinde olduğu görülür. Makine 2'de  $L_{max}$ 'ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 4. 23. ile verilmiştir.

Tablo 4.23. Makine 2 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{2j}$	$r_{2j}$	$S_{2j}$	$C_{2j}$	$d_{2j}$	$L_{2j}$
3	2	0	0	2	2	0
5	3	4	2	5	14	-9

$L_j$  değerleri incelendiğinde herhangi bir gecikme olmadığı görüldüğü için Makine 2 için  $L_{max}(2) = 0$  olarak bulunur.

### Makine 3

$|1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.24. Makine 3 için  $|1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
$p_{3j}$	-	3	10	-	-
$r_{3j}$	-	2	2	-	-
$d_{3j}$	-	16	12	-	-

$|1| r_j| L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, minimum  $L_{max}$  değerini verecek sıralama  $\{j_3, j_2\}$  şeklinde olduğu görülür. Makine 3’de  $L_{max}$ ’ ı minimize eden işlerin değerleri tablo 4.25. ile verilmiştir.

Tablo 4.25. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{3j}$	$r_{3j}$	$S_{3j}$	$C_{3j}$	$d_{3j}$	$L_{3j}$
3	10	2	2	12	12	0
2	3	2	12	15	16	-1

Elde edilen sıralama incelendiğinde, Makine 3’de gecikme olmadığı görülür. Dolayısıyla  $L_{max}(3) = 0$  olarak bulunur.

### Makine 4

$|1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.26. Makine 4 için  $|1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
$p_{4j}$	2	2	4	2	1
$r_{4j}$	3	5	12	12	7
$d_{4j}$	16	18	16	18	15

$|1| r_j| L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, minimum  $L_{max}$  değerini verecek sıralama  $\{j_5, j_1, j_3, j_2, j_4\}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 4’de  $L_{max}$ ’ ı minimize eden



değerler Tablo 4.27. ile verilmiştir.

Tablo 4. 27. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{4j}$	$r_{4j}$	$S_{4j}$	$C_{4j}$	$d_{4j}$	$L_{4j}$
5	1	7	7	8	15	-7
1	2	3	8	10	16	-6
3	4	12	10	14	16	-2
2	2	5	14	16	18	-2
4	2	12	16	18	18	0

Tablo 4.27’de yer alan değerler incelendiğinde maksimum gecikme değeri olan  $L_{max}(4) = 0$  olarak bulunur.

Makine 5

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.28. Makine 5 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)
$p_{5j}$	-	1	-	1	1
$r_{5j}$	-	7	-	14	8
$d_{5j}$	-	19	-	19	16

Makine 5’de  $1| r_j| L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu en küçük gecikmeyi veren sıralamanın  $\{ j_5, j_2, j_4 \}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 5 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler Tablo 4.29. ile verilmiştir.

Tablo 4.29. Makine 5 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{5j}$	$r_{5j}$	$S_{5j}$	$C_{5j}$	$d_{5j}$	$L_{5j}$
5	1	8	8	9	16	-7
2	1	7	9	10	19	-9
3	1	14	10	11	19	-8

Elde edilen sıralamanın Makine 5’de uygulanması sonucu herhangi bir gecikme olmadığı görülür. Böylelikle  $L_{max}(5) = 0$  bulunur.

## Makine 6

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.30. Makine 6 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(6,1)	(6,2)	(6,3)	(6,4)	(6,5)
$p_{6j}$	-	-	-	-	3
$r_{6j}$	-	-	-	-	9
$d_{6j}$	-	-	-	-	19

Tablo 4.31. Makine 6 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{6j}$	$r_{6j}$	$S_{6j}$	$C_{6j}$	$d_{6j}$	$L_{6j}$
5	3	9	9	12	19	-7

$$L_{max}(6) = 0$$

## Makine 7

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.32. Makine 7 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(7,1)	(7,2)	(7,3)	(7,4)	(7,5)
$p_{7j}$	1	-	2	-	-
$r_{7j}$	5	-	16	-	-
$d_{7j}$	17	-	18	-	-

Makine 7'de  $1|r_j|L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{j_1, j_3\}$  şeklinde elde edilir. Makine 7 üzerinde elde edilen sıralamaya göre hesaplanan değerler Tablo 4.33. ile verilmiştir.

