

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin
Kontrol Listesi Odaklı Yerleşimi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kıvanç Kürten

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Programı

EYLÜL 2017

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin
Kontrol Listesi Odaklı Yerleşimi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kıvanç Kürten
1406010017**

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Engin Demir

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1406010017 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Kıvanç KÜRTEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin Kontrol Listesi Odaklı Yerleşimi başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Engin DEMİR
Çankaya Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Engin DEMİR
Çankaya Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Tansel DÖKEROĞLU
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 7 Eylül 2017

TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin Kontrol Listesi Odaklı Yerleşimi adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

07.09.2017

Kıvanç KÜRTEEN



TEŐEKKÖRLER

Bu süreçte beni yönlendiren, bilgisini ve deneyimlerini paylaşan, tez çalışmamın tüm aşamalarında yanımda olan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Engin Demir'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme saygı ve sevgilerimi sunar teşekkür ederim.

Eylül, 2017

Kıvanç Kürten

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| TEŞEKKÜRLER | iv |
| İÇİNDEKİLER | v |
| TABLolar | vi |
| ŞEKİLLER | vii |
| TERİMLER | viii |
| ÖZET | x |
| ABSTRACT | xii |
| BİRİNCİ BÖLÜM | 14 |
| GİRİŞ | 14 |
| İKİNCİ BÖLÜM | 17 |
| LİTERATÜR ÖZETİ | 17 |
| ÜÇÜNCÜ BÖLÜM | 20 |
| MATERYAL VE YÖNTEM | 20 |
| 3.1. Kokpit Yerleşimi | 20 |
| 3.2. Kontrol Listeleri | 22 |
| 3.3. Uçuş Fazları ve Kontrol Listeleri İlişkisi | 26 |
| 3.4. İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli | 28 |
| 3.5. Sıralı Yerleşim Modeli | 30 |
| 3.6. Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli | 32 |
| 3.7. Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 37 |
| 3.8. Uygulama Özellikleri ve Test Ortamı | 39 |
| DÖRDÜNCÜ BÖLÜM | 41 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 41 |
| 4.1. Değerlendirme Yöntemleri | 41 |
| 4.2. Panel Kullanım Oranı | 41 |
| 4.3. Enstrüman Yakınlık İlişkisi | 42 |
| 4.4. Değerlendirme Sonuçları | 43 |
| BEŞİNCİ BÖLÜM | 51 |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 51 |
| KAYNAKLAR | 54 |
| EKLER | 58 |
| Ek A - Enstrüman Boyutları Tablosu | 59 |
| Ek B - Kokpit Enstrümanları Yönlendirilmiş Çizgesi | 61 |
| Ek C - Uçuş Aşamaları Enstrüman Adım Sayıları Tablosu | 62 |
| Ek D - Hiperçizge Bölütleme Raporu (hMETIS) | 63 |
| Ek E - Uygulama Ekran Görüntüleri | 64 |
| Ek F - İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar | 66 |
| Ek G - Sıralı Yerleşim Detaylı Sonuçlar | 69 |
| Ek H - Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar | 72 |
| Ek I - Hiperçizge Odaklı Yerleşim Detaylı Sonuçlar | 75 |
| Ek J - Komşuluk İlişkisi Kritik Fazlar Detaylı Grafikler | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ | 80 |

TABLÖLAR

| | |
|--|----|
| Tablo 3.1: Kontrol Listeleri Enstrüman Adım Sayısı | 23 |
| Tablo 3.2: Enstrüman Kullanım Sayısı | 26 |
| Tablo 4.1: Modelin Koşturulması ve Raporlama için Harcanan Süre | 43 |
| Tablo 4.2: Boyut ve Kullanım Oranı Karşılaştırması | 44 |
| Tablo 4.3: Katedilen Mesafe Oranı Karşılaştırması | 44 |
| Tablo 4.4: Komşuluk İlişkisi Oranı Karşılaştırması | 44 |
| Tablo F.1: İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli Yakınlık İlişkisi..... | 68 |
| Tablo G.1: Sıralı Yerleşim Yakınlık İlişkisi | 71 |
| Tablo H.1: Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Yakınlık İlişkisi..... | 74 |
| Tablo I.1: Hiperçizge Odaklı Yerleşim Yakınlık İlişkisi..... | 77 |

