



**YAZILIM SEKTÖRÜNDE ZİHİNSEL İŞ YÜKÜNÜ DİKKATE ALAN
İŞGÜCÜ PLANLAMA PROBLEMİ: BİR VAKA ÇALIŞMASI**

Hatice BALOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hatice BALOĞLU

30/01/2024

YAZILIM SEKTÖRÜNDE ZİHİNSEL İŞ YÜKÜNÜ DİKKATE ALAN İŞGÜCÜ PLANLAMA PROBLEMİ: BİR VAKA ÇALIŞMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hatice BALOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Günümüzde fiziksel güç gerektiren işlerin yerini bilişsel ağırlıklı işlere bırakmasıyla birlikte analiz, kontrol, denetim bakış açısı gerektiren işler artış göstermiştir. Zihinsel iş yükü veya bilişsel iş yükü, bir kişinin belirli bir süre boyunca bir görevi tamamlaması için gerekli olan zihinsel iş miktarıdır. Mevcut literatürde fiziksel çaba ağırlıklı iş yükünün değerlendirilmesinde kesin yargılara ulaşan çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın, bilişsel çaba gerektiren işlerin iş yükü değerlendirilmesi için öznel bulgular bulunmaktadır. Yazılım geliştirme projelerinde çalışanların zihinsel iş yükünü azaltmak ve zihinsel iş yükü baskısı ile daha etkili bir şekilde başa çıkabilmelerini sağlamak için yöneticilerin, eğitim programları, etkili iletişim stratejiler ve proje yönetimi teknikleri gibi çeşitli stratejileri geliştirme gereği doğmaktadır. Çevik yöntem, ekiplerin yazılım geliştirme süreçlerinin öngörülemezliğine cevap vermesine yardımcı olan artımlı ve yinelemeli iş dizilerini kullanan proje yönetimine özel bir yaklaşımdır. Bu tez çalışmasında sektörde yaygın olarak kullanılan bir proje yönetim metodu olan çevik metodoloji ile çalışan ekipler üzerinde bir gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Çevik metodolojide de işlerin çizelgelenmesi değil atanması söz konusu olduğu için ekibin zihinsel iş yükünü dikkate alan ve geleneksel kısıtları dikkate alan modeller tasarlanmıştır. Problemin kısıtlarının ve değişkenlerinin yapısı gereği oluşturulan matematiksel modellerin geliştirilmesinde çeşitli çelişen hedeflerin gerçekleştirilmesini sağlayabilecek 0-1 Hedef Programlama matematiksel modelleme yöntemi tercih edilmiştir. Buna ek olarak farklı hedeflerin ağırlıklarını belirlerken subjektif değer atama yerine süreçte etkisi olan karar vericilerin görüşlerine başvuran ve literatürde güvenilirliğini ispatlamış çok kriterli karar verme yöntemi SWARA, ayrıca karar vericilerin öznel görüşleri yer verilen bu problemde veri kaybının önlenmesi amacıyla kararsız bulanık dilsel terimler temelli olarak tercih edilmiştir. Ele alınan problem temelinde zihinsel iş yükünün dikkate alınmasının getireceği faydaların vurgulanması amacı ile geliştirilen geleneksel kısıtlı model ve zihinsel iş yükü dikkate alan 0-1 HP model temelinde iki farklı matematiksel model incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş grafik ve görsellerle desteklenerek sunulmuştur. Süreç verimliliği ve iş tatmini seviyelerinde farklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile literatürde henüz incelenmemiş olan yazılım sektöründe çevik proje yönetimi uygulamasında zihinsel iş yükü etkileri analiz edilmiş, personel ve görev temelli zihinsel iş yükü dikkate alan matematiksel modeller oluşturularak bilimsel çözüm yöntemleri ile sonuca ulaştırılmıştır. Bu tez çalışması sonuçlarına göre oluşturulan strateji ile çevik yazılım proje yönetimi süreçlerinde NASA-TLX, HF-SWARA, 0-1 HP yöntemleri ilk kez literatürde kullanılmıştır. Bu yol haritası ile projelerde daha adil ve verimli kaynak kullanımının sağlanması hedeflenmektedir.

Bilim Kodu : 90603

Anahtar Kelimeler : Zihinsel iş yükü, ergonomi, çok kriterli karar verme, hedef programlama, işgücü planlama

Sayfa Adedi : 122

Danışman : Doç. Dr. Burcu YILMAZ KAYA

THE INVESTIGATION OF THE WORKFORCE PLANNING PROBLEM
CONSIDERING THE MENTAL WORKLOAD IN THE SOFTWARE INDUSTRY:
A CASE STUDY

(M. Sc. Thesis)

Hatice BALOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

Today, with the replacement of jobs that require physical strength to cognitive-weighted jobs, jobs that require analysis, control, supervision perspective have increased. Especially with the acceleration of digitalization, the information and software sector has become an important area for today and the future by growing and developing rapidly. In order to reduce the mental workload of employees in software development projects and ensure that they can cope more effectively with the mental workload pressure, managers need to develop various strategies such as training programs, effective communication strategies and project management techniques. Since agile methodology is also about assigning jobs, not scheduling, models have been designed that take into account the mental workload of the team and take into account traditional constraints. In the development of mathematical models created due to the structure of the constraints and variables of the problem, the mathematical modeling method of 0-1 Target Programming, which can enable the realization of various conflicting goals, has been preferred. In addition, when determining the weights of different goals, instead of subjective value assignment, the multi-criteria decision-making method SWARA, which refers to the opinions of decision makers who have an impact on the process and has proven its reliability in the literature, has also been preferred based on unstable fuzzy linguistic terms in order to prevent data loss in this problem, which includes subjective opinions of decision makers. Oct. Two different mathematical models were examined on the basis of the traditional restricted model developed to emphasize the benefits of taking mental workload into account on the basis of the problem being addressed and the 0-1 HP model taking mental workload into account. The results are presented by supporting them with graphs and visuals that have been analyzed comparatively. It has been observed that there are differences in process efficiency and job satisfaction levels. With this study, the effects of mental workload in agile project management practice in the software sector, which has not yet been studied in the literature, were analyzed, mathematical models that take into account personnel and task-based mental workload were created and brought to a conclusion using scientific solution methods. NASA-TLX, HF-SWARA, 0-1 HP methods have been used in agile software project management processes for the first time in the literature with the strategy created according to the results of this thesis study. With this roadmap, it is aimed to ensure more fair and efficient use of resources in projects.

Science Code : 90603

Key Words : Mental workload, ergonomics, multi criteria decision making, goal programming, workforce planning

Page Number : 122

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Burcu YILMAZ KAYA

TEŞEKKÜR

Uzun bir yolculuk olan çalışma süresince bilgi ve birikimiyle her zaman yanımda olan, yönlendirmeleriyle öğrenim sürecimi daha verimli hale getiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Burcu YILMAZ KAYA' ya teşekkürü borç bilirim.

Bu süreçte maddi, manevi, tüm desteğini gösteren canım ailem ve arkadaşlarıma desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Tez sürecimde bana sağladığı imkanlar için şirketime ve maddi manevi her konuda yanımda olan ekip arkadaşlarıma, özellikle ekip liderim Sn. Utku Can KUNTER'e tüm destekleri için teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇEVİK METODOLOJİ	5
2.1. Yazılım Geliştirme Süreçleri	5
2.2. Çevik Metodoloji.....	8
2.2.1. Çevik metodolojinin getirdiği avantajlar	11
2.2.2. Çevik metodoloji ile gelen dezavantajlar.....	13
3. ZİHİNSEL İŞ YÜKÜ KAVRAMI	15
3.1. Zihinsel İş Yükü ve İlişin Tanımlar	15
3.2. Zihinsel İş Yükü Araştırmaları ve Ergonomideki Yeri	18
3.3. Zihinsel İş Yükü Ölçüm Yöntemleri	20
3.3.1. Cooper-Harper derecelendirme ölçeği	21
3.3.2. Subjektif iş yükü ölçüm tekniği.....	21
3.3.3. Carga zihinsel anket yöntemi	22
3.3.4. NASA-TLX ve NASA-RTLX yöntemleri.....	23
3.4. Çevik Metodolojide Zihinsel İş Yükü Ölçümü	24

	Sayfa
3.4.1. Çevik metodolojide zihinsel iş yükünün önemi	25
3.4.2. Çevik metodolojide zihinsel iş yükünü analiz etmenin faydaları.....	26
4. İŞGÜCÜ PLANLAMA ve İŞ DAĞILIMI	29
4.1. İş planlama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Amaçları	30
4.2. İş Planlama Problemleri Çözüm Yaklaşımları	31
5. YÖNTEMLER	35
5.1. NASA-TLX.....	35
5.2. SWARA Yöntemi.....	39
5.2.1. Kararsız bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi	42
5.3. Hedef Programlama.....	47
5.3.1. 0–1 hedef programlama	49
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	51
6.1. Zihinsel İş Yükünün Analizine Dair Literatür Araştırması	51
6.1.1. Yazılım sektöründe zihinsel iş yükü analizine dair literatür araştırması	55
6.2. SWARA Yöntemine Dair Literatür Araştırması	56
6.2.1. HF-SWARA yöntemine dair literatür araştırması.....	57
6.3. 0-1 HP Yöntemine Dair Literatür Araştırması	58
7. UYGULAMA	63
7.1. Problem Tanımı	63
7.2. Önerilen Çözüm Yaklaşımı.....	66
7.3. Zihinsel İş Yükü Hesaplanması	68
7.4. HF - SWARA Yöntemi ile Hedef Ağırlıklarının Hesaplanması	71
7.5. 0–1 Hedef Programlama Hesaplamaları	74

	Sayfa
7.6. Tartışma.....	83
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....	93
EKLER	103
EK-1. Çevik ekibin iş listesindeki işlere ait efor değerleri	104
EK-2. Boyutlara göre Nasa-TLX değerlendirme sonuçları	108
EK-3. Zihinsel iş yükü hedefleri için HF- SWARA KV değerlendirmeleri.....	110
EK-4. Geleneksel model hedefleri için HF- SWARA KV değerlendirmeleri.....	111
EK-5. Zihinsel iş yükünü dikkate alan ve geleneksel kısıtlı matematiksel modellerin GAMS CPLEX kodları	112
EK-6. Zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP GAMS CPLEX çözüm özeti	114
EK-7. Geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli GAMS CPLEX çözüm özeti	118
ÖZGEÇMİŞ.....	122

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Zaman baskısı puan ölçeği	21
Çizelge 3.2. Çaba baskısı puan ölçeği	22
Çizelge 3.3. Stres baskısı puan ölçeği	22
Çizelge 5.1. Zihinsel iş yükü ölçümlerinin kıyaslanması	35
Çizelge 5.2. NASA-TLX alt boyut tanımları	37
Çizelge 5.3. NASA-TLX ağırlıklandırma ölçeği	38
Çizelge 6.1. Alanlarına göre yayın sayıları	52
Çizelge 6.2. Zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ilişkin literatür taraması sonuçları	53
Çizelge 6.3. Yazılım sektöründe zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ait literatür taraması sonuçları	56
Çizelge 6.4. SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları	56
Çizelge 6.5. HF-SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları ..	57
Çizelge 6.6. 0-1 HP yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları	60
Çizelge 7.1. Uygulama için seçilen örneklemin demografik yapısı	64
Çizelge 7.2. NASA-TLX boyutlarının belirlenen ağırlık değerleri	69
Çizelge 7.3. NASA-TLX ile iş yükü analizi sonuçları	69
Çizelge 7.4. Dilsel değerlendirme ölçeği	72
Çizelge 7.5. Yığılma operatörü ile elde edilen bütünleşik değerler	73
Çizelge 7.6. Hedef ağırlıkları	73
Çizelge 7.7. Hedef katsayıları ve önem vektörü	73
Çizelge 7.8. Zihinsel iş yükü değerlerini dikkate alan 0-1 HP modelinin hedef ağırlıkları	73
Çizelge 7.9. Geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli için hedef ağırlıkları	74
Çizelge 7.10. Ekip 1 üyeleri ve iş türlerine göre belirlenmiş zihinsel iş yükü değerleri.	77

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.11. ZİY değerlerini dikkate alan modelin ekip 1'in sprint 1 iş listesi için çözüm özeti	79
Çizelge 7.12. Geleneksel modelin ekip 1 sprint 1 iş listesi için çözüm özeti	80
Çizelge 7.13. Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin ekip 1'in sprint 2 iş listesi için çözüm özeti	81
Çizelge 7.14. Ekip 2 üyeleri ve iş türlerine göre zihinsel iş yükleri	82
Çizelge 7.15. Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin ekip 2'nin sprint 1 için çözüm özeti	83
Çizelge 7.16. İş türlerine göre kıyaslama	86
Çizelge 7.17. Zihinsel iş yükü dikkate alan iş türlerine göre atama sonuçları	86
Çizelge 7.18. Geleneksel kısıtlı model iş türlerine göre atama sonuçları	87
Çizelge 7.19. Geleneksel kısıtlı model ile planlanan sprintte iş tamamlanma yüzdeleri .	88
Çizelge 7.20. Zihinsel iş yükü dikkate alan model ile planlanan atama yapılan sprintte tamamlanma yüzdeleri	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yazılım geliştirme yaşam döngüsü.....	6
Şekil 2.2. Şelale yöntemi iş akış süreci	7
Şekil 2.3. Çevik metot iş akış süreci.....	9
Şekil 2.4. Çevik geliştirmenin şelale sürecinden farkı.	12
Şekil 6.1. Science Direct yıllara göre yayın sayısı	51
Şekil 7.1. Çözüm yaklaşımı için akış şeması	68
Şekil 7.2. Rollerin boyut bazlı kıyaslanması	70
Şekil 7.3. Rollere göre iş yüklerinin kıyaslanması kutu grafiği gösterimi.....	71
Şekil 7.4. Ekip 1'in sprint 1 içerisindeki eforlarının kıyaslanması	84
Şekil 7.5. Farklı matematiksel modeller için atanan iş sayısının kıyaslanması	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	Analitik hiyerarşi süreci
ANP	Analitik ağ süreci
CarMen-Q	Carga zihinsel anket yöntemi
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
DP	Doğrusal programlama
DEMATEL	Karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı
HP	Hedef programlama
HF-SWARA	Tereddütlü bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi
HFLT	Tereddütlü bulanık dilbilimsel terim kümeleri
HFS	Tereddütlü bulanık küme
KV	Karar verici
NASA-RTLX	Yerli havacılık ve uzay idaresi- ham görev yükü endeksi
NASA-TLX	Yerli havacılık ve uzay idaresi- görev yükü endeksi
PWT	İkili Karşılaştırma Tekniği
SWARA	Kademeli ağırlık değerlendirme oran analizi
SWAT	Öznel iş yükü değerlendirme tekniği
ZİY	Zihinsel iş yükü

1. GİRİŞ

Bilgi çağı teknolojilerinin yaygınlaşması tüm süreçlerin dijitalleşme hızını sürekli olarak arttırmakta ve sektör bağımsız olarak yapılan işlerin niteliğinin fiziksel boyut ağırlıklı olmaktan bilişsel boyuta doğru değişmesine yol açmaktadır. Fiziksel güç gerektiren işlerin yerini bilişsel ağırlıklı işlere bırakmasıyla birlikte bilişsel bakış açısı gerektiren işler artış göstermiş, Fiziksel yorgunluk yerini zihinsel yorgunluğa bırakmaya başlamıştır. Bununla birlikte bilişsel ağırlıklı işlerde görev alan çalışanların yeterliliklerini analiz etmek için yeni ölçüm tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur [1]. Zihinsel iş yükü genellikle sağlık sektöründe çalışan hemşire ve doktorlar [2], bankacılık sektöründe masa başı çalışanlar ve havacılık sektöründe pilotlar üzerinde etkileri incelenerek [3], çalışanlara atanan görevlerin zihinsel kapasitelerine uygunluğu çerçevesinde oluşan yüklenme ve çalışanın hissettiği zorlanma seviyesi olarak açıklanabilir. Dijitalleşme baskısı ve teknolojik gelişmelerdeki ilerlemenin etkisi ile bilişim sektörünün Dünya ve Türkiye’de hızla gelişerek önemli bir sektör haline geldiği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu sektörün temel taşı olan mühendisler ve programcılar, yazılım projelerinin tasarımı, geliştirilmesi ve bakım süreçlerinde yoğun zihinsel çaba harcamaktadırlar. Bilişim sektörünün hızla gelişmesi, projelerdeki zaman baskısı, ortaya çıkan problemlerin karmaşıklık seviyesi ve sık değişen gereksinimler ile dinamik ve rekabetçi bir ortamda başarılı olmaya çalışan mühendis ve programcılarının, yüksek düzeyde zihinsel çaba gerektiren iş tanımları ile görevlendirilmesini gerektirmektedir. Bilişim sektörünün giderek büyümesi ve yazılım sektöründe var olan proje, ürün ve çalışan sayısının da sürekli artması bu sektörde de zihinsel iş yüküne yönelik çalışmaların yapılmasına büyük ihtiyaç doğurmaktadır.

Dijitalleşme hızını karşılamak için sürekli iyileştirme ve gelişime tabi olan yazılım sektöründe var olan şirketler artan talep oranlarını karşılayabilmek ve büyümekte olan pazardan daha çok pay alabilmek için yeni proje yönetimi metodolojilerinin uygulanması ile verimlilik ve kaliteyi artırırken maliyetleri indirgemeyi hedeflemektedir. Çevik metodoloji, beklenen görevlerin kısa iş dizinimlerinde (sprintler) tamamlanmasını sağlayan ve tekrarlayan bir süreçtir, böylece proje içerisinde oluşabilecek beklenmeyen değişikliklere daha hızlı uyumluluk gösterebilmektedir. Çevik metodoloji, süreç hızını ve çıktı kalitesini iyileştirme konularında büyük fayda sağlamakta olsada değişen görev tanımları ve kısa

teslim sürelerinin ekip üyeleri üzerinde yarattığı ek stres gerçek hayat uygulamasında azımsanamaz boyutlara ulaşabilmektedir.

Mevcut ergonomi literatüründe fiziksel çaba ağırlıklı iş yükünün değerlendirilmesinde kesin yargılara ulaşan çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın [4], bilişsel çaba gerektiren işlerin analizine ilişkin özellikle çevik metodoloji rol ve görev tanımları temelinde iş yükü ve iş gücü planlama konusunda bilimsel analizi gerçekleştiren çalışma örneklerine ulusal ve uluslararası literatürde rastlanmamıştır. Zihinsel iş yükü analizi ile özellikle çevik metodoloji gibi farklı rol ve görev tanımlarının birden çok çalışan tarafından sık değişkenlik periyotlarında ifa edildiği çalışma ortamlarında görev temelli atanan iş yükü ile çalışanların zihinsel kapasiteleri arasındaki dengenin kurulması daha büyük önem taşımaktadır. Çalışanın hissettiği zorlanma arttıkça bireyin işe olan motivasyonu ve bağlılığı azalırken aynı zamanda zihinsel iş yükündeki artış çalışan performansını düşürmektedir. Bu sebeple görevi yerine getirme zamanı ve hata oranları artmaktadır, dolayısıyla verimlilik ve yapılan işin kalitesi olumsuz etkilenmektedir.

Bu tez çalışmasında çevik metodolojinin literatürde ve uygulamada öne sürülen avantajlarının yanında çabaların zihinsel iş yüküne etkisi çerçevesinde değerlendirilmesi gerçek hayat probleminin verilerine dayanılarak yürütülmüştür. Yazılım ekiplerinin işgücü planlaması probleminde zihinsel iş yükü hesabını dikkate alan matematiksel modeller geliştirilmiş ve sonuca ulaşılmıştır. Zihinsel iş yükü hesabının yapılabilmesi için ergonomi literatüründe var olan pek çok çalışmada [1-3] güvenilirliği ispatlanmış NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır [5]. Bu yöntem zihinsel iş yükünün altı alt faktörün puanlandırılması ve bu faktörlerin ikili karşılaştırma ile ağırlıklarının bulunması ile ağırlıklı ortalama alınarak nihai zihinsel iş yükü hesabının yapılmasını sağlamaktadır. Matematiksel modelleme aşamasında problemin doğası gereği göz önüne alınması gereken çok sayıda çelişen amaç olduğundan 0-1 HP matematiksel modelleme yöntemi seçilmiş ve hem geleneksel problem kısıtlarından oluşturulan hem de zihinsel iş yükü kısıtlarını dikkate alan iki ayrı model sonuca ulaştırılarak ele alınan bu önemli gerçek hayat problemi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan her iki modelin amaçlarının önceliklendirilmesi ise dilsel ifadeler kullanılarak değerlendirme yapılan birçok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olan, Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizinin (SWARA) kararsız bulanık dilsel

terimler ile genişletilmiş versiyonu Kararsız Bulanık Dilsel Terimler Temelli SWARA (HF-SWARA) yöntemi kullanılmıştır [6].

Geliştirilen 0-1 HP matematiksel modelleri ayrı ayrı GAMS CPLEX Solver ile çözülmüş ve model koşum sonuçları atanan iş türü dağılımı, atanan işlerin eforları (story point) ve sprint bazlı işlerin tamamlanma yüzdesi (burndown chart) olacak şekilde üç ayrı başlıkta karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırma sonuç analizlerine ek olarak, geliştirilen modelin uygulanabilirliğini tespit etmek amacıyla bir ekibe ait gerçek hayat verilerinin yanı sıra, farklı yazılım geliştirme ekipleri için de uygulanmış, ayrıca tek bir sprint varlığı haricinde farklı sprintler için de çalıştırılarak girdi açısından bağımsız olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması dokuz bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, çalışmanın odak noktası ve hedefleri hakkında özet bilgilerle birlikte kullanılan metodoloji ve benimsenen yaklaşıma dair özet bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde, çevik metodoloji tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde iş yükü tanımı, zihinse iş yükünün ergonomi literatüründeki yeri, literatürde en sık kullanılan zihinsel iş yükü hesaplama yöntemleri ve çevik metodoloji ile ilişkisine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde iş gücü planlama problemi ve çözüm yöntemleri üzerinde durulmuştur. Çalışmanın beşinci bölümünde kullanılan yöntemler anlatılmış ve yöntemlere ilişkin literatür taramasına altıncı bölümde yer verilmiştir. Yedinci bölümde tez kapsamında önerilen çözüm yaklaşımı tanıtılmış, problem tanımı sunulmuş ve yürütülen gerçek hayat uygulamasına yer verilmiştir. Çalışmanın sekizinci bölümde yürütülen gerçek hayat uygulaması çerçevesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, detaylı analizler ve ek görsellerle desteklenerek sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde sonuçlar derlenerek ayrıca gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. ÇEVİK METODOLOJİ

Çeviklik değişen şartlara etkin bir biçimde uyum sağlayabilme esnekliği, kapasitesi ve yeteneğidir [7].

Çevik (agile) yöntem, yazılım geliştirmede kullanılan proje yönetimine özel bir yaklaşımdır ve uluslararası literatürde “*Agile Method*” olarak adlandırılmıştır [8]. Bu yöntem ekiplerin yazılım geliştirme süreçlerinin öngörülemezliğine cevap vermesine yardımcı olmaktadır. Genellikle “*sprint*” olarak bilinen artımlı ve tekrarlı “*iş dizilerini*” kullanır [9].

Yazılım geliştirme süreçleri uzun süren, yorucu süreçlerdir. Yazılım projeleri genellikle yönetsel eksikliklerden ötürü yalnızca kısmi başarı ve beklenenden az müşteri memnuniyeti ile tamamlanabilmektedir. Yazılım sektöründe, yazılım sürümlerinin gereken zamanda teslim edilememesi, değişiklik gerektiren gereksinimlere hızlı cevaplar verilememesi, yazılım hatalarının çok geç anlaşılması ve zaman içerisinde gelen isteklere bağlı olarak sistemin kendi yapısını geliştirememesi gibi muhtelif problemler oluşabilmektedir. Bahse konu problemlerin çözümü açısından yapılan çalışmaların sonucunda, 1990’ların sonlarında “*Çevik*” olarak adlandırılan yöntem geliştirilmiştir [9].

2.1. Yazılım Geliştirme Süreçleri

Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü (Software Design Life Cycle-SDLC) yazılımın geliştirilmesinden başlayarak müşteri kullanımı aşamasında yazılımın geçirdiği tüm süreçleri içermektedir [10]. *Planlama*, *analiz*, *tasarım*, *uygulama*, *test*, *teslimat* (yaygınlaştırma) ve *bakım* (saha izleme, sorun giderme) bu döngünün kapsamındaki ana süreçlerdir. Basit bir yazılım yaşam döngüsü örneği Şekil 2.1’ de görselleştirilerek sunulmuştur. *Planlama*, temel ihtiyaçların belirlendiği ve fizibilite çalışmalarının yapıldığı aşamadır. *Analiz* aşamasında; gereksinimler olgunlaştırılmakta ve dokümantasyon yapılmaktadır. Netleşen gereksinimlere göre müşterinin beklentilerine cevap vermek amacıyla yazılımın özellikleri ve ara yüzü, *tasarım* aşamasında planlanmaktadır. Tasarımın sonrasında ürün geliştirilmektedir. *Test* aşamasında, test edilen yazılım ürününün karar kılınan gereksinimleri karşılayıp karşılamadığı teyit edilirken, beklenen ve gözlenen sonuçlar arasındaki farklar ortaya koyulmaktadır. Test çalışmaları tamamlandıktan sonra

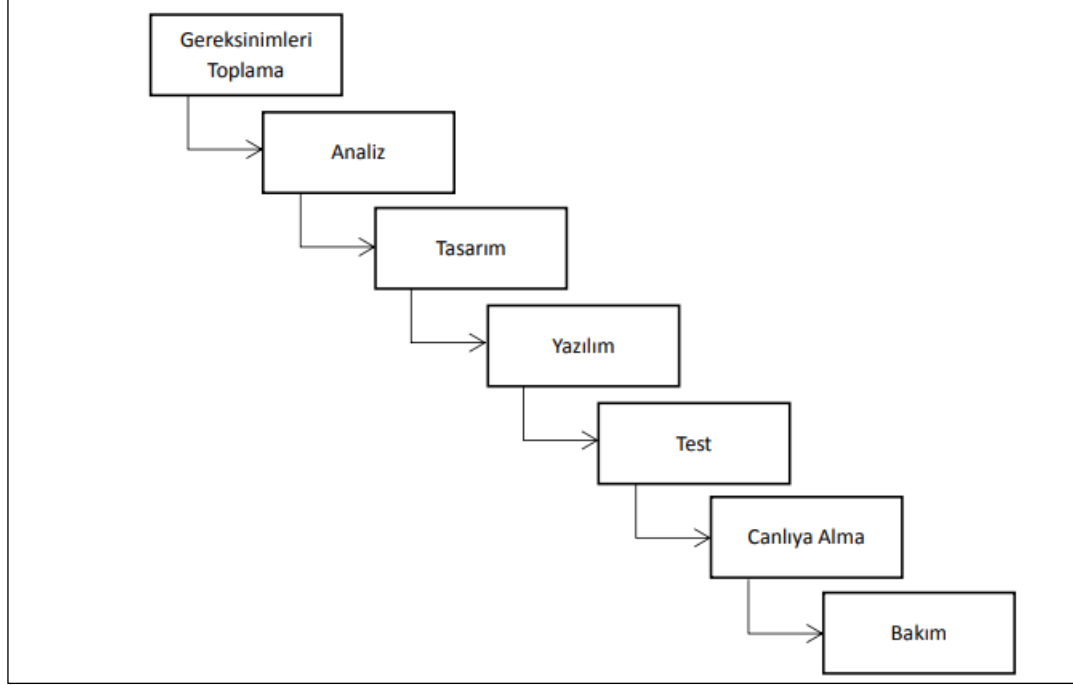
kullanıcı kabul onayı alınması sonrasında ürünün müşteri tarafından kullanılabilmesi için “yazılımın canlıya alımı” olarak adlandırılan yaygınlaştırma süreci gerçekleştirilmektedir. “Bakım” aşamasında, canlı ortamdaki yazılımın kullanımı esnasında ortaya çıkan hatalara yönelik çözümler üretilir [10]. Yazılım geliştirme yaşam döngüsündeki bu süreçlerde tanımlanmış olan farklı iş kapsamları çerçevesinde atanan çalışanların sahip oldukları farklı görev tanımları vardır.



Şekil 2.1. Yazılım geliştirme yaşam döngüsü [11]

Yazılım projelerinde amaç, bütçe ve zaman gibi kısıtlı kaynakları dikkate alarak müşteri ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun kalitede ürün geliştirmektir. Yazılım geliştirme projelerinde başarı ve müşteri memnuniyeti için çeşitli metotlar kullanılır. “Şelale metodu” gibi geleneksel yöntemlerde ilk aşamada müşterinin tüm ihtiyaçları belirlenir, sonrasında belirlenen ihtiyaçlar ve istekler çerçevesinde proje yönetim planı yapılır. Proje planı ve amacı belirlendikten sonra ana hatlarıyla projenin kapsamında değişiklik yapılmaz. Bu tip geleneksel yöntemlerin tercih edilen yazılım projelerinde, yazılım geliştirme döngüsündeki tüm aşamalar ardışık olarak işletilir. Bir önceki aşama tamamlanmadan bir sonraki aşamaya geçilemez. Bu da projede esnekliği oldukça düşürmektedir. Yapılan işler her adımın sonunda belgelenmektedir. Müşteri ile temasa sadece müşteri gereksinimlerinin belirlendiği planlama ve analiz aşamasında geçilebilir. Bu sebeple, ilerleyen aşamalarda ihtiyaçlar ile ortaya

çıkabilecek olası değişikliklere cevap vermek zor olmaktadır [12]. Şekil 2.2’de şelale metodu ile yazılım geliştirme modeli görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.2. Şelale yöntemi iş akış süreci [13]

Gereksinimlerdeki belirsizlik ve süreç içerisinde müşteri isterlerindeki sapmanın yüksek olması, ayrıca teknolojik gelişmelerin de etkisiyle yazılım ürünlerinin değer kazanması ile, zamanla Şelale metodu gibi sık tercih edilen geleneksel yaklaşımlar hızla değişen sektöre ve rekabet ortamına ayak uyduramamış ve bunların yerine çevik yöntemler tercih edilmeye başlamıştır. 2001 yılında çevik metodolojiyi benimseyen geliştiriciler, ortak bir fikirde birleşerek "*Çevik Yazılım Geliştirme Manifestosu' nu*" yayımlamışlardır. Kent Beck, Martin Fowler, Alistair Cockburn gibi tanınan isimlerin de olduğu 17 vizyoner isim tarafından yayınlanan "*Çevik Manifesto*"'nın temel ilkeleri arasında müşteri memnuniyetine odaklanma, değişen iş ihtiyaçlarına uyum sağlama, düzenli ürün teslimi, iş birimleri ile yazılımcıların etkileşim halinde çalışması, ekip motivasyonunu artırma, yüz yüze iletişime vurgu yapma, sürekli çalışan ürünler oluşturma, sürdürülebilir gelişimi destekleme ve kendi kendine örgütlenen takımların kurulmasını teşvik etme gibi prensipler bulunmaktadır [14]. Çevik yöntemlerin en sık kullanılan örneklerinden biri, Schwaber ve Sutherland tarafından 1990'lı yılların başında ortaya konan "*Scrum Metodu*"dur. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak Scrum metodunda; müşteri istekleri iki ile dört haftalık zaman dilimleri halinde planlanan sprintlerde geliştirilmektedir. Müşterilerin gereksinimlerinin belirlenmesi

kullanıcı hikâyesi (user story) olarak açıklanır ve özellikler listesinde (backlog list) tutulur. Bu sayede zaman kutulu (time boxed) olan Scrum metodunda, sprint sonunda ürünün çalışan bir parçası tamamlanır ve müşteriye teslim edilir [15].