Tablo 4.33. Makine 7 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{7j}$	$r_{7j}$	$S_{7j}$	$C_{7j}$	$d_{7j}$	$L_{7j}$
1	1	5	5	6	17	-11
3	2	16	6	8	18	-10

Makine 7’de herhangi bir gecikme meydana gelmediği için en büyük gecikme değeri olan  $L_{max}(7) = 0$  olarak bulunur.

Makine 8

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.34. Makine 8 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(8,1)	(8,2)	(8,3)	(8,4)	(8,5)
$p_{8j}$	1	-	1	-	-
$r_{8j}$	6	-	18	-	-
$d_{8j}$	18	-	19	-	-

Makine 8’de  $1| r_j| L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{j_1, j_3\}$  şeklindedir. Makine 8 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler Tablo 4.35. ile verilmiştir.

Tablo 4.35. Makine 8 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{8j}$	$r_{8j}$	$S_{8j}$	$C_{8j}$	$d_{8j}$	$L_{8j}$
1	1	6	6	7	18	-11
3	1	18	7	8	19	-11

Elde edilen sıralamanın Makine 8’de uygulanması sonucu gecikme olmadığı görülmektedir. Yani  $L_{max}(8) = 0$  olarak bulunur.

## Makine 9

$1 | r_j | L_{max}$

Tablo 4.36. Makine 9 için  $|1 | r_j | L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(9,1)	(9,2)	(9,3)	(9,4)	(9,5)
$p_{9j}$	1	-	-	-	-
$r_{9j}$	7	-	-	-	-
$d_{9j}$	19	-	-	-	-

Tablo 4. 37. Makine 9 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{4j}$	$r_{4j}$	$S_{4j}$	$C_{4j}$	$d_{4j}$	$L_{4j}$
1	1	6	6	7	18	-11

Tablo 4.37. ile verilen değerler incelendiğinde, Makine 9'da gecikme olmadığı görülmektedir. Yani  $L_{max}(9) = 0$  olarak bulunur. Elde edilen  $L_{max}$  değerleri Eşitlik 4. 8-4.10 ile verilmiştir.

$$L_{max}(1) = 5 \quad (4.8)$$

$$L_{max}(2) = L_{max}(3) = L_{max}(4) = L_{max}(5) = 0 \quad (4.9)$$

$$L_{max}(6) = L_{max}(7) = L_{max}(8) = L_{max}(9) = 0 \quad (4.10)$$

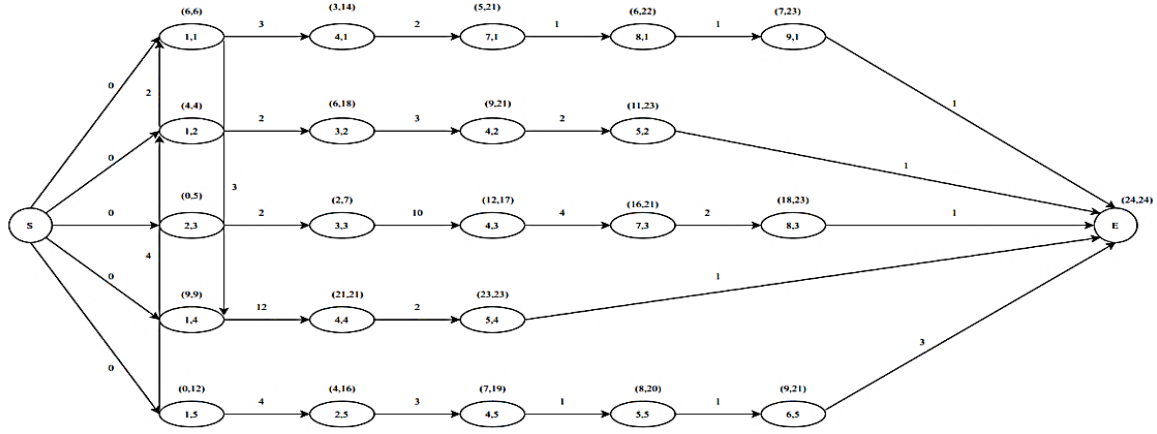
$L_{max}$  değerleri incelendiğinde,  $L_{max}(1) = 5$  olduğu görülmektedir. İlk olarak elde edilen  $C_{max}$  değerine  $L_{max}(1)$  değeri eklendiğinde yeni  $C_{max}$  değeri bulunacaktır. Elde edilen  $C_{max}'$  değeri Eşitlik 4.11 ile verilmiştir.

$$C_{max}' = C_{max} + L_{max}(1) = 19 + 5 = 24 \quad (4.11)$$

Darboğaz oluşturan makine, en büyük  $L_{max}$  değerine sahip olan Makine 1'dir. Böylelikle, darboğaz oluşturan makine tespit edilerek, Adım 1 sonlandırılır ve Adım 2'ye geçilir.