ŞEKİLLER

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1: Kokpit Enstrümanları ve Yerleşimi | 21 |
| Şekil 3.2: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı | 24 |
| Şekil 3.3: Alçalma Kullanım Akışı..... | 24 |
| Şekil 3.4: Çalıştırma Sonrası ve Alçalma Kullanım Akışı Çizge Örneği..... | 25 |
| Şekil 3.5: Görselleştirilmiş Uçuş Aşamaları | 27 |
| Şekil 3.6: İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli..... | 30 |
| Şekil 3.7: Sıralı Yerleşim Modeli | 32 |
| Şekil 3.8: Uzay Doldurma Eğrisi Örnekleri (a) Z Eğrisi (b) Hilbert Eğrisi..... | 33 |
| Şekil 3.9: Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli (İlk Yerleşim)..... | 34 |
| Şekil 3.10: Hilbert Eğrisi Modeli ile Yerleşim (Yatay Kaydırma)..... | 35 |
| Şekil 3.11: Hilbert Eğrisi Modeli ile Yerleşim (Yatay ve Dikey Kaydırma)..... | 37 |
| Şekil 3.12: Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli | 39 |
| Şekil 4.1: Değerlendirme Sonuçları..... | 45 |
| Şekil 4.2: Panel Boyut Oranı – Komşuluk İlişkisi Grafıği | 47 |
| Şekil 4.3: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı Komşuluk Değeri Karşılaştırılması ... | 49 |
| Şekil 4.4: Alçalma Kullanım Akışı Komşuluk Değeri Karşılaştırılması..... | 49 |
| Şekil F.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim | 66 |
| Şekil F.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim | 67 |
| Şekil G.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Sıralı Yerleşim | 69 |
| Şekil G.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Sıralı Yerleşim | 70 |
| Şekil H.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 72 |
| Şekil H.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 73 |
| Şekil I.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hiperçizge Odaklı Yerleşim..... | 75 |
| Şekil I.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 76 |

TERİMLER

| | |
|------------------------------|---|
| 2D Bin Packing | : İki Boyutlu Kutulama |
| Aircraft Deck | : Hava Aracı Güvertesi |
| After Landing | : İniş Sonrası |
| After Start | : Çalıştırma Sonrası |
| After Takeoff | : Kalkış Sonrası |
| Approach | : Yaklaşma |
| Auxiliary Power Unit | : Yardımcı Güç Ünitesi |
| APU Start | : APU Başlatma |
| Before Takeoff | : Kalkış Öncesi |
| CAST | : Commercial Aviation Safety Team |
| Checklist | : Kontrol Listesi |
| Cockpit Preparation | : Kokpit Hazırlama |
| Departure & Climb | : Kalkış ve Yükseliş |
| Descent | : Alçalma |
| Descent & Approach | : İniş ve Yaklaşma |
| Directed Graph | : Yönlendirilmiş Çizge |
| EASA | : European Aviation Safety Agency |
| Edge | : Kenar |
| Electrical Power Up | : Güç Verme |
| En Route Cruise | : Rotada Seyir |
| Engine Start During Pushback | : Motor Çalıştırma |
| Eye Point | : Göz Noktası |
| Glass Cockpit | : Cam Kokpit |
| Graph | : Çizge |
| Hilbert Curve | : Hilbert Eğrisi |
| Hypergraph | : Hiperçizge |
| IATA | : International Air Transport Association |
| ICAO | : International Civil Aviation Organization |
| Landing | : İniş |
| Node | : Düğüm |
| NP-Complete | : NP-Tam |
| On Ground | : Yerde |
| Polynomial-Time | : Polinom-Zaman |
| Shutdown | : Kapatma |

| | |
|--|---|
| Space Filling Curves | : Uzay Doldurma Eğrileri |
| Takeoff | : Kalkış |
| Taxi | : Taksi |
| Terminating Flight | : Uçuş Sonlandırma |
| The DOT Language | : DOT Tanımlama Dili |
| Topological Sorting | : Topolojik Sıralama |
| Vertex | : Düğüm |
| Wire Length Optimization in Floorplanning | : Yerleşim Planlamada Tel Uzunluğu Optimizasyonu |
| Z Curve | : Z Eğrisi |