2.2. Çevik Metodoloji

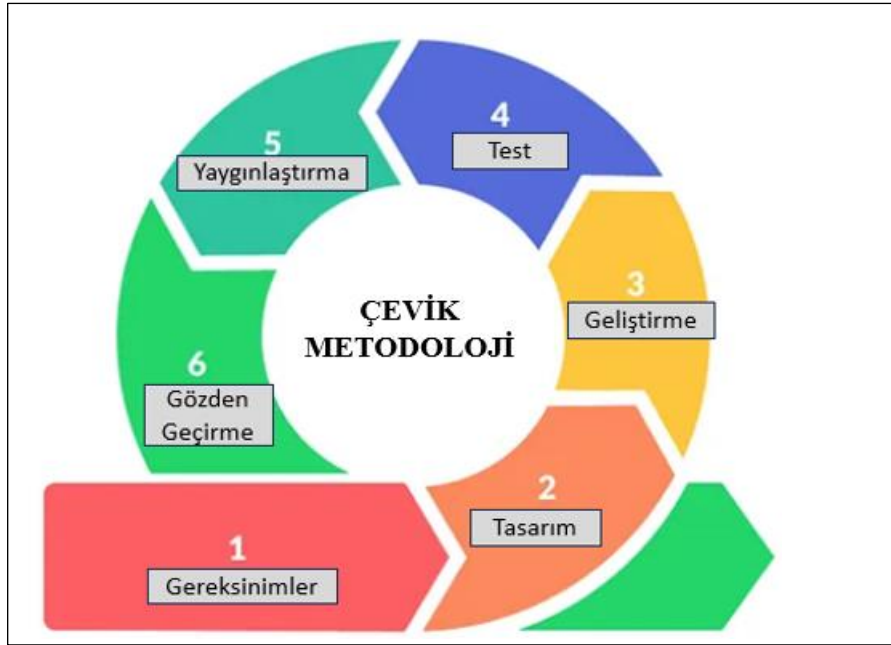
Çevik kelime olarak hızlı ve atik düşünmek, akıllı bir yolu tercih etmek demektir. Yazılım geliştirmede çevik kelimesi ise değişen ihtiyaçlara hızlı cevap veren pratikleri ifade eder. “Çevik”, dünyada yazılım süreçlerini daha esnek ve güçlü kılmak için kullanılan aynı zamanda yazılım süreçlerini de kısaltan kavramsal bir yazılım geliştirme metodolojisidir.

Yazılım projelerinin kapsamı arttıkça ve büyüdükçe karmaşıklık düzeyleri artmakta ve projelerin başarı oranlarında düşüşler ile karşılaşmaktadır. Diğer yandan projeleri parçalara ayıran tekrarlanan sprintler temelinde yürütülen yazılım geliştirme yöntemleri projelerin karmaşıklık seviyesini ve müşteri memnuniyetsizliği riskini azaltmakta, verimliliği ve tamamlanma başarı oranlarını artırmaktadır.

Sektörde kullanılan geleneksel yöntemlerden şelale, spiral, artırımsal metotlar esnekliği az katı yöntemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple zayıf iletişim, belirsizliğe ve değişikliğe uyum sağlayamamak, son kullanıcıyı düşünmeden yapılan geliştirme ve projenin sonuna kadar yüksek riskli görevler alınmasının projenin kapsam, zaman ve bütçesinde sıkıntıya neden olması gibi birçok problem ile karşılaşmaktadır. Projelerde karşılaşılabilecek birçok problemi önceden tahmin etmek oldukça zordur. Bu yüzden geleneksel yazılım geliştirme yöntemleri bu koşullarda başarılı çözümler üretememektedir ve hızla gelişen teknolojinin ihtiyaçlarına cevap vermek için yazılım geliştirmede daha esnek yöntemlere yönelim artmaktadır [16].

Çevik metodoloji uygulamalarında kullanılan pek çok kavram bulunmaktadır. Bu kavramlara ilişkin temeller Çevik Manifestoda atılmış ve geliştiricilerin kullanımına sunulmuştur. Çevik yazılım geliştirmede ekip içerisindeki iletişim ve etkileşim, süreç ve kullanılan araçlardan daha önemlidir. Çevik metodoloji için yazılımın çalışması, detaylı bir şekilde belgelendirme yapmaktan daha önemlidir. Müşterinin yapacağı geri bildirimler projeye sözleşme ve anlaşmalardan daha fazla katkı sağlayacaktır. Değişikliklere hızlı cevap

verebilmek sabit bir planı izlemekten daha önemlidir [8]. Şekil 2.3’ te çevik metodolojinin yazılım geliştirmede uygulanmasına örnek verilebilecek bir sprint döngüsü görselleştirilmiştir.



Şekil 2.3. Çevik metodoloji iş akış süreci [17]

Çevik Yazılım Manifestosu’nun 12 prensibi aşağıda maddeler halinde verilmiştir [18];

1. En önemli öncelik erken ve sürekli olarak kullanılabilir programlar oluşturarak, müşteriye tatmin etmektir. Geliştirmede geç bile olsa değişen gereksinimlere. Çevik süreçler, müşterinin rekabet avantajı için değişimden yararlanır.
2. Yazılımın ilerleyen dönemlerinde gelse bile talep edilen değişiklikler hoş karşılanmalıdır. Çevik süreçler, değişiklikleri müşterinin rekabetteki avantajını korumak ve sağlamak için kullanılırlar. İş adamları ve geliştiriciler, proje boyunca günlük olarak birlikte çalışmalıdır.
3. Kısa zaman aralıkları tercih edilerek iki haftadan iki aya kadar çalışır yazılım ortaya koyulmalıdır. Bir geliştirme ekibine bilgi aktarmanın en verimli ve etkili yöntemi yüz yüze görüşmedir.
4. Müşteri ve yazılımcılar proje süresince beraber çalışmalıdır.
5. Projelerin motivasyonu yüksek bireyler tarafından yapılması sağlanmalıdır, onlara ihtiyaç duydukları ortam ve destek sağlanmalıdır.
6. Bilgi alışverişinde en verimli ve efektif yöntem takım içinde yüz yüze konuşmaktır.
7. Çalışır durumda olan program ilerlemenin ana göstergesidir.

8. Çevik süreçler etkili yazılım yöntemlerini destekler. Müşteri, yazılımcılar ve kullanıcılar sabit bir tempoda beraber çalışabilmelidirler.
9. Teknik mükemmelliğe devamlı özen gösterilmelidir ve iyi tasarım çevikliği kuvvetlendirilmekte olduğu bilimektedir.
10. Sadelik (basitlik) esas alınmalıdır.
11. En iyi mimariler, gereksinimler ve tasarımlar kendi kendine organize olabilen takımlardan çıkacaktır.
12. Belirli zaman dilimlerinde takım nasıl daha etkin olabileceği konusunda kendini sorgulamalı ve edinilen bilgiler doğrultusunda çalışma tarzın uyumlu hale getirilmelidir.

Çevik metodoloji müşteri ve ekip üyeleri arasında sıkı bir işbirliğini teşvik eder. Müşterinin geri bildirimleri önemsenir ve bu geri bildirimlere göre ürün geliştirilir. Müşteri memnuniyeti odaklıdır. Bu yazılım geliştirme metodolojisi projenin başlangıcından itibaren belirsizliklerin ve değişen gereksinimlerin olabileceğini kabul eder. Bu nedenle, projenin seyri süresince gereksinimler ve öncelikler esnek bir şekilde ayarlanabilir. Çevik projeler, küçük ve işlevsel parçalara bölünerek geliştirilir. Bu parçalar sprintler içinde (örneğin iki dört hafta gibi belirli sürelerde) tamamlanır ve ürüne ardışık olarak yeni işlevsellikler eklenir. Bu sayede her bir iterasyon sonunda, işlevsel bir ürün parçası tamamlanmış olur. Ayrıca bir diğer avantaj olarak bu, müşteriye belirli aralıklarla değer sunmayı sağlar [17].

Çevik metodoloji, sık geri bildirim döngüleri oluşturarak hızlıca yanıt verebilme yeteneğini önemsemektedir. Metodun bu özelliği ürünün doğru yönde gelişmesini sağlar. Sürekli olarak iş süreçlerini ve ürün kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Her iterasyon sonrası geri bildirimler değerlendirilir ve gerekli aksiyonlar alınır. Çevik metod uygulamaları aynı zamanda ekip üyelerinin motivasyonunu, işbirliğini ve iletişimini ön planda tutar. Ekip üyelerinin ihtiyaçları ve görüşleri değerlidir ve motivasyonlar yüksek tutulmalıdır. Çevik metodoloji, proje planlamasının ve takım yapısının esnek olmasını teşvik eder. Takım, değişen koşullara göre kendi içinde yapılabilir ve tüm çalışanların ekip içinde aynı görevler için çalışabilecek yetkinlikte olması gerekir. [17].

Çevik metodoloji uygulamasında, adam/gün bazlı eforlandırma yerine “*story point*” kavramı ile karşılaşmaktayız ve yapılacak işin büyüklüğü, karmaşıklığı, içerdiği riskler ve belirsizlikleri göz önünde bulundurarak harcanacak çaba hakkında tahmini bir eforlama yapmamız gerekmektedir. Bir çevik ekip üyesi işin eforunu tahminlerken görev ile ilgili

bilinenleri, bilinmeyenleri, karmaşıklık düzeyini ve riskleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tahminleme yöntemi yani göreceli büyüklük belirlemek için kullanılabilecek tekniklerden ilki "*Fibonacci Serisi*"dir. Bir kullanıcı hikayesinin büyüklüğü ne kadar artarsa belirsizlikler o kadar artmaktadır ve göreceli büyük kullanıcı hikayeleri Fibonacci Serisinde yüksek değerler ile puanlanmaktadır. Göreceli büyüklük belirlemek için kullanılabilecek diğer bir teknik ise "*T-Shirt Sizing*"dir [19].

Çevik metodoloji, özellikle hızla değişen teknolojik ortamlarda ve müşteri ihtiyaçlarının belirsiz olduğu projelerde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, organizasyona getirdiği hızlı adapte olabilme ve müşteri memnuniyetini sağlayabilme kabiliyetiyle öne çıkar. Scrum, Kanban, Ekstrem Programlama (Extreme Programming) gibi farklı çevik uygulama çerçeveleri bulunmaktadır, her biri çevik metodoloji uygulaması prensiplerini kendi yöntemleriyle uygulamaktadır [14].

2.2.1. Çevik metodolojinin getirdiği avantajlar

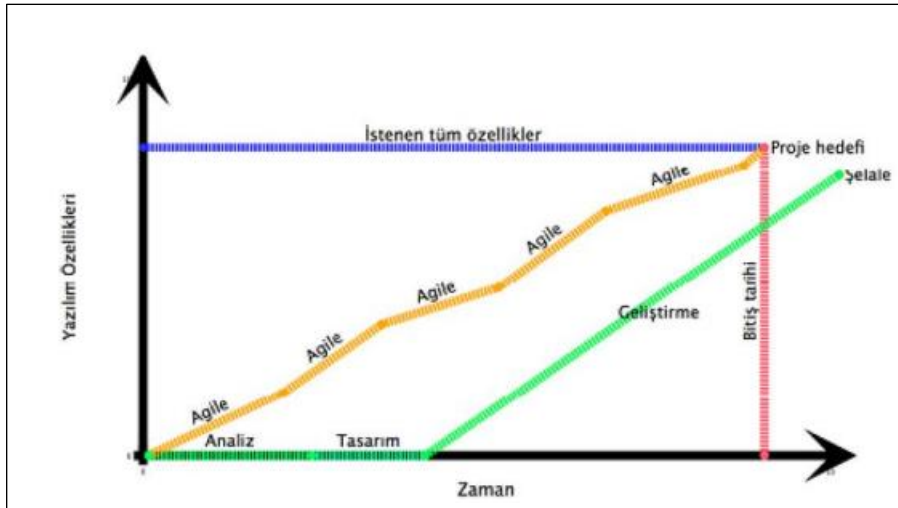
Çevik metodoloji yazılım sektöründe yüksek oranda benimsenen ve sık uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemin tercih edilmesinin birçok faydası ve avantajı vardır. "*Sprint*" adı verilen kısa planlama süreleri ile, proje seyrinde herhangi bir gereksinimin geliştirme planında değişiklik yapmak kolaylaşacaktır. Çevik metodoloji, son hedefin açıkça tanımlanmadığı projeler için kısa süreli hedefler alınarak ilerlediğinden oldukça faydalıdır. Proje ilerledikçe hedefler netleşecek ve geliştirmeler bu olgunlaşan gereksinimlere kolayca adapte olabilecektir. Ayrıca her yineleme "*sprint*" sırasında test yapmak, hataların daha hızlı bulunmasını ve çözülmesini sağlamaktadır. Böylece daha kaliteli bir yazılım ürünü daha hızlı ve efektif olarak ortaya çıkmış olacaktır.

Çevik ekiplerde sık iletişimin ve yüz yüze etkileşimlerin hızlı karar alınmasında ve problem çözümünde önemli katkıları vardır. Birlikte çalışan ekipler hızlı iletişim ile üstüne düşen işi alıp tıkanıklığı rahatlıkla giderebilmektedir. Müşterilerin ürün teslim edilmeden önce sprint sonunda çalışan her iş parçasına onay ve geri bildirim vermeleri projede müşteri memnuniyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Öğrenilen dersler ilerleyen sprintlerde hataların tekrarlanmamasını sağlayacaktır. Müşteriler, proje ekibiyle sık iletişimde bulunarak aidiyet duygusu kazanabilirler [17].

Çevik metodoloji sabit ve katı aşamalar olmadığından, geliştirmeler üzerinde deneme yapma ve yinelenmeli değişiklikler yapma konusunda geleneksel yöntemlere göre çok daha fazla esneklik hakkına sahiptir. Bu, özellikle yaratıcı ve farklı projeler için uygun olmasını sağlar.

Çevik metodolojinin prensipleri gereği paydaşlardan ve iş birimlerinden düzenli olarak geri bildirim alınır ve alınan geri dönüşlere göre geliştirmeler üzerinde değişiklik yapılabilir. Paydaşların ve müşterilerin her aşamada rol alması sayesinde projenin başarısız olma riski büyük ölçüde azalır [20].

Çevik yazılım geliştirme, belirtilen zorluklara karşı var olan yazılım geliştirme modellerinden farklı olarak uygun çözüm sunmaktadır. Esneklik, müşteri ile sürekli etkileşim, işbirliği ve işlevsel yazılımın erken ve sıkça teslimi gibi temel prensipler, çevik metodolojilerin temelini oluşturur. Sonuç olarak, çevik yazılım geliştirme, değişen ihtiyaçlara daha etkili bir şekilde yanıt verme ve projenin başında detaylı planlama yapmaktan ziyade esneklik ve müşteri odaklılık üzerine odaklanma konusunda daha uygun bir seçenek olmaktadır. Şekil 2.4’ te çevik sürecin şelale sürecinden farkı görselleştirilmiştir.



Şekil 2.4. Çevik geliştirmenin şelale sürecinden farkı [21]

Şekil 2.4’ te de ifade edildiği üzere çevik metodoloji uygulamaları yinelenmeli ve istikrarlı bir süreç çizmektedir. Şelale metodu ise daha katı süreçlerle yönetildiğinden uygulama zaman dilimlerinde yapılan işler keskin çizgiler ile ayrılmıştır.

2.2.2. Çevik metodoloji ile gelen dezavantajlar

Çevik yaklaşım, değişiklikler meydana geldikçe hızlı bir şekilde çözüm üretmeyi gerektirir. Değişikliklere hızlı adapte olurken sık plan değişikliği, kaynak yönetimini ve zamanlama konusundaki planlamayı zorlaştırmaktadır. Kaynakları duruma göre aktif ve pasif hale getirmek gerekmektedir.

Bütüncül sabit bir planın olmaması nedeniyle, sonuçları elde etmek için ilgili tüm departmanların, paydaşların ve sponsorların da sıkı iletişim halinde çalışması gerekmektedir. Geri bildirim temelli yaklaşım aynı zamanda paydaşların ve müşterilerin hızlı bir şekilde geri bildirim vermeye istekli olması gerektiği için etkili iletişimin kurulmasını gerektirmektedir [20].

Görev tanımlarına göre değil de efor temelli görev paylaşımı zihinsel iş yükü dengesizliğine sebep olabilir. Değişen görev tanımlarına uyum sağlamakta ekip üyeleri üzerinde iş yükü oluşturacaktır bu da uygulama zorluğunu ortaya çıkaracaktır. Ek olarak müşteri ile iletişimin ve ürün teslimatlarının sık olması da çevik metodolojiyi benimseyen ekipler üzerinde zihinsel iş yükü ve stres oluşturacaktır.

Çevik metodolojide bazen vazgeçilemez bir teslimat tarihini sabitlemek zor olabilir. Agile belirli süreli yinelemeli çıktılarına dayalı olduğundan ve proje yöneticileri genellikle görevleri tekrarlamakta olduğundan, başlangıçta teslimat için planlanan bazı öğelerin zamanında tamamlanamaması mümkündür. Ayrıca, projenin herhangi bir anında yeni bir sprint eklenebilir ve bu da nihai hedef süreyi uzatacaktır.

Çevik Manifesto, kapsamlı bir dokümantasyon yerine çalışma yazılımını tercih eder, bu nedenle bazı ekip üyeleri, dokümantasyona odaklanmayı daha az önemli gibi hissedebilirler. Kapsamlı dokümantasyon, proje başarısına yol açmamakla birlikte, çevik takımlar dokümantasyon ve tartışma arasındaki doğru dengeyi bulmalıdır [21].

3. ZİHİNSEL İŞ YÜKÜ KAVRAMI

Çalışma hayatında çalışanlar için en önemli hususlardan biri de iş yüküdür. İş yükü, görevlere verilmesi gereken efor ve gereklilikler ile kişinin harcadığı çaba ve performans arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıkan öznel bir kavramdır [4]. Bilgi çağı teknolojilerinin yaygınlaşması tüm süreçlerin dijitalleşme hızını sürekli olarak arttırmakta ve sektör bağımsız olarak yapılan işlerin özelliklerinin fiziksel güç boyutunda ağırlıklı olmaktan bilişsel boyutta ağırlıklı olmaya doğru değişmesine yol açmaktadır. İş çevresi ve tanımlanan iş kapsamında otomasyona ağırlık verilmesi, robotik ve otomatik sistem kullanımıyla insan ve makine etkileşiminin artması, insan iş gücünün ağırlıklı kullanılmasının devam ettiği hizmet ağırlıklı işlerin önem kazanması gibi faktörler, iş yükü kavramında fiziksel iş yükünden zihinsel iş yüküne dönüşümünde etkili olmaktadır. Bu gelişmeler ile son yıllarda çalışma hayatının insan sağlığı üzerindeki etkilerini ortaya koyan araştırma sayısının artması da zihinsel iş yükü kavramını bilinir kılınmasını sağlamıştır [20].

Zihinsel iş yükü veya bilişsel iş yükü, bir kişinin belirli bir süre boyunca bir görevi tamamlaması için gerekli olan zihinsel iş miktarıdır. Genel olarak bir görevin gerekleri, gerçekleştirildiği koşullar ve çalışanların becerileri, davranışları ve algıları arasındaki etkileşimden ortaya çıkmaktadır [5]. Ek olarak, zihinsel iş yükü ergonomik risk faktörleri arasında yer almaktadır. Çalışanların fiziksel ve zihinsel iş yükünün dengede olması iş hayatı ve sosyal hayat için önemli bir faktördür bu hususta zihinsel iş yükü değerlendirmelerinin yapılması oldukça önemli bir ihtiyaçtır [22].

3.1. Zihinsel İş Yükü ve İlişin Tanımlar

İş yükü, bir görevin tamamlanması için sarf edilen zaman ve enerjinin, çalışanın duygu ve hislerine olan etkisini ifade eder [23].

Bireyin belirli bir kalitede, belirli bir performans düzeyinde ve belirli bir zamanda gerçekleştirmesi gereken iş miktarına "*iş yükü*" denir. İş yükü, fiziksel ve zihinsel gereklilikler, zaman baskısı, çalışma hızı gibi işin özellikleri, çalışma koşulları, bireyin becerileri, alışkanlıkları ve algılamaları tarafından etkilenir. Algılanan zorluk derecesi, bireyin işe karşı istek, motivasyon ve bağlılık düzeylerini etkileyen önemli bir faktördür ve

bu faktör zihinsel iş yükü olarak adlandırılır. Zihinsel iş yükü arttıkça, genellikle performans düşer ve görevi yerine getirme süresi ile hatalar artar [20].

Çalışılan iş saatleri, elde edilen nihai çıktı ve miktarı, işin sonunda çıkan işe karşı hissedilen duygusal durumlar iş yükünün nasıl algılanacağına temel hazırlamaktadır. İşveren veya müşteri tarafından, basit gibi görünen ama çalışan için ekstra iş yükü oluşturmaktadır [23].

Zihinsel iş yükü arttıkça, genellikle performans düşüşü ve motivasyon kaybı gözlenir. Hataların sayısı artar, işin tamamlanma süresi uzar ve bu durum iş hayatının geri kalan kısmında stres, baskı ve rahatsızlık hissini beraberinde getirir. Bu etkilerin birleşimi, bireyin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkiler [24].

İş yükü kavramı insan mühendisliği anlamında çok sayıda araştırmacı tarafından uzun süredir incelenmiş ve çok sayıda tanımlama ile ifade edilmiştir, genel haliyle çalışanın performansına ve tepkilerine etki eden çeşitli baskılar iş yükü olarak adlandırılır. Hart ve Wickens' a göre iş yükü insan-makine sistemlerinde insanlara atanmış olan görevlerin ifasındaki maliyetlerin toplamının (enerji, zaman, fiziksel zorlanmaya bağlı bedensel maliyetler, zihinsel zorlanmaya bağlı düşünsel güçteki maliyetler, vb.) genel bir tanımıdır [25]. Bu farklı maliyet türleri dikkatin azalması, tepki süresinin uzaması, görevleri tam olarak yerine getirememe, stres, yorgunluk ve performans azalması olarak yansımaktadır.

Gerek üretim araştırmaları gerekse ergonomi literatüründe iş yükü kavramı çoğunlukla fiziksel iş yükünü dikkate alacak şekilde işlenmekte, iş yükü analizleri çerçevesinde gerçekleştirilen çok sayıda kıymetli çalışmanın iş saatleri, vardiya süreleri, çalışma duruşlarına bağlı makine atamaları, harcanan enerjinin minimizasyonu, vücut genelinde ya da alt vücut, üst vücut, kollar, boyun, eller, bacaklar vb. gibi bölgesel bölümlerindeki yüklenmenin sınırlandırılmasını sağlayan modeller, tekrarlı hareketlerin tespiti ve sınırlandırılması gibi insan sağlığının korunması ve sürdürülebilir bir üretim/çalışma çevresinin kurulmasını hedefleyen fiziki çalışma ortamının insancalaştırılması amacıyla yürütülmüş olduğu görülmektedir [26]. Oysa özellikle pandemi ve sonrasında ivmelenen hızı ile sürekli olarak gelişme gösteren dijitalleşme seviyelerinin üretim ortamlarındaki etkisini dikkate alan ve yalnızca fiziki çalışma ortamının insancalaştırılmasının yanı sıra bilişsel iş yüklerini de hesaba katarak değişen iş çevresindeki dijitalleşen iş tanımlarını daha iyi kapsayabilecek çalışmalara da ihtiyaç doğmaktadır. Zihinsel iş yükü bugüne kadar daha çok karmaşık

panellerin uzun süreli ve hassas kullanımını gerektiren pilotaj [27], telekomünikasyon yönetimi, robotik cerrahi gibi; dikkat dağınıklığı ve monotonluk indeksi yüksek olan uzun yol şöforlüğü [28], gece nöbeti gibi; ya da, hem fiziki beceri gereğinin hem de kişiler arası iletişimin çok yoğun olduğu ve olası hatalı ya da tehlikeli hareketlerin doğuracağı risklerin ölümcül olduğu sağlık sektöründe hizmet veren doktor, ebe, hemşire gibi sağlık çalışanları için dikkate alınmış olan [24], orjini ise psikoloji bilimine dayanan çok yönlü karmaşık bir yapıdır.

Zihinsel iş yükü psikolojik ve bilişsel olarak değerlendirilen çok yönlü karmaşık bir yapıdır. Çok sayıda tanımı bulunmaktadır. Kısaca zihinsel iş yükü veya bilişsel iş yükü, bir kişinin belirli bir süre boyunca bir görevi tamamlaması için gerekli olan zihinsel iş miktarıdır. Genel olarak bir görevin gerekleri, gerçekleştirildiği koşullar ve çalışanların becerileri, davranışları ve algıları arasındaki etkileşimden ortaya çıkar [2].

Zihinsel iş yükü konusunda önemli olan çalışanların düzenli iş hayatına devam edebilmeleri için dengeli yük maruziyetinin sağlanması konusunda uygun iş yükü seviyesinin belirlenebilmesidir. Bu seviyeyi belirlemek, fiziksel iş yükünü belirlemeye göre daha zor ve karmaşık olabilir. Fiziksel iş yükünün ölçülmesi için çalışma saatleri, üretim miktarı, satış miktarı gibi ölçülebilir performans kriterleri kullanılırken, zihinsel iş yükü için alışılmış parametreler bulunmamaktadır. Ayrıca zihinsel iş yükünü belirlemek, çalışan motivasyonunu artırmak, görev dağılımları yapmak, insan-makine sistemlerinin çıktı kalitesini artırmak ve optimum zihinsel iş yükü seviyesini belirlemek için oldukça önemlidir. Literatürü incelediğimizde zihinsel iş yükünü değerlendirmek için birçok yöntem geliştirildiğini görebiliriz. Bu yöntemler genellikle fizyolojik ölçüm, sübjektif ölçüm ve görev ölçümü olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler arasında en esnek, en az zaman gerektiren, işin yürütümünü en az etkileyen ve genellikle daha ekonomik olan sübjektif ölçüm teknikleri, iş yüküyle ilgili bilgileri toplamak için araştırmalarda yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Sübjektif ölçüm teknikleri, katılımcıların kendi deneyimlerini ve algılamalarını rapor etmelerine dayanır, bu da araştırmacılara katılımcının duygusal ve bilişsel durumları hakkında değerli bilgiler sağlar [29].

3.2. Zihinsel İş Yükü Araştırmaları ve Ergonomideki Yeri

Bilişsel ergonomi temel olarak bir cihazın göstergeleriyle insanlara bir şey anlatması, insanın bunu algılaması, değerlendirmesi ve bir cevap oluşturarak bunu cihaz üzerindeki denetim elemanlarıyla cihaza aktarması, kısacası insanla makine arasında etkin bir iletişim sağlanmasını amaçlamaktadır [30].

Bilişsel ergonomi, insanların ve sistemin diğer öğelerinin etkileşimleri bağlamında algılama, bellek, mantık yürütme ve motor cevap gibi zihinsel süreçlere odaklanan uygulama ve araştırma alanını ifade eder. Bilişsel ergonomi alanının başlıca araştırma konuları arasında zihinsel iş yükü, karar verme, çalışan performansı, insan bilgisayar etkileşimi, insan makine sistem güvenilirliği, insanın karar güvenilirliği, iş stresi ve insan-iş sistemi tasarımı gibi konuları kapsamaktadır. Bilişsel ergonomide ana konu, insanın bilişsel işleyişini ve bunu etkileyen koşulları, diğer bir deyişle insan-sistem etkileşimini insanın bilişsel yetenekleri ve sınırlamalarıyla uyumlu hale getirmektir. Böylece, tasarım ve iş süreçleri, kullanıcıların zihinsel kapasitelerini en iyi şekilde kullanmalarına ve etkileşimde bulundukları sistemleri daha etkili bir şekilde kullanmalarına olanak tanıyabilmektedir [4].

Bilişsel ergonominin zihinsel süreçlerle ilişkili olduğu açıktır. Algılama, bellek, mantık yürütme, motor faaliyetler, refleksler ve cevap verme gibi öğelerle insan ve sistemin diğer öğelerinin etkileşimi açısından ilgilenir. Duyusal kanallar aracılığıyla algılanan bilgiler ve uzun süreli bellekte depolanan bilgiler ışığında hangi eylemlerin gerçekleştirileceğini bulmak bilişsel süreçtir [31].

Karmaşık teknolojik araçlar biliş, iş birliği ve bağlam etkileşimini göz önüne alarak insan kullanımına faydalı olması için geliştirilmiştir. İnsan sağlığı ve iş sistemlerinin verimliliği, örneğin endüstriyel tesisler, hava trafiği kontrolü, üretim sistemlerini çalıştırmak ve kontrol etmek için tüm bu alanlarda bilgisayar temelli sistemleri kullanmak bilişsel ergonominin kullanıcı tarafını kapsamaktadır [32].

Modern çalışma hayatında, iş görevlerinin performansı büyük oranda bilişsel adaptasyona yani dikkat, çalışma belleği, karar verme ve öğrenme gibi bilgi işlemede yer alan zihinsel süreçleri temel almaktadır. Bu şartlar, çalışırken bilgi edinmeyi, yeni şeyler ortaya çıkarmayı

ve uygulamayı kapsamaktadır. Ek olarak, iş başında öğrenmeyi gerektiren işler dikkat gerektirecektir bu de zihinsel iş yükünü artıracaktır [32].

Zihinsel iş yükü kavram ve ergonomiyle ilgisi, çalışma ortamının tasarımı ve çalışma koşullarının düzenlenmesiyle ilgilidir. Zihinsel iş yükü, çalışanın zihinsel kapasitesinin belirli bir görevi yerine getirme yeteneğini açıklamaktadır. Bu, bilgi işçileri, programcılar, yöneticiler gibi zihinsel yoğunluk gerektiren işlerde önemlidir.

Zihinsel iş yükünün ergonomi bilimi ile ilişkisine dair bazı önemli faktörler aşağıda sıralanmaktadır [4].

- Çalışma Ortamının Düzenlenmesi: Çalışma alanının düzeni ve organizasyonu, zihinsel iş yükünün etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir, ayrıca düzenli bir çalışma alanı, gereksiz dikkat dağıtıcıların azaltılmasına yardımcı olabilir.
- Teknolojik Araçların Kullanımı: Bilgisayarlar, yazılımlar ve diğer teknolojik araçların kullanımı verimliliği artırmak amacıyla tercih edilmektedir, ancak iş yeri doğru tasarlanmaz ya da uygun kullanım sağlanmazsa verimliliğin beklenmeyecek şekilde azalmasına da neden olabilir. Ergonomik olarak düzenlenmiş bir çalışma istasyonu ve uygun iş gereçleri kullanımı kullanıcıların daha rahat ve verimli bir şekilde çalışmasına yardımcı olabilir.
- Bilgi Akışının Yönetimi: Bilgiye erişim, paylaşım ve organizasyon süreçleri, zihinsel iş yükünün etkili bir şekilde yönetilmesinde önemlidir. Doğru araçlar ve sistemler, bilgi akışını düzenlemeye yardımcı olabilir.
- İş Süreçleri ve Görev Dağılımı: Görevlerin ve sorumlulukların doğru belirlenmesi ve uygun bir şekilde dağıtılması, iş yükünün dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlayabilir. Ayrıca, iş süreçlerinin optimize edilmesi verimliliği artırabilir.
- Mola ve Dinlenme Süreçleri: zihinsel iş yükünün yönetilmesinde düzenli aralıklarla kısa molalar vermek ve dinlenme zamanı ayırmak önemlidir. İş yükü analizleri ile dinlenme, ek dinlenmeler eklenerek bir iş planı yapılmalıdır. Bu sayede beyin dinlenme ve yeniden odaklanma fırsatı bulabilir.
- Eğitim ve Beceri Gelişimi: Çalışanların işlerini daha etkili bir şekilde yapabilmeleri için eğitim ve beceri gelişimi fırsatları sunulmalıdır. Bu, zihinsel iş yükünün azaltılmasına yardımcı olabilir.

Her bireyin fiziksel çalışma ortamı ve iş yüküne tepkisinin farklı olduğu gibi zihinsel iş yükü toleransı da farklıdır. Ergonomik çalışma ortamının tasarımı, her bireyin en iyi çalışma şekline ulaşmasına yardımcı olmanın tek yoludur. Bu, verimliliği artıracak ve iş tatminini artırarak, insancaleştirılan sistemlerde yer alan çalışanların performans seviyelerini yükseltecektir.

3.3. Zihinsel İş Yükü Ölçüm Yöntemleri

Zihinsel açıdan iş yükü belirlenmesi net ve somut parametrelere sahip olmadığı için zihinsel iş yükünün doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Öznel yöntemlerin uygulanabilirliği ve uzmanlar tarafından anlaşılması kolaydır. Bu ölçüm yöntemleri maliyetlerinin düşük olması, uygulanmalarının kolay olması, zorlayıcı ve bağlayıcı olmamaları nedeniyle başka iş yükü ölçüm tekniklerine göre uygulamada daha çok yer bulmakta ve sıklıkla tercih edilmektedirler [33].

Öznel derecelendirme yöntemleri, çoğunlukla kişiye tek bir soru yöneltilmektedir. Örneğin; *“Lütfen yapmış olduğunuz işe harcadığınız zihinsel çaba miktarını puanlayın”* gibi sorular ile uzman görüşlerinin ortaya çıkması amaçlanır. Verilen cevaplar uygulanan yöneme has geliştirilmiş dilsel skala içinde değerlendirilmektedir. Hesap yapma, seçimde bulunma, başka kişiler ile haberleşme, yapılan işi hafızada tutma, doğruyu tespit etme gibi algısal faaliyetlerin meydana getirdiği ve çalışanların etkilendiği farklı boyutlar temelinde farklı zihinsel iş yükü faktörlerinden bahsetmek mümkündür [34].