Adım 2:  $M_0 = \{M_1\}$  olarak ayarlanır ve CPM ağı güncellenir.

Güncellenen CPM ağı kullanılarak Makine 2, Makine 3, Makine 4, Makine5, Makine 6, Makine 7, Makine 8 ve Makine 9 için  $L_{max}$  değerleri hesaplanır. Güncellenen CPM Ağı Şekil 4. 6. ile verilmiştir.



Şekil 4.6. Güncellenen CPM Ağ Grafiği

Makine 2

$|r_j| L_{max}$

Tablo 4.38. Makine 2 için  $|r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
$p_{2j}$	-	-	2	-	3
$r_{2j}$	-	-	0	-	4
$d_{2j}$	-	-	7	-	19

$|r_j| L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, en küçük gecikmeyi verecek olan sıralamanın  $\{j_3, j_5\}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 2'de  $L_{max}$ ' ı minimize eden değerler Tablo 4.39. ile verilmiştir.

Tablo 4. 39. Makine için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{2j}$	$r_{2j}$	$S_{2j}$	$C_{2j}$	$d_{2j}$	$L_{2j}$
3	2	0	0	2	7	-5
5	3	4	2	5	19	-14

Herhangi bir gecikme olmadığı için Makine 2 için  $L_{max}(2) = 0$  olarak bulunur.

### Makine 3

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.40. Makine 3 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
$p_{3j}$	-	3	10	-	-
$r_{3j}$	-	6	2	-	-
$d_{3j}$	-	21	17	-	-

$1|r_j|L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, minimum  $L_{max}$  değerini verecek sıralama  $\{j_3, j_2\}$  şeklindedir. Makine 3'de  $L_{max}$ 'ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 4.41. ile verilmiştir

Tablo 4.41. Makine 3 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{3j}$	$r_{3j}$	$S_{3j}$	$C_{3j}$	$d_{3j}$	$L_{3j}$
3	10	2	2	12	17	-5
2	3	6	12	15	21	-6

Makine 3'de gecikme olmadığı görülür. Dolayısıyla  $L_{max}(3) = 0$  olarak bulunur.

### Makine 4

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4. 42. Makine 4 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
$p_{4j}$	2	2	4	2	1
$r_{4j}$	3	9	12	21	7
$d_{4j}$	21	23	21	23	20

$1|r_j|L_{max}$  problemi için  $d_j$  değerleri incelendiğinde, minimum  $L_{max}$  değerini verecek sıralama  $\{j_5, j_1, j_3, j_2, j_4\}$  şeklindedir. Makine 4'de  $L_{max}$ 'ı minimize eden işlerin değerleri Tablo 43. ile verilmiştir.

Tablo 4.43. Makine 4 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{4j}$	$r_{4j}$	$S_{4j}$	$C_{4j}$	$d_{4j}$	$L_{4j}$
5	1	7	7	8	20	-12
1	2	3	8	10	21	-11
3	4	12	10	14	21	-7
2	2	9	14	16	23	-7
4	2	21	16	18	23	-5

Makine 4'de gecikme olmadığı görülür. Dolayısıyla  $L_{max}(4) = 0$  olarak bulunur.

Makine 5

$1|r_j|L_{max}$

Tablo 4.44. Makine 5 için  $|1|r_j|L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)
$p_{5j}$	-	1	-	1	1
$r_{5j}$	-	11	-	23	8
$d_{5j}$	-	24	-	24	21

Makine 5'de  $1|r_j|L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması neticesinde en küçük  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralamanın  $\{j_5, j_2, j_4\}$  şeklinde olduğu görülür. Makine 5 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler Tablo 4.45. ile verilmiştir.