ÖZET

Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin

Kontrol Listesi Odaklı Yerleşimi

KÜRTEN, Kıvanç

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Engin DEMİR

Eylül-2017, 80 sayfa

Bir hava aracında pilotun araç üzerinde kontrol sağladığı, geri besleme aldığı ve gerekli bilgi akışını takip ettiği arabirim kokpittir. Kokpitte, her biri birer enstrüman olarak adlandırılacak gösterge ve kontrollerin sayısı arttıkça, yerleşimde karmaşıklık düzeyi de artmaktadır. Kokpit yerleşiminde yapılacak olan yanlışlar, insan - makine etkileşiminde eksikliklere ve gecikmelere neden olabilecektir.

Bu çalışmada; kokpit yerleşimi için, gösterge ve kontrollerinin birbirleri ile olan ilişkileri kontrol listeleri (checklist) üzerinden hesaplanarak tamamen nesnel dört farklı model önerilmiştir. İlk model olarak her bir enstrüman birer düğmeye (node) karşılık gelecek şekilde bir çizge (graph) oluşturulup sıralanması ve bu çizge ile enstrümanların boyut sıralaması da kullanılarak İki Boyutlu Kutulama (2D Bin Packing) algoritması ile konumlandırılması ele alınmıştır. İkinci bir yöntem olarak oluşturulan çizge ile enstrümanların basit bir şekilde kokpit paneline Sıralı Yerleşim ile konumlandırılması üzerine çalışılmıştır. Diğer bir modelde ise Uzay Doldurma Eğrileri'nden (Space Filling Curves) Hilbert Eğrisi (Hilbert Curve) kullanılarak enstrümanların konumlandırılması incelenmiştir. Son olarak da kontrol listesinde yer alan enstrümanlar birer düğüm (vertex), kontrol listesinde yer alan akışlar da kenar (edge) olarak tanımlanıp bir hiperçizge (hyperedge) oluşturulup, bu hiperçizgenin

bölütlenmesi ve ardından her bir parçanın kendi içine İki Boyutlu Kutulama algoritması ile Hiperçizge Odaklı konumlandırılması ile çalışılmıştır.

Farklı modelleme yöntemleri ile tasarlanan bu kokpit yerleşimleri, mevcut kokpit yerleşimine göre toplam yerleşim alanındaki değişim, panel kullanım alanı, enstrümanların birbirleriyle olan mesafelerinin kontrol listelerindeki kullanım sıralarına göre katedilen toplam mesafe değeri ve kontrol listelerine göre enstrümanların komşuluk ilişkileri açısından değerlendirmiştir. Bu sayede, fiziksel olarak daha az yer kaplayıp, kullanım durumuna göre ilişkili enstrümanları birbirine yakın konumlandırılmasını sağlayan nesnel bir yerleşim modelinin bulunması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Grafik Ara Birim, Hilbert Eğrisi, Hiperçizge, İki Boyutlu Kutulama, Kokpit Tasarımı, Kokpit Yerleşimi, Kontrol Listesi, Sanal Kokpit, Uzak Doldurma Eğrileri

ABSTRACT

Placement of Indicators and Controls in the Cockpit Design Based on Checklist Flow

KÜRTEN, Kıvanç

Master, Department of Electrical and Computer Engineering

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Engin, DEMİR

September-2017, 80 page

Cockpit is the interface where a pilot controls the aircraft, receives feedback and follows the necessary information flow. As the number of cockpit indicators and controls, which can be named as instruments, increases, the level of complexity in the placement also increases. Errors in the cockpit placement can cause imperfection and delay in human - machine interaction.