İnsan mühendisliği literatüründe kabul görmüş ve genel hayat ergonomi uygulamalarında zihinsel iş yükünün ölçülmesi için kullanılan bazı yöntemler şunlardır; Cooper-Harper Derecelendirme Ölçeği, Öznel İş Yükü Değerlendirme Tekniği (SWAT), NASA Bipolar Derecelendirme Ölçeği, İşgücü profili (Workload Profile), Bedford Ölçeği, Toplam İş Yükü, Carmen-Q, NASA İş Yükü Endeksi (NASA-TLX/ RTLX) [33]. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması çerçevesinde belirlenen bu literatürde en sık kullanılan yöntemlerin bazıları alt bölümlerde sunulmaktadır.

3.3.1. Cooper-Harper derecelendirme ölçeği

Zihinsel iş yükünün ölçümü açısından literatüre en erken giren yöntemlerden biri olan Cooper ve Harper tarafından 1969 yılında ortaya konan zihinsel iş yükü ölçme ölçeğidir [27]. Zihinsel iş yükü ölçümünü tek boyutta ele alan bu yöntem, ilk olarak havayolu çalışanlarının, havayolu araçlarını kullanılması durumunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Değerlendirme ölçeği 1 ile 10 arasındaki değer almaktadır. Bu yöntem zihinsel iş yükü seviyelerini tek boyut açısından değerlendirme yaptığından, iş yükü oluşturan diğer boyutların analiz edilmesine olanak sağlamayan bu yöntem ile karmaşık iş sistemleri için geçerliliği kabul edilebilecek sonuçlara ulaşamamaktadır [33].

3.3.2. Subjektif iş yükü ölçüm tekniği

Reid ve Nygren tarafından 1988’ de önerilen Subjektif İş yükü Ölçüm Tekniği (SWAT), zihinsel iş yükü ölçümünde zaman baskısı, çaba yükü ve stres olmak üzere sıralanmış üç boyutlu bir değerlendirme yapmaktadır. Düşük (1), orta (2) ve yüksek (3) olmak üzere üç değeri kullanan ölçeğe sahip olan bu yöntem ile bu üç faktör ve üç düzeyin değerlendirilmesi sonucu tek bir iş yükü indeksi oluşturulmaktadır [33].

Zaman baskısı faktörü; çalışanın işini yaparken eş zamanlı olarak diğer işlere zaman ayırıp ayıramadığını belirlemektedir ve değerlendirme puan ölçeği Çizelge 3.1' de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Zaman baskısı puan ölçeği

Puan	Açıklama
1	Sıklıkla boş zaman bırakır
2	Boş zaman bırakır
3	Neredeyse hiç boş zaman bırakmaz

Çaba baskısı faktörü çalışanın işini yapmak için zihinsel fonksiyonlarını ne kadar yoğunlukta kullandığını analiz etmektedir ve değerlendirme puan ölçeği Çizelge 3.2' de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Çaba baskısı puan ölçeği

Puan	Açıklama
1	Çok az dikkat ve zihinsel çaba gerekli
2	Orta derecede dikkat ve zihinsel çaba gerekli
3	Çok fazla dikkat ve zihinsel çaba gerekli

Stres baskısı faktörü ise görev yerine getirilirken çalışanda oluşan endişe, risk ve başarısız olma korkusu gibi konuları incelemektedir [34] ve değerlendirme puan ölçeği Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Stres baskısı puan ölçeği

Puan	Açıklama
1	İş, endişe ve asabiyete sebep olmaz, riski azdır
2	İş, endişe ve asabiyete sebep olur, risklidir
3	İş, çok risklidir. Endişe ve stres uyandırır

SWAT tekniği stres seviyesi yüksek, zaman baskısının fazla olduğu işlerde, çaba boyutunun önemli olduğu durumlarda verimli sonuçlar vermektedir. Bu yönden bir avantaj olarak Değerlendirme seçenekleri üç adet ile sınırlı olduğu için değerlendirme yapacak kişinin hızlı bir şekilde karar vermesini sağlar.

Ölçeğin her üç boyutu (zaman, stres, çaba) ve üç farklı puanlamada (düşük, orta, yüksek) toplamda 27 adet kart hazırlanır ve bu kartlar zihinsel iş yükü uzmanlar tarafından kişiye yaptıkları işleri dikkate alarak en fazladan en aza doğru T: Zaman Baskısı E: Çaba Baskısı S: Stres Baskısı (TES) olacak şekilde sıralanır.

3.3.3. Carga zihinsel anket yöntemi

Rubio-Valdehita ve arkadaşları tarafından 2017' de geliştirilen Carga Zihinsel Anket (CarMen-Q) ölçeği ise yakın zamanda sahip zihinsel iş yükü değerlendirme aracı olarak ergonomi literatüre girmiştir. Bu ölçeğin Türkçe çevirisi için Yavuz ve arkadaşları tarafından “Zihinsel İş Yükünün Ölçümü: CarMen-Q Ölçeğinin Türkçe 'ye Uyarlaması” adlı çalışma literatüre katkı sağlamışlardır [35].

CarMen-Q, Hart ve Steveland tarafından geliştirilmiş zihinsel yük modelini temel alarak formüle edilmiş ve yeni geliştirilmiş bir zihinsel iş yükü değerlendirme ölçeğidir [22]. Carmen-Q yöntemi bilişsel yükü zihinsel talepler, geçici talepler, performans ve duygusal talepler olmak üzere dört boyutta ele almaktadır. CarMen-Q' nun zihinsel iş yükü ölçüm yöntemi, uygulanması kolay ve yüksek güvenilirliğe sahip olan, performans ölçümlerinin büyük ölçüde bireye uygulanan fiziksel yük ve duygusal yükten etkilendiğini kabul eden, bu nedenle Rubio-Valdehita ve arkadaşları tarafından, zihinsel iş yükünün gerçek ve kesin ölçümünün yapılmasını sağlamak için duygusal talepten etkilenen fiziksel yük parametrelerini çıkarılmasıyla geliştirilmiştir [22]. CarMen-Q ölçeği toplamda 25 sorudan oluşmaktadır ve yanıtlar 4'lü Likert ölçeği kullanılarak toplanmaktadır [22].

CarMen-Q değerlendirmeleri içeriğinde zihinsel talepler boyutu; işin gerektirdiği bilgi düzeyi ve iş için yapılması gereken hazırlıklar, işin zorluk, basitlik veya karmaşıklık gibi özelliklerinden kaynaklanan hangi düzeyde algılama, düşünme, hesaplama, seçim yapma ve karar verme gibi faaliyetleri gerektirdiğini, araştırma yapma, bilgi temin etme, bilgileri algılamadaki zorluklar, karmaşık karar verme, bellek yükü ve dikkate alınması gereken bilgi miktarı ile ilişkili olan dokuz boyut temelinde oluşmaktadır. Geçici talepler faktörü ise; iş hızını, işi aksatan kesintilerin varlığını veya çalışanın ihtiyaç duyduğunda mola verme olasılığını, bireyin işi tamamlayabilmesi için gerekli olan süre açısından hissettiği zaman baskısını, işin temposu ve çalışma hızını, art arda gelen faaliyetler arasındaki zaman kısıtını, bireyin dinlenme durumu gibi hususları ölçen dört boyut temelinde araştırmaktadır. Duygusal talepler faktörü, çalışan açısından bireysel ilişkilerin ve sağlığı etkileme durumunu, bireyin işiyle ilgili yaşadığı sorunları, yorgun ve stresli hissetme durumları gibi duygusal zorlanmanın görevler açısından sebep olduğu psikolojik kaygıları değerlendirmeye yönelik yedi boyut temelinde araştırılmaktadır. Performans talepleri faktörü; işe konsantre olma ve hata toleransı, performans gereksinimleri işin sorumluluk derecesi, gerekli yanıtların doğruluğu, hata ciddiyeti olarak beş boyut temelinde araştırılmaktadır [22].

3.3.4. NASA-TLX ve NASA-RTLX yöntemleri

Zihinsel iş yükü ölçüm yöntemlerinden biri olan NASA-TLX yöntemi, literatürde en sık kullanılan zihinsel iş yükü ölçme yöntemidir. Bu yöntem zihinsel iş yükü ölçümünü altı boyutta değerlendirmektedir ve bu altı boyutun puanlaması ve ikili karşılaştırılması olmak üzere iki aşamada iş yükü puanı tespit edilmektedir. Yöntem ilk olarak Hart ve Staveland

tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir [5]. NASA-TLX yöntemi zihinsel, zamansal, fiziksel, performans, çaba ve rahatsızlık seviyesi olarak altı boyut temelinde hesaplamalarla uzman görüşleri değerlendirilmektedir. Nihai sonuç bu altı faktörün ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır.

NASA-RTLX yönteminde NASA-TLX ölçeğindeki gibi altı faktör üzerinden değerlendirilme yapılır. Ancak bu faktörlerin ağırlığı birbirine eşit kabul edilerek iş yükü değerleri hesaplanmaktadır. NASA-TLX göre uygulanması daha basit olmakla birlikte ağırlıklandırma aşamasının olmamasından dolayı karar vericiler arasındaki farklılıklar genel iş yüküne yansıtılamamaktadır [5]. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen gerçek hayat uygulamasında da NASA-TLX yöntemi uygulanmış sektöründe çevik metodoloji ile çalışan ekip üyelerinin zihinsel iş yükü ölçümü için yöntem hesaplama adımlarına dair detay bilgi alt bölüm 5.1’de ayrıntılarıyla sunulmuştur.

3.4. Çevik Metodolojide Zihinsel İş Yükü Ölçümü

Çevik metodoloji ile iş birimlerinden hızlı geri bildirim sağlanarak değişime dayalı olarak sürekli tasarım geliştirilmektedir. Bu avantaj ile çevik metodolojiyi benimseyen ekiplerin değişken şartlara hızlı uyum sağlaması ve problemler karşısında hızlı ve pratik çözüm üretmesi gerekmektedir. Bu metodolojiyi kullanarak çalışmanın, ne kadar proje sonunda karşılaşılabilecek müşteri memnuniyetsizliği riskinin düşmesiyle stres ve baskıyı azaltması beklense de, genellikle iki haftalık tanımlanan sprintler içerisinde kısa sürede hatasız bir iş ya da iş parçası ortaya çıkarma hedefinin oluşturduğu yüksek stres seviyesinden kaynaklanacak ek bilişsel yük miktarı azımsanmamalıdır.

Çevik ekiplerde iş tanımları rol bazlı olarak yapılmaktadır. Ekip içerisinde çalışan yazılım geliştiricilerin hepsi her işi yapabilir düzeyde ve yetkinlikte olmalıdır. Geliştiriciler bekleyen işe göre sprint içerisinde farklı rollerde çalışabilmelidirler. Örneğin; geliştirmesi biten bir sürecin testi, daha önce geliştirici olarak görev yapan başka bir çalışana atanabilir. Bu sebeple çevik ekip üyeleri sprint içerisinde farklı görev tanımlarına sahip işler yapmak zorunda kalmaktadır. Farklı rollerde işler yapıyor olmak yüksek iş çeşitliliği seviyesi ile işin monotonluğunun azalması ve iş organizasyonunda yönetim esnekliği sağlasa da değişken rollere adaptasyon gereği ve işler arası geçiş nedeniyle çalışan stres seviyesini arttırmakta ve bu da diğer faktörlerin yanında çalışanlara ayrı bir ek bilişsel yük oluşturmaktadır.

Çevik metodolojide, zihinsel iş yükünün çalışanlar üzerindeki baskısını yönetmek için birkaç önemli faktör dikkate alınmalıdır. Öncelikle, yapılacak işler ayrıntılı bir şekilde belirlenmelidir. Bu görevler, ürün sahibi (product owner), geliştiriciler ve diğer ekip üyeleri tarafından ortak karar ile tanımlanmalıdır. Çevik metodolojide görevlerin ne kadar zaman alacağı çalışanlar tarafından tahmin temelinde belirlenerek. Tahminler "*story point*" veya benzeri kavramlarla ifade edilmektedir ve bu kavram görevlerin zorluk derecelerini temsil etmektedir. Bu tahminler, geçmiş sprintlerde elde edilen verilere dayanarak görecelilik temeline dayanarak yapılır; daha sonra ise önceliklerine göre sıralanan işler ekip üyelerine dağıtılır. Görevlerin dağılımı, her üyenin beceri setine, deneyimine ve kapasitesinin eşit veya benzer olduğu durumlarda rastgele bir atama ile ilerlemektedir [17]. Bu atama uygulamasında zihinsel iş yükünü dengelemek için çevik koç (scrum master), ekip üyelerine işlerin rastgele atanması sonrasında düzenleme yapmak zorunda kalacaktır ya da takım üyelerinin motivasyon ve performans seviyeleri sprintler ilerledikçe zihinsel yüklenmenin artması nedeni ile düşmeye başlayacaktır.

3.4.1. Çevik metodolojide zihinsel iş yükünün önemi

Çevik metodoloji ile çalışan ekiplerde zihinsel iş yükünün dikkate alınmasının önemi aşağıda sıralanan maddeler temelinde açıklanabilmektedir [20].

- Çevik metodoloji, değişen müşteri gereksinimlerine hızlı bir şekilde yanıt verme amacını taşır. Bu, ekiplerin sürekli olarak yeni gereksinimleri anlamalarını, önceliklendirip planlamalarını gerektirmektedir.
- Çevik metodoloji, sık geri bildirim alışverişi yapmaya teşvik etmektedir. Bu, ekip üyelerinin hızlı bir şekilde geri bildirimleri anlamalarını, değerlendirmelerini ve uygun aksiyonları alarak iyileştirmeler yapmalarını gerektirmektedir.
- Çevik projeler kısa süreli iterasyonlarla çalışır. Bu, ekiplerin belirli bir süre içinde belirli bir işi tamamlamaları mecburiyetini doğurmaktadır. Bu süre zarfında, ekip üyelerinin işlerini zamanında ve etkili bir şekilde yapmaları gerekmektedir.
- Çevik metodoloji, ekip üyeleri arasında sıkı bir iletişim ve iş birliği gerektirmektedir. Bu, ekip üyelerinin sürekli olarak iletişim halinde olmalarını, sorunları çözmek için bir araya gelmelerini ve birlikte çalışmalarını gerektirir. Sürekli iletişim ve iş birliği, sprintte maruz kalınan zihinsel iş yükü seviyesini artırabilir.

- Çevik ekipler, hızlı kararlar almayı gerektirmektedir. Bu durum, ekip üyelerinin hızlı bir şekilde bilgiyi değerlendirmelerini, kararlar almalarını ve bu kararları uygulamalarını gerektirmektedir. Bu da zihinsel olarak yoğun bir süreç olduğunu göstermektedir.
- Çevik metodoloji, belirli aralıklarla işlevsel ürün parçaları üretmeyi hedeflemektedir. Bu nedenle de ekip üyelerinin sürekli olarak değer sağlamalarını ve bu değeri korumak için çalışmalarını gerektirmektedir.

Bahsi geçen nedenlerle, çevik metodoloji ile çalışan ekiplerin üyeleri zihinsel olarak yoğun bir çalışma temposuna ve sürekli odaklanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu durum, değişen şartlara hızlı bir şekilde uyum sağlamalarını, hızlı karar almalarını ve etkili iletişimde bulunmalarını sağlayarak projenin başarılı olmasını desteklerken çalışanlara ek zihinsel iş yükü getireceği bir gerçektir.

3.4.2. Çevik metodolojide zihinsel iş yükünü analiz etmenin faydaları

Çevik ekiplerde zihinsel iş yüküne göre iş dağılımı yapmanın birkaç önemli faydası vardır. Zihinsel iş yükü ne göre iş dağılımı yapmak, her bir ekip üyesinin kapasitesini en iyi şekilde kullanmasını sağlayacaktır. Bu, daha etkili çalışma ve görevlerin hızlı bir şekilde tamamlanması anlamına gelmekle birlikte ekip üyelerinin zihinsel kapasitelerini aşacak kadar iş yükü almasını önleyecek ve aşırı stresin ve tükenmenin önlenmesine yardımcı olacaktır. Sprint içerisindeki iş dağılımını zihinsel iş yüküne dayalı olarak yapmak, ekip üyeleri arasında iş yükünün dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlayacaktır. Böylece, bazı çalışanlara aşırı yüklenilmesi veya bazılarının gereksiz ve verimsiz boş zamanının bulunması engellenebilecektir. Her bir ekip üyesinin iş yükünün yönetilebilir olması, görevlerin daha dikkatli ve kaliteli bir şekilde tamamlanmasını sağlayacaktır [36].

Çevik metodolojide ekip üyelerinin iş yükleri şeffaf olarak bilinmektedir. Bu, ekip içinde işbirliğini artırarak çalışanın meşgul olduğu işin ve ihtiyacı dahilinde kimin yardımcı olabileceğinin bilinmesini sağlayacaktır. Böylece tüm çalışanların zihinsel iş yükü hafifletilebilecektir. Eğer bir ekip veya ekip üyesine aşırı yüklenilmiş ise, bu durum projenin gecikmesine veya nihai ürün için kalitesinde sorunlarına yol açacaktır. Zihinsel iş yükünün dengelenmesi, bu tür riskleri azaltacaktır. Ayrıca, her bir ekip üyesinin yeteneklerini ve kapasitelerini en iyi şekilde kullanabilmesi, motivasyonlarını artıracaktır. Herkesin katkıda bulunabileceği ve değerli hissedebileceği bir çalışma ortamının oluşturulmasıyla ekip

üyeleri kendi kapasitesi doğrultusunda çalışarak, yeni beceriler öğrenme ve mevcut yeteneklerini geliştirme fırsatı bulacaktır.

Sonuç olarak, ekip içi iş dağılımının zihinsel iş yüküne bağlı kalınarak belirlenmesi ile ekip üyelerinin en iyi performanslarını sergilemelerini sağlarken, aşırı yüklenme önlenerek, motivasyon artırılacak ve projenin başarı şansı artırılacaktır.

4. İŞGÜCÜ PLANLAMA ve İŞ DAĞILIMI

İşgücü planlama organizasyonlarda genellikle personel çizelgeleme veya çizelgelenen işlere iş kaynaklarının atanması şeklinde gerçekleştirilir. Personel çizelgeleme veya görevlendirme, bir kuruluşun mal veya hizmetlerine olan talebi karşılayabilmesi için personel için iş çizelgeleri oluşturma sürecidir. Bu sürecin ilk kısmı, hizmet talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan belirli becerilere sahip personel sayısının belirlenmesini içerir. Mevcut çalışma gücü, farklı zamanlarda gerekli personel seviyelerini karşılayacak şekilde vardiyalara dağıtılır ve daha sonra her vardiya için kişilere görevler atanır [37].

İşgücü planlamada temel amaçlar, kaynakları etkin bir şekilde kullanmak, iş yükünü dengeli bir şekilde dağıtmak ve olabildiğince bireysel ve örgütsel ihtiyaçları karşılamak olmalıdır. Uygun iş dağılımı ile, çalışanların ve hizmet alanların ihtiyaçlarını organizasyon hedefleriyle dengeler, iş gücünün ve iş yüklerinin adil ve uygun şekilde planlanmasını sağlayacaktır [38].

Bu son derece kısıtlı ve karmaşık soruna pratik uygulamalar ile iyi çözümler bulmak son derece zoriken; maliyetleri en aza indiren, çalışan tercihlerini karşılayan, vardiyaları çalışanlar arasında eşit bir şekilde dağıtan ve tüm işyeri kısıtlamalarını matematiksel olarak analiz ederek optimal çözümü bulmak belirlemek daha da zordur [39].

İşgücü planlama sürecinin gerçek hayatta uygulama alanları oldukça geniş olmakla birlikte literatürde var olan uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir; ulaşım sistemleri [40], çağrı merkezleri [41], sağlık hizmeti sistemleri, koruma ve acil servis sistemleri [42], kamu hizmetleri sistemleri [43], buluşma yeri sistemleri, finansal sistemler, otelcilik ve turizm sistemleri [44], perakende ve üretim sistemleri [45]. Ulaşım sistemlerinde yürütülen bu operasyonlar genel olarak “*ekip çizelgeleme*” olarak isimlendirilmektedir [46]. Sağlık hizmeti sistemleri içerisinde çalışmalara konu olan “*hemşire çizelgeleme*” problemleri bu alanda literatürde en fazla çalışılan problemlerdendir. Bunlar işgücü planlama uygulamasının yürütüldüğü ve yürütülebileceği önemli alanlardır. Buluşma yeri sistemleri içerisinde havaalanları, kargo terminalleri, tren istasyonları, spor organizasyonları gibi alanlar dahil edilebilir [28].

4.1. İş planlama ve Çizelgeleme Problemlerinin Genel Amaçları

Personel planlaması ve görev atamaları, mevcut işgücünün etkili bir biçimde kullanılması amacıyla gerçekleştirilen analizlerdir [42]. Personel, her türlü operasyonda kritik bir rol oynar; bu nedenle plansız ve düzensiz bir çalışma sistemi iş akışını kökten olumsuz etkileyecektir. Hizmet sürekliliği ve taleplerin karşılanması için işgücü kaynağının etkin ve planlı bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. İş planlama ve çizelgeleme çalışmaları, personel kaynaklı maliyetleri azaltma, işleri dengeli bir şekilde dağıtarak personel verimliliğini artırma, personel taleplerini karşılama ve personellerin yetkin oldukları alanlarda çalışmalarını sağlama gibi hedefleri içerebilmektedir. Bu süreçler aynı zamanda personellerin çalışma koşullarını iyileştirme ve iş memnuniyetlerini artırma amacını taşır [47].

Günümüz ekonomisinde rekabetin ve küreselleşmenin yüksek olduğu mevcut iş çevresi personelin doğru zamanda ve doğru yerde istihdam edilmesini sağlamak açısından bu problemleri daha karmaşık hale getirmiş ve önemini arttırmıştır. Hizmet sistemlerinde iş planlamasının zor olmasının nedeni, üretim sistemlerinde müşteri talebinin zamanında karşılanabilmesi veya ani taleplere hızlı cevap verebilmek için alınan tedbirlerin sürekli olarak mevcut olması gerekliliği var iken, hizmet sistemlerinde ise personel veya hizmetin stoklanamaması gerçeğidir. Hizmet sisteminde talep ve ürün arzının genellikle aynı anda gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, etkin çizelgeleme faaliyetlerinin, karlılık ve firma prestiji açısından büyük önem taşıdığı anlamına gelmektedir. Çünkü doğru zamanlamayla çalışmanın, müşteri memnuniyetini ve işletmenin rekabet avantajını artırması kaçınılmazdır. Bu nedenle, günümüzde işletmeler için etkili iş planlama ve çizelgeleme faaliyetleri, başarılı bir işletme stratejisinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir [48].

Bilgi çağı teknolojilerinin yaygınlaşması tüm süreçlerin dijitalleşme hızını sürekli olarak arttırmakta ve yazılım ürünlerine olan talebi arttırmaktadır. Yazılım sektöründe görev atanması, iş planlama ve çizelgeleme farklı proje yönetimi metotları kullanılarak kaynak planlaması şeklinde yapılmaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde, görev atamalarının zihinsel iş yükü seviyelerinin dikkate alınması bu yöntemler ile olası değildir.

4.2. İş Planlama Problemleri Çözüm Yaklaşımları

İş planlama ve çizelgeleme problemleri farklı yaklaşımlarla çözülebilmektedir. Mevcut literatürde en çok rastlanan yöntemler; matematiksel programlama, sezgisel algoritmalar ve benzetim modellerinin kullanıldığı yaklaşımlardır [49]. Gerek bilimsel araştırmalar gerekse gerçek hayat uygulamalarında kullanılacak çözüm metodolojileri içinde karar vericilere optimal sonuç sunabilen yöntemlerin genelde en çok tercih edilen yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Bunlar genel olarak; doğrusal programlama, tam sayılı programlama, karma tam sayılı programlama yöntemleridir [46]. Personel atama ve çizelgeleme problemlerinde çözüm yaklaşımı için ihtiyaç duyulan personel sayısı, mevcut vardiya düzeni, çalışma günleri, personellerin veya yöneticilerin itekleri gibi veriler doğrultusunda şekillenen problemler ve yüksek değer ve parametre ile zorlayıcı kısıt yapıları nedeniyle NP Hard yapıda çözümlü ek çözüm araçlarına ihtiyaç duyulan problem tipleridir [47].

İş planlama ve çizelgelme gibi problemlerin birbirleri ile çelişen çok farklı amaçlar sahip olmaları problemin çözümünü oldukça zorlaştırmaktadır. Böyle durumlarda, çelişen amaçları optimum kılan tek bir çözüm bulmak olanaksız olabilir. Bunun yerine, her amacın önem derecesini temel alan uzaklaşık çözümler bulunabilir. Orijinal hali çok amaçlı olan problemi tek amaçlı problem haline getirerek etkin bir çözüm bulmak hedeflenir [50].

4.2.1. Matematiksel programlama mantığına dayalı yöntemler

Matematiksel programlama formülasyonlarının bir avantajı, birden fazla ölçütü tek bir amaç fonksiyonu altında birleştirebilme yetenekleridir. Bu, çeşitli hedefleri optimize etmek ve çözümü daha anlamlı hale getirmek için kullanışlıdır. Ancak, büyük ölçekli problemler için bu tür modellerin çözülmesi genellikle zaman ve hesaplama gücü açısından zorlayıcı olabilir. Bu nedenle, büyük çizelgeleme problemleri genellikle benzer ama daha özel tekniklerle çözülmeye çalışılır [51].

Hedef programlama

Hedef programlama modeli, birden fazla amacı olan problemi tek bir amacı olan probleme dönüştürmeye çalışan optimizasyon yöntemidir. Hedef programlama üzerine çalışmalar 1970'li yıllarda Charnes ve Chooper tarafından başlatılmıştır. Lee [52], Ignizio [53] ile

Romero [54] tarafından daha da geliştirilmiştir. Bu çalışmaların ilk aşamasında hedef programlama modelinin genel yapısı belirlenmiş, ikinci aşamasında hedef fonksiyonunun öncelik kavramlarına değinilmiş ve son olarak ortaya koyulan önceliklere ait ağırlıklar belirlenmiştir [55].

Hedef programlama modeli oluşturulurken ilk önce hedefler belirlenir, amaçlar birer kısıt haline dönüştürülür. Bu modelde, hedefleri doğrudan optimize etmek yerine tahmini/beklenen hedef değerlere ulaşmak istenir. Hedef programlama modelinde amaç, tahmini/beklenen hedef değerlerinden sapma miktarını en küçükmeye çalışmaktır. Sapma değişkeni, hedeflenen amaç ile modelin çözümü ile elde edilen sonuç arasındaki farkı ölçer. Bu sapma miktarları pozitif ve negatif olarak ikiye ayrılmaktadır. Ulaşmak istenen hedef aşıldıysa sapma pozitif (d_i^+), hedefin altında bir değer elde edildiyse sapma negatiftir (d_i^-). Burada i ulaşmak istenen hedef sayısını gösterir [56].

İş gücü planlama ve çizelgeleme, oldukça emek isteyen ve vakit alan bir süreçtir. Birçok zorunlu kısıtın ve personel ile hizmet alan memnuniyetinin aynı anda sağlanmak istenmesi, çizelgeleme problemini daha karmaşık hale getirebilir. Günümüzde uygulanan yenilikçi sistemler sayesinde, bu süreci daha hızlı ve etkili hale getirmek mümkündür.

Bazı durumlarda karar vericiler çok amaçlı problemlerle karşılaşabilmektedirler. Çok amaçlı modellerde her bir amaç için optimal çözümler bulma yerine hepsi için etkin bir çözüm bulunmaya çalışılır. Etkin çözüm, tüm amaçların hepsinde aynı anda iyileştirilemeyen çözümdür. Etkin çözümde yapılan bir değişiklik bir amacı iyileştirirken diğerlerini kötüleştirebilmektedir. Etkin çözümler üretmek amacıyla başlangıç problemi genellikle tek amaçlı probleme dönüştürülerek çözümler yürütülür [57].

Hedef programlama, çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir matematiksel modelleme tekniğidir. Bu yöntem, birçok amaç arasında benzerliklerin ve çelişkilerin bulunduğu durumları ele almakta kullanılır ve bu durumda her bir amacı bir kısıt olarak kabul eder. Yöntem problem uzayında var olan amaçları ağırlıklandırarak, önceliklendirerek ya da iteratif olarak düzenleyerek çözüm arar. Hedef programlama çeşitli amaçları birleştirip uyumlu bir şekilde hedefe ulaşma çabası için kullanılmaktadır. Bu yöntem, karar verme süreçlerini daha etkili ve çok amaçlı hedeflere uygun bir şekilde yönetme açısından karar vericilere avantaj sağlamaktadır [58].

HP, belirli kararlar çerçevesinde farklı ve çelişen amaçların en iyilenmesini aynı anda sağlayan ve karar vericiyi “*etkin çözüme*” ulaştıran matematiksel bir yöntemdir. HP modellerini diğer matematiksel modellerden farklı kılan amaç fonksiyonunda hiçbir karar değişkeninin bulunmamasıdır. Bunun yerine amaç fonksiyonunda hedef değerlerini temsil eden hedef kısıtlarından sapmaları temsil eden değişkenlerinin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Modelde bulunan d^- ve d^+ istenmeyen sapma değerlerinden en az biri, aynı anda hedefin beklenen değerinden hem pozitif hem de negatif yönde sapma olamayacağından, sıfır değerini almalıdır. Aşağıda HP matematiksel modelleme yönteminin kullanımına örnek teşkil edecek bir kapalı model Eş. (4.4)- (4.7) ile gösterilmiştir.

$$Enk Z = \sum_i^I (d_i^+ + d_i^-) \quad (4.4)$$

Kısıtlar;

$$a_{ij} * x_j + d_i^- - d_i^+ \leq b_i \quad (4.5)$$

$$x_j \geq 0 \quad (4.6)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (4.7)$$

$$I = 1, 2, \dots, i$$

$$J = 1, 2, \dots, j$$

Atama ve planlama gibi karar problemlerinde, problem yapısı gereği çözüm uzayı ikili değer alabilen karar değişkenlerinden oluşacağı için 0-1 HP modelleri kullanılmaktadır. 0-1 HP karar değişkeni değerlerinin yalnızca sıfır ya da bir değerini alacağı bir HP türüdür [48]. HP ve 0-1 HP modellerinin ayrıntılı açıklaması alt bölüm 5.3’ te sunulmaktadır.

5. YÖNTEMLER

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılacak yöntemler, yöntem aşama adımlarında yer alan hesaplamalar ve algoritmalar sunulmaktadır.

5.1. NASA-TLX

NASA-TLX yöntemi zihinsel iş yükü ölçümü yapan öznel iş yükü ölçüm yöntemlerinden biridir. Literatürde en sık kullanılan yöntem olan NASA-TLX Hart ve Staveland tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir [59]. Bu yöntem zihinsel iş yükünü altı boyutta değerlendirir ve hesaplamalar üç aşamadan oluşmaktadır, puanlama ve ikili karşılaştırma ve nihai sonucun hesaplanması adımları ile zihinsel iş yükü puanı tespit edilmektedir [25].

Yöntemin, düşük iş yükü seviyelerinde dahi hassas ölçümler sağlayabildiği literatürde verilmiştir [60]. Yöntemin değerlendirme yaptığı altı iş yükü boyutunun tanımları aşağıda verildiği gibidir. Çizelge 5.1’ de NASA-TLX alt boyutları değerlendirme ölçekleri ve açıklamaları sunulmaktadır.

Çizelge 5.3.’te öznel zihinsel iş yükü ölçüm yöntemlerinin genel bir özeti yer almaktadır. Bu çizelgeye göre yazılım sektöründe zihinsel iş yükü ölçümünün NASA-TLX ile yapılmasında boyut sayısının ve çözüm kolaylığının avantajından faydalandığı söylenebilir.