Tablo 4.45. Makine 5 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{5j}$	$r_{5j}$	$S_{5j}$	$C_{5j}$	$d_{5j}$	$L_{5j}$
5	1	8	8	9	21	-12
2	1	11	9	10	24	-14
4	1	23	10	11	24	-13

$L_{max}(5) = 0$  olarak bulunur.

Makine 6

$$1 | r_j | L_{max}$$

Tablo 4.46. Makine 6 için  $|1 | r_j | L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(6,1)	(6,2)	(6,3)	(6,4)	(6,5)
$p_{6j}$	-	-	-	-	3
$r_{6j}$	-	-	-	-	9
$d_{6j}$	-	-	-	-	24

Tablo 4. 47. Makine 6 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{6j}$	$r_{6j}$	$S_{6j}$	$C_{6j}$	$d_{6j}$	$L_{6j}$
5	3	9	9	12	24	-12

$$L_{max}(6) = 0.$$

Makine 7

$$1 | r_j | L_{max}$$

Tablo 4.48. Makine 7 için  $|1 | r_j | L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(7,1)	(7,2)	(7,3)	(7,4)	(7,5)
$p_{7j}$	1	-	2	-	-
$r_{7j}$	5	-	16	-	-
$d_{7j}$	22	-	23	-	-

Makine 7’de minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralama  $\{ j_1, j_3 \}$  şeklindedir. Makine 7 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler, Tablo 4.49. ile verilmiştir.

Tablo 4.49. Makine 7 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{7j}$	$r_{7j}$	$S_{7j}$	$C_{7j}$	$d_{7j}$	$L_{7j}$
1	1	5	5	6	22	-16
3	2	16	6	8	23	-15



Elde edilen sıralamaya göre  $L_{max}(7) = 0$  olarak bulunur.

Makine 8

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.50. Makine 8 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(8,1)	(8,2)	(8,3)	(8,4)	(8,5)
$p_{8j}$	1	-	1	-	-
$r_{8j}$	6	-	18	-	-
$d_{8j}$	23	-	24	-	-

Makine 8'de  $1| r_j| L_{max}$  problemi için EDD kuralı uygulanması sonucu minimum  $L_{max}$  değerini verecek olan sıralamanın  $\{j_1, j_3\}$  şeklinde olacağı görülür. Makine 8 üzerinde elde edilen sıralamaya göre oluşacak olan değerler, Tablo 4.51. ile verilmiştir.

Tablo 4.51. Makine 8 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{8j}$	$r_{8j}$	$S_{8j}$	$C_{8j}$	$d_{8j}$	$L_{8j}$
1	1	6	6	7	23	-16
3	1	18	7	8	24	-16

Elde edilen sıralamanın Makine 8'de uygulanması sonucu gecikme olmadığı görülmektedir. Yani  $L_{max}(8) = 0$  olarak bulunur.

Makine 9

$1| r_j| L_{max}$

Tablo 4.52. Makine 9 için  $1| r_j| L_{max}$

Job (j)	1	2	3	4	5
Operation	(9,1)	(9,2)	(9,3)	(9,4)	(9,5)
$p_{9j}$	1	-	-	-	-
$r_{9j}$	7	-	-	-	-
$d_{9j}$	24	-	-	-	-

Tablo 4.53. Makine 9 için Maksimum Gecikmeyi Minimize Eden Değerler

Job (j)	$p_{9j}$	$r_{9j}$	$S_{9j}$	$C_{9j}$	$d_{9j}$	$L_{9j}$
1	1	7	7	8	24	-16

Makine 9'da gecikme olmadığı görülmektedir. Yani  $L_{max}(9) = 0$  olarak bulunur. Elde edilen tüm  $L_{max}$  değerleri Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13 ile verilmiştir.