In this study; for cockpit placement four different objective placement models is proposed by calculating the relationship between cockpit indicators and controls with the help of checklists. As the first model, a graph is created and sorted in which cockpit instruments are represented as a node, and these instruments are placed with 2D Bin Packing using the graph and decreasing size order of these instruments. As a second method, these instruments are placed on cockpit panel in order with the help of the graph in a Sequential Layout. In another model Hilbert Curve, as a Space Filling Curve, is used to place the instruments. Finally, with defining instruments at checklist as vertex and check list flows as edge a hyperedge is created. This hyperedge is partitioned and each partition is placed in each segment with the help of 2D Bin Packing algorithm.

The cockpit layouts designed with different modeling algorithms are evaluated according to these criterions: change of total cockpit panel area according to existing layout, panel usage ratio, distance between instruments relative to each other

according to the order of use in the checklists and the neighborhood relations of the instruments according to the control lists. It is aimed to find the objective placement method that occupies less physical area and allows the related instruments to be positioned close to each other according to the checklist usage.

Keywords: Graphical User Interface, Hilbert Curve, Hyperedge, 2D Bin Packing, Cockpit Design, Cockpit Placement, Checklist, Glass Cockpit, Space Filling Curves

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Pilotun hava aracı üzerinde hakimiyet sağlayacağı ara birim kokpittir. Bir hava aracında kokpit tasarımı, ilgili aracın tipine ve kullanım amacına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yıllar içinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler ve üreticilerin bunlara bağlı olarak öncelik verdiği kriterlerin farklılığı, bir çeşit insan - makine arayüzü olan bu tasarımlarda çeşitliliğin artmasına neden olmuştur [1]. İdeal bir kokpit tasarımıyla temelde hedeflenen planlanan görevin başarıyla tamamlanması ve insan - makine etkileşiminde pilotaj kaynaklı hataların sıfıra indirilmesidir.

Hava aracının tasarımdan üretime geçmesi oldukça uzun süren bir süreçtir. Yeni nesil bir savaş uçağının prototip anlaşması imzalanmasından, ilk aktif görevde yer almasına kadar geçen sürenin 20 – 30 yıl civarında olması tecrübe edilmiş bir durumdur [2]. Bununla beraber, günümüzde ticari ya da askeri bir uçağın uçuş saatleri göz önünde bulundurulduğunda ortalama kullanım ömrü 20 yıl civarındadır [3] [4]. Bu da, hava aracı tasarımının, dolayısı ile kokpit tasarımının önemini vurgulamakta ve de tasarımcıların 40 yıllık bir zaman dilimini öngörmek zorunda olduğunu göstermektedir [2].

Havacılıkta ister sivil ister askeri olsun, uçuş öncesinde, sırasında ve sonrasında ilgili hava taşıtına ait kontrol listelerinin kullanılması zorunluluk olarak görülür [5]. Kokpitte kontrol listelerinin başlıca işlevi, uçuş ekibinin herhangi bir uçuş bölümüne uygun olarak uçağın ayarlanmasını sağlamak ve prosedürler açısından standardizasyonun temelini oluşturmaktadır [6]. Bu prosedürlerin hazırlanılması sadece kullanılan donanımsal ekipmana değil, operasyon koşullarına ve havayolu firmasının faaliyetlerinin niteliğine de bağlıdır [7]. Uçuş ile ilgili tüm bu aşamalarda kontrol edilmesi beklenen kokpit enstrümanların birbirinden alakasız

şekilde konumlandırılmasının dikkat ve süre kaybına yol açması beklenebilecek bir durumdur.