Çizelge 5.1. Zihinsel iş yükü ölçümlerinin kıyaslanması

	Kullanılan Ölçek	Boyut	Yöntem Türü	Araştırmacılar	Temel Avantaj	Temel Dezavantaj
Cooper Harper Değerlendirme Ölçeği	1-10 arası puanlama	Tek Boyutlu	Öznel	Cooper & Harper, 1969	Tek bir iş yükü boyutunu incelemek avantajlıdır	Diğer boyutlar ile ilgili fikir vermez
SWAT	Üç boyut her biri üç farklı puan sıralaması	Üç Boyutlu	Öznel	Reid & Nygren, 1988	Sadece üç boyut için avantajlıdır	Kullanımı için yazılım gerektirir

Çizelge 5.1. (devam) Zihinsel iş yükü ölçümlerinin kıyaslanması

	Kullanılan Ölçek	Boyut	Yöntem Türü	Araştırmacılar	Temel Avantaj	Temel Dezavantaj
Nasa Bipolar Tekniği	Dokuz iş yükü ölçütü puanlama ve sıralama	Dokuz Boyut	Öznel	Hart ve ark., 1984	Geniş bir değerlendirme sağlar	Aktivite tipi ölçütü fiziksel bir aktiviteyi gerektirir
İş yükü profile	Sekiz satır ve sekiz sütundan oluşan iş yükü boyutu 0-1 arası derecelendirme	Sekiz boyutlu	Öznel	Tsang&Velazquez, 1996	Aynı tip görevler ayrıntılı değerlendirilir	Çalışanın aynı işleri yapıyor olmasını gerektirir
Bedford Ölçütü	1 ile 10 arasında değişen derecelendirmeler	Tek Boyutlu	Öznel	Roscoe & Ellis, 1990	Çok kısa sürmektedir	Tek bir boyut için değerlendirme yapılır
Toplam İş Yüğü	1 ile 100 arasında değişen 20 adımlı derecelendirme	Tek Boyutlu	Öznel	Vidulich, Ward, & Schueren, 1991	İş yükünün genel anlamda değerlendirilmesini sağlar	Tek bir boyuta yeterli anlam yüklenemez
NASA-TLX	Altı boyuta verilen puanların ağırlıklı ortalaması	Altı Boyutlu	Öznel	Hart & Staveland, 1988	Altı boyutu değerlendirme için avantajlıdır	Bazı boyutların puanlanmasında zıt anlam söz konusudur (iyi-kötü)

- Zihinsel Gereksinimler (Mental Demand MD): İşin ne ölçüde düşünme gerektirdiğini tanımlar.
- Fiziksel Gereksinimler (Physical Demand FD): İşin gerçekleştirilmesi için ne kadar fiziksel güç gerektiği ve zorluğunun ne kadar olduğunu tanımlar.
- Zamansal Gereksinim (Temporal Demand TD): İşin neticelendirilmesine yönelik meydana gelen zaman baskısı, arka arkaya sürekli eylemler arasındaki zaman sıkışıklığının ne miktarda olduğunu tanımlar.
- Efor Düzeyi (Effort E): İşin tamamlanması için harcanması gereken zihinsel ve fiziksel güç olarak tanımlanır.
- Performans (Performance P): İşin ortaya konulmasındaki başarı düzeyini temsil eder.

- Rahatsızlık Seviyesi (Frustration F): Çalışanın hissettiği baskı veya ortaya çıkan motivasyon bozuklukları temsil eder.

Çizelge 5.2. NASA-TLX alt boyut tanımları

İş Yükü Boyutu	Değerlendirme Ölçeği	Açıklama
Zihinsel Talep (MD)	Düşük/Yüksek	Ne kadar zihinsel ve algılama aktivitesine ihtiyaç duyulmakta olduğu (düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlatma, bakma, arama vb.) yani, görevin sade mi karşık mı olduğunu ifade etmektedir.
Fiziksel Talep (PD)	Düşük/Yüksek	Ne kadar fiziksel aktiviteye ihtiyaç duyulmakta (ittirme, çekme, çevirme, kontrol etme, çalıştırma vb.) olduğunu, yani, görevin basit mi yorucu mu, yavaş mı hızlı mı yapılabilir mi ifade etmektedir.
Zamansal Talep (TD)	Düşük/Yüksek	Görevi yerine getirirken hızlı olma gereği duyulup duyulmadığını ölçmektedir. Belirli bir görev yerine getirilirken ne kadar zaman baskısının hissedildiğini göstermektedir.
Performans (PL)	İyi/Kötü (yetersiz)	Verilen görevin hedeflerine ulaşmada karar vericiye göre veya denetçilere göre ne derece başarılı hissedildiğini ifade etmektedir. Görevi yerine getirirken ne derece tatmin olunduğunu göstermektedir.
Çaba/Efor (EL)	Düşük/Yüksek	Görevi yerine getirmek için ne kadar ağır çalışma gerekte olduğunu ifade etmektedir. (zihinsel ve fiziksel)
Rahatsızlık Seviyesi (FL)	Düşük/Yüksek	Görevi yerine getirirken ne kadar güvensiz, zarar görmüş, gerilmiş, sinirlenmiş, karışık, gevşek ya da karmaşık hissedildiğini ifade etmektedir.

NASA-TLX yöntemi oranlama, ağırlıklandırma ve genel iş yükünü belirleme olmak üzere üç aşamalı bir yöntemdir. Oranlama aşamasında altı alt boyutun yapılan işe etkisi; "çok düşük ile "çok yüksek" arasında oluşturulan ölçek üzerinde puanlandırma yapılarak belirlenmekte ve daha sonra 0-100 arasında puanlara karşılık gelen değerler ağırlıklandırılmamış iş yükü değeri olarak kabul edilmektedir [61].

İkinci aşama olan ağırlıklandırma aşamasında ise; her karar verici altı boyuttu iş yüküne katkısı oranında değerlendirmektedir. Ağırlıkların ortaya çıkarılması için ikili karşılaştırma matrisleri olarak da bilinen İkili Karşılaştırma Tekniği (Pairwise Technique- PWT) kullanılır. Bu teknikte, altı alt boyut arasında iş kapsamında iş yüküne etkisi açısından ikili olarak on beş kıyaslama detaylı olarak Çizelge 5.2.' de verilmiştir. Karar vericiler ikili karşılaştırmalar sırasında iş yüküne en fazla etkisi olan boyutu belirleyerek her boyutun sıklık değeri yani kaç kez seçildiği hesaplanır. Böylece her boyutun frekans değeri elde edilmektedir. Her alt boyut için çıkan değer 15' e bölünerek o boyut için ağırlık değeri hesaplanır [20].

Son adımda ise, genel iş yükü indeksi (Task Load Index- TLX); oranlama sonuçları ile her kriterin ağırlık değerinin Eş. 5.1'e göre birleştirilmesi ile elde edilir.

Çizelge 5.3. NASA-TLX ağırlıklandırma ölçeği

Zihinsel Talep	Fiziksel Talep
Zamansal Talep	Fiziksel Talep
Performans	Zihinsel Talep
Rahatsızlık Seviyesi	Zamansal Talep
Efor	Performans
Zamansal Talep	Performans
Efor	Zamansal Talep
Fiziksel Talep	Efor
Zihinsel Talep	Zamansal Talep
Rahatsızlık Seviyesi	Fiziksel Talep
Efor	Zihinsel Talep
Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel Talep
Performans	Fiziksel Talep
Rahatsızlık Seviyesi	Performans
Rahatsızlık Seviyesi	Efor

$$\text{Zihinsel İş Yükü} = MD \times W_{MD} + PD \times W_{PD} + TD \times W_{TD} + P \times W_P + E \times W_E + F \times W_F \quad (5.1)$$

Burada, W_{xx} , herbir iş yükü alt faktörünün ağırlığını göstermektedir. MD , PD , TD , F , E ve P oranlama aşamasında altı faktörün herbiri için belirlenen oranlama değerleridir.

NASA-TLX Yöntemi ile puanlama aşamasından sonra Çizelge 5.2.'de yer alan ikili karşılaştırma ile elde edilen ağırlığın, ilgili puanlar ile çarpılması sonucu Eş. 5.1 ile seçilen iş için zihinsel iş yükü puanı elde edilmektedir.

5.2. SWARA Yöntemi

Karar verme, bireylerin yaşamları boyunca sıkça karşılaştığı bir süreçtir. Kişisel, çevresel veya toplumsal konularda belirli bir hedefe ulaşmak için çeşitli alternatifler arasında seçim yapma eylemidir. İnsanlar, yaşamları boyunca bir dizi karar verme süreciyle karşılaşır ve bu süreç, belirli bir amaç doğrultusunda en uygun seçenekleri belirleme çabasını içerir [62, 63].

Aytürk [63] ise karar verme sürecinin aşamalarının genel yapısının şu şekilde olduğunu öne sürmüştür;

- Problemin tanımlanması,
- Amaçların, kısıtların ve kriterlerin belirlenmesi,
- Seçeneklerin veya alternatiflerin belirlenmesi,
- Problemin modellenmesi ve çözümün elde edilmesi,
- Kararın uygulanması,
- Sonuçların değerlendirilmesi.

Son yıllarda karar verme süreci, artan alternatif sayıları, dikkate alınan karar kriterlerinin çelişmesi ve değerlerinin birbirine yakınlığı dolayısıyla oldukça karmaşık ve zor bir görev haline gelmiştir. Bu karar ortamında doğru kararlar alabilmek, ekonomik zorluklar ve müşteri bilincindeki artış gibi şartlar altında giderek daha kritik hale gelmektedir. Doğru ve geçerli kararlar alan firmalar, pazar paylarını koruyabilir, karlılıklarını artırabilir ve büyüme şansını elde edebilirler. Sağlıklı bir karar verme süreci için harcanan zamanı ve maliyetleri azaltmak, aynı zamanda firma geleceği için stratejik hamleleri doğru bir şekilde belirlemek adına günümüzde en etkin ve verimli yöntemlerden biri olarak kabul edilen ÇKKV yöntemlerini kullanmak gerekmektedir [63].

Karar problemlerinde faydalanan ÇKKV yöntemlerini geliştirilen yöntemleri sınıflandırmak için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar, karar vericinin kimliği, karar verme probleminin deterministik veya stokastik yapısı, seçeneklerin sayısı, problemin kısıtlarının ve amaç fonksiyonlarının yapısı gibi çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Örneğin, bu sınıflandırma karar verici olarak bir kişi veya bir grup olmasına odaklanabilir. Diğer bir sınıflandırma ise karar verme probleminin deterministik (belirli) ya da stokastik (rastgele) yapısını ele alabilir. Ayrıca, seçeneklerin sayısı (sonlu veya sonsuz), problemin

kısıtlarının ve amaç fonksiyonlarının doğrusal ya da doğrusal olmayan yapısı gibi faktörlere göre de sınıflandırma yapmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar, karar vericilere uygun çözüm yöntemlerini seçme konusunda yardımcı olabilir ve problem özelliklerine daha iyi uyan teknikleri belirlemede rehberlik edebilir [49].

SWARA yöntemi 2010 yılında Keršulienė, Zavadskas ve Turskis [64] tarafından geliştirilmiştir. SWARA, diğer birçok ÇKKV metodolojisi arasında yeni sayılabilecek olmasına rağmen, üstün özellikleri nedeniyle kendine fark edilir bir uygulama alanı bulmuştur. SWARA yöntemi, karar vericiye önceliklerini seçme şansı veren uzman görüşleri merkezli bir yöntem olarak bilinmektedir [65].

SWARA yöntemi, verilerin dilsel olarak değerlendirilmesi sürecinde yer alan belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. Ağırlıklandırma için kullanılan diğer ÇKKV yöntemleri AHP veya ANP gibi, SWARA da uzman görüşlerine dayalı öznel bir ağırlıklandırma ÇKKV yöntemidir ancak bir artı olarak, burada uzmanların bu yöntemin daha basit hesaplama yapısı sayesinde DM sürecine daha kolay katılması sağlanır. Ayrıca, özellikle ikili karşılaştırmalara dayalı AHP veya ANP yöntemlerine göre, önemli ölçüde daha az sayıda ikili karşılaştırma SWARA yönteminin bir başka avantajı olarak belirtilebilir [66]. SWARA, ÇKKV yöntemin değerlendiricilerin önemi diğer yöntemlere göre daha yüksektir [6].

SWARA, literatürde yer alan çok sayıda ÇKKV aracı arasında oldukça yeni sayılabilecek bir çözüm metodolojisi olsada, uzmanlardan veri toplanması ve karar vericilerin koordine edilmesinde kullanışlı olmasının yanı sıra öne çıkan özellikleriyle de kendisine mevcut literatürde hatırı sayılır bir uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntemin genel işleyiş mekanizması ayrıca kullanılması, çeşitli uzmanlık alanlardan karar vericilerin bir araya getirilerek kendi aralarında kolaylıkla etkileşimde bulunabilmelerine olanak sağlaması açısından da avantajlıdır [65]. Karar problemlerinde görev alan uzmanlar sırasıyla girdi verilerini ve ele alınan problemin kriterlerini değerlendirirken ve sıralarken kendi örtülü bilgi ve deneyimlerini kullanmaktadırlar.

Ağırlıkların belirlenmesi sürecinde kriterlerin önem oranlarına ilişkin uzman görüşlerinin tahmin edilebilmesi, SWARA'nın kullanıcılara sunduğu temel avantajdır. Üstelik bu yöntem benzerlerine göre koordinasyon ve uzmanlardan veri toplama konusunda işlem sadeliği ve

hesaplama mekanizmasının kolay anlaşılabilirliği temelinde de ek eğitim gerektirmeme gibi avantajlar sunmaktadır. Bu yöntemin karar vermedeki temel avantajlarından bir diğeri ise bazı problemlerde önceliklerin, iyi bilinen bazı politikalara göre tanımlanması ve bu kriterlerin her zaman problemin ihtiyaçlarına uygun olması zorunluluğunun bulunmamasıdır. Bu tür durumlarda SWARA metodolojisi, belirlenen kriterlerin ve ait oldukları ağırlık değerlerinin ne olacağına karar vericilerin karar vermesini sağlamamaktadır [67].

SWARA yönteminin hesaplama mekanizması aşağıda yer alan adımlar halinde özetlenmiştir [64].

Adım 1. Probleme ilişkin kriterler ve seçim sürecine katılacak karar vericilerden (KV) oluşan karar verme grubu belirlenmektedir. Problemde n tane kriterin ($C_j, j=1, 2, \dots, n$) ve k tane karar vericinin ($KV_k, k=1, 2, \dots, K$) bulunduğu varsayılmaktadır.

Adım 2. Bu adımda seçim sürecine katılan her KV, kendi bilgileri ve deneyimlerine dayalı olarak kriterleri değerlendirmektedir. Bu değerlendirmenin ardından KVlerden, kriterleri en iyiden en kötüye doğru sıralamaları istenmektedir. Bu bütünleştirilmiş sıralamada C_1 ve C_n , en iyi ve en kötü kriteri belirtmektedir.

Adım 3. Bütünleştirilmiş sıralama dikkate alınarak her KV, ikinci sıradaki kriterden başlayarak kriterlerin karşılaştırmalı ağırlığını belirlemektedir. Bu belirlemede KVler, en önemli kritere “1,00” puanını vermektedir. Diğer kriterlere atanan puanlar, en önemli kritere göre yapılmaktadır ve tüm puanlar 0 ile 1 arasında 5’in katları olacak şekilde atanmaktadır. KV bazında yapılan karşılaştırmalı ağırlıkların ortalamalarının alınması ile her kriter için karşılaştırmalı ağırlıkların ortalamaları (s_j) hesaplanmaktadır. Örneğin s_1 , birinci önemli kriter ile ikinci önemli kriter arasındaki karşılaştırmalı ağırlığın ortalama değerini göstermektedir.

Adım 4. Her kriter için Eşitlik 5.2.’de verilen bir katsayı (k_j) hesaplanmaktadır. Kriterlerin ortak sıralamasında en önemli kriterin k_j katsayısı, “1” olarak atanmaktadır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (5.2)$$

Adım 5. Her bir kriter için ağırlık (q_j), Eşitlik 5.3. yardımıyla hesaplanmaktadır. Bir önceki adımda olduğu gibi kriterlerin ortak sıralamasında en önemli kriterin w_j katsayısı “1” dir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (5.3)$$

Adım 6. Son olarak bir önceki adımda hesaplanan kriter ağırlıkları (q_j), kriter ağırlıkları toplamına bölünerek her bir kriterin nihai ağırlığı (w_j) bulunmaktadır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (5.4)$$

5.2.1. Kararsız bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi

Bu çalışmada bulanık SWARA yöntemi hesaplama mekanizmasının kolay olması, benzerleri gibi çok sayıda ikili karşılaştırma turu gerektirmemesi ve ayrıca çeşitli alanlardan toplanan uzmanlar arasında yapılandırılmış etkin bir etkileşim kurmadaki başarısı gibi avantajları temelinde 0-1 HP modelleri hedeflerinin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır [65, 67].

Karmaşık karar problemlerinin çözümünde karar vericilere ait verilere ulaşmak zor olabilir veya mümkün olmayabilir. Bu tür durumlarda, karar problemi hakkındaki bilgiler, deneyim sahibi kişilere danışılarak elde edilebilir. Problem uzmanları genellikle görüşlerini dilsel terimler kullanarak ifade ederler ve bu durumdakilisel terimlerin matematiksel olarak ifade edilmesinden kaynaklanan veri kaybını en aza indirebilmek amacıyla bu problemler bulanık küme teorisinden yararlanarak ele alınır [68]. Bulanık küme teorisi, belirsizlik içeren veya sayısal verilerle tam olarak ifade edilemeyen durumları modellemek için kullanılır. Özel değerlendirmeler genellikle belirsizlik içermektedir ve bu nedenle bu tür değerlendirmeleri ifade etmek için bulanık küme teorisi kullanışlı bir araçtır. Bu teori, belirsizliği daha iyi yönetmek ve karar vericilere daha esnek bir çerçeve sunmak amacıyla geliştirilmiş ve mevcut literatürde çeşitli çözüm yöntemleri ile bütünleşik olarak uygulandığı sayısız değerli çalışma bulunmaktadır [69, 70, 66].

Bazı karar problemlerinde, dilsel değişkenler aracılığıyla karar vericilerdeki belirsizlik ele alınmaya çalışılır. Bu tür problemlerde, bulanık sayılar dilsel ifadeler üzerinden işlem

yapmayı sağlar. Bulanık sayılar, belirsiz veya subjektif bilgilerin daha etkili bir şekilde temsil edilmesine yardımcı olan matematiksel bir kavramdır. Geleneksel bulanık küme teorisi göz önüne alındığında, bir x ögesi A kümesine aitse üyelik değeri “1”, A kümesine ait değilse üyelik değeri “0” dır [67]. Bulanık mantık alanında yapılan ilk çalışmanın Azeri asıllı bilim adamı Lotfi A. Zadeh [71] tarafından 1965 yılında Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) adlı makalesini yayınlamasıyla literatüre kazandırılmıştır. Zadeh [71] bu çalışmada insan düşüncesindeki bulanıklık ve gerçek hayatta karşımıza çıkan durumlar değerlendirildiğinde 0 ve 1 değerlerinden oluşan ikili mantık sisteminin problemlerin çözümündeki yetersizliğini konu almıştır. Geleneksel küme teorisine bakıldığında bir eleman o kümeye aitse 1, ait değilse 0 olarak belirtilmektedir. Bulanık küme kavramına baktığımızda ise üyeler 0 ve 1 değerleri arasında değişen esnek değerler alabilmektedirler. Bu esneklik bulanık mantık bakış açısını daha cazip hale getirmektedir [72]. Tereddütlü bulanık sayılar, bulanık sayıların bir türüdür ve karar vericinin görüşünü birden fazla dilsel terim kullanarak ifade etmesine olanak tanır. Bu sayede karar verici kriterlerle ilgili “belirsizlik” veya “tereddütü” daha iyi değerlendirilebilir ve ifadelerdeki belirsizlik seviyesi azaltılabilir. Kararsız bulanık sayılar, karar verme süreçlerinde subjektif değerlendirmeleri daha etkili bir şekilde yönetmek için kullanılan bir araçtır.

Tereddütü bulanık dilsel terimler

Tereddütü Bulanık Dilsel Terim Kümeleri (HFLT), karar vericilerin karar verme sürecinde bakış açılarını kısaca ifade etmelerini kolaylaştırmaktadır. HF dilsel terimlerin yönteme entegrasyonu sayesinde karar verici içerikten bağımsız, birden fazla dilsel terimin bağlaçlar yardımıyla birleştirildiği dilsel ifadelerle düşüncesini aktarabilmektedir. Bulanık kümelerin çoğu uzantısında karar verici/uzmanların görüşlerini tek bir dilsel terimle ifade etmesi istenmektedir. HF kümeler ise karar vericinin görüşünü birden fazla dilsel değişkenle ifade etmesini mümkün hâle getirip, daha esnek değerlendirmeler yapmasına imkân tanımaktadır [69].

Tereddütü Bulanık Küme (HFS) ve HFLT' ler ile ilgili bazı açıklamalar aşağıda sunulmuştur [73]:

Tanım 1. X bir referans kümesi olsun, X üzerindeki Tereddütü Bulanık Kümeler (HF'LER) $[0, 1]$ 'deki bir değer alt kümesini döndüren bir h işlevi olsun: $h: X \rightarrow \{[0,1]\}$

Sonuç olarak, bir HFS, bulanık kümeler koleksiyonunun üyelik işlevlerinin toplamı olarak tanımlanır. X ve Y birbirini izleyen dilsel ifadelerdir.

Tanım 2. Bir HFLTS olan H_s sonlu sıralı kümenin bir alt kümedir ardışık dil cümleleri $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ burada $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ aşağıdaki koşulları karşılayan dilsel bir terim kümesidir:

$$S: s_i \leq s_j \text{ eğer } i \leq j$$

Bir olumsuzlama operatörü: $\text{Neg}(s_i) = s_j$ böylece $j = g - i$.

Bir maksimizasyon operatörü: $\max(s_i, s_j) = s_i$, eğer $i \geq j$.

Bir küçültme operatörü: $\min(s_i, s_j) = s_i$ eğer $i \leq j$.

Tanım 3. HFLTS üst ve alt aralıkları Eş 5.5’de gösterilmiştir.

$$H_{s+} = \max(s_i) = s_j, s_i \in H_s \text{ ve } s_i \leq s_j \quad \forall i;$$

$$H_{s-} = \min(s_i) = s_j, s_i \in H_s \text{ ve } s_j \leq s_i \quad \forall i; \quad (5.5)$$

Tanım 4. Dilsel bir aralık HFLTS’nin bir bölümünü temsil eden $\text{env}(H_s)$ üst ve alt sınırları Eş.5.6’da belirlenmiştir [74].

$$\text{env}(H_s) = [H_{s-}, H_{s+}], H_{s-} \leq H_{s+} \quad (5.6)$$

HF – SWARA Yöntemi

Zaman içerisinde klasik bulanık küme teorisinin gerçek hayat problemlerine çözüm getirmede eksik kaldığı noktalara ilişkin çeşitli eleştiriler getirilmiş ve bu eksikliklerin giderilebilmesi amacıyla çeşitli bulanık küme uzantıları önerilmiştir. Bu uzantılardan biri de Torra (2010) tarafından geliştirilen tereddütlü (kararsız) bulanık (hesitant fuzzy-HF) kümelerdir [75]. HF dilsel terimler kümesi ile karar vericilerin/uzmanların farklı dilsel terimler arasında seçim yapmada tereddüte düştüğü durumlar için çözüm üretilebilmektedir. Bahse konu tereddütler altında etkin çözümün elde edilebilmesi amacıyla da bu çalışmada, HF dilsel terim kümeleri ile SWARA yöntemi birlikte kullanılmıştır [76].

Tereddütlü Bulanık SWARA (HF–SWARA) yönteminin, SWARA yönteminden farkı uygulama esnasında bulanık ifadelerin kullanılmasıdır. Bulanık mantık üzerine kurgulanmış olan Bulanık SWARA yöntemi, karar verirken yaşanan zorlukların ve etkenler nedeniyle

karmaşıklılaşan değerlendirme sürecinin daha etkin ve gerçeğe yakın şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır [72].

HF-SWARA yöntemi ile bir karar probleminde kriter ağırlıkları aşağıda verilen adımlar izlenerek hesaplanır [69].

Adım 1: Karar probleminin hedef ve kriterlerinin tanımlanması; uzman grubunun belirlenmesi: İlk adım, karar problemindeki hedef veya kriterlerin belirlenmesidir. Bu adımda ayrıca kararı belirlemede görüşlerine başvurulacak uzman grubunun belirlenmesi gerçekleştirilir.

Adım 2: Uzman görüşlerine göre en önemli kriterlerin tespit edilmesi: Uzman grubunun her bir üyesinden, kararı etkileyen kriterlerin önem sırasını belirtmesi istenir. $C_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ kriterinin $u_k (k = 1, 2, 3, \dots, p)$ uzman grubu üyesi tarafından t_{jk} sıralaması ile değerlendirildiğini kabul edelim. Her bir uzmanın görüşünün eşit değerde olduğu kabul edilirse, C_j kriterinin genel sıralaması t_j , Eş 5.7’de verildiği gibi uzman grubu tarafından belirlenmiş sıra değerlerinin ortalamasıdır.

$$t_j = \sum_{k=1}^p t_{jk} / p \quad (5.7)$$

Adım 3: En önemli kriterlere göre kriterlerin göreceli önem derecelerinin belirlenmesi: Uzman grubunun her bir üyesinden; kararı etkileyen her bir kriterin en önemli kritere göre göreceli önemini, S kümesinden kararsız bulanık dilsel terimler kullanılarak belirtilmesi istenir. Karar verici, görüşünü tek bir dilsel terimle ifade edebileceği gibi, “arasında” bağlacı kullanılarak iki veya daha fazla dilsel terimle de görüşünü bildirebilir.

$$S = \{s_0 = \text{oldukça az önem}, s_1 = \text{çok güçlü bir biçimde az önem}, \\ s_2 = \text{güçlü bir biçimde az önem}, s_3 = \text{çok az önem}, s_4 = \text{hafifçe az önem}, \\ s_5 = \text{eşit önem}, s_6 = \text{hafifçe daha fazla önem}, s_7 = \text{çok daha fazla önem} \}$$

Adım 4: Uzman görüşlerinin bütünleştirilmesi: Bu adımda, her bir kriter için uzman grubunun farklı üyelerinin görüşleri Eş 5.8’de verilen yığılma operatörü yardımıyla bütünleştirilir. Bütünleştirme işlemi öncesinde, eğer bütünleştirilecek eleman farklı sayıda dilsel terim içeriyorsa, az sayıda eleman içeren terimler, küme içerisindeki en büyük eleman eklenerek en fazla sayıda elemanı olan kümeyle eleman sayısı eşitlenir.

$$HFLWA(H_1, H_2, H_3, \dots, H_p) = \prod_{k=1}^p (w_k H_k) = \bigcup_{s_{a_k}} \in H_k \{S_{\sum_{k=1}^p w_k a_k}\} \quad (5.8)$$

Formülde $H_1, H_2, H_3, \dots, H_p$ bütünleştirilecek kararsız bulanık dilsel kümeleri, w_k uzman grubunun k . üyesinin görüşüne verilen önem derecesini, a_k ise k . uzman tarafından yapılan değerlendirmede kullanılan dilsel terimleri ifade etmektedir.

Adım 5: Kriter puanlarının hesaplanması: Yöntemin bu adımında, bütünleştirilmiş uzman görüşlerinde yer alan değerler kullanılarak kriter puanı (s_j) hesaplanır ve dilsel terim kümeleri tek bir değere indirgenir. Kriter puanı Eş 5.9 ile verilen skor fonksiyonu yardımıyla hesaplanır.

$$\rho H_s = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{\varphi^l}{\#H-1} \quad (5.9)$$

H_s kararsız bulanık kümenin puanı hesaplanırken; L kümenin eleman sayısını, φ^l küme elemanlarını, h ise dilsel ölçekte yer alan toplam eleman sayısını ifade etmektedir.

Adım 6: Kriter katsayılarının ve önem vektörünün hesaplanması: Bu adımda en önemli kriter de hesaba katılır. Eş 5.10'da açıklandığı gibi diğer kriter ise hesaplanan kriter puanlarına 1 eklenerek kriter katsayıları K_j hesaplanır, en önemli kriter için kriter katsayısı 1 alınır.

$$K_j = \{ 1 \quad j = 1, \quad s_j + 1 \quad j > 1 \} \quad (5.10)$$

Daha sonra önem vektörü hesaplanır. Önem vektöründe en önemli vektörün değeri (T_j) 1 kabul edilir. Eş 5.11'de belirtildiği üzere, diğer kriterler için, kendinden daha yüksek öneme sahip bir önceki kriterin önem vektörü değerlerine kriter sayısı oranlanarak önem vektöründeki değer hesaplanır.

$$T_j = \{ 1 \quad j = 1, \quad \frac{T_{j-1}}{K_j} \quad j > 1 \} \quad (5.11)$$

Adım 7: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi: Yöntemin son adımında, önem vektörü normalize edilerek kriter ağırlıkları hesaplanır. Normalize işlemi, Eş 5.12'de gösterildiği şekilde önem vektörü elemanlarının, elemanlar toplamına oranlaması ile yapılır [69].

$$w_j = \frac{T_j}{\sum_{j=1}^n T_j} \quad (5.12)$$

5.3. Hedef Programlama

HP (Hedef Programlama) yöntemi, 1950-1960 yılları arasında ortaya çıkan bir çok amaçlı matematiksel programlama tekniğidir. Bu yöntem, birden çok amacı eş zamanlı olarak ele alabilme özelliği ile fark yaratır. HP, gerçek hayat uygulamalarına adapte edilebilirliği ve konunun ele alındığı ilk denemelerde kolayca anlaşılmıştır. HP'nin bu esnek yaklaşımı, çok sayıda karar kriterini bir araya getirip optimize etme ihtiyacı duyulan durumlarda tercih edilmektedir. Bu yöntem, karmaşık çok amaçlı problemlerde etkin bir çözüm bulma potansiyeline sahiptir [55].

HP yöntemi, doğrusal programlama (DP) ile çözümü mümkün olmayan problemlerin yeni çözüm yolları problemin genişleterek optimal çözüme yaklaşmayı hedefleyen matematiksel programlama tekniği olarak tanıtılmıştır [77].

HP, çelişen amaçlarla ilgili karar problemlerinin çözümünde kullanılır. Tekniğin temel düşüncesi, çok amaçlı problemi, her bir tek bir amacı olan bir veya daha çok probleme dönüştürmektir. Bu bakımdan, hedef programlama sadece, problemin tüm hedeflerini gerçekleştirecek etkin bir çözümü bulmaya çalışır [50].

Geleneksel tek amaçlı problemlerde amaç fonksiyonunun en iyi değerini veren optimal çözümünde bir tek optimal sonuç çıkarken, çok amaçlı problemlerde amaç fonksiyonlarından birini eniyileyen çözüm genellikle diğer amaçları eniyileyemez. Bu sebeple çok amaçlı problemler için genel anlamda optimal çözüm yoktur, çünkü optimaliteden yalnızca çelişmeyen amaçlar varken söz edilebilir. Bu nedenle HP problemlerinin sonucunda ulaşılabilecek en iyi çözüm, bir uygun çözümün yalnız ve yalnızca ona baskın olan başka hiçbir uygun çözüm mevcut değilse ortaya çıkan “*etkin çözüm*” olarak adlandırılmaktadır [53]. Sonuç olarak çözülecek olan problemin yapısında bulunan bütün hedefleri tek bir hedef haline getirerek çözüm elde etmeye çalışan HP yöntemi, karar vericiye bu gibi teknik problemler için elde edilebilecek en iyi çözüm olabilecek çözümü sunmaktadır [49].

HP yöntemi gözlem sayısının kısıtlı olduğu ve çoklu bağlantıların bulunduğu durumlarda diğer yöntemlere göre daha etkili bir yöntemdir. HP, karar vericinin çok sayıda amacı birlikte ele alan bir çözümler kümesi bulmasını ve bu amaçlar için ortak bir optimum değer elde

etmesini sağlamaktadır. HP'nin asıl amacı, amaçların gerçekleşmesi ile bunların hedef seviyelerinin arasındaki sapmaların enküçüklenmesidir [50].

HP modelleri uygulanan sistemin sahip olduğu özellikleri göz önüne alınarak modellendiğinde farklı türlere ayrılmaktadır. Amaç fonksiyonlarına göre (Doğrusal, doğrusal olmayan), karar değişkenlerine göre (Tamsayılı, karışık tamsayılı, 0-1), Katsayılarına göre (Deterministik, stokastik, bulanık) HP türleri öne çıkacaktır [49]. HP (Hedef Programlama), üç farklı amaç fonksiyonu yapısı kullanmaktadır. Bu amaç fonksiyonları şu şekildedir [49].

Ağırlıklandırılmış (Archimedean) Amaç Fonksiyonu: Her bir önem seviyesinde bulunan tüm istenmeyen sapma değişkenlerinin ağırlıklandığı bir en küçükleme amaç fonksiyonudur. Ağırlıklar, her bir hedefin önem derecesini belirler.

Ağırlıklandırılmış hedef programlamada tek bir amaç fonksiyonu, problemin hedeflerini temsil eden fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı haline getirilir. Amaçların katsayıları o amacın ağırlığını ifade eder.

Önceliklendirilmiş (Leksikografik) Amaç Fonksiyonu: Amaçların her birinin farklı önceliğe sahip olduğu bir yapıya sahiptir. En yüksek öncelikli amaçtan başlayarak düşük öncelikli amaçlara doğru gidilir ve her aşamada beklenen değerlerden istenmeyen sapmalar en küçüklenir. Önceliklendirilmiş hedef programlama ortamında birincil amaç öncelikle çözülür, daha sonra bu amaç fonksiyonu çözüm sonucuna eşitlenerek modele kısıt olarak dahil edilir. Yeni kısıtın eklendiği model ikincil amacı çözmeye devam eder [47, 50].