$$L_{max}(2) = L_{max}(3) = L_{max}(4) = L_{max}(5) = 0 \quad (4.12)$$

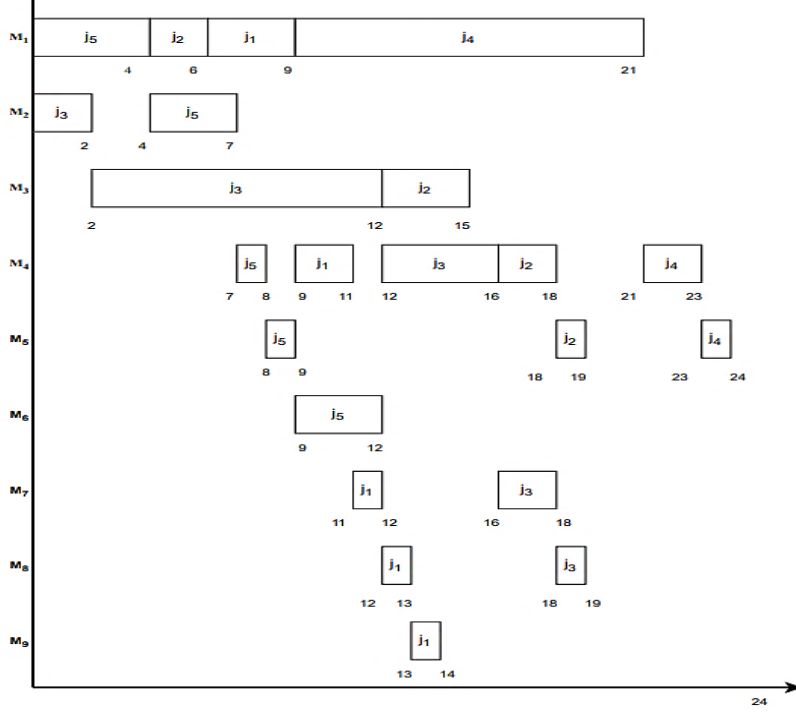
$$L_{max}(6) = L_{max}(7) = L_{max}(8) = L_{max}(9) = 0 \quad (4.13)$$

En büyük gecikme ( $L_{max}$ ) değerleri ( $M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8$ ) makineleri için sıfır elde edilmiştir. Dolayısıyla optimum  $C_{max}$  değeri değişmeyecektir. Bu nedenle, Adım 3 burada sonlandırılır. Elde edilen sonuçlardan işlerin makinelerde meydana gelen sıralamaları Tablo 4.54. ile verilmiştir.

Tablo 4.54. İşlerin Makinelerdeki Sıralamaları

Makine	İş Sırası
$M_1$	{ $j_5, j_2, j_1, j_4$ }
$M_2$	{ $j_3, j_5$ }
$M_3$	{ $j_3, j_2$ }
$M_4$	{ $j_5, j_1, j_3, j_2, j_4$ }
$M_5$	{ $j_5, j_2, j_4$ }
$M_6$	{ $j_5$ }
$M_7$	{ $j_1, j_3$ }
$M_8$	{ $j_1, j_3$ }
$M_9$	{ $j_1$ }

İşlerin makinelerdeki sıralamalarına göre son iş takvimini gösterecek şekilde Gantt Şeması çizilir. Çizilen Gantt Şeması Şekil 4.7. ile verilmiştir.



Şekil 4.7. Son İş Takvimini Gösteren Gantt Şeması

Çalışmada uygulanan değişen darboğaz yöntemi ile, üç iş ve dört makineden oluşan ilk veri setinde gerekli hesaplamalar yapılarak son iş takvimi oluşturulmuştur. Bu iş grubunda, işlerin tamamlanma zamanlarına bakıldığında; birinci işin 28 günde, ikinci işin 26 günde ve son olarak üçüncü işin ise 14 günde tamamlanabildiği görülmüştür. Birinci, ikinci ve üçüncü işin toplam tamamlanma süresi 68 gün iken, son iş takvimini gösteren Şekil 4.7. ile verilen şema incelendiğinde kullanılan değişen darboğaz yöntemi ile birlikte tüm işlerin tamamlanma sürelerinin 28 güne düştüğü görülmüştür.

Toplamda beş iş ve dokuz makineden oluşan ikinci grupta yapılan çalışma sonucunda; birinci iş 14 günde, ikinci iş 19 günde, üçüncü iş 19 günde, dördüncü iş 24 günde, beşinci iş ise 12 günde tamamlanmaktadır. Herhangi bir yöntem uygulanmadığında iş grubunun toplam tamamlanma zamanının 88 gün olduğu görülmektedir. Oluşturulan son iş takvimini gösteren Gantt şeması incelendiğinde ise değişen darboğaz yöntemi ile birlikte işler makinelerde sıralanmış, herhangi bir bekleme olmaksızın testler gerçekleştirilmiştir. Böylelikle iş grubunun toplam tamamlanma süresinin 24 güne düştüğü görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda Savunma Sanayiinin ivme kazanması ile birlikte ürünlerde yurt içinde yapılamayan testlerin yapılabilirliğinin sağlanması ve tüm aşamalardaki ihtiyaçların ulusal altyapılarla etkin bir şekilde çözüme ulaştırılabilmesi ciddi önem kazanmıştır. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan testlerde taleplerin ortaya çıkarılması ve bu doğrultuda yatırım yapılması bir gereklilik haline gelmiştir.