Uçuş protokollerinin temelini oluşturan kontrol listelerinin uygulanmaması pilotaj hatası olarak kabul edilir [8]. Bu nedenle pilotun kokpit üzerindeki enstrümanları (gösterge ve kontroller), kontrol listeleri ile çizilen bir çerçevede kullanacağını varsaymak mümkündür. Bu listelerin kullanılmasındaki amaç insan dikkati ve hafızasının potansiyel limitlerinden dolayı oluşabilecek hataların azaltılmasıdır. Pilotun ihtiyaç duyacağı gösterge, kontrol ve panellerin konumlandırılması hem durum farkındalığının sağlanması hem de hızlı tepki verme ihtiyacından dolayı önem arz etmektedir.

Sivil uçuşlardaki kazalar ile ilgili istatistiksel verilere bakıldığında, 2003 - 2012 yılları arasındaki ortalama her dört ölümcül kazanın yaklaşık olarak üçünün pilotaj kaynaklı olduğu görülmektedir [9]. Ayrıca bu ölümcül kazaların %90'ı da insan - makine etkileşiminin en yoğun olduğu zamanlarda gerçekleşmiştir [10]. Kokpit panellerinin konumlandırılmasının da bu sonuçlarda etkisi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Dolayısı ile gösterge, kontrol ve panellerin kokpit tasarımı esnasında nasıl konumlandırılması gerektiği bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojik gelişmeler, geçmiş tecrübeler sonucundaki edinimler ve de kaza kırım kaynaklı güncellemeler mevcut kokpit tasarımların temelini oluşturmuştur. Ancak bu yaklaşımlar nesnel modelleme yöntemlerinden uzaktır.

Bu çalışmada kokpit yerleşiminde mevcut sezgisel ve zamanla gelişmiş tasarımlar yerine nesnel yaklaşımlar kullanarak önerilen tasarımların belirli kriterler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Modellerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi esnasında, kokpit enstrümanlarının kontrol listelerindeki kullanımları baz alınmıştır. Bu amaçla kokpit enstrümanlarının konumlandırılması için İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli, Sıralı Yerleşim Modeli, Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli ve Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli kullanılarak geliştirilen dört farklı kokpit yerleşim incelenmiştir.

Önerilen bu modellere göre tasarlanan kokpitler, panel kullanımı ve enstrümanların yakınlık ilişkileri yönünden karşılaştırılmıştır. Boş alanların toplam kokpit yerleşim alanına oranı, panel kullanım alanındaki değişim, temel işlemler için kontrol listelerine göre kokpit üzerinde katedilen toplam mesafe değerleri ve temel

işlemler için kontrol listelerine göre komşuluk ilişkileri açısından değerlendirilmiştir. Temelde hedeflenen, kokpit panel kullanım alanında bir artışa neden olmadan, yakınlık kriterlerine göre komşuluk ilişkileri yüksek bir kokpit yerleşimidir.

Bu çalışmada, örnek olarak dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçağına ait kokpit tasarımı ve buna bağılı kontrol listeleri kullanılmıştır. Bu yolcu uçağına ait kokpit yerleşimi, önerilen modeller sonucunda oluşan yerleşimler ile karşılaştırılacaktır. Tanımlanan değerlendirme kriterleri çerçevesinde, mevcut olan iyileştirmeler ve modellerin birbirine göre olan üstünlükler tespit edilmeye çalışılacaktır. Aynı zamanda bu çalışmada önerilen modellerin, kullanımı kontrol listeleri ile belirlenmiş prototip bir hava aracı kokpitinin ilk tasarımı sırasında kullanılabileceğı göz önünde bulundurulmalıdır.

Giriş bölümünün ardından ikinci bölümde literatür özetine yer verilecektir. Ardından üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve önerilen yerleşim modelleri incelenecektir. Sonrasında dördüncü bölümde değerlendirme kriterlerinden bahsedilerek sonuçlar irdelenecektir. Son olarak beşinci bölümde çalışmanın kazanımlarına ve sonrasında yapılabilecek çalışmalara değinilecektir.