Chebyshev (Minimax-Önceliklendirilmiş) Amaç Fonksiyonu: Bu yapının özelliği, tüm amaçlarda elde edilen en kötü performansın en küçüklenmesine odaklanmasıdır. İstenmeyen sapmaları minimize etmek için maksimum sapma değeri kullanılır [50].

Chebyshev hedef programlama olarak bilinen minmax hedef programlamadır. Minmax hedef programlama, ağırlıklı hedef programlama yaklaşımına benzemektedir. Fakat bu yaklaşımda; hedeften sapmaların ağırlıksal toplamalarının minimize edilmesi yerine, hedeften maksimum sapma minimize edilir [78]. Bu üç yapı, farklı problem durumlarına ve karar verme ihtiyaçlarına uygun çözümler sağlamak amacıyla kullanılır.

0-1 HP (İkili Hedef Programlama), karar değişkenlerinin sadece “*sıfır*” ya da “*bir*” değerlerini alabildiği bir HP metodolojisi türüdür.

Tek bir hedef temelinde eş zamanlı olarak hem olumlu hem de olumsuz sapma değeri ortaya çıkamayacağından, sapma değişkenlerinden en az birinin ya da her ikisinin de sıfıra eşit olması gerekmektedir. İstenmeyen sapma değişkenleri tanımlandıktan hemen sonra oluşturulduktan hemen sonra, HP formülasyonu oluşturulmalıdır [79].

5.3.1. 0–1 hedef programlama

Çözülmesi gereken karar problemi çok sayıda, genellikle de çelişen hedeflere sahipse, bu çatışan amaçları optimum hale getiren tek bir çözüm bulmak mümkün olmayabilir. Bu tür durumlarda, her hedefin ihlal edildiği miktarın minimum olmasını temel alan uzlaşık bir çözüm aranır. Özellikle çok sayıda seçenek arasında seçim yapma ve sıralama problemlerinde, sistem değişkenleri sadece “*var*” ya da “*yok*”, “*evet*” ya da “*hayır*” gibi kesin değerler alabilir. Böyle problemlerde sistem çelişen amaçlara uygun bir çözüm getirebilmek için matematiksel olarak incelenirken çözüm modeli değişkenlerin sadece “*sıfır*” ya da “*bir*” değerlerini alabileceği şekilde oluşturulmalıdır [50].

Klasik HP’de olduğu gibi, 0-1 HP yönteminde de genel yaklaşım, çok amaçlı bir problemi her biri tek bir amacı olan bir veya daha fazla problem haline getirerek çözüm kalitesi ile farklı amaçların karar verici tarafından sıralanmasının yanı sıra, hedefler için belirlenen sınırların (istenmeyen sapma değerlerinin) darlığında kontrol edileceği matematiksel model ile çözüme ulaşmaktır. Bu bağlamda, 0-1 HP yöntemin amacı da orjinal HP yöntemi gibi problemin tüm hedeflerini gerçekleştirecek uygun bir çözüm bulmaya çalışmaktır [50].

0-1 HP, seçim problemlerinde önemli olan kaynak ve seçim kısıtlarının matematiksel bir model oluşturulurken buna bir çözüm geliştirilirken uygun karar değişkenleri ile dikkate alınmasına izin verir. Aynı zamanda, 0-1 HP problemin çözümünde seçimin dayandığı alternatiflerin sıralanmış şekilde bulunmasını sağlayabilir. Bu özellikleriyle 0-1 HP, bir karar verici tarafından yapılacak seçimlerin belirli kısıtlar altında en iyi şekilde yapılabileceği çözümleri bulmaya yönelik bir yaklaşım sunmaktadır [49].

Genel amaçla kullanılabilecek 0-1 HP matematiksel modelini temsil eden kapalı model Eş

5.13 ile 5.16' ya kadar olan denklemler dahil olacak şekilde aşağıda sunulmaktadır.

$$Enk Z = \sum_i^I (d_i^+ + d_i^-) \quad (5.13)$$

Kısıtlar;

$$a_{ij} * x_j + d_i^- - d_i^+ \leq b_i \quad (5.14)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad (5.15)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (5.16)$$

$$I = 1, 2, \dots, i$$

$$J = 1, 2, \dots, j$$

0-1 HP modellerini diğer matematiksel modellerden farklı kılan amaç fonksiyonunda hiçbir karar değişkeninin bulunmamasıdır. Bunun yerine amaç fonksiyonunda hedef değerlerinden sapmaları temsil eden değişkenlerinin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Modelde bulunan d^- ve d^+ istenmeyen sapma değerlerinden en az biri, aynı anda hedefin beklenen değerinden hem pozitif hem de negatif yönde sapma olamayacağından, sıfır değerini almalıdır. 0-1 HP modelli gerçek hayat probleminin yapısı gereği x_j karar değişkenleri “sıfır” ya da “bir” değerlerini alabilecektir.

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

6.1. Zihinsel İş Yükünün Analizine Dair Literatür Araştırması

Zihinsel iş yükü analizine dair araştırmalar ve bu kavram üzerine yapılan çalışmalar, endüstriyel faaliyetlerin doğasının zaman içinde giderek daha fazla zihinsel çaba gerektirmesiyle 1960'lı yıllardan itibaren artan bir hızla gerçekleşmiştir (Şekil 6.1)

Zihinsel iş yükü alanındaki çalışmalar genelde sağlık sektöründe hemşireler, doktorlar incelendiğinde üzerinde ve havacılık sektöründe pilotlar üzerinde yapılmıştır literatür incelendiğinde bilişim sektöründe zihinsel iş yükü tespiti üzerinde çok az sayıda araştırma bulunduğu görülmektedir. Örneğin; Akay, Ermiş ve Kurt'un çalışmasında bilişim sektöründe tasarım ve programlama alanlarında görev alan çalışanların zihinsel iş yükü üzerinde etkisi olabilecek demografik faktörler (eğitim seviyesi, yaş, cinsiyet gibi), belirlenerek tespit edilmiştir [80].

“NASA-TLX” anahtar kelimesi ile Science Direct veritabanından arama yapıldığında ulaşılan bilgilere göre 2000 yılından itibaren bu alanda yayınlanan araştırmalara dair veriler aşağıda sunulmaktadır (Şekil 6.1) (Tarama tarihi: 29.01.2024).



Şekil 6.1. Science Direct yıllara göre yayın sayısı

Aynı literatür araştırmaları temelinde bu anahtar kelime ile ulaşılan çalışmaların yürütüldüğü alanlara göre dağılımı ise Çizelge 6.1 ile aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge 6.1. Alanlarına göre yayın sayıları

Alanlar	Yayın Sayısı
Mühendislik	666
Sosyal Bilimler	563
Bilgisayar Bilimleri	506
Sağlık ve Diş	351
Psikoloji	266
Nöroloji	142
Karar Bilimleri	131
Hemşirelik ve Sağlık Meslekleri	62
Enerji	52
Çevre Bilimi	44

Gerçekleştirilen literatür araştırmaları ışığında zihinsel iş yükü analizi probleminin literatürde genel olarak sağlık, ulaşım, havacılık gibi alanlarda ele alındığı görülmektedir.

Sivil havacılık için güvenlik en önemli konular ve insan faktörü doğrudan uçağın güvenliğini etkilemektedir. Tekniklerin gelişmesiyle birlikte uçak kazalarında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. NASA istatistiklerince %75' i insan performansı kaynaklıdır. Zheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kokpit tararım aşamasında NASA-TLX pilotların hissettikleri iş yüklerini ölçerek en doğru tasarımı bulmak için yardımcı bir araç olarak kullanılmıştır [81].

Mevcut ergonomi literatüründe fiziksel çaba ağırlıklı iş yükünün değerlendirilmesinde kesin yargılara ulaşan çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın, bilişsel çaba gerektiren işlerin analizine ilişkin çalışma örnekleri oldukça sınırlı sayıdadır; özellikle çevik metodoloji rol ve görev tanımları temelinde iş yükü analizi gerçekleştiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bilişim sektörü özelinde yalnızca zihinsel iş yükü yaratan faktörler ortaya koymakla kalmayıp bunları görev dağılımı için iş planlama probleminde ele alan bir kaynağa rastlanmamıştır. Çizelge 6.2 ile zihinsel iş yükünün incelendiği literatür taraması sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışma Adı	Konu
1	Harputlu Aksu	2023	Zihinsel iş yükünün EEG ve göz izleme verileri kullanılarak makine öğrenmesi teknikleriyle modellenmesi	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği
2	Kayak [34]	2023	NASA-TLX Yönteminde Ağırlıkların Belirlenmesinde Konjoint Analizin Kullanımı	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği: Proje Çizelgeleme
3	Baştürk [82]	2023	Mental workload monitoring with multimodal approach during laparoscopic surgery training	Biyomühendislik
4	Mariam Gomez Sánchez, Eduardo Lalla-Ruiz [83]	2022	Rehabilitation staff scheduling in senior daytime care facility with feeling of physical/mental workloads and movements	Personel Çizelgeleme
5	Şahin, Emre [84]	2022	Okul psikolojik danışmanlarının mental iyi oluşlarının zihinsel iş yükü ve bilişsel esneklik bağlamında incelenmesi	Eğitim ve Öğretim
6	Başar [45]	2022	Yeni bir matematiksel model ve hibrit meta sezgisel ile kaynak kısıtlı projelerin çizelgelenmesi: Bir vaka çalışması	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği: Proje Çizelgeleme
7	Kurtgün [29]	2022	Bulanık vikor yöntemi ile zihinsel iş yükünün belirlenmesi	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği
8	Kartoğlu [40]	2022	Yüksek hızlı teknelerde zihinsel iş yükü, durumsal farkındalık ve emniyet kültürü ilişkilerinin köprüüstü seyir operasyonu açısından incelenmesi	Deniz Bilimleri
9	RodríguezLópez, RubioValdehita [85]	2021	Influence of the COVID-19 pandemic on mental workload and burnout of fashion retailing workers in Spain	Sağlık
10	Özdoğan&Eraslan [86]	2020	Effect of the risk arising from working postures on mental workload: An experimental study	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği

Çizelge 6.2. (devam) Zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışma Adı	Konu
11	Öztürk [87]	2019	Zihinsel iş yükü ve örgüt sağlığı ilişkisi üzerine nitel bir çalışma: Araştırma üniversiteleri örneği	İşletme
12	Karaağaç [88]	2019	Dijital hastane sistemlerinin hemşirelerin zihinsel iş yükü ve tıbbi hataya eğilimlerine etkisi	Hemşirelik
13	Karaca [89]	2019	Zihinsel iş yükü ile tükenmişlik arasındaki ilişkinin incelenmesi: Samsun ilinde bir dal hastanesi uygulaması	Sağlık Kurumları Yönetimi
14	Gürcoşkun	2019	Hava trafik kontrolörlerinde zihinsel iş yükünün havacılık operasyonlarına etkisi	Sivil Havacılık, Truizm
15	Delice, Can [90]	2018	An Integrated Mental Workload Assessment Approach Based on Nasa-Tlx	Ulaşım
16	Akyaka&Emeç [2]	2018	Sağlık Sektöründe Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi Ve Bir Uygulama	Sağlık
17	Üstünel [91]	2017	İnsan-Robot Birlikte Çalışmalarının Bilişsel Ergonomi Açısından Genişletilmiş Biliş Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi	Üretim
18	Er [92]	2016	Termal görüntü işleme kullanılarak zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi	Mekatronik Mühendisliği
19	Batun [93]	2015	Gender and personality differences in cognitive tasks: A performance and mental workload study	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği
20	Duman [94]	2015	Yöneticilerde zihinsel iş yükünün öznel iyi oluşa etkisinde boş zaman davranışlarının rolü	İşletme
21	Şeker [95]	2014	Using Outputs of NASA-TLX for Building a Mental Workload Expert System	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği

Çizelge 6.2. (devam) Zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışma Adı	Konu
22	Gülkaç [3]	2014	Pilotların zihinsel işyüklerinin NASA-TLX yöntemiyle ölçülmesi	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği
23	Karadağ [96]	2013	Hekim ve hemşirelerde zihinsel iş yükünün iletişim becerisine etkisi: Gülhane Askeri Tıp Fakültesi Eğitim Hastanesi uygulaması	Sağlık Kurumları Yönetimi
24	Akay, Ermiş ve ark. [80]	2005	Bilgisayar Sektöründe Özel Bir Yöntemle (NASA-TLX) Zihinsel İş Yükünün Ölçülmesi	Bilişim

Literatür araştırmaları sonuçlarına göre mevcut araştırmalarda zihinsel iş yükü tespiti yapıldıktan sonra iş planlaması yapılmadığı veya çizelgeleme problemlerinde bu bilgilerin problem çözümü için parametre olarak kullanılmamış olduğu görülmektedir. Tez çalışmasında ele alınan gerçek hayat problemi ile yazılım sektöründe çalışan ekipler için hesaplanan zihinsel iş yükü değerleri ile işlerin, ekip üyelerine atanmasında etkili olan bir hedef olarak matematiksel modele eklenmesiyle planlama yapılması üzerine çalışılmıştır. Özellikle yazılım sektörü için geliştiren matematiksel modelin literatüre ve alan uygulamalarına fayda sağlaması hedeflenmiştir. Zihinsel iş yükü değerlerinin matematiksel modele entegre edilmesi ile literatüre yeni bir bakış açısı kazandırılması hedeflenmiştir.

6.1.1. Yazılım sektöründe zihinsel iş yükü analizine dair literatür araştırması

Yazılım ve bilişim sektöründe zihinsel iş yükü analizi yapılan çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalarda ise sadece zihinsel iş yükü ölçümü ve analizine yer verilmiştir (Bkz. Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Yazılım sektöründe zihinsel iş yükünün incelendiği yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışma Adı	Konu
1	Akay, Ermiş, ve ark. [80]	2005	Bilgisayar Sektöründe Öznel Bir Yöntemle (NASA-TLX) Zihinsel İş Yükünün Ölçülmesi	Bilişim
2	Akça [20]	2022	Bilgi Teknolojilerinde Proje Yönetim Metodolojilerinin Bilişsel Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği
3	Kayak [34]	2023	NASA-TLX Yönteminde Ağırlıkların Belirlenmesinde Konjoint Analizin Kullanımı	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği

6.2. SWARA Yöntemine Dair Literatür Araştırması

SWARA ÇKKV yöntemi 2010 yılında Kersulienė, Zavadskas ve Turskis [64] tarafından geliştirilmiştir. SWARA yöntemi ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar Çizelge 6.4’ te özetlenmiştir.

Çizelge 6.4. SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
1	Doğaner, Aydın, İncioğlu [97]	2021	Kurumsal Organizasyonlardaki Liderlik Tipleri Verimliliklerinin Swara Yöntemiyle Değerlendirilmesi	Lider Seçimi
2	İpekçi [98]	2021	Türkiye’de yapılması planlanan sualtı akıntı enerji tesisi kurulumu için SWARA ve WASPAS yöntemleri ile yer seçimi	Enerji Sistemleri
3	Doğan [99]	2021	Swara ve waspas metotlarına dayalı bir performans değerlendirme modeli	Performans Değerlendirme
4	Yılmaz Kaya, Dağdeviren [65]	2019	A Guiding Analysis to Accomplish the Challenges for Implementation of Industry 4.0	Endüstri 4.0
5	Adalı, Işık [6]	2017	Bir Tedarikçi Seçim Problemi için SWARA ve WASPAS Yöntemlerine Dayanan Karar Verme Yaklaşımı	Tedarikçi Seçimi
6	Stanujkić, Karabašević, Zavadskas [100]	2015	A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method	Seçim

Çizelge 6.4. (devam) SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
7	Stanujkić, Djordjević, & Karabašević	2015	Selection of candidates in the process of recruitment and selection of personnel	Personel Seçimi
8	Zolfani ve Banihashemi, Karabašević vd. [101]	2014	Personnel selection based on a novel model of game theory and MCDM approaches	Personel Seçimi
9	Zolfani & Saparauskas [102]	2013	New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system	Enerji Sistemleri
10	Keršulienė, Zavadskas, Turskis [64]	2010	Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA)	Seçim

6.2.1. HF-SWARA yöntemine dair literatür araştırması

Güncel bir ÇKKV yöntemi olan bulanık SWARA'nın yakın yıllarda yapılan çalışmalarda sık kullanıldığı görülürken mevcut literatürde yer alan uygulama örnekleri (Çizelge 6.5) ağırlıklı olarak, lojistik, teknoloji, üretim, yer seçimi ve tedarikçi seçimi gibi konularda uygulandığı ancak havacılık konularına yoğunlaşmakta olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.5. HF-SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
1	Yılmaz Kaya, Dağdeviren, Adem [66]	2023	Ergonomi 4.0 ve Akıllı Fabrikalar: Yeni İş Tasarımına Yönelik İnsan Faktörü Temelli Bir Ölçek Önerisi	Ergonomi 4.0
2	Abdulvahitoğlu, Kılıç [103]	2022	Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi	Batarya Seçimi
3	Çakır [104]	2022	Tereddütlü Bulanık SWARA yöntemi ile uluslararası firmaların ihracat performanslarının değerlendirilmesi	Performans Değerlendirme
4	Özdağoğlu, Keleş [105]	2021	Yolcular Açısından Havalimanlarının Değerlendirilmesine Yönelik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Uygulama	Sivil Havacılıkta Kabin Memuru Seçimi

Çizelge 6.5. (devam) HF-SWARA yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
5	Yılmaz Kaya, Dağdeviren [67]	2021	A Multi-Criteria Approach to Usability Research for Digital Platforms in Fuzzy Environment	Ergonomi 4.0
6	Yılmaz Kaya, Dağdeviren, Adem [68]	2021	Fuzzy Multi-criteria Analysis of Factors Affecting the Digitalization Success of Public Services	Covid-19, Dijitalleşme
7	Aktaş [69]	2021	Kararsız Bulanık Dilsel Terimler Temelli SWARA Yöntemi ile Ülke Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklandırılması	Ülke Değerlendirme
8	Ansari, Kant ve Shankar [106]	2020	Evaluation and Ranking of Solutions to Mitigate Sustainable Remanufacturing Supply Chain Risks: A Hybrid Fuzzy SWARA-Fuzzy COPRAS Framework Approach	Tedarikçi Seçimi
9	Şengül ve Çağıl [72]	2020	Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile İş Değerlemesi	İş Değerlemesi
10	Kayapinar, Kaya & Erginer [107]	2020	Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment	Havaalanı tasarımı

6.3. 0-1 HP Yöntemine Dair Literatür Araştırması

Çelişen amaçlar içeren karar problemlerinin çözümüne yönelik kullanılan HP yöntemi, ilk defa Charnes ve diğerleri tarafından 1955 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada regresyon çözümlemesine alternatif olarak "*kısıtlı regresyon*" olarak tanıtılmıştır [108].

Lee tarafından gerçekleştirilen bu alandaki ilk kitap çalışmasıyla, amaçların öncelik yapıları göz önünde bulundurularak simpleks yöntemine dayanan çözüm algoritmaları geliştirilmiş ve HP çözüm yöntemleri öne sürülmüştür [52]. Ignizio, 1976 yılında HP alanındaki kitabında yöntemin önemine vurgu yapmış ve literatürde "*çok aşamalı simpleks yöntemi*" olarak da bilinen simpleks temelli algoritmalar geliştirmiştir [109].

Tamiz ve ark. tarafından 1998 yılında yapılan çalışma [110], HP yöntemi ile ilgili gelecek araştırmalar için önemli bir kaynak olmuştur. Bu çalışma HP yönteminin güvenilirliğini ve çok yönlü kullanımını gösteren bir dizi uygulama örneği sunarak, HP yönteminin gelecek araştırmalarda kullanılabilirliğini artırmak amacıyla çeşitli teknikler incelenmiştir. Bu teknikler arasında “*pareto verimliliğinin keşfi ve yeniden kullanılması*”, “*normalizasyon*”, “*indirgeme kontrolü*” ve “*standart olmayan kullanım fonksiyonu modellemesi*” gibi yöntemler yer almaktadır. Bu tür bir gözden geçirme, HP yöntemi üzerine yapılan çalışmaların mevcut durumunu anlamak ve gelecekteki araştırmalara yön vermek açısından önemlidir. Tamiz ve arkadaşlarının çalışmasında ayrıca hem HP ve diğer çok amaçlı programlama tekniklerinin arasındaki bağlantı hem de HP için bir kullanım tanımı verilmiştir [58].

ÇKKV yöntemleri ve HP yöntemi bir araya getirilerek kullanıldığı çalışmalara örnek olarak, Martel ve Aouni'nin 1990'da PROMETHEE yöntemindeki 88 genelleştirilmiş kriter her bir hedefin farklı değerleri için kullanılması ve HP'nin amaç fonksiyonu haline getirilmesi önerisini sundukları çalışma gösterilebilir [111]. Bu yöntem, sadece belirli bir kriter temelinde iki alternatif arasındaki performansı veya farklılıkları açıkça göstermekle kalmaması, aynı zamanda karar vericinin tercihlerindeki belirginliği tanımlayan değer fonksiyonlarını hesaba katarak, çözümü karar verici için anlaması kolay bir şekilde sunulmuştur. Önerilen model, Hardee Oyuncak Şirketi üzerinde gerçekleştirilen bir uygulama ile desteklenmiştir [49].

Dağdeviren ve Eren'in 2001 tarihli çalışmasında, tedarikçi seçimi süreci için AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ve 0-1 HP teknikleri bir araya getirilerek bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, tedarikçi seçimi için iki yöntemin birlikte nasıl kullanılabileceğini gösteren bir uygulama yapılmıştır [112].

Tsai ve ark. (2010) tarafından yürütülen araştırmada, stratejik öneme sahip bir konu olan bilgi teknolojileri dış tedariki alanında kaynak kullanımı kararlarını değerlendirmek amacıyla farklı yöntemleri birleştiren bir yaklaşım önerilmiştir [113]. Bu yaklaşım, DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı), ANP (Analitik Ağ Süreci) ve 0-1 HP yöntemlerini birleştiren bir ÇKKV modelini içermektedir. Bu bütünlük yaklaşımın temel amacı karmaşık karar verme süreçlerinde çok sayıda kriter değerlendirmek ve stratejik kaynak kullanımını bu kriterlere göre optimize etmektir [49].

Yazılım sektöründe 0-1 HP yönteminin kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak personel atama ve çizelgeleme konularında oldukça fazla çalışmaya ulaşılmıştır. Çizelge 6.6’ da yakın tarihli çalışmalar sunulmuştur.

Çizelge 6.6. 0-1 HP yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
1	Yalçın [114]	2023	Doktor Nöbet Çizelgeleme Problemi İçin Ağırlıklı Hedef Programlama Tabanlı Genetik Alogritma	Doktor Çizelgeleme
2	Matsumoto, Yamada, Kuo, Takanokura [83]	2020	Rehabilitation staff scheduling in senior daytime care facility with feeling of physical/mental workloads and movements	Personel Çizelgeleme
3	Ceylan& Arslan [46]	2021	Bir Hafif Raylı Ulaşım Sisteminde Makinist Çizelgeleme Problemi	Personel Çizelgeleme
4	Cürebal [47]	2021	Personel atama ve çizelgeleme problemi için hedef programlama bazlı karar destek sistemi geliştirilmesi: Bir fabrika için uygulama	Personel Atama
5	Sağnak&Kazanoğlu [115]	2019	Integrated Fuzzy Analytic Network Process And 0-1 Goal Programming Technique for Enterprise Resource Planning (Erp) Software Selection	Yazılım Ürün Seçimi
6	Şahin& Kaya [116]	2018	Hedef Programlama Modeli İle Ergonomik Kısıtlar Altında Montaj Hattı Dengelemesi	Montaj Hattı Dengeleme
7	Durmaz, Şahin& Akagündüz	2017	Tedarikçi Seçim Probleminde Hedef Programlama ve MOORA Yöntemi: Uygulama Çalışması	Tedarikçi Seçimi
8	Baran [117]	2017	AHP ve 0-1 hedef programlama ile depo konumlarının belirlenmesi ve bir uygulama	İşletme
9	Özder, Varlı, Tamer [79]	2017	Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi	Personel Çizelgeleme
10	Ünal& Eren [38]	2016	Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü	Nöbet Çizelgeleme
11	Aksakal& Dağdeviren [37]	2015	Yetenek Yönetimi Temelli Personel Atama Modeli Ve Çözüm Önerisi	Personel Atama

Çizelge 6.6. (devam) 0-1 HP yöntemine ilişkin yayınlara ait literatür taraması sonuçları

No	Yazar	Yıl	Çalışmanın Adı	Konu
12	Karadağ	2015	Ürün seçimi problemi için yeni bir bulanık bütünleşik ÇKKV (0-1) hedef programlama yaklaşımı	Ürün seçimi
13	Karaman	2014	0-1 hedef programlama destekli bütünleşik AHP–VIKOR yöntemi: Hastane yatırımı projeleri seçimi	Hastane projesi seçimi
14	Yılmaz [49]	2010	Ekipman seçimi problemi için bulanık promethee ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin bütünleşik kullanımı	Ekipman seçimi
15	Türkmen	2007	Sürdürülebilir Tarım için Yöneylem Araştırması Modelleri	Tarım
16	Dağdeviren& Eren [112]	2001	Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması	Tedarikçi Seçimi

7. UYGULAMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yazılım sektöründe çevik metodoloji ile çalışan ekiplerin rol bazlı zihinsel iş yüklerini dikkate alarak görev ataması yapan bir matematiksel modelin gerçek hayat uygulaması yer almaktadır. Ekip lideri yönlendirmesi ile yapılan görev atama ve iş planının matematiksel temellere dayandırılması hedeflenmiştir.

Uygulama verileri, kaynakları gizlilik politikaları gereği açıklanamayan bir şirket tarafından sağlanmıştır, bu nedenle firmanın adı ve diğer ayrıntıları veri gizliliği nedeniyle açıklanamamıştır.

7.1. Problem Tanımı

Tez kapsamında günümüzde oldukça yaygınlaşan yazılım sektörü çalışma metotlarından olan çevik metodoloji ile çalışan ekipler için işleri daha dengeli atamak ve verimli çalışmayı hedefleyen bir görev atama modeli hazırlanması amaçlanmıştır. Bu modeli hazırlarken kişilerin işler üzerindeki zihinsel iş yükleri dikkate alınarak yapılması hedeflenmiştir.

Problemin uygulanması için bir savunma sanayii şirketinin Bilişim Teknolojileri (BT) ekipleri seçilmiştir. Bu ekiplerin çevik metodoloji ile çalışması ve ekiplerin iş yoğunluğunun yüksek olması uygun bir uygulama alanı oluşturmuştur.

Bu tez kapsamında çevik metodoloji ile çalışan üç farklı ekip ele alınacaktır. Ekipler farklı tecrübelere sahip beş ya da altı çalışandan oluşmaktadır. Katılımcıların profesyonel iş hayatı tecrübesi ortalama dört yıldır. Katılımcıların yazılım sektöründeki tecrübeleri ise ortalama olarak iki buçuk yıldır. Ekiplerin kadın, erkek cinsiyet dengesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Genel olarak çok az bir farkla erkek oranı daha fazladır. Katılımcıların %56'sı erkek, %44'ü kadındır.

Çizelge 7.1. Uygulamada yer alan katılımcı demografik yapısı

Personel	Cinsiyet	İş hayatı tecrübesi	Yazılım tecrübesi	Eğitim
P1	Erkek	10 yıl	8 yıl	Doktora
P2	Erkek	5 yıl	5 yıl	Yüksek Lisans
P3	Kadın	4,5 yıl	2,5 yıl	Lisans
P4	Kadın	2 yıl	2 yıl	Lisans
P5	Kadın	3 yıl	2 yıl	Lisans
P6	Erkek	5 yıl	5 yıl	Lisans
P7	Erkek	0,5 yıl	0,5 yıl	Lisans
P8	Kadın	5 yıl	3 yıl	Yüksek Lisans
P9	Kadın	11 yıl	1 yıl	Yüksek Lisans
P10	Erkek	3 yıl	1,5 yıl	Lisans
P11	Erkek	4 yıl	2 yıl	Lisans
P12	Erkek	4 yıl	2 yıl	Lisans
P13	Kadın	1,5 yıl	1 yıl	Lisans
P14	Kadın	2,5 yıl	1 yıl	Lisans
P15	Kadın	1 yıl	1 yıl	Lisans
P16	Erkek	7 yıl	7 yıl	Yüksek Lisans
P17	Erkek	2 yıl	2 yıl	Lisans
P18	Erkek	1 yıl	0,5 yıl	Lisans

Çevik metodoloji, kısa sprintlerde görevlerin tamamlanmasını sağlayan ve tekrarlayan bir süreçtir, böylece proje içerisinde oluşabilecek beklenmeyen değişikliklere uyumluluk göstermektedir. Çevik metodoloji ile çalışan ekiplerde farklı rol ve görev tanımlarının birden çok çalışan tarafından sık değişkenlik gösterdiği, kısa periyotlarda gerçekleştirildiği çalışma ortamlarında görev temelli atanan iş yükü ile çalışanların zihinsel kapasiteleri arasındaki dengenin kurulması daha büyük önem taşımaktadır. Bu ekiplerde esas amaç herkesin benzer yetkinliklere sahip olması ve herkesin tüm görev tanımları için yeterli yetkinlik düzeyinde olması böylece işlerin beklemesinin önüne geçilerek daha yüksek düzeyde çıktı üretmektir. Genellikle BT ekiplerinde tanımlanan görevler analiz, geliştirme ve test olarak üçe ayrılabilir. Çalışanların yetenekleri, geçmiş tecrübeleri ve ilgi alanları gibi parametreler her görev tipinde aynı derecede zorlanma yaşamayacaklarını açık olarak göstermektedir. Buradan yola çıkarak tez çalışmasında çevik ekiplerin rol bazlı zihinsel iş yüklerinin hesaplanması ilk adım oluşturmaktadır.

Sprintler genellikle iki ya da üç haftalık planlama sürelerini göstermektedir. Sprint bazlı çalışan ekipleri yönetmek yöneticiler açısından çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. En önemli faydası zaman değişkenini sabit tutarak ekibin iş eritme hızını ve verimliliğini ölçmekte

sağladığı kolaylıktır. Tez çalışmasında incelenen çevik ekipler iki haftalık sprintler ile çalışmaktadır.

Yazılım sektöründe eforlandırma, BT ekiplerinin en çok zorlandığı hususların başında gelir. Çevik yaklaşımlardaki iyi uygulamalar, adam/gün bazlı eforlandırma yerine “*story point*” kavramını karşımıza çıkartır ve yapılacak işin büyüklüğü, karmaşıklığı, içerdiği riskler ve belirsizlikleri göz önünde bulundurarak harcanacak çaba hakkında tahmini bir eforlama yapmanızı ister [16]. Tez çalışması kapsamında örneklem olarak alınan ekipler de *Fibonacci temelli story point* yöntemini kullanarak işlerin eforlarını belirlemektedirler. Fibonacci dizisi, sayılar arasındaki orantı nedeniyle göreceli büyüklükleri ifade eder. Örneğin, 5 story point ile 8 story point arasındaki fark, 8 ile 13 arasındaki farktan daha büyük olabilir. Bu, iş öğeleri arasındaki tahmini karmaşıklığı daha iyi ifade etmeye yardımcı olabilir.

Mevcut süreçte ekiplere atanan işler önceliklerine göre rastgelelik ve işin en hızlı ve doğru şekilde tamamlanması esas alınarak atamalar gerçekleştirilmektedir. İncelenen problem temelinde görev alan her birim yöneticisi yapılacak hesaplamalarda kısıt ve amaçların tanımlanmasında görev alan karar vericiler (KV) olarak belirlenmiştir.

Tezde ele alınan çevik ekiplerde işlerin öncelikleri müşteri ile yapılan toplantılar neticesinde ve teslim tarihine kalan zaman göz önüne alınarak birim yöneticileri tarafından belirlenmektedir.

Atanmayı bekleyen iş listesindeki (backlog list) işler yapısı gereği “*analiz*”, “*geliştirme*” ve “*test*” olarak üç farklı türe ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma işlemi de birim yöneticisi tarafından yapılmaktadır. Atanmayı bekleyen iş listesindeki işler sprint planlama toplantısında incelenir ve ekip tarafından eforlandırılır.

İşlerin ekip üyelerine atanması konusunda birim yöneticilerinin dikkat ettiği bazı hususlar vardır. İlk olarak bir sprint iki haftadan oluştuğu için ekip üyelerinin her birinin yaklaşık 200 eforluk iş almasına dikkat etmektedir. Her bir işin yalnız bir ekip üyesi tarafından yapılması gerekmektedir, bir çalışana birden çok iş atanabilir. Ek olarak işlerin türüne de dikkat ederek bir ekip üyesinin sprint içerisinde farklı türde işler yapmasını hedeflemektedir. Ayrıca çalışanın sprint içerisinde çok fazla iş takibi yapmasını önlemek için belirli bir iş sayısını aşmamasına da dikkat edilmektedir. Bu hususlara dikkat ederek birim yöneticileri işleri ekip

üyelerine atamaktadırlar. Tez çalışmasında mevcutta var olan şekilde işlerin atandığı matematiksel modeli “*Geleneksel atama modeli*” olarak adlandırılmaktadır. EK-1’ de iş listeleri ve işlerin türleri verilmiştir.