Çalışmada, askeri alandaki çevresel testlerin gerçekleştirilebileceği nitelikte bir çevresel test laboratuvarı kurulumuna yönelik olarak envanter çıkarılmış ve test talepleri cihazlarda çizelgelenmiştir. Envanter çıkarılmasına yönelik olarak, firmaya bir yıl boyunca gelen test talepleri baz alınmıştır. Testlerin zamanında teslim edilememesinden dolayı üretim süreçlerinde aksaklıklar meydana gelmektedir. Sürecin kesintisiz ve herhangi bir aksaklık meydana gelmeksizin ilerleyebilmesi için darboğazların tespit edilerek hangi aşamalarda meydana geldiği muhakkak araştırılmalıdır. Bu nedenle test taleplerinin (işlerin) çizelgelenmesi için ise Değişen Darboğaz Sezgiseli kullanılmıştır.

Envanter çıkarılması için firmada hali hazırda kullanılmakta olan "Test Ekosistemi" aracılığıyla müşterilerden gelen test talepleri askeri alandaki çevresel test talepleri özelinde filtrelenerek, firmalara göre gruplandırılmıştır. Test talepleri MIL STD H standardına göre alt gruplara ayrılmıştır. Taleplerden teste tabii tutulacak ürünlerin boyutlarının belirlenebilmesi için ürünler,  $1 m^3$  altı ve  $1 m^3$  üstü olarak ayrılmıştır. Ürün boyutları incelendiğinde, taleplerin %80' ininden fazlasının  $1 m^3$  ve altında ürünler için geldiği tespit edilmiştir. Test laboratuvarına alınması gereken cihazların belirlenebilmesi için diğerlerine göre daha fazla talep gelen testler belirlenmiştir. Aynı test cihazında gerçekleştirilebilecek olan testler gruplandırılmıştır. Standardda testler için tavsiye edilen süreler çıkarılmış her bir testin prosedürleri için toplam test süreleri hesaplanmıştır. İhtiyaç duyulan kabin sayılarının hesaplanması için yıllık çalışma gün sayısı 240 gün olarak alınmış, toplam test sürelerine bölünerek kabin sayıları hesaplanmıştır. Son olarak kabinler (test cihazları) için maliyet çıkarılmıştır.

Çalışmada işlerin makinelerde çizelgelenmesinde kullanılan metasezgisel bir yöntem olan değişen darboğaz sezgiseli kullanılmıştır. Yöntem ile, darboğaz oluşturan makine tespit edilerek işler makinelerde sıralanmış, test cihazları boşa beklememiş, optimum seviyede çalışarak daha verimli hale gelmiştir. Böylelikle testler zamanında teslim edilmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışma ile birlikte, ihtiyaç duyulan çevresel testlerde, müşteri ve piyasa istekleri doğrultusunda envanter ihtiyacı ortaya çıkarılarak test laboratuvarının gereksinimlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Sektörün ihtiyaç duyuduğu testler ve test cihazlarının analiz edilmesiyle birlikte kalite artışı sağlanarak ulusal anlamda kazanımlar elde edilmiştir. Buna ilaveten, uygulanan değişen darboğaz yöntemi ile test laboratuvarının verimli bir şekilde işletilerek zamanın optimize edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle, testlerin teslim tarihlerinde meydana gelen gecikmeler ortadan kaldırılarak müşteri memnuniyetinin de artacağı açıkça görölmüştür.