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETİ

Kokpit arayüzleri ile kullanıcı etkileşimi üzerine bilinen ilk detaylı çalışma İkinci Dünya Savaşı ertesinde yapılmıştır. Pilotlar ile yapılan yüz yüze görüşmeler ve var olan uçuş kaza raporları yardımıyla pilotaj hataları tanımlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada bu pilotaj hataları nedeniyle olan kazaların büyük bir kısmının uygun tasarımla bertaraf edilebileceği öne sürülmüştür [11]. Havacılıkta insan faktörü ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmalar, gösterge ve kontrollerin tasarımındaki yanlışlar nedeniyle olabilecek hataların gösterimi üzerinedir. İnsan faktörünün havacılık dünyasına direkt araştırma konusu olarak girmesi 1970ler ve 1980lerde cam kokpitlerin (glass cockpit) geliştirilmesi ile olmuştur [12]. Bu noktaya kadar yapılan çalışmalar, kokpit tasarımlarının nasıl olması gerektiğine değil, nasıl olmaması gerektiğine yöneliktir.

1984'de NASA öncülüğünde yapılan atölye çalışmasında, geliştirilecek helikopterler için kokpit tasarım kriterleri belirlenmeye çalışılmıştır. Operasyonel gereksinimler, gelişmiş aviyonikler ve insan - sistem entegrasyonu olmak üzere üç temel alan tespit edilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımların büyük bir kısmı, uçuş personeli için kokpit iş yükünün azaltılmasını amaçlayan yaklaşımlardır [13].

1990lı yıllar ile beraber modern kokpitler eskilerin yerini almış, ancak bu sefer de artan karmaşıklık seviyesi, bilgisayar tabanlı panellerin pilotlara gereğinden fazla bilgi sunması gibi problemler ile karşılaşmıştır. Geliştirilen cam kokpit temelli uçuş destek ve yönetim sistemleri simülatörler üzerinde denenerek pilotların ve eğitimcilerin görüşleri alınmaya çalışılmıştır [14]. Bu noktada sunulan kokpitler tasarımcılar ve üreticiler için verimli iken, pilotlar için yeterli fonksiyonellikte olmayabildiği görülmüştür. Çözüm olarak da görev ve başarı odaklı işlevsel tasarımlar üzerinde çalışılmıştır [15]. Yeni teknolojilerin entegrasyonu esnasında,

durum farkındalığını en üst düzeye çıkarabilmek için, insanın bilgi işleme dinamiklerine ve kapasitesine uygun tasarımlara gidilmesi önerilmiştir [16].

Bu dönemde, uçuş ve navigasyon cihazlarında yeni yeni kullanılmaya başlanılan ekranlardaki grafiklerin durum farkındalığına etkisi üzerine de araştırmalar yapılmıştır. Andre, Wickens ve Moorman birlikte yayımladıkları makalede renkli göstergelerin, siyah beyaz olanlara göre görsel bir momentum yaratmada etkili olduğunu; dışardan içe doğru çizimlerin, içten dışa doğru olanlara göre üstün olduğunu öne sürmüştür [17].

Kokpit enstrümanları 2000li yıllar ile beraber işlevsel olarak belirli bir yetkinliğe ulaştıkça, tasarımda ergonomi ön planda olmaya başlamıştır. Kokpitte pilotun fiziksel pozisyonunun, operasyon sırasındaki duruşunun, göz noktasının (eye point) konumun, görüş alanı ve panellerin görünürlüğü gibi kriterlerin operasyon sonucuna etkisi üzerine durulmuş ve hem kokpit ve hem hava aracı güvertesi (aircraft deck) yerleşim değerlendirme kriterleri üzerine çalışılmıştır [18] [19] [20]. Bunun yanında Zhang ve Sun, operasyonun etkinliğini ve uçuş güvenliğini arttırmak amacıyla, pilot hareketlerini takip edip, kullanarak hava aracı kokpit tasarımını iyileştirilmesi üzerine bir makale yayımlamıştır. Bir uçuş görevi; hava aracı tipi, uçuş aşaması, uçuş durumu, kokpit birimleri gibi alt başlıklara ayrılmış ve bu başlık altındaki tanımlar ile pilotun fiziksel hareket modeli ile ilişkisi incelenmiştir [21].