Bu tez çalışmasında ana amaçlardan biri olarak çevik geliştirme süreci uygulayan yazılım ekiplerinde, zihinsel iş yükünü dikkate alınmasıyla verimlilik artışı hedeflenmektedir. Bu bağlamda, birim yöneticilerin sprint içerisinde atama yaparken dikkat ettiği hususlara ek olarak ekip üyelerinin hangi iş türünde daha fazla zihinsel iş yükü hissettiğini dikkate alan ekip içerisinde dengeli zihinsel iş yükü seviyelerinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu bakış açısıyla “*Geleneksel Atama*” modeline ek olarak oluşturulan zihinsel iş yükünü dikkate alan problem için “*Zihinsel İş yükünü Dikkate Alan Atama Modeli*” adıyla ayrı bir atama modeli kurulmuş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

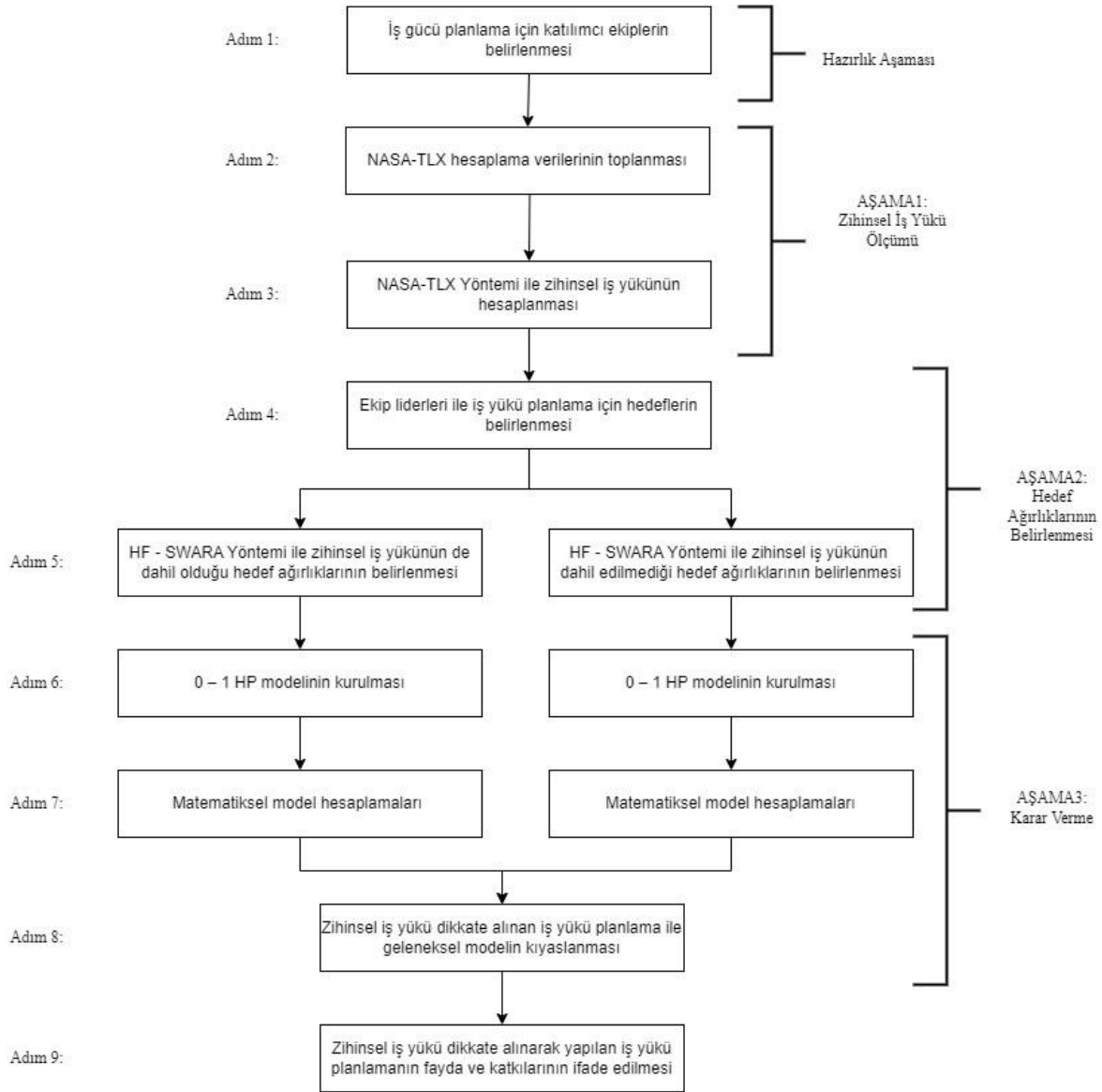
7.2. Önerilen Çözüm Yaklaşımı

Mevcut literatürde zihinsel iş yükü hesaplaması içeren çalışmalar genel olarak sağlık, ulaşım, havacılık gibi alanlarda gerçekleştirilmiş olduğu görülmektedir. Yazılım sektörü için de zihinsel iş yükü analizi ile özellikle çevik metodoloji gibi farklı rol ve görev tanımlarının birden çok çalışan tarafından sık değişkenlik periyotlarında gerçekleştirildiği çalışma ortamlarında görev temelli atanan iş yükü ile çalışanların zihinsel kapasiteleri arasındaki dengenin kurulması daha büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla zihinsel iş yükü tespiti için çalışmada yer alan iş ve görevler NASA-TLX’in altı boyutu düzeyinde değerlendirilmiştir. Yazılım sektöründeki işlerin yapısına bu altı boyutun uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında zihinsel iş yükü hesaplamada literatürde en sık kullanılan ve doğruluğu ispatlanmış bir yöntem olan NASA-TLX tercih edilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımında gerçekleştirilen ilk hesaplama adımında ekip üyelerinin her biri için rol bazlı zihinsel iş yükü belirlenmektedir. Daha sonra, görevlerin çalışanlara sprint içerisinde tamamlanmak üzere atanmasını içeren problem ele alınmaktadır. Sistemin çok sayıda amaca sahip olması sebebiyle etkin çözüme ulaşmak için HP matematiksel modelleme yöntemi kullanılmıştır. Problemin belirlenen hedeflerinin arzu edilen çözümde eşit öneme sahip olmadığı karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Karar verme süreçlerinde subjektif değerlendirmeler karar vericiler için daha etkili bir araç olabilmektedir. Buna ek olarak SWARA yöntemi, kullanıcılar için basit ve anlaşılır bir yapıya sahiptir. Bu, karar vericilerin yöntemi hızlı bir şekilde öğrenmelerini ve uygulamalarını kolaylaştırmaktadır [70]. Bu

sebeplerle uygulamada geleneksel atama ve zihinsel iş yükü dikkate alan atama modeli için 0-1 HP modelleri hedeflerinin ağırlıkların belirlenmesinde HF – SWARA yönteminin uygulanması tercih edilmiştir. Her iki model için belirlenen hedeflerin ağırlıkları direk olarak karar vericilerin öznel değerlendirmeleri üzerinden değil dilsel terimlerin hesaplama sonucuna etkisinin yansıtılabilmesi amacı ile HF-SWARA yönteminin kullanılmasıyla matematiksel olarak belirlenmiştir. Ele alınan gerçek hayat problemi için karar vericilerin belirlediği amaç ve kısıtları barındıran matematiksel modeller 0-1 HP yöntemi ile matematiksel olarak modellenerek GAMS 45.5.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Bu kapsamda geleneksel atama kısıtlarını içeren ve zihinsel iş yükü seviyelerini dikkate alarak iş ataması yapan iki ayrı matematiksel model geliştirilmiştir.

Önerilen çözüm yaklaşımının son adımında geleneksel ve zihinsel iş yükü dikkate alan modellerin sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve zihinsel iş yükü seviyelerinin karar sürecinde dikkate alınmasının olumlu etkileri vurgulanmıştır. Şekil 7.1’ de önerilen çözüm yaklaşımı akış şeması ile gösterilmektedir.

Çevik metodoloji ile çalışan yazılım ekipleri için önerilen bu çözüm yaklaşımı ile işlerin rastgele atanmasının ekip üyeleri üzerinde yaratacağı stres ve dengesiz zihinsel iş yükü seviyelerinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Görevlerin çalışanlara atamasında zihinsel iş yükü dikkate alınarak iş dağılımının yapılması ekibin performans, motivasyon ve verimliliğini artıracaktır sonuç olarak daha başarılı işlerin ortaya çıkması hedeflenmektedir.



Şekil 7.1. Çözüm yaklaşımı için akış şeması

7.3. Zihinsel İş Yüğü Hesaplanması

NASA-TLX yöntemi, Hart ve Staveland tarafından üç yıl süren ve kırkı aşkın laboratuvar ortamında yapılmış olan simülasyon denemesi sonucunda geliştirilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, NASA-TLX yönteminin diğer zihinsel iş yükü yöntemlerinden daha güvenilir ve geçerli olduğu ortaya çıkarılmıştır [5].

Zihinsel iş yükü hesaplanması üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda Çizelge 5.1 NASA-TLX alt faktörleri seçilen role göre puanlandırılır. "0 (düşük)", ile "100 (yüksek)" arasında

ölçülendirilir. Bu değerler ağırlıklandırılmamış iş yükü değerleridir. Ek -2’ de katılımcıların ağırlıklandırılmamış iş yükü değerleri sunulmuştur.

NASA-TLX’ in ikinci aşaması altı alt boyutun kendi arasında ikili karşılaştırmasıdır (Bkz. Çizelge 5.2).

Çizelge 7.2. NASA-TLX boyutlarının belirlenen ağırlık değerleri

Faktör	Puan	Ağırlık
Zihinsel Talep (MD)	80	4
Fiziksel Talep (PD)	10	0
Zamansal Talep (TD)	65	2
Performans (P)	85	4
Efor (E)	75	4
Rahatsızlık Seviyesi (F)	50	1

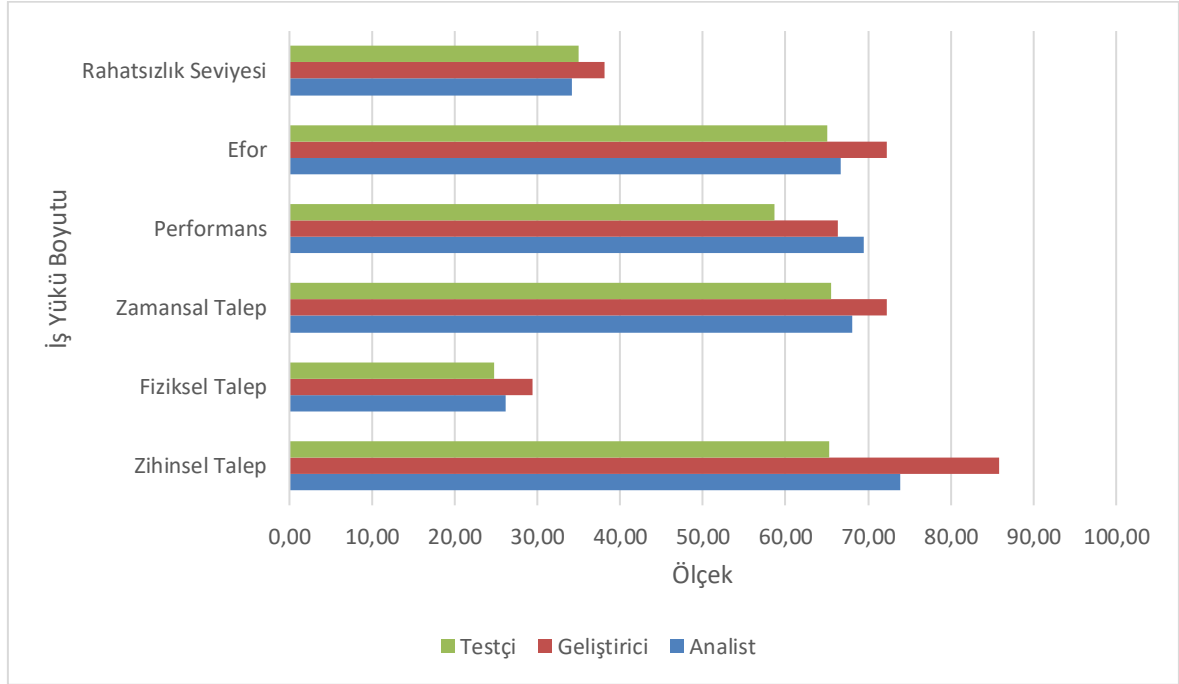
Son aşamada oranlama sonuçlar ile her boyutun ağırlık değerinin Eşitlik 5.1 kullanılarak birleştirilmesi ile incelenen görevlere dair zihinsel iş yükü değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 7.3. NASA-TLX ile zihinsel iş yükü analizi sonuçları

Ekipler	Çalışan	Analist	Geliştirici	Testçi
Ekip-1	P1	72.5	78	58
	P2	74	85	65
	P3	79	78	64
	P4	74	79.5	65.25
	P5	72.35	85	68
Ekip-2	P6	78,67	89	85
	P7	68	77	60,67
	P8	71,33	75,67	71,33
	P9	60,67	75	55
	P10	75	80	62
Ekip-3	P11	54	78,67	67,33
	P12	78,67	82	89
	P13	68	62,33	60,67
	P14	71,33	75,67	71,33
	P15	60,67	65	48
	P16	58,67	64	47,33

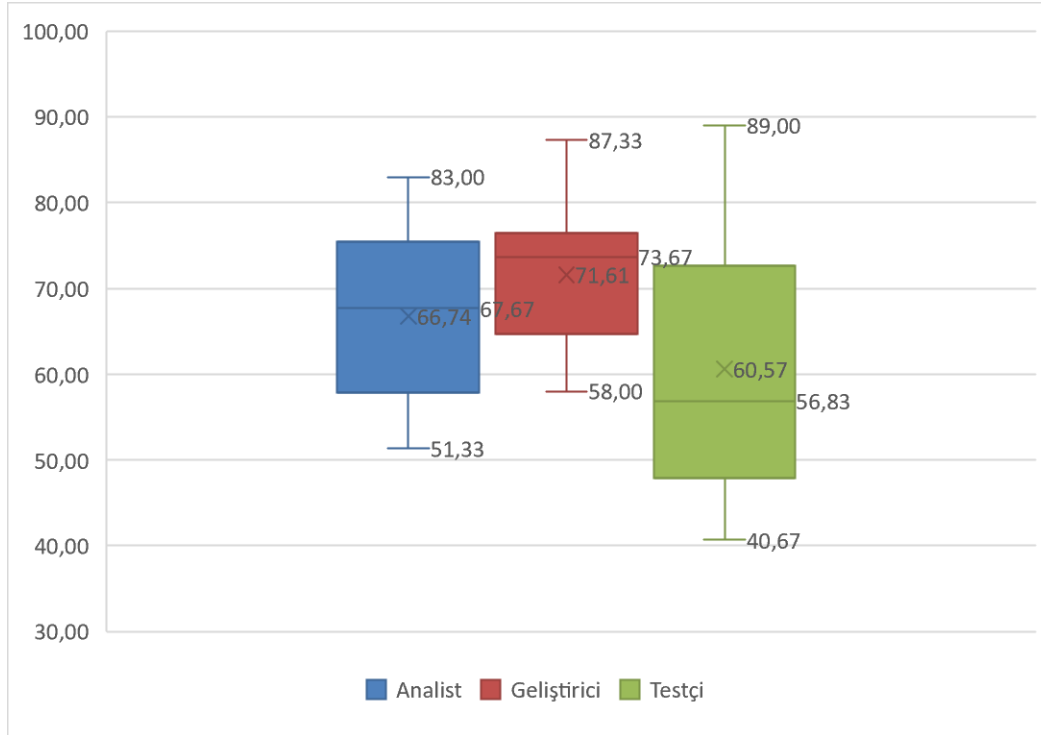
Şekil 7.2’ de ifade edildiği üzere NASA-TLX’in altı boyutu için incelenen çevik ekiplerde tanımlanmış olan üç rol incelendiğinde bu alt faktörlerde genel olarak “*geliştirici*” rolünün

yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sıralamayı analist ve test rolleri takip etmektedir. Sonuçların NASA-TLX boyutları çerçevesi analizinde görülmektedir ki, “Zihinsel talep” ve “efor” boyutları en yüksek değer alan iki boyuttur.



Şekil 7.2. Rollerin boyut bazlı kıyaslanması

Çevik ekiplerdeki rollerin sahip olduğu zihinsel iş yükü değerleri dikkate alındığında, “geliştirici” rolünün 71,6 skor ile en yüksek zihinsel iş yüküne sahip olan rol olduğu görülmektedir. Şekil 7.3.’de görülmekte olduğu gibi “geliştirici” rolü için zihinsel iş yükü değerleri dar bir değer aralığında dağılırken “test” rolü için tam tersi değer aralığı “geliştirici” ve “analist” rollerine göre daha geniş dağılmaktadır. Elde edilen sonuçlara dair bu analiz bize “geliştirici” rolü için karar vericilerin çoğunluğunun birbirine yakın zihinsel iş yükü hissettiği ama “test” rolü için daha farklı seviyelerde zihinsel iş yükü değerlerinin olduğu göstermektedir.



Şekil 7.3. Rollere göre iş yüklerinin kıyaslanması kutu grafiği gösterimi

7.4. HF - SWARA Yöntemi ile Hedef Ağırlıklarının Hesaplanması

Verilere ulaşmanın zor olduğu karar problemlerinde uzman görüşlerine başvurmak yaygın bir yaklaşımdır. Uzman görüşlerinin ifadesinde karar vericilerin yaşadığı kararsızlığı modellemek için bulanık küme teorisinden faydalanılmaktadır. Bulanık küme sayesinde dilsel terimler ile ifade edilen düşünceler üzerinde işlem yapmak mümkün olabilmektedir. Ancak bulanık kümelerin pek çok türü tek bir dilsel terim kullanımına müsaade etmektedir. Son yıllardaki gelişmelerle kararsız bulanık kümlere yaklaşımı ile karar vericilerin dilsel terim seçiminde yaşadığı zorluklara çözüm üretilmiş ve birden fazla dilsel terim ile düşüncelerin ifade edilmesi mümkün hale gelmiştir [69].

HP pek çok sayıda çelişen hedefe sahip olan problemlerle başa çıkabilmek için tasarlanmıştır. Ancak HP' nin her bir hedefin farklı önceliklendirilmesi ya da ağırlıklandırılmasına ihtiyaç duyulmasından dolayı, karar vericiler ilk olarak hedefleri ve önceliklerini ya da ağırlıklarını belirlemelidirler. Bu tezde çevik metodoloji ile çalışan ekip üyelerine görevlerin atanması çerçevesinde gerçekleştirilmesi istenen hedeflerin ağırlık seviyelerinin belirlemek için HF- SWARA yöntemi kullanılmıştır.

Bu hesaplama aşamasında ilk olarak ekibin zihinsel iş yükü dengesini dikkate alan model için HF -SWARA ile hedef ağırlıkları hesaplanmıştır. Hedeflerin değerlendirilmesi için görüşüne başvurmak üzere üç kişilik bir uzman grubu oluşturulmuştur. Uzmanlar grubu bu çalışmada örneklem olarak kullanılan ekiplerin yöneticilerinden oluşmaktadır.

Bu aşamada gerçekleştirilen hesaplamalara ilişkin adımlar alt bölüm 5.2.1’de verildiği gibi gerçekleştirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Karar probleminin hedefleri tanımlanmıştır. Zihinsel iş yükünü dikkate alan atama modeli için karar vericiler tarafından belirlenen hedefler aşağıda belirlenmiştir.

- Her ekip üyesi yaklaşık 200 eforluk (story point) iş almalıdır. (H1)
- Her çalışana üç tür işten en az bir tane atanmalıdır. (H2)
- Ekibin sprint içerisinde zihinsel iş yükü dengeli olmalıdır. (H3)
- Çalışanlar bir sprintte en fazla, sprintteki iş sayısının ekipteki kişi sayısına bölünmesi ile ortaya çıkan sayının 2 fazlası kadar farklı iş almalıdır. (H4)

Adım 2: Uzman görüşleri doğrultusunda en önemli hedefin tespit edilmesi.

Adım 3: Hedeflerin en önemli hedefe göre göreceli önem derecelerinin belirlenmesi. Bu adımdaki hesaplama karşılaştırmalarında uzman grubunun kullandığı dilsel değer ölçeği Çizelge 7.4’ te sunulmaktadır.

Çizelge 7.4. Dilsel değerlendirme ölçeği

Ölçek	Açıklama
s0	0 Çok az önem
s1	1 Hafifçe az önem
s2	2 Eşit önem
s3	3 Hafifçe daha fazla önem
s4	4 Çok daha fazla önem

Adım 4: Uzman görüşlerinin bütünleştirilmesi adımı ile hedef bazında uzmanların görüşleri Eş. 5.8’deki yığılma operatörü yardımıyla birleştirilmiştir. Bu işlem için öncelikle uzman görüşlerini gösteren dilsel terim kümelerinde eleman sayıları farklı ise eleman sayısı az olan

kümedeki en büyük dereceli eleman eklenerek, en fazla sayıda elemanı olan küme ile eleman sayısı eşitlenmiştir.

Çizelge 7.5. Yığılma operatörü ile elde edilen bütünleşik değerler

Hedef	Yığılma Değeri (HFLWA)	
H1	3,333	1,000
H3	3,000	1,000
H4	2,667	0,667

Adım 5: Hedef ağırlıklarının Eş. 5.9' da verilen skor fonksiyonu yardımı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 7.6. Hedef ağırlıkları

Hedef	Puan
H1	0,4333
H3	0,4000
H4	0,3333

Adım 6: Hedef katsayıları ve önem vektörü hesaplanmıştır.

Çizelge 7.7. Hedef katsayıları ve önem vektörü

Hedef	Puan	Katsayı	Önem Vektörü
H2		1,0000	1,0000
H1	0,4333	1,4333	0,6977
H3	0,4000	1,4000	0,4983
H4	0,3333	1,3333	0,3738

Adım 7: Hedef ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 7.8. Zihinsel iş yükü değerlerini dikkate alan 0-1 HP modelinin hedef ağırlıkları

Hedef	Puan	Katsayı	Önem Vektörü	Hedef Ağırlığı
H2		1,0000	1,0000	0,3891
H1	0,4333	1,4333	0,6977	0,2715
H3	0,4000	1,4000	0,4983	0,1939
H4	0,3333	1,3333	0,3738	0,1454

Adım 7 sonunda zihinsel iş yükü dikkate alan model için oluşturulan hedeflerin tam sıralanması $H2 > H1 > H3 > H4$ olarak hesaplanmıştır.

HF- SWARA hesaplama aşamasında geleneksel kısıtlar ile oluşturulan 0-1 HP modeli (zihinsel iş yükü dengesi ihmal edilen) için HF- SWARA yöntemi ile hedef ağırlıkları 0-1 HP hesaplanmıştır. Hedef ağırlıklarının hesaplanmasında alt bölüm 5.2.1’ de sunulan HF - SWARA hesaplama adımları kullanılmış, matematiksel hesaplamalara ilişkin elde edilen değerler Ek-4’te detayları ile sunulmuştur.

Geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli için belirlenen hedeflerin tam sıralanması $H2 > H1 > H4$ olarak bulunmuş ve bu modelin hedefleri için hesaplanan değerler ise Çizelge 7.9’da sunulmuştur.

Çizelge 7.9. Geleneksel kısıtlı 0-1 HP modelinin hedef ağırlıkları

Hedef	Puan	Katsayı	Önem Vektörü	Hedef Ağırlığı
H2		1,0000	1,0000	0,4762
H1	0,5417	1,5417	0,6486	0,3089
H4	0,4375	1,4375	0,4512	0,2149

7.5. 0–1 Hedef Programlama Hesaplamaları

Zihinel İş Yükünü Dikkate Alan 0-1 HP modelleri geliştirilirken kullanılan parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıdaki gibi verilmiştir.

Varsayımlar

- Sprintler iki haftalık (10 iş günü) zaman dilimlerinden oluşmaktadır.
- İşlerin öncelikleri ekip liderleri ve müşteriler tarafından belirlenmektedir.
- Sprint içerisinde ekip üyelerine atanacak işler ekip lideri tarafından belirlenmekte ve iş listesi olarak hazırlanmaktadır.
- Ekip üyelerinin her biri sprint içerisinde toplam 200 “*story point*” değerinde iş almalıdır.
- Her bir işin yalnız bir ekip üyesi tarafından yapılması gerekmektedir, bir çalışana birden çok iş atanabilir.
- Ekip üyelerinin sprint içerisinde üç farklı iş türünün herbirinden en az birer tane iş alması hedeflenmektedir.
- Çalışanın sprint içerisinde çok fazla iş takibi yapmasını önlemek için belirli bir iş sayısını aşmamasına da dikkat edilmektedir. Bu amaçla her çalışana bir sprint içerisinde atanacak

iş sayısının kişi sayısına oranından en fazla 2 fazla olacak şekilde iş atanmasına izin verilmelidir.

İndisler:

i = sprintte atacak işlerin listesi $\{0,1,2,3,...,a\}$

A = bir sprintteki toplam görev sayısı

j = ekip üyeleri $\{0,1,2,3,...,b\}$

B = çevik ekip içerisindeki toplam kişi sayısı

k = işin türü $\{1,2,...,c\}$

n = hedef sayısı $\{1,2,...,n\}$

Parametreler:

s_{ik} = i işinin k türünde olması $\{0,1\}$

e_i = i işinin eforu (story point)

y_{kj} = k tür iş için j çalışanın zihinsel iş yükü

t_k = t tür işin ekip içinde ortalama zihinsel iş yükü

w_n = n hedefinin ağırlığı

$\mu = A/B$

Karar Değişkeni:

x_{ikj} = k türünde i işinin j çalışana atanması 1, diğer durumda ise 0.

d_n^+ = n hedefinden pozitif sapma

d_n^- = n hedefinden negatif sapma

Amaç fonksiyonu:

$$Enk Z = w_1 \sum_j^b (d1_j^+) + w_2 \sum_{k=1}^c \sum_j^b (d2_{kj}^-) + w_3 \sum_{k=1}^c \sum_j^b (d3_{kj}^- + d3_{kj}^+) + w_4 \sum_j^b (d4_j^+) \quad \forall n \quad (7.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^b x_{ikj} = s_{ik} \quad \forall i, k \quad (7.2)$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (x_{ikj} * s_{ik} * e_i) + d1_j^- - d1_j^+ = 200 \quad \forall j \quad (7.3)$$

$$\sum_{i=1}^a (x_{ikj} * s_{ik}) + d2_{kj}^- - d2_{jk}^+ = 1 \quad \forall k, j \quad (7.4)$$

$$\sum_{i=1}^a (x_{ikj} * s_{ik} * y_{kj}) + d3_{kj}^- - d3_{kj}^+ = \sum_{i=1}^a (x_{ikj} * t_k) \quad \forall k, j \quad (7.5)$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (x_{ikj} * s_{ik}) + d4_j^- - d4_j^+ = \mu + 2 \quad \forall j \quad (7.6)$$

$$d_n^-, d_n^+ \geq 0 \quad (7.7)$$

$$x_{ikj} = \{k \text{ tür } i \text{ işi } j \text{ ekip üyesine atandıysa } 1, \text{ dd. } 0\} \quad (7.8)$$

Burada Eş. 7.1 zihinsel iş yükünü dikkate alarak iş ataması yapan hedef programlama modelinin amaç fonksiyonunu temsil etmekte ve belirlenen hedeflerden sapmaları en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Eş. 7.2 her işin sadece bir ekip üyesi tarafından yapılması kısıtını temsil etmektedir. Eşitliğin sağ taraf değerlerinde s_{ik} 'yı temsil eden değer matrisi EK-1' de sunulmaktadır. Eş. 7.3 ekip üyelerinden her birine sprint içerisinde atanan işlerin toplam eforunun 200'ü geçmemesi hedefini temsil etmektedir. Eş. 7.4 her ekip üyesinin her iş türünden en az bir iş alması gereğini temsil etmektedir. Eş. 7.5 her iş türü t_k için ekibin bir zihinsel iş yükü ortalaması varken, her iş türünde her ekip üyesi için atanan işlerde ekibin zihinsel iş yükünün dengeli olması hedefini temsil etmektedir. Eş. 7.6 her ekip üyesinin farklı işler alması durumunda iş takibi seviyesinin artmasını önlemek amacıyla "Her ekip üyesi en fazla iş sayısının ekipteki kişi sayısına bölünmesi ile ortaya çıkan sayının 2 fazlası kadar farklı iş almalıdır" hedefini temsil etmektedir. Eş. 7.7 dört adet hedef için hedeflerden pozitif ve negatif sapmayı temsil eden değişkenlerin pozitiflik kısıtıdır. Eş. 7.8 her k türündeki i işinin j ekip üyesine atanıp atanmadığını belirleyen 0-1 değişkeni temsil etmektedir.

Modele girdi sağlayan işlerin türleri ve işlerin eforlarına dair parametrik değerler EK-1’de sunulmaktadır.

Çizelge 7.10. Ekip-1 üyeleri ve iş türlerine göre belirlenmiş zihinsel iş yükü değerleri

Ekip üyeleri	1	2	3
U	72,5	78	58
A	74	85	65
O	79	78	64
S	74	79,5	65,25
H	72,35	85	68
Ortalama $t(k)$	75,5	80	63,75

Oluşturulan ilk model olan zihinsel iş yükünü dikkate alarak 0-1 HP modelin GAMS CPLEX Solver 45.5.0 kullanılarak çözdürülmüştür, model GAMS kodları EK-5’te sunulmuştur.

Zihinsel iş yükünü dikkate almayan geleneksel kısıtlarla oluşturulan 0-1 HP modeli var olan hedeflerin yeniden düzenlenmesine H3 hedefinin modelden çıkarılmasıyla oluşturulmuştur. Yeniden düzenlenen modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda Eş. 7.9 – 7.15’ de verilmiş, ayrıca EK-5’te bu modelin GAMS kodları sunulmuştur.

Amaç fonksiyonu:

$$Enk Z = w_1 \sum_j^b (d1_j^+) + w_2 \sum_{k=1}^c \sum_j^b (d2_{kj}^-) + w_4 \sum_j^b (d4_j^+) \quad \forall n \quad (7.9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^b x_{ikj} = s_{ik} \quad \forall i, k \quad (7.10)$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (x_{ikj} * s_{ik} * e_i) + d1_j^- - d1_j^+ = 200 \quad \forall j \quad (7.11)$$

$$\sum_{i=1}^a (x_{ikj} * s_{ik}) + d2_{kj}^- - d2_{jk}^+ = 1 \quad \forall k, j \quad (7.12)$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (x_{ikj} * s_{ik}) + d4_j^- - d4_j^+ = \mu + 2 \quad \forall j \quad (7.13)$$

$$d_n^-, d_n^+ \geq 0 \quad (7.14)$$

$$x_{ikj} = \{k \text{ tür } i \text{ işi } j \text{ ekip üyesine atandıysa } 1, \text{ dd. } 0\} \quad (7.15)$$

Eş. 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15 zihinsel iş yükü dikkate alarak atama yapılan modeldeki Eş. 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 ile aynıdır.

Zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP modeli GAMS optimizasyon programı CPLEX Solver ile elde edilen çözüm özeti dosyaları EK-6’da sunulmaktadır.

Çizelge 7.3’ te zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin “sprint 1” verileri için GAMS CPLEX Solver ile çözdürülmesi sonucunda hangi iş kime atandı özet olarak verilmiştir.

Çizelge 7.11. ZİY değerlerini dikkate alan modelin Ekip-1'in sprint-1 iş listesi için çözüm özeti

İş Türleri	İşler	U	A	O	S	H
Analiz	1	0	1	0	0	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1
	4	0	0	0	1	0
	5	0	1	0	0	0
	6	0	1	0	0	0
	7	0	1	0	0	0
Geliştirme	8	0	0	0	1	0
	9	0	0	0	1	0
	10	0	0	1	0	0
	11	1	0	0	0	0
	12	0	0	0	1	0
	13	0	1	0	0	0
	14	1	0	0	0	0
	15	0	0	0	1	0
	16	0	0	0	1	0
	17	0	0	0	1	0
	18	0	0	0	0	1
Test	19	0	0	1	0	0
	20	0	0	1	0	0
	21	0	0	1	0	0
	22	0	0	1	0	0
	23	0	0	1	0	0
	24	0	0	1	0	0
	25	0	0	1	0	0
	26	0	0	0	1	0
	27	0	0	1	0	0
	28	0	0	1	0	0
	29	0	1	0	0	0
	30	0	0	1	0	0
Toplam Efor	1065	210	209	230	206	210

Geleneksel kısıtlarla atama yapan 0-1 HP modelin GAMS optimizasyon programı CPLEX Solver ile çözümünden elde edilen sonuçlara dair çözüm özeti dosyaları EK-7' de, bu matematiksel model için elde edilen çıktılar bazında atanan görevlerin listesi ise Çizelge 7.12' de sunulmaktadır.