Gelecek çalışmalarda, veri yoğunluğu ve değişkenliği nedeniyle çevresel test laboratuvarının işletiminde klasik yöntemlerle uygulanması güç olan değişen darboğaz yöntemi için bir yazılım geliştirilerek kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] M. Küçüköğlü, “The effects of developments in the Turkish Defense Industry on the economy (2000-2023),” *The Sakarya Journal of Economics*, cilt 12, sayı 1, ss. 15-41, 2023.
- [2] Ş. Canbay, “Savunma harcamalarının ve savunma sanayiinin makro ekonomik etkileri ve Türkiye örneği,” Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 2010
- [3] E. Güneş, “Savunma sanayiinin millileştirilmesinin önemi,” Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze, 2007.
- [4] A. Kayan, “Savunma sanayinin gelişimi ve savunma harcamalarının ekonomik büyüme ile ilişkisi, Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın, 2017.
- [5] G. Korkmaz ve M. Topçu, “Savunma alımlarının ülke kalkınmasına etkisi ve rolü,” *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, cilt 8, sayı 2, ss. 309-327, 2019.
- [6] F. Yeşilyurt ve M. E. Yeşilyurt, “Türkiye’de savunma sanayi,” *Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies*, cilt 6, sayı 2, ss. 1-42, 2019.
- [7] N. Akkurt ve S. Hasgöl, “Üretim sistemlerinde darboğaz tespiti: Literatür araştırması,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, cilt 27, sayı 3, ss. 1285-1304, 2022.
- [8] D., A., Rossit ve F., Tohmé, “The tolerance scheduling problem for maximum lateness in Industry 4.0 systems,” *Advances in Mathematics for Industry 4.0*, ss. 95-113, 2021.
- [9] H. G. Reşat, “Design and analysis of bi-objective flexible job shop scheduling problem: A case study in construction equipment manufacturing industry,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 26, sayı 1, ss. 150-156, 2020.
- [10] H. Tezcan, “Üretim akışında darboğaz teorisi ve bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.

- [11] E. Demirkol, S. Mehta ve R. Uzsoy, “Mağaza çizelgeleme problemleri için kayma d darboğaz prosedürlerinin hesaplamalı bir çalışması” *Journal of Heuristics*, cilt 3, ss. 111–137, 1997.
- [12] E. M. Kaplan, E. Acar ve M. B. Özer, “Aerospace structure design using structural response of a payload carried by jet fighter,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 37, sayı 3, ss. 1341-1354. 2022.
- [13] I. M Alharkan, Algorithms for sequencing and scheduling. Industrial Engineering Department, *King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*. 2005.
- [14] J. Adams, E. Balas ve D. Zawack, “The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling,” *Management Science*, cilt 34, sayı 3, 1988.
- [15] E. Cihangir, F. Demircan Keskin, U. G. Çiçekli ve G. Yakan, “Bir üretim işletmesinde simülasyon yöntemi ile darboğaz analizi ve sistem iyileştirmesi,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 28, ss. 917-923, 2021.
- [16] Y. Kim, H. Yeonwoong ve K. Donggil, “MIL-STD-810 tailoring for Korean peninsula and periphery climate,” *Journal of Applied Reliability*, cilt 18, sayı 2, ss. 95-103, 2018.
- [17] E. M. Kaplan, E. Acar ve M. B. Özer, “Jet uçağı ile taşınan bir faydalı yükün yapısal cevabının havacılık yapıları tasarımında kullanımı,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 37, sayı 3, ss. 1341-1354, 2022.
- [18] J. Jang ve J. W. Park, “Simplified vibration PSD synthesis method for MIL-STD-810,” *Applied Sciences*, cilt 10, sayı 2, ss. 458, 2020.
- [19] Ç. Selve ve A. Hamzadayı, “A simulated annealing approach based simulation-optimisation to the dynamic job-shop scheduling problem,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 24, sayı 4, ss. 665-674, 2018.
- [20] A. D. Karaoğlan, “Optimization of welding job-shop scheduling problem under variable workstation constraint: An industrial application with Arena simulation based genetic algorithm,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 28, sayı 1, ss. 139-147, 2022.