Çizelge 7.12. Geleneksel modelin Ekip-1 sprint-1 iş listesi için çözüm özeti

İş Türleri	İşler	U	A	O	S	H
Analiz	1	0	0	1	0	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1
	4	1	0	0	0	0
	5	0	1	0	0	0
	6	0	1	0	0	0
	7	0	0	0	1	0
Geliştirme	8	1	0	0	0	0
	9	0	0	1	0	0
	10	1	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	1
	12	0	0	1	0	0
	13	0	0	0	1	0
	14	0	1	0	0	0
	15	0	0	0	1	0
	16	0	1	0	0	0
	17	0	1	0	0	0
	18	0	0	1	0	0
Test	19	0	0	0	1	0
	20	0	0	0	0	1
	21	1	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	1
	23	0	0	0	1	0
	24	0	0	0	1	0
	25	0	1	0	0	0
	26	0	0	1	0	0
	27	0	0	0	1	0
	28	0	1	0	0	0
	29	1	0	0	0	0
	30	0	0	0	1	0
Toplam Efor	1065	203	215	226	207	214

Geliştirilen 0-1 HP modeli çevik metodoloji ile çalışan ekibin tüm sprintleri için iş yükü ataması yapabilme yeteneğine sahip olduğunu göstermek için farklı bir sprintteki iş listesi kullanılarak ekibin iş ataması aşağıdaki başlıkta sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında sunulan çözüm metodolojisinin verilerden bağımsız olarak çalışabildiğinin analizi öne sürülen modellere farklı planlama ufuklarının farklı ekipler için ayrı ayrı oluşturulmasıyla çözüme ulaştırılmıştır. Bu çerçevede sıradaki alt bölümlerde farklı

girdi veri setleri ile farklı dönemler ve farklı ekipler için tez kapsamında geliştirilen yaklaşımlar gerçek hayat probleminde sunulmaktadır.

Aynı ekip farklı sprint için iş yükü incelenmesi

Ekip-1 için ilk sprint verileri ile model çalıştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Oluşturulan modelin farklı sprintler için de belirlenen hedefler doğrultusunda uygunluğunun ve yapılan atamaların doğruluğunun ispatını sağlamak için EK-1’de “*sprint 2*” için efor ve iş türü parametre bilgileri temelinde oluşturulan model farklı bir planlama operasyonu için GAMS CPLEX Solver ile çözüme ulaştırılmıştır.

Çizelge 7.13’ te zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin “*sprint 2*” verileri için çözüm sonuçları özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 7.13. Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin Ekip-1’in sprint-2 iş listesi için çözüm özeti

İş Türleri	İşler	U	A	O	S	H
Analiz	1	0	1		0	0
Geliştirme	2	1	0	0	0	0
Geliştirme	3	0	0	0	1	0
Geliştirme	4	0	0	0		1
Analiz	5	0	0	0	1	0
Analiz	6	0	0	1	0	0
Test	7	0	0	1	0	0
Geliştirme	8	0	0	0	1	0
Analiz	9	0	1	0	0	0
Geliştirme	10	0	0	0	1	0
Analiz	11	0	1	0	0	0
Test	12	0	0	1	0	0
Analiz	13	0	1	0	0	0
Test	14	0	0	0	1	0
Test	15	0	0	0	1	0
Test	16	0	1	0		0
Geliştirme	17	0	1	0	0	0
Geliştirme	18	0	0	1	0	0
Analiz	19	0	1	0	0	0
Geliştirme	20	0	0	0	1	0
Geliştirme	21	0	0	0	1	0
Geliştirme	22	0	0	1	0	0
Test	23	0	0	1	0	0

Çizelge 7.13. (devamı) Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin Ekip-1'in sprint-2 iş listesi için çözüm özeti

İş Türleri	İşler	U	A	O	S	H
Analiz	24	0	1	0	0	0
Analiz	25	0	0	0	0	1
Analiz	26	0	1	0	0	0
Geliştirme	27	0	0	0	1	0
Geliştirme	28	0	0	0	0	1
Geliştirme	29	0	0	0	1	0
Test	30	0	0	0	1	0
Analiz	31	1	0	0	0	0
Geliştirme	32	1	0	0	0	0
Analiz	33	0	1	0	0	0
Geliştirme	34	0	0	0	1	0
Geliştirme	35	1	0	0	0	0
Test	36	0	0	1	0	0
Test	37	0	0	1	0	0
Test	38	0	0	1	0	0
Test	39	0	0	1	0	0
Geliştirme	40	0	0	0	0	1
Toplam Efor	1010	200	204	205	201	200

Farklı ekipler için “sprint 1” verileri ile görev ataması

Tez çalışması kapsamında öne sürülen çözüm metodolojisinin girdi verilerinden bağımsız olarak çalışabildiğinin analizi için, öne sürülen modeller farklı ekipler içinde atama yaptığını ispatlamak için “ekip 2” için yapılan zihinsel iş yükü analizleri ve modelin yaptığı “sprint 1” iş listesinin atama sonuçlarına ulaşılmış ve analiz edilmiştir.

Ekip-2 üzerinde yapılan zihinsel iş yükü hesaplamaları Çizelge 7.14’te sunulmuştur.

Çizelge 7.14. Ekip-2 üyeleri ve iş türlerine göre zihinsel iş yükleri

Ekip üyeleri/İş Türü	1	2	3
A	78,67	89	85
H	68	77	60,67
B	71,33	75,67	71,33
S	60,67	75	55
F	75	80	62
Ortalama $t(k)$	70,734	79,334	66,8

Farklı bir ekip için sprint-1 iş listesi için atama yapılmış Çizelge 7.15 ile özetlenmiştir.

Çizelge 7.15. Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin Ekip-2'nin sprint-1 için çözüm özeti

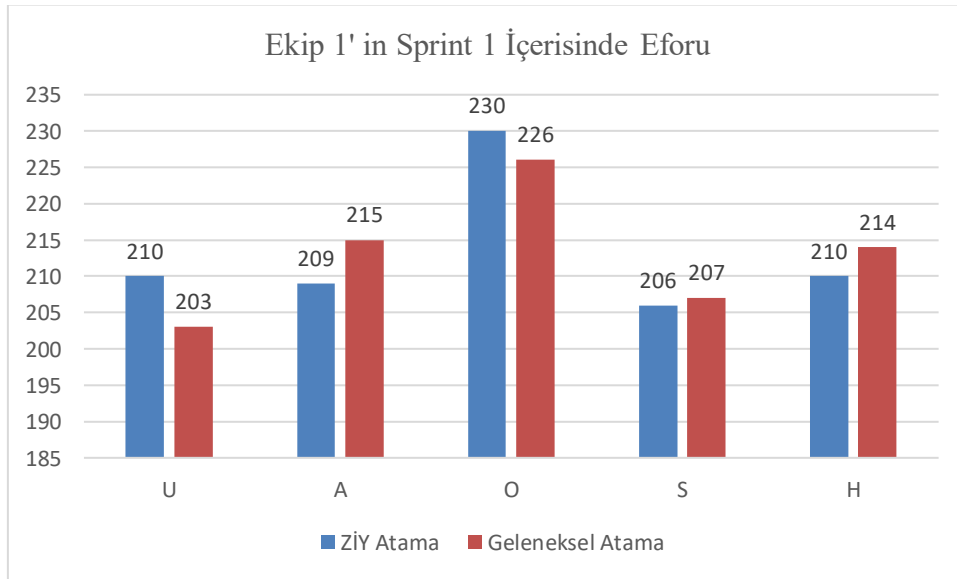
İş Türleri	İşler	A	H	B	S	F
Analiz	1	0	0	1	0	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	1	0	0	0
	4	0	0	1	0	0
	5	0	0	1	0	0
	6	0	0	1	0	0
	7	0	0	1	0	0
Geliştirme	8	0	0	0	0	1
	9	0	0	0	0	1
	10	0	0	0	0	1
	11	0	0	0	1	0
	12	0	0	0	0	1
	13	0	0	0	1	0
	14	0	0	0	1	0
	15	0	0	0	1	0
	16	0	1	0	0	0
	17	0	0	0	0	1
	18	1	0	0	0	0
Test	19	0	0	0	0	1
	20	0	0	1	0	0
	21	0	0	0	0	1
	22	0	0	1	0	0
	23	0	0	0	0	1
	24	0	0	1	0	0
	25	0	1	0	0	0
	26	0	0	0	0	1
	27	0	0	0	0	1
	28	0	0	0	0	1
	29	0	1	0	0	0
	30	0	0	0	0	1
Toplam Efor	1065	210	214	218	214	209

7.6. Tartışma

Bu tez çalışmasında yazılım sektöründe çevik metodoloji prensiplerine göre çalışan ekipler için çalışanlara görevlerin ataması problemi ele alınmıştır. Tez çalışması uygulamasında verilerin alınmış olduğu gerçek hayat problemi incelenen departmanda mevcut iş akışı olarak geleneksel iş atama kısıtları kullanılmaktadır.

Çalışanların maruz kaldıkları zihinsel iş yükü seviyesi, motivasyon, performans ve üretim verimliliğini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Çevik metodolojide esnek şartlara hızlı uyum sağlamak ve kısa sürede çalışan iş parçaları ortaya koymak hedeflenmektedir. Bu hedefler proje sonunda başarı ve müşteri memnuniyeti getirirse de geliştirme sürecinde çevik ekip üzerinde oldukça yüksek oranda stres ve iş yükü oluşturmaktadır. Bu tez çalışması ile zihinsel iş yükünün de dikkate alındığı bir iş atama modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir.

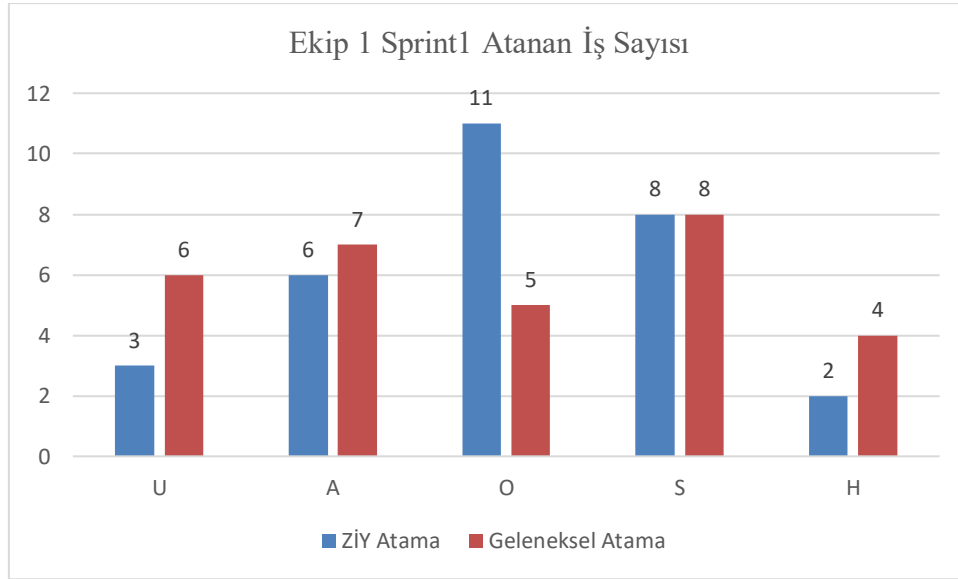
Gerçek hayat verileri ile yürütülen analizler ve matematiksel hesaplamalar sonucunda geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli ve zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP modeli sonuçları kıyaslanacak olursa; çalışanların sprint içerisinde aldığı efor bazlı ciddi bir farklılaşma olmadığı gözlenmiştir. Ekibin bir sprint içerisinde alacağı iş ve eforlar belli olduğu için her iki matematiksel model ile de dengeli bir efor dağılımı yapılmasına önem verildiği analiz edilmiştir. Hesaplama sonuçları Şekil 7.4' te görselleştirilerek karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 7.4. Ekip-1'in sprint-1 içerisindeki eforlarının kıyaslanması

Çevik ekiplerde her ekip üyesinin her görev için gerekli yetenek setine sahip olması ve karma atanmış görevleri yapması beklenmektedir. Bu çevik bir ekip olmanın önemli koşullarından biridir. Her ekip üyesi *analiz*, *geliştirme* ve *test* türlerinde her işi yapabilecek yetenek ve yetkinlikte olsa da bu görevlerin gereklerine insani olarak yatkınlıkları, geçmiş tecrübeleri ve yetenekleriyle hissettikleri zihinsel iş yükleri farklılaşacaktır. Bu gibi

sebeplerle Ekip-1 için oluşturulan sprint verileri ile iki farklı matematiksel model sonuçlarında atanan iş sayısında bazı farklar olduğu Şekil 7.5'te göze çarpmaktadır.



Şekil 7.5. Farklı matematiksel modeller için atanan iş sayısının kıyaslanması

Ekip üyelerinin farklı iş türleri temelinde maruz kaldıkları zihinsel iş yükü seviyeleri NASA-TLX yöntemi ile hesaplanmıştır. Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin hedefi ekibin zihinsel iş yükünü her iş türü için dengeli hale getirmektir. Bu hedef doğrultusunda sonuçlar analiz edildiğinde model ekip üyelerine iş ataması yaparken her iş türünden atamaktansa zihinsel iş yükü dengesini koruyacak şekilde daha az iş türünde iş atamayı tercih etmiştir. Çizelge 7.16' da iki model için ekip üyelerine atanan işlerin türleri ayrı ayrı sunulmaktadır.

Çizelge 7.16. İş türlerine göre karşılaştırma

Ekip Üyeleri	ZİY Atama	Geleneksel Atama
U	Analiz Geliştirme	Analiz Geliştirme Test
A	Analiz Geliştirme Test	Analiz Geliştirme Test
O	Geliştirme Test	Analiz Geliştirme Test
S	Analiz Geliştirme Test	Analiz Geliştirme Test
H	Analiz Geliştirme	Analiz Geliştirme Test

Çizelge 7.18’ de görüldüğü üzere geleneksel model tüm matematiksel model hedeflerini gerçekleştirerek homojen bir iş dağılımı yapmıştır. Çizelge 7.17’ de sunulmuş olan zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP modelinin çözüm sonuçlarına göre ise heterojen bir iş dağılımı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni zihinsel iş yükünün dikkate alındığı bu model ile “*ekibin eşit sayıda iş alması*” hedefinden ($w_{H4} = 0,14$) daha önemli olan “*zihinsel iş yüklerinin dengeli olması*” hedefinin ($w_{H3} = 0,19$) sağlanmaya çalışılmış olması temelinde yorumlanmaktadır.

Çizelge 7.17. Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelde iş türlerine göre atama sonuçları

İş Türleri	U	A	O	S	H
Analiz	1	4	0	1	1
Geliştirme	2	1	1	6	1
Test	0	1	10	1	0
Atanan iş sayısı	3	6	11	8	2

Çizelge 7.18. Geleneksel kısıtlı modelde iş türlerine göre atama sonuçları

İş Türleri	U	A	O	S	H
Analiz	2	2	1	1	1
Geliştirme	2	3	3	2	1
Test	2	2	1	5	2
Atanan iş sayısı	6	7	5	8	4

Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin diğer bir faydası da ekibe yeni dahil olan üyelere iş ataması yapılırken, zihinsel iş yükü diğer ekip üyelerine göre fazla olacağı için, daha az miktarda ve daha az değişkenlikte iş türünde atama yapan bu model ile oryantasyon sürecinde çalışanların adaptasyonunun daha hızlı sağlanmasında fayda beklenmesi olabilecektir.

Çevik ekipler, ekibin birlikte çalışma süresi arttıkça çalışanlar arası iletişim güçlenecektir. Ek olarak ekip üyelerinin tecrübeleri arttıkça hissedilen iş yükü seviyelerinde de azalma olması beklenen bir sonuçtur. Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin doğru sonuç verebilmesi için zihinsel iş yükü hesaplamalarının ekibin gelişimine göre güncellenmesi gerekmektedir.

Gerçek hayat verilerine dayanan iki farklı matematiksel model sonuçları analizinde bir başka nokta olarak, çevik ekip görevlerinin geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli ile atandığı sprintler incelendiğinde işlerin tamamlanma yüzdesinin %75 ile %85 arasında seyretmekte olduğu görülmektedir. Görevler zihinsel iş yükünün dikkate alan 0-1 HP modeli ile atandığında, ekiplere ard arda üç sprintte atama yapılmış ve iş tamamlanma yüzdelerinin %80 ile %95 arasında seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, zihinsel iş yükünün görev atamalarında dikkate alınması ile ekibin verimliliğinde yaklaşık %10 oranında bir artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Çizelge 7.19 ile geleneksel kısıtlı model ile iş ataması yapılan ekibin tamamlama yüzdeleri verilmiştir. Çizelge 7.20’ de ise aynı ekibe zihinsel iş yükü dikkate alınarak yapılan iş ataması sonucunda tamamlama yüzdeleri sunulmaktadır.

Çizelge 7.19. Geleneksel kısıtlı model ile planlanan sprintler için görevlerin tamamlanma yüzdeleri

Ekip Üyeleri	Toplam Efor	Gerçekleşen Efor		Ekip Üyeleri	Tamamlanma %
U	203	165		U	81,28
A	215	195		A	90,7
O	226	176		O	77,88
S	207	183		S	88,41
H	214	178		H	83,18
Toplam	1065	897		Ortalama	84,23

Çizelge 7.20. Zihinsel iş yükünü dikkate alan model ile planlanan sprintler için görevlerin tamamlanma yüzdeleri

Ekip Üyeleri	Toplam Efor	Gerçekleşen Efor		Ekip Üyeleri	Tamamlanma %
U	200	180		U	90
A	204	193		A	94,61
O	205	194		O	94,63
S	201	188		S	93,53
H	200	182		H	91
Toplam	1010	937		Ortalama	92,77

Çevik ekiplerde her ne kadar tüm çalışanların her iş türünde fikri olsa da her ekip üyesinin çalışmaktan keyif aldığı ve sevdiği alanlar farklı olabilmektedir. Zihinsel iş yükünün dikkate alındığı model ile geleneksel bakış açısından çıkarak çevik metodolojiye farklı bir bakış açısı getirilmiş, bu sayede mevcut ekiplerin motivasyonları yüksek, daha mutlu ve daha verimli ekipler haline gelmeleri çevik metodolojinin çalışanlar üzerindeki negatif etkilerinin en azlanması hedeflenmiştir. Tamamlanma yüzdelerindeki %10'luk artış ile verimliliğin yükseldiği gözlemlenmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yazılım projelerinin yürütülmesiyle geliştirme ürünlerinin tamamlanması, hızla gelişen teknolojiye rağmen emek yoğun ve zaman baskısı altında gerçekleştirilen zor ve karmaşık faaliyetlerdir. Bu nedenle sektör çalışanlarının önemli ölçülerde zihinsel iş yüküne maruz kaldıkları kaçınılmaz bir gerçektir. Bilişim sektörünün giderek büyümesi ve işgücü sayısının da artmasıyla bu sektörde de zihinsel iş yükü analizine yönelik çalışmaların yapılması, ergonomi ve insan mühendisliği literatüründeki eksikliğin giderilmesi amacıyla uygun yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliği doğmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında çevik metodoloji ile yazılım geliştirme yapan ekipler ele alınmıştır. Çevik metodoloji ile çalışan ekiplerde farklı rol ve görev tanımlarının birden çok çalışan tarafından sık değişkenlik gösteren atamalar ile kısa uygulama periyotlarında yerine getirilen iş sistemleri söz konusu olduğundan, görev temelli atanan iş yükü ile çalışanların zihinsel kapasiteleri arasındaki dengenin korunması konusu burada daha büyük önem arz etmektedir. Bu ekiplerde esas amaç herkesin benzer yetkinliklere sahip olması ve herkesin tüm görev tanımları için yeterli yetkinlik düzeyinde olması böylece işlerin beklemesinin önüne geçilerek daha yüksek düzeyde çıktı üretebilmesidir. Çalışanların yetenekleri, geçmiş tecrübeleri ve ilgi alanları gibi parametreler her görev tipinde aynı derecede zihinsel iş yüküne maruz kalmayacaklarını açık olarak göstermektedir. Buradan yola çıkarak tez çalışmasında çevik ekiplerin rol bazlı zihinsel iş yüklerinin hesaplanması gerçek hayat uygulamasının ilk adımı olmuştur.

Zihinsel iş yükü hesaplaması yapılırken ekip üyelerinin sahip olduğu üç farklı rol (*analiz, geliştirme, test*) değerlendirilmiştir ve bu hesaplamalarda NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır.

Ele alınan problemde hedef ağırlıklarının belirlenmesinde diğer yöntemlere entegrasyonu konusunda kolaylık sağlaması ve bulanık terimlerle de kolay kullanımı sebebiyle SWARA yöntemi tercih edilmiştir. Ekip liderleri, karar verici olarak seçilmiş, literatür araştırmaları ve KV görüşleri doğrultusunda belirlenen dört hedefin önem seviyelerinin belirlenmesinde HF- SWARA yöntemi kullanılmıştır. Karar vericilerin görüşlerini ifade ederken yaşadığı kararsızlığı modellemek için bulanık küme teorisinden faydalanılmış, tereddütler altında

etkin çözümün elde edilebilmesi amacıyla SWARA yöntemi HFLT ile birlikte kullanılmıştır.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında için uygulama yapılacak gerçek hayat probleminin yapısı ve mevcut literatür örneklerinden hareketle işlerin personellere atanması konusunda 0-1 HP matematiksel modelleme tekniği tercih edilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan yazılım geliştirme ekibinin mevcut durumda kullandığı geleneksel kısıtları dikkate alan bir 0-1 HP model ile atama yapılmış ve kurulmuş ve yeni bakış açısı ile aynı ekibin zihinsel iş yükünü dikkate alan bir diğer model kurularak iki durumda da elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ekibin bir sprint içerisinde alacağı işler ve eforlar belli olduğu için geleneksel modelde ve zihinsel iş yükünü dikkate alan modelde ekip içerisinde efor dağılımının dengeli olarak yapılması sağlanmıştır. Zihinsel iş yükünü dikkate alan modelin ek hedefi ekibin zihinsel iş yükünü her iş türü (*analiz, geliştirme ve test*) için dengeli hale getirmektir. Bu hedef doğrultusunda model ekip üyelerine görev ataması yaparken her iş türünden görev atamaktansa, zihinsel iş yükünün dengesini koruyacak şekilde daha az iş türünde görev atamayı tercih etmiştir. Böylece bir sprint içerisinde bir ekip üyesi birçok farklı görev takibi yapmak ve diğer iş türüne adapte olmaya çalışmak konusunda daha az iş yüküne maruz kalırken, yine her çalışan her çeşit görevde çalışarak çevik metodolojinin gereklerini yerine getirmiştir.

Geleneksel kısıtlı 0-1 HP model ve zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP model farklı ekipler ve farklı iş listeleri için çalıştırılmış ve modellerin veriden bağımsız olarak çalışabildiği ispatlanmıştır.

Bu tez çalışmasında uygulama yapılan çevik ekiplere geleneksel kısıtlar ile görev ataması yapılan sprintler ve zihinsel iş yükünün dikkate alınarak iş ataması yapılan sprintler incelendiğinde işlerin tamamlanma yüzdelerinde zihinsel iş yüklerinin dikkate alınması ile yaklaşık %10 oranında bir artış sağlandığı gözlemlenmiştir.

Çevik ekiplerde zihinsel iş yükünün dikkate alınması ile atama yapılması, her bir ekip üyesinin kapasitesini en iyi şekilde kullanmasını da sağlamaktadır. Böylece daha etkili çalışma ve görevlerin hızlı bir şekilde tamamlanması avantajları da sağlanmış olacaktır. Ekip üyelerinin zihinsel kapasitelerini aşacak iş yüküne maruz kalması önlenerek aşırı stresin ve

tükenmenin önlenmesine geçilmesine de yardımcı olunabilecektir. Her bir ekip üyesinin iş yükünün daha etkin yönetilebilir olması, görevlerin daha dikkatli ve kaliteli bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktadır. Her ekip üyesi kendi kapasitesi doğrultusunda çalışarak, yeni beceriler öğrenme ve mevcut yeteneklerini geliştirme fırsatı bulmaktadır. Sonuç olarak, zihinsel iş yüküne göre iş dağılımı yapmak, ekip üyelerinin en iyi performanslarını sergilemelerini sağlamakta, aşırı yüklenmeyi önlemekte, motivasyonu artırmakta ve projenin başarı şansını da ayrıca artırmaktadır.

Gelecek çalışmalar için (i)zihinsel iş yükü tespitinin daha geniş bir katılımcı grubu üzerinde uygulama yapılması (ii)bu çalışmada çevik ekipler üzerinde çalışılmıştır ancak farklı metodoloji ile çalışan ekipler için çalışmanın uygulanması (iii)farklı yazılım geliştirme metodolojilerinde zihinsel iş yükünün dikkate alınması ile iş ataması yapıldığında hangi modeli kullanan ekiplerin daha verimli çalıştığına analizinin yapılması (iv)farklı yazılım geliştirme metodolojileri için hissedilen zihinsel iş yükü kıyaslamasının yapılması (v)bu çalışmada 0-1 HP modelleri hedeflerinin ağırlıklarının tespitinde HF- SWARA ÇKKV yöntemi tercih edilmiştir, farklı ÇKKV yöntemleri ile modelin yeniden tasarlanması gibi öneriler sunulabilir. Bu çalışma için 0-1 HP modelinin ağırlıklı türü çözüm için tercih edilmiştir. Gelecek çalışmalarda ayrıca, farklı parametre verilerinin kullanıldığı matematiksel modellerin çözümünde veri değerlerindeki farklılıklar temelinde öncelikli 0-1 HP modelinin de çözüm için tercih edilmesi gibi öneriler sunulabilir.

KAYNAKLAR

1. Ulusam Seçkiner, S., Toraman, N. (2017). Bilişsel işyükünü belirlemek için yeni bir model. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(1), 365-381.
2. Emeç, Ş., Akkaya, G. (2018). Sağlık sektöründe zihinsel iş yükü değerlendirmesi ve bir uygulama. *Ergonomi*, 1(3), 156-162.
3. Gülkaç, H. (2014). *Pilotların zihinsel iş yüklerinin NASA-TLX yöntemi ile ölçülmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
4. Aksüt, G., Eren, T., ve Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik risk faktörlerinin sınıflandırılması: bir literatür taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169-192.
5. Kılıç Delice, E. (2016). Acil servis hekimlerinin NASA-RTLX yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi: bir uygulama çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3).
6. Aytaç Adalı, E., ve Tuş Işık, A. (2017). Bir tedarikçi seçim problemi için swara ve waspas yöntemlerine dayanan karar verme yaklaşımı. *International Review of Economics and Management*, 5(4), 56-77.
7. Çankaya, İ. H. (2010). Okullarda kurumsal ataleti yenmek: yönetici görüşlerinin değerlendirilmesi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 18(3), 705-718.
8. İnternet: Agilealliance. (2019). *Agile Manifesto*. Web: <https://www.agilealliance.org/agile101/the-agile-manifesto/>. Son Erişim Tarihi: 02.11. 2023
9. Schwaber K. ve Sutherland J. (2017). *Scrum kılavuzu- scrumun tanımlayıcı kılavuzu: oyunun kuralları*, Türkçe'ye çeviren Agile Turkey, USA: Microsoft Press.
10. Pressman, R. S. (2005). *Software engineering: a practitioner's approach*, New York: Mcgraw/Hill.
11. İnternet: Beck, K. Beedle, M. ve Bennekum, A. (2001). *Çevik yazılım geliştirme manifestosu*. Web: <http://agilemanifesto.org/iso/tr/manifesto.html>. Son Erişim Tarihi: 01.10.2023.
12. Tsui, F. Karam, O. ve Bernal, B. (2013). *Essentials of software engineering*, USA: Jones and Bartlett.
13. İnternet: YKC Bilişim. (2018). *Şelale modeli*. Web: <https://www.ykcgrup.com.tr/selale-modeli-nedir/>. Son Erişim Tarihi: 01.12.2023.

14. İnternet: Gökbayrak, U. (2021). *Agile manifesto'nun 12 prensibi*. Web: <https://cevikyazilim.org/agile-manifestonun-12-prensibi-halen-ge%C3%A7erli-mi-5cb55de7be42>. Son Erişim Tarihi:10.11.2023.
15. Başar, A. Özkaya, A. Kesgin, A. (2015). *Yazılım geliştirme süreçlerinde şelale yönteminden çevik yaklaşıma geçiş: bir teknoloji şirketinde uygulama*. 9. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumunda sunuldu, İzmir.
16. İnternet: Şimşek, S. (2023). *BA-Works*. Web:<https://ba-works.com/blog/agile-projelerde-story-point-yaklasimi/>. Son Erişim Tarihi: 07.12.2023.
17. İnternet: Proje Geliştirme. (2018). *Agile ve scrum nedir?*. Web:<https://www.bukrek.com/artilari-ve-eksileri-ile-agile-yontemler>. Son Erişim Tarihi: 09.11.2023.
18. Mitchell, I. (2019). *Scrum.org*. Web: <https://www.scrum.org/resources/blog/agile-manifesto-lean-perspective>. Son Erişim Tarihi: 20.09.2023.
19. İnternet: Kadioğlu, İ. (2020). *Planning Poker*. Web: <https://medium.com/@ilkim.dilara/planning-poker-58c7ce17e78f>. Son Erişim Tarihi: 25. 11.2023.
20. Akça, H. K. (2022). *Bilgi teknolojilerinde proje yönetim metodolojilerini bilişsel ergonomik açıdan değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
21. Anaral, F. (2012). *Çok kriterli karar verme yöntemi ile yazılım geliştirme metodolojisi seçimi*. Yüksel Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
22. Akca, M., Yavuz, M., ve Tepe Küçükoğlu, M. (2020). Zihinsel iş yükünün ölçümü: Carmen-Q ölçeğinin Türkçe'ye uyarlaması. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(60), 675-691.
23. Öztürk, M. A., Erdem, M. (2020). Sınıf öğretmenlerinin iş yükü algısı ile mesleki tükenmişlik düzeyleri arasındaki ilişki. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(1), 926-958.
24. Karaca, B. R. Oğuzhan, G. (2023). Zihinsel iş yükü ile tükenmişlik arasındaki ilişki: sağlık çalışanları örneği. *Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 100-109.
25. Hart, S. (2006). *Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50 th sunuldu, 904-908.
26. Ekinci, E. B. ve Can, G. F. (2018). Algılanan iş yükü ve çalışma duruşları dikkate alınarak operatörlerin. *Ergonomi*, 1(2). 77-91.

27. Cooper, G. Harper, J. R. (1969). The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities, *Agard Advisory Group For Aerospace Research & Development*.
28. Ernst, A.T., Jiang H., Krishnamoorthy, M. Owens, B. Sier D. (2004). An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering, *Annals of Operations Research*, 127, 21–144.
29. Kurtgün, M. (2022). *Bulanık vikor yöntemi ile zihinsel iş yükünün belirlemesi*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
30. Bıyıklı, Ö. ve Kızılkaya, E. (2015). Nöroergonomi ve temel uygulama alanları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 173-179, 2015.
31. Groover, M. (2007). *Cognitive ergonomics: the human sensory, Work systems and the methods, measurement, and management of work*. New York: Pearson Prentice Hall.
32. Kaya, M. D., Güzel, D., & Çubukçu, B. (2011). Ilıca şeker fabrikası çalışanlarının iş memnuniyeti, ergonomik çalışma koşulları ve iş stresi yönünden incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 25(2), 51-60.
33. Çalımfidan, E., (2015). *Döner kanat pilotları için gece uçuş emniyetini artırmaya yönelik bir çalışma*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
34. Kayak, M., (2023). *NASA-TLX yönteminde ağırlıkların belirlenmesinde konjoint analiz kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
35. Dursun, Y. ve Kocagöz, E. (2015). Yapısal eşitlik modellemesi ve regresyon:karşılaştırmalı bir analiz. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35, 1-17.
36. Moe, N. B. (2010) A teamwork model for understanding an agile team: A case study of a Scrum project. *Information and Software Technology*, 52(5), 480-491.
37. Aksakal, E. ve Dağdeviren, M. (2015). Yetenek yönetimi temelli personel atama modeli ve çözüm önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2).
38. Ünal, F. Eren, T. (2016). Hedef programlama ile nöbet çizelgeleme probleminin çözümü. *Academic Platform-Journal Of Engineering And Science*, 4(1), 28 - 37.
39. Eren, T. Özder, E. H. ve Varlı, E. (2017). Hedef programlama yaklaşımı ile temizlik personeli çizelgeleme problemi için bir model önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114 - 127.