- [21] U. S. Eren, E. Güler ve Y. Şahin, “Optimizing the permutation flowshop scheduling problem (pfs) using the scatter search method,” *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, cilt 5, sayı 2, ss. 86-94, 2022.
- [22] F. S. Madenoğlu, “Solving the hybrid flow shop scheduling problem using heuristic algorithms,” *Business & Management Studies: An International Journal*, cilt 7, sayı 3, ss. 14-25, 2019.
- [23] D. S. Aldridge, “Characterizing global temperature and humidity environmental severity with relation to published standards,” *Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2018, ss. 1-6.
- [24] B. Karima ve Z. Ouarda, “Hybrid metaheuristic for optimization job-shop scheduling problem,” *International Journal of Informatics and Applied Mathematics*, cilt 1, sayı 1, ss. 1-9, 2018.
- [25] B. Leblebiciler ve O. Asi, “Pultrüzyon yöntemi ile üretimi yapılan kompozit malzemelerin sıcaklık şoku testi sonucunda mekaniksel özelliklerinin incelenmesi,” *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, cilt 6, sayı 1, ss. 1-10, 2022.
- [26] H. Caruso, “MIL-STD-810F, çevre mühendisliği hususları ve laboratuvar testleri için test yöntemi standardı,” *IEST Dergisi*, cilt 44, sayı 3, s. 30, 2021.
- [27] E. Sirkeci, “Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları: savunma sanayinde bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [28] R. Uzsoy ve C. S. Wang, “Performance of decomposition procedures for job shop scheduling problems with bottleneck machines,” *International Journal of Production Research*, cilt 38, sayı 6, ss. 1271-1286, 2000.
- [29] N. Özarık Göksu, “Bulanık ortamda ortak teslim tarihli tek makine çizelgeleme problemleri için bir karar destek sistemi,” Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [30] W. K. Yeung, C. Oğuz ve T. C. E. Cheng, “Single machine scheduling with a common due window,” *Computers & Operations Research*, cilt 28, ss. 157-175, 2001.



- [31] W. C. Yeh, P. J. Lai, W. C. Lee ve M. C. Chuang, "Parallel-machine scheduling to minimize makespan with fuzzy processing times and learning effects," *Information Sciences*, cilt 269, ss. 142–158, 2014.
- [32] Z. L. Chen, "Scheduling and common due date assignment with earliness/tardiness penalties and batch delivery costs," *European Journal of Operational Research*, cilt 93, ss. 49-60, 1996.
- [33] E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan ve D. B. Shmoys, "Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity," *Handbooks in Operations Research and Management Science*, cilt 4, ss. 445-522, 1993.
- [34] J. Adams, E. Balas ve D. Zawack, "Atölye planlaması için değişen darboğaz prosedürü," *Yönetim Bilimi*, cilt 34, sayı 3, ss. 391–401, 1988.
- [35] S. Mason, J. Fowler ve W. Carlyle, "Karmaşık iş atölyelerinde toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek için değiştirilmiş bir vites değiştirme darboğaz buluşsal yöntemi," *Programlama Dergisi*, cilt 5, sayı 3, ss. 247–262, 2022.
- [36] M. Pinedo ve M. Singer, "Bir atölyede toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek için değişen bir darboğaz buluşsal yöntemi," *Deniz Araştırma Lojistiği*, cilt 46, sayı 1, ss. 1–17, 1999.
- [37] K. Bülbül ve P. Kaminsky, "Atölye planlaması için doğrusal programlama tabanlı bir yöntem," *Planlama Dergisi*, cilt 16, ss. 161–183, 2013.
- [38] M. Ruhlusaraç, "Akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde metasezgisel yaklaşımların karşılaştırmalı olarak analizi," Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri, 2012.
- [39] E. Sirkeci, "Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları: Savunma sanayinde bir uygulama," Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [40] F. S. Madenoğlu, "Solving the hybrid flow shop scheduling problem using heuristic algorithms," *Business & Management Studies: An International Journal*, cilt 7(3), ss. 14-25, 2019.

- [41] J. M. Park, J. W. Lee ve R. S Myong, “Environmental test tailoring for fighter aircraft intended for operating in Korean Peninsula,” *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences. The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2019, DOI: 10.5139/jksas.2019.47.5.344
- [42] I. S. Kim ve C. W. Kang, “A temperature analysis study of Korea and its neighbor regions for temperature specification,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology. The Korea Institute of Military Science and Technology*, 2015, DOI: 10.9766/kimst.2015.18.1.055
- [43] M. Thürer, L. Ma, M. Stevenson ve C. Roser, “Bottleneck detection in high-variety make-to-order shops with complex routings: An assessment by simulation,” *Production Planning & Control*, ss. 1-12. 2021, DOI:10.1080/09537287.2021.1885795