40. Kartoğlu, C. (2022). *Yüksek hızlı teknelerde zihinsel iş yükü, durumsal farkındalık ve emniyet kültürü ilişkilerinin köprü üstü seyir operasyonu açısından incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
41. Türker, T. (2019). *Çağrı merkezinde vardiya ve personel çizelgelenmesi için kısıt programlama temelli bir model önerisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
42. Varol, İ. (2001). *0-1 tamsayılı hedef programlama tabanlı asistan doktor çizelgeleme modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
43. Ceylan, Z. Yüksel, A. Yıldız, A. ve Şimşak, B. (2019). Sınav çizelgeleme problemi için hedef programlama yaklaşımı ve bir uygulama. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(2), 942-956.
44. Bolayır, B. Ergülen, A. (2022). Otel personelinin optimal işgücü planlaması: saf tamsayılı programlama uygulaması. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 178-196.
45. Başar, A. (2022). Yeni bir matematiksel model ve hibrit meta sezgisel ile kaynak kısıtlı projelerin çizelgelenmesi: bir vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(3), 1169-1184.
46. Ceylan, Z., Arslan, M., Arslan, T. (2021). Bir hafif raylı ulaşım sisteminde makinist çizelgeleme problemi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1027-1039.
47. Cürebal, A. (2021). *Personel atama ve çizelgeleme problemi için hedef programlama bazlı karar destek sistemi geliştirilmesi: bir fabrika için uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
48. Yılmaz Kaya, B. (2018). *Ekip çizelgeleme probleminde insani faktörlerin etkilerinin incelenmesi ve karar destek sistemi önerisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
49. Yılmaz, B. (2010). *Ekipman seçimi problemi için bulanık promethee ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin bütünsel kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
50. Taha, H. (2000). *Yöneylem araştırması*, Ankara: Literatür Yayıncılık, 343-360.
51. Eren, T. ve Güner, E. (2004). Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 19-30.

52. Lee, E. (2005). The relationship of motivation and flow experience to academic procrastination in university students. *The Journal of Genetic Psychology*, 166(1), 5-14.
53. Ignizio, J. (1976). *Goal programming and extensions*, Lexington: D.C. Heath and Company, 1-66.
54. Romero, C. (1991). *Handbook of critical issues in goal programming*, Oxford: Pergamon Publication.
55. Charnes, A. ve Cooper, W. (1977). Goal programming and multiple objective optimizations. *European Journal of Operational Research*, 1(1) , 39-54.
56. Kaçmaz, Ö. Alakaş, H. ve Eren, T. (2019). Shift scheduling with the goal programming method: a case study in the glass industry. *Mathematics*, 6(561), 7.
57. Winston, W. (2001). *Practical management science*, USA: Duxbury - Thomson Learning.
58. Tamiz, M. ve Jones, D. F. (1997). Interactive framework for investigation of goal programming models: theory and practice. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 52-60.
59. Hart, S. ve Staveland, L. E. (1988) *Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research*. Amsterdam : North Holland Press.
60. Yağmuroğlu, Z. Günaydın, H. M. ve Kale, S. (2011). *İş gereksinim analizi yönteminin iş güvenliği bağlamında incelenmesi*. 3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumunda sunuldu, Çanakkale.
61. Byers, J. C., Bittner, A. C. Hill, S. G. (1989). *Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary?*, 481–485, London: Taylor & Francis.
62. Yılmaz Kaya, B. Dağdeviren, M. (2023). Optimal solution accoutrement for crew scheduling problem: An innovative solution approach predicating on a tailor-made DSS. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 4(22), 1489-1527.
63. Aytürk, S. (2006). *Askeri savunma sistemlerinde analitik hiyerarşi ve analitik şebeke prosesi ile hafif makineli tüfek seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
64. Keršulienė, V. Zavadskas E. ve Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11 (2), 243–258.

65. Yılmaz Kaya B. ve Dağdeviren M. (2019) *A guiding analysis to accomplish the challenges for implementation of industry 4.0*. 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems sunuldu, Sakarya.
66. Yılmaz Kaya, B. Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2023). Ergonomi 4.0 ve Akıllı Fabrikalar: Yeni İş Tasarımına Yönelik İnsan Faktörü Temelli Bir Ölçek Önerisi. *Journal of Industrial Engineering*, 34(1), 109-140.
67. Yılmaz Kaya, B. Dağdeviren M. Adem, A. (2021). *A multi-criteria approach to usability research for digital platforms in fuzzy environment*. Intelligent and Fuzzy Systems Conference sunuldu, İstanbul.
68. Yılmaz Kaya, B. Dağdeviren M. Adem, A. (2022). Minimizing OHS risks with spherical fuzzy sets as a verdict to inventory management: A case regarding energy companies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-26.
69. Aktaş, B. E. (2021). *Kararsız bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi ile ülke değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması*. Ankara: Nobel Yayınevi, 217 -230.
70. Alişarlı, E. ve Görener, A. (2021). SWARA Metodu ile Kriter Önceliklendirme: Tedarikçi Performansının Değerlendirilmesi. *Working Paper Series*, 2(2), 32-39.
71. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 ,338-353.
72. Şengül D. ve Çağıl, G. (2020). Bulanık SWARA ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile iş değerlemesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(3), 965-976.
73. Rodriguez, R. Martinez L. ve Herrera, F. (2012). Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1(20), 109-119.
74. Liu H. ve Rodríguez, R. M. (2014). A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making. *Information Sciences*, 258, 220-238.
75. Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.
76. Erdal, H. (2022). *Liderliğin Karanlık Yüzü*. Ankara:Orion Kitabevi, 205-225.
77. Teke, S. (1998). *Hedef programlama ve bulanık hedef programlama tekniklerinin karşılaştırılması – Üretim planlama problemine bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
78. Türkoğlu, S. P. (2017). Karar vermede hedef programlama yöntemi ve uygulamaları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 29-46.

79. Özder, E. H. Varlı E. ve Eren, T. (2017). Hedef programlama yaklaşımı ile temizlik personeli çizelgeleme problemi için bir model önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 114-127.
80. Akay, D. Ermiş A. ve Kurt, M. (2005). Bilgisayar sektöründe öznel bir yöntemle (NASA-TLX) zihinsel iş yükünün ölçülmesi. *Technology*, 8(1), 173 - 180.
81. Zheng, Y. Jie, Y. ve Zhang, T. (2016). Workload functions distribution method: a workload measurement based on pilot's behaviors. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, Toronto.
82. Kara Baştürk, K. (2023). *Mental workload monitoring with multimodal approach during laparoscopic surgery training*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
83. Matsumota, R. Yamada, T. Kuo, Y.-H. ve Takanoruta, M. (2020). Rehabilitation staff scheduling in senior daytime care facility with feeling of physical/mental workloads and movements. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 14(5).
84. Yüksel Şahin, F. Emre, M. (2021). Okul psikolojik danışmanlarının iyi oluş düzeylerinin incelenmesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 10, 1-23.
85. Rodríguez-López A. M. ve Rubio-Valdehita, S. (2021). Influence of the CoViD-19 pandemic on mental workload and burnout of fashion retailing workers in Spain. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3), 983.
86. Özdoğan Ş. Z. ve Eraslan, E. (2020). *Effect of the Risk Arising From Working Postures On Mental Workload: An Experimental Study*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
87. Gül Öztürk, D. (2019). *Zihinsel iş yükü ve örgüt sağlığı ilişkisi üzerine nitel bir çalışma: Araştırma üniversiteleri örneği*, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Samsun.
88. Karaağaç, M. (2019). Dijital hastane sistemlerinin hemşirelerin zihinsel iş yükü ve tıbbi hataya eğilimlerine etkisi, *Gaziantep Üniversitesi Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi*, 2(7).
89. Karaca, B. R. Oğuzhan, G. (2023). Zihinsel iş yükü ile tükenmişlik arasındaki ilişki: sağlık çalışanları örneği. *Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 100-109.
90. Kılıç Delice, E. Can, G. F. (2018). An integrated mental workload assessment approach based on NASA-TLX and SMAA-2: A case study. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 88-99.

91. Üstünel, Z. (2017). *İnsan-Robot Birlikte Çalışmalarının Bilişsel Ergonomi Açısından Genişletilmiş Biliş Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
92. Er, A. (2016). *Termal görüntü işleme kullanılarak zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
93. Batun, B. (2015). *Gender and personality differences in cognitive tasks: A performance and mental workload study*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
94. Duman, N. (2015). *Yöneticilerde zihinsel iş yükünün öznel iyi oluşa etkisinde boş zaman davranışlarının rolü*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
95. Şeker, A. (2014). Using outputs of NASA-TLX for building a mental workload expert system. *Gazi University Journal of Science*, 27(4), 1131-1142.
96. Karadağ M. ve Cankul, İ. (2015). Hekim ve hemşirelerde zihinsel iş yükünün iletişim becerisine etkisi: gülhane askeri tıp fakültesi eğitim hastanesi uygulaması. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 18(1), 26-34, 2015.
97. Doğaner, M. Aydın, M. S. İncioğlu, C. (2021). Kurumsal organizasyonlardaki liderlik tipleri verimliliklerinin SWARA yöntemiyle değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 66-81.
98. İpekçi, A. (2019). *Türkiye'de yapılması planlanan sualtı akıntı enerji tesisi kurulumu için SWARA ve WASPAS yöntemleri ile yer seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
99. Doğan, G. (2020). SWARA ve WASPAS metotlarına dayalı bir performans değerlendirme modeli. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39(1), 2020.
100. Stanujkic, D. Karabasevic D. ve Zavadskas, K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26 (2), 181-187.
101. Zolfani, S. H. ve Banihashemi, S. (2014). *Personnel selection based on a novel model of game theory and MCDM approaches*. In Proc. of 8th International Scientific Conference Business and Management, Vilnius, Lithuania.
102. Zolfani, S. H. ve Saparauskas, J. (2013). New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. *Engineering Economics*, 24 (5), 408-414.

103. Abdulvahitoğlu, A. (2022). Elektrikli araç bataryalarının bütünleşik swara-topsis metodu ile değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(4), 1061-1076.
104. Çakır, S. *Tereddütlü bulanık SWARA yöntemi ile uluslararası firmaların ihracat performanslarının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
105. Keleş, M. K. ve Özdağoğlu, A. (2021). Yolcular açısından havalimanlarının değerlendirilmesine yönelik çok kriterli karar verme yöntemleriyle bir uygulama. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 419-456.
106. Ansari, Z. N. (2020). Evaluation and ranking of solutions to mitigate sustainable remanufacturing supply chain risks: A hybrid fuzzy SWARA-Fuzzy COPRAS framework approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(1). 1-22.
107. Kaya, S. ve Erginel, N. (2020). Futuristic airport: a sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy swara and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275 (1).
108. Arıkan, F. (1996). *Bulanık Hedef Programlamanın Çok Amaçlı Proje Şebekesi Problemine Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 109 Ignizio, J. P. (1976). *Goal Programming and Extension*, Toronto: Lexington Books.
- 110 Tamiz, M. Jones D. ve Romero, C. (1988). Goal programming for decision making: an overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 569-581.
111. Martel, J. M. ve Aouni, B. (1990). Incorporating the decision-maker's preferences in the goal-programming model. *Journal of Operational Research Society*, 41(12), 1121-1132.
112. Dağdeviren, M. ve Eren, T. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 16 (2), 41-52.
113. Tsai, W. P. Lin, L. Y. ve Chang, H. C. (2010). The effects of the gatekeeper suicide-awareness program for nursing personnel. *Perspect Psychiatr Care*, 47, 117-125.
114. Yalçın, A. (2023). *Doktor nöbet çizelgeleme problemi için ağırlıklı hedef programlama tabanlı genetik algoritma*, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Eğitim Enstitüsü, Kütahya.

115. Sagnak M. ve Kazanoğlu, Y. (2019). Integrated Fuzzy Analytic Network Process And 0-1. *Ege Academic Review Goal Programming Technique For Enterprise Resource Planning (Erp) Software Selection*, 19(1), 75-88.
- 116 Şahin B. ve Kahya, E. (2018). Hedef programlama modeli ile ergonomik kısıtlar altında montaj hattı dengelemesi. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 6, 188-196.
117. Baran, T. (2027). *AHP ve 0-1 Hedef Programlama İle Depo Konumlarının Belirlenmesi Ve Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Galatasaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme, İstanbul.

EKLER

EK-1. Çevik ekibin iş listesindeki işlere ait efor değerleri

Sprint 1 iş listesi ve eforları

İşler (i)	Eforlar (e)	İşin Türü (k)
1	34	Analiz
2	80	Analiz
3	80	Analiz
4	34	Analiz
5	50	Analiz
6	5	Analiz
7	20	Analiz
8	13	Geliştirme
9	20	Geliştirme
10	13	Geliştirme
11	80	Geliştirme
12	34	Geliştirme
13	50	Geliştirme
14	50	Geliştirme
15	34	Geliştirme
16	50	Geliştirme
17	13	Geliştirme
18	130	Geliştirme
19	34	Test
20	20	Test
21	13	Test
22	34	Test
23	20	Test
24	21	Test
25	34	Test
26	8	Test
27	8	Test
28	13	Test
29	50	Test
30	20	Test

Sprint 1 iş türleri matrisi

İşler	Analiz (1)	Geliştirme (2)	Test (3)
1	1	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0
5	1	0	0
6	1	0	0
7	1	0	0

EK-1. (devam) Çevik ekibin iş listesindeki işlere ait efor değerleri

İşler	Analiz (1)	Geliştirme (2)	Test (3)
8	0	1	0
9	0	1	0
10	0	1	0
11	0	1	0
12	0	1	0
13	0	1	0
14	0	1	0
15	0	1	0
16	0	1	0
17	0	1	0
18	0	1	0
19	0	0	1
20	0	0	1
21	0	0	1
22	0	0	1
23	0	0	1
24	0	0	1
25	0	0	1
26	0	0	1
27	0	0	1
28	0	0	1
29	0	0	1
30	0	0	1

Sprint 2 iş listesi ve eforları

İşler (i)	Eforlar (e)	İşin Türü (k)
1	20	Analiz
2	80	Geliştirme
3	8	Geliştirme
4	35	Geliştirme
5	35	Analiz
6	8	Analiz
7	20	Test
8	20	Geliştirme
9	20	Analiz
10	13	Geliştirme
11	13	Analiz
12	80	Test
13	20	Analiz
14	35	Test
15	13	Test
16	8	Test
17	5	Geliştirme

EK-1. (devam) Çevik ekibin iş listesindeki işlere ait efor değerleri

işler (i)	Eforlar (e)	İşin Türü (k)
18	13	Geliştirme
19	13	Analiz
20	13	Geliştirme
21	13	Geliştirme
22	20	Geliştirme
23	20	Test
24	50	Analiz
25	50	Analiz
26	35	Analiz
27	20	Geliştirme
28	35	Geliştirme
29	13	Geliştirme
30	5	Test
31	50	Analiz
32	35	Geliştirme
33	20	Analiz
34	13	Geliştirme
35	35	Geliştirme
36	20	Test
37	8	Test
38	8	Test
39	8	Test
40	80	Geliştirme

Sprint 2 iş türleri matrisi

işler (i)	Analiz (1)	Geliştirme (2)	Test (3)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	1	0
4	0	1	0
5	1	0	0
6	1	0	0
7	0	0	1
8	0	1	0
9	1	0	0
10	0	1	0
11	1	0	0
12	0	0	1
13	1	0	0
14	0	1	0
15	0	1	0
16	0	1	0
17	0	0	1

EK-1. (devam) Çevik ekibin iş listesindeki işlere ait efor değerleri

işler (i)	Analiz (1)	Geliştirme (2)	Test (3)
18	0	0	1
19	1	0	0
20	0	1	0
21	0	1	0
22	0	1	0
23	0	0	1
24	1	0	0
25	1	0	0
26	1	0	0
27	0	1	0
28	0	1	0
29	0	1	0
30	0	0	1
31	1	0	0
32	0	1	0
33	1	0	0
34	0	1	0
35	0	1	0
36	0	0	1
37	0	0	1
38	0	0	1
39	0	0	1
40	0	1	0

EK-2. Boyutlara göre Nasa-TLX değerlendirme sonuçları

Nasa-TLX ölçüm sonuçları

Katılımcı	Roller	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep	Zamansal Talep	Performans	Efor	Rahatsızlık Seviyesi
P1	Analist	80	10	65	85	75	50
P2	Analist	90	30	70	90	50	50
P3	Analist	70	10	60	20	60	40
P4	Analist	90	0	70	80	60	10
P5	Analist	90	30	60	90	70	50
P6	Analist	90	10	80	90	75	50
P7	Analist	70	80	70	60	80	50
P8	Analist	75	60	90	90	75	15
P9	Analist	70	0	70	80	75	25
P10	Analist	60	0	30	70	50	40
P11	Analist	60	10	70	70	40	20
P12	Analist	60	30	70	70	80	40
P13	Analist	40	10	60	80	40	30
P14	Analist	70	60	95	80	70	35
P15	Analist	95	0	95	10	90	40
P16	Analist	80	40	60	75	70	30
P17	Analist	50	50	30	100	70	20
P18	Analist	90	40	80	10	70	20

Katılımcı	Roller	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep	Zamansal Talep	Performans	Efor	Rahatsızlık Seviyesi
P1	Geliştirici	50	10	60	70	60	30
P2	Geliştirici	90	40	70	75	80	50
P3	Geliştirici	80	10	70	80	80	20
P4	Geliştirici	90	10	60	80	70	30
P5	Geliştirici	90	50	90	50	50	80
P6	Geliştirici	90	10	70	90	75	40
P7	Geliştirici	80	50	70	50	50	50
P8	Geliştirici	90	90	100	100	100	35
P9	Geliştirici	90	5	60	90	75	20
P10	Geliştirici	90	10	50	60	70	20
P11	Geliştirici	70	10	70	50	70	60
P12	Geliştirici	90	30	50	80	70	20
P13	Geliştirici	80	30	100	70	60	50
P14	Geliştirici	100	30	90	80	80	75
P15	Geliştirici	95	0	95	10	95	30
P16	Geliştirici	90	45	65	70	75	40
P17	Geliştirici	80	60	50	80	60	15
P18	Geliştirici	100	40	80	10	80	20

EK-2. (devam) Nasa-TLX ölçüm sonuçları

Katılımcı	Roller	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep	Zamansal Talep	Performans	Efor	Rahatsızlık Seviyesi
P1	Testçi	40	10	40	50	50	20
P2	Testçi	90	30	85	80	75	30
P3	Testçi	60	10	70	70	70	20
P4	Testçi	60	5	70	50	70	15
P5	Testçi	50	20	60	60	40	50
P6	Testçi	90	10	70	90	80	50
P7	Testçi	60	60	60	50	50	40
P8	Testçi	85	100	100	100	90	50
P9	Testçi	60	0	60	50	75	25
P10	Testçi	50	10	40	50	20	10
P11	Testçi	50	10	35	40	50	50
P12	Testçi	50	30	50	50	60	40
P13	Testçi	60	20	80	70	70	70
P14	Testçi	95	20	85	100	80	50
P15	Testçi	95	0	95	10	90	10
P16	Testçi	80	40	60	75	70	30
P17	Testçi	40	30	50	50	60	30
P18	Testçi	60	40	70	10	70	40

EK-3. Zihinsel iş yükü hedefleri için HF- SWARA KV değerlendirmeleri

Uzman grubuna göre kriterlerin önem sıralamaları

Uzman	K1	K2	K3	K4
KV-1	1	2	3	4
KV-2	2	1	4	3
KV-3	2	1	3	4
ORTALAMA	1,67	1,33	3,33	3,67
SIRALAMA	2	1	3	4

Kriterlerin en önemli kritere göre göreceli önem düzeyleri

Kriter	KV-1		KV-2		KV-3	
K1	s4	s3	s2		s3	s2
K3	s2		s0		s2	s1
K4	s1		s1		s1	

EK-4. Geleneksel model hedefleri için HF- SWARA KV değerlendirmeleri

Geleneksel model için kriter sıralama

Kriter	K2	K1	K4
KV-1	2	3	4
KV-2	1	4	3
KV-3	1	3	4
ORTALAMA	1,33	3,33	3,67
SIRALAMA	1	2	3

Geleneksel model için kriter değerlendirme

Kriter	KV-1		KV-2		KV-3	
K1	s3	s2	s2		s3	s2
K4	s2		s0		s2	s1

Kriter	KV-1		KV-2		KV-3	
K1	s3	s2	s3	0	s3	s2
K4	s3	s2	s4	0	s2	s1

Geleneksel model için yığılma değeri

Kriter	Yığılma Değeri	
K1	3,000	1,333
K4	2,500	1,000

Geleneksel model için hedef puanı hesaplama

Kriter	Puan
K1	0,5417
K4	0,4375

EK-5. Zihinsel iş yükünü dikkate alan ve geleneksel kısıtlı matematiksel modellerin GAMS CPLEX kodları

Zihinsel iş yükü dikkate alan atama modeli

```

Variable
  x(i,k,j) 'k türündeki i taskı j kisine atanması'
  psap1(j) '1. hedefin pozitif sapma'
  nsap1(j) '1. hedefin negatif sapma'
  psap2(k,j) '2. hedefin pozitif sapma'
  nsap2(k,j) '2. hedefin negatif sapma'
  psap3(k,j) '3. hedefin pozitif sapma'
  nsap3(k,j) '3. hedefin negatif sapma'
  psap4(j) '4. hedefin pozitif sapma'
  nsap4(j) '4. hedefin negatif sapma'
  z 'amac fonk';

Positive Variable psap1, nsap1,psap2, nsap2,psap3,nsap3,psap4,nsap4;
Binary Variable x;

Equation
  objfun 'amac fonk'
  eq1(i,k) 'her i taskı bir kişiye atanmalı'
  eq2(j) 'her çalışan 200 şp iş almalı en fazla'
  eq3(k,j) 'her çalışan k tür işten en az bir tane atanmalıdır '
  eq4(k,j) 'Her iş türü için ziy dengeli olmalı '
  eq5(j) 'her çalışan en fazla sekiz farklı iş almalıdır';

objfun.. z =e= 0.272*sum(j,psap1(j))+ 0.39*sum((k,j),nsap2(k,j))+ 0.194*sum((k,j),nsap3(k,j)+psap3(k,j))+ 0.145*sum(j,+ psap4(j));

eq1(i,k).. sum((j), x(i,k,j)) =e= s(i,k);

eq2(j).. sum((i,k),x(i,k,j)*e(i)*s(i,k)) + nsap1(j) -psap1(j)=e= 200;

eq3(k,j).. sum(i,x(i,k,j)*s(i,k))+nsap2(k,j) -psap2(k,j)=e=1;

eq4(k,j).. sum(i,s(i,k)* x(i,k,j)*y(k,j))+ nsap3(k,j) -psap3(k,j)=e= sum(i,x(i,k,j)*t(k));

eq5(j).. sum((i,k),s(i,k)* x(i,k,j))+ nsap4(j) -psap4(j)=e=8;

Model tez / all /;

solve tez using mip minimizing z;

display z.l, x.l, psap1.l, psap2.l, nsap2.l,psap3.l ,nsap3.l,psap4.l ,nsap4.l;

```

EK-5. (devam) Geleneksel atama modeli

```

Variable
    x(i,k,j) 'k türündeki i taskı j kisine atanması'
    psap1(j) '1. hedefin pozitif sapma'
    nsap1(j) '1. hedesin negatif sapma'
    psap2(k,j) '2. hedefin pozitif sapma'
    nsap2(k,j) '2. hedefin negatif sapma'
    psap4(j) '4. hedefin pozitif sapma'
    nsap4(j) '4. hedefin negatif sapma'
    z 'amac fonk';

Positive Variable psap1, nsap1,psap2,nsap2,psap4,nsap4;
Binary Variable X;

Equation
    objfun 'amac fonk'
    eq1(i,k) 'her i taskı bir kişiye atanmalı'
    eq2(j) 'her çalışan 200 sp iş almalı en fazla'
    eq3(k,j) 'her çalışan k tür işten en az bir tane atanmalıdır '
    eq4(j) 'her çalışan en fazla sekiz farklı iş almalıdır';

objfun.. z =e= 0.4762*sum(j,psap1(j))+ 0.3089*sum((k,j),nsap2(k,j))+ 0.2149*sum(j,+ psap4(j));

eq1(i,k).. sum((j), x(i,k,j)) =e= s(i,k);

eq2(j).. sum((i,k),x(i,k,j)*e(i)*s(i,k)) + nsap1(j) -psap1(j)=e= 200;

eq3(k,j).. sum(i,x(i,k,j)*s(i,k))+nsap2(k,j) -psap2(k,j)=e=1;

eq4(j).. sum((i,k),s(i,k)* x(i,k,j))+ nsap4(j) -psap4(j)=e=8;

Model tez / all /;

solve tez using mip minimizing z;

display z.l, x.l, psap1.l, psap2.l, nsap2.l,psap4.l ,nsap4.l;

```

EK-6. Zihinsel iş yükünü dikkate alan 0-1 HP GAMS CPLEX çözüm özeti

Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin Ekip 1 sprint 1 için GAMS çözüm özeti

General Algebraic Modeling System
Execution

---- 130 VARIABLE z.L = 28.675 amac fonk

---- 130 VARIABLE x.L k türündeki i taskı j kisine atanması

	U	A	O	S	H
1 .1		1.000			
2 .1	1.000				
3 .1					1.000
4 .1				1.000	
5 .1		1.000			
6 .1		1.000			
7 .1		1.000			
8 .2				1.000	
9 .2				1.000	
10.2			1.000		
11.2	1.000				
12.2				1.000	
13.2		1.000			
14.2	1.000				
15.2				1.000	
16.2				1.000	
17.2				1.000	
18.2					1.000
19.3			1.000		
20.3			1.000		
21.3			1.000		
22.3			1.000		
23.3			1.000		
24.3			1.000		
25.3			1.000		
26.3				1.000	
27.3			1.000		
28.3			1.000		
29.3		1.000			
30.3			1.000		

EK-6. (devam) Zihinsel iş yükü dikkate alan modelin Ekip -1 sprint-1 için GAMS çözüm özeti

```

---- 130 VARIABLE psap1.L 1. hedefin pozitif sapma
U 10.000,  A 9.000,  O 30.000,  S 6.000,  H 10.000

---- 130 VARIABLE psap2.L 2. hedefin pozitif sapma
      U      A      O      S
1           3.000
2      1.000           5.000
3           9.000

---- 130 VARIABLE nsap2.L 2. hedefin negatif sapma
      U      O      H
1           1.000
3      1.000           1.000

---- 130 VARIABLE psap3.L 3. hedefin pozitif sapma
      A      O      S      H
2      3.500           3.500
3      1.250      2.500      1.500

---- 130 VARIABLE nsap3.L 3. hedefin negatif sapma
      U      A      O      S      H
1      3.000      6.000           1.500      3.150
2      7.000           3.500      12.000

---- 130 VARIABLE psap4.L 4. hedefin pozitif sapma
O 3.000

---- 130 VARIABLE nsap4.L 4. hedefin negatif sapma
U 5.000,  A 2.000,  H 6.000

```

EK-6. (devam) Zihinsel iş yükünün dikkate alan modelin Ekip 1 sprint 2 için GAMS çözüm özeti

```

---- 151 VARIABLE z.L                      =      18.515  amac fonk

---- 151 VARIABLE x.L  k türündeki i taskı j kisine atanması

      U      A      O      S      H
1 .1      1.000
2 .2      1.000
3 .2
4 .2
5 .1
6 .1      1.000
7 .3      1.000
8 .2
9 .1      1.000
10.2      1.000
11.1      1.000
12.3      1.000
13.1      1.000
14.2      1.000
15.2      1.000
16.2      1.000
17.3      1.000
18.3      1.000
19.1      1.000
20.2      1.000
21.2      1.000
22.2      1.000
23.3      1.000
24.1      1.000
25.1      1.000
26.1      1.000
27.2      1.000
28.2      1.000
29.2      1.000
30.3      1.000
31.1      1.000
32.2      1.000
33.1      1.000
34.2      1.000
35.2      1.000
36.3      1.000
37.3      1.000
38.3      1.000
39.3      1.000
40.2      1.000

```

EK-6. (devam) Zihinsel iş yükünün dikkate alan modelin Ekip 1 sprint 2 için GAMS çözüm özeti

```

---- 151 VARIABLE psap1.L 1. hedefin pozitif sapma
A 4.000,    O 5.000,    S 1.000

---- 151 VARIABLE psap2.L 2. hedefin pozitif sapma
      U      A      O      S      H
1      7.000
2 2.000      9.000      2.000
3      7.000

---- 151 VARIABLE nsap2.L 2. hedefin negatif sapma
      U      H
3 1.000      1.000

---- 151 VARIABLE psap3.L 3. hedefin pozitif sapma
      A      O      S      H
1      3.500
2 3.500      10.500
3 1.250      2.000      1.500

---- 151 VARIABLE nsap3.L 3. hedefin negatif sapma
      U      A      O      S      H
1 3.000      12.000      1.500      3.150
2 10.500      3.500      20.000

---- 151 VARIABLE psap4.L 4. hedefin pozitif sapma
S 2.000

---- 151 VARIABLE nsap4.L 4. hedefin negatif sapma
U 6.000,    H 6.000

```

EK-7. Geleneksel kısıtlı 0-1 HP modeli GAMS CPLEX çözüm özeti

Geleneksel modelin Ekip 1 sprint1 için GAMS çözüm özeti

General Algebraic Modeling System
Execution

```

---- 124 VARIABLE z.L                      = 30.953  amac fonk
---- 124 VARIABLE x.L  k türündeki i taskı j kisine atanması

          U          A          O          S          H
1 .1                1.000
2 .1          1.000
3 .1
4 .1          1.000
5 .1                1.000
6 .1                1.000
7 .1
8 .2          1.000
9 .2
10.2          1.000
11.2
12.2                1.000
13.2                1.000
14.2                1.000
15.2                1.000
16.2                1.000
17.2                1.000
18.2                1.000
19.3                1.000
20.3                1.000
21.3          1.000
22.3                1.000
23.3                1.000
24.3                1.000
25.3                1.000
26.3                1.000
27.3                1.000
28.3                1.000
29.3          1.000
30.3                1.000

```

EK -7. (devam) Geleneksel modelin Ekip 1 sprint1 için GAMS çözüm özeti

```

----      124 VARIABLE psap1.L   1. hedefin pozitif sapma
U  3.000,    A 15.000,    O 26.000,    S  7.000,    H 14.000

----      124 VARIABLE psap2.L   2. hedefin pozitif sapma
          U          A          O          S          H
1         1.000        1.000
2         1.000        2.000        2.000        1.000
3         1.000        1.000          4.000        1.000

----      124 VARIABLE nsap2.L   2. hedefin negatif sapma
          ( ALL          0.000 )

----      124 VARIABLE psap4.L   4. hedefin pozitif sapma
          ( ALL          0.000 )

----      124 VARIABLE nsap4.L   4. hedefin negatif sapma
U  2.000,    A 1.000,    O 3.000,    H 4.000

```

EK -7. (devam) Geleneksel modelin Ekip 1 sprint 2 için GAMS çözüm özeti

```

---- 145 VARIABLE z.L = 4.762 amac fonk
---- 145 VARIABLE x.L k türündeki i taskı j kisine atanması

      U      A      O      S      H
1 .1      1.000
2 .2
3 .2
4 .2
5 .1      1.000
6 .1
7 .3
8 .2
9 .1
10.2
11.1      1.000
12.3
13.1
14.2      1.000
15.2
16.2
17.3      1.000
18.3      1.000
19.1      1.000
20.2
21.2      1.000
22.2      1.000
23.3
24.1
25.1      1.000
26.1
27.2
28.2
29.2      1.000
30.3
31.1
32.2      1.000
33.1      1.000
34.2
35.2
36.3      1.000
37.3      1.000
38.3
39.3
40.2      1.000

```

EK -7. (devam) Geleneksel modelin Ekip 1 sprint 2 için GAMS çözüm özeti

```

---- 145 VARIABLE psap1.L 1. hedefin pozitif sapma
U 3.000,   A 3.000,   O 1.000,   S 2.000,   H 1.000

---- 145 VARIABLE psap2.L 2. hedefin pozitif sapma
      U      A      O      S      H
1      1.000    3.000    1.000    1.000    1.000
2      1.000    4.000    5.000    2.000    1.000
3      2.000          1.000    2.000

---- 145 VARIABLE nsap2.L 2. hedefin negatif sapma
      ( ALL      0.000 )

---- 145 VARIABLE psap4.L 4. hedefin pozitif sapma
      ( ALL      0.000 )

---- 145 VARIABLE nsap4.L 4. hedefin negatif sapma
U 3.000,   S 2.000,   H 5.000

```



Gazili olmak ayrıcalıktır