Tüm bu çalışmalarda kokpit enstrümanlarının nitelikleri ve işlevsellikleri üzerinde çalışılmış ancak bu enstrümanların kokpit üzerinde konumlandırılması ile ilgili olarak detay verilmemiştir. Bununla ilişkili olarak; Şenol, Dağdeviren ve Kurt yayımladıkları makalede, bir genel maksatlı yük helikopterinin en çok kullanılan panelleri için nicel, nitel ve birleşik yaklaşımlar ile üç farklı tasarım modeli oluşturmuş; hazırladıkları bu tasarımları pilotlar üzerinde deneyip çok kriterli karar verme yöntemlerinden ile değerlendirerek, tanımlanan kriterler çerçevesinde en iyi tasarımı belirlemeye çalışmışlardır [22]. Ancak bu çalışmada önerilen yöntemdeki ve değerlendirme kriterlerindeki öznel unsurlar sebebiyle farklı değerlendirici grupları ile çalışıldığında farklı sonuç verebilme ihtimali mevcuttur.

Bu çalışmada incelenen problem yapı itibariyle yerleşim planlamada tel uzunluğu optimizasyonu (wire length optimization in floorplanning) problemi ile benzeşmektedir. Yerleşim planlama, devre bloklarının yonga üzerindeki konumlarının çeşitli amaçlar doğrultusunda belirlenmesidir. Bu konumlandırma,

tasarımın karmaşıklığına bağılı olarak genel yonga performansını doğrudan etkiler. Topolojik ilişkileri tanımlanmış olan blokların en küçük alana en kısa tel uzunluğu mesafesi ile üst üste gelmeyecek şekilde yerleşimini hedefler [23]. Bu problem lineer programlama ile formüle edilip hesaplanabilir. Problemin tanımından optimizasyon kısmı çıkarıldığında, sadece belirli sayıdaki dikdörtgeni bir alana yerleştirme problemi bazı kısıtlar konulsa bile NP-Tam (NP-Complete) sınıfında yer almaktadır [24]. Dolayısı ile yerleşim planlama problemini optimal bir şekilde çözen bir polinom-zaman (polynomial-time) algoritması için herhangi bir umut yoktur [25].



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kokpit enstrümanlarının kullanıcı yorumlarından bağımsız, nesnel yaklaşıma sahip bir model yardımıyla yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen modeller ve mevcut kokpit yerleşimi, tanımlanan değerlendirme kriterleri üzerinden karşılaştırılacaktır. Bu değerlendirme kriterleri temelde, panel kullanım alanındaki değişimi ve kullanım sırasında enstrümanlar arasındaki yakınlık ilişkisini ölçmeye yöneliktir. Bu modellerde hedeflenen; toplam panel boyutunda radikal bir değişikliğe neden olmadan, ilişkili olan gösterge ve kontrollerin birbirine yakın yerleşimi ile insan - makine etkileşimde kaybedilen toplam sürenin azaltılabilesidir. Bilginin işlenip tepki gösterilmesi için geçen süre pilotlar için ortalama 3 saniye civarındadır [26]. Böylece pilotlarda panel üzerindeki enstrümanların konumlandırılmasından kaynaklı dikkat kaybının ve tepki gecikmelerin minimuma indirilebileceği ve bunun da uçuş güvenliğine olumlu yönde yansıtacağı düşünülmektedir.

Bu bölümde önce mevcut kokpit yerleşiminden bahsedilecek, kontrol listelerine ve uçuş fazlarına yer verilecektir. Ardından önerilen modeller sırayla incelenecek ve son olarak bu tez kapsamında geliştirilen uygulama hakkında bilgi verilecektir. Bu bağlamda bahsedilecek olan modeller aşağıda sıralanmıştır.

- İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli
- Sıralı Yerleşim Modeli
- Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli
- Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli

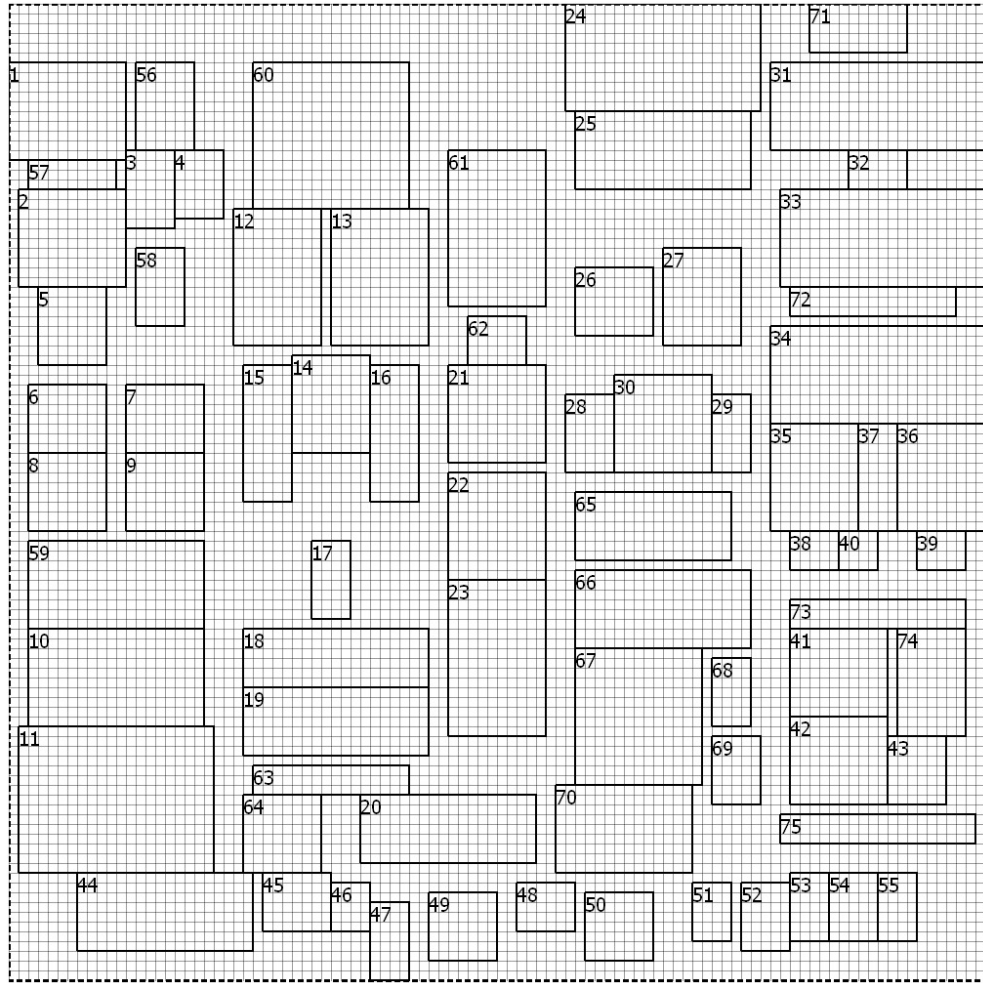
3.1. Kokpit Yerleşimi

Bu kısımda, tez kapsamında girdi olarak kullanılan kokpit gösterge ve panellerin özelliklerinden bahsedilecektir. Bu çalışmada, şu anda faal olarak

kullanılan ticari uçakların yaklaşık olarak yarısını oluşturan [27] dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçağı sınıfına ait uçak kokpit yerleşiminden bir panel örnek alınarak kullanılmıştır.

Bu panel, iki boyutlu düzleme aktarılırken yatayda ve dikeyde eşit 100 parçaya ayrılmıştır. Enstrüman tanımlamaları, yerleşimleri ve ilgili tüm hesaplamalar ve değerlendirmeler bu çözünlüğe uygun olarak yapılacaktır. Enstrüman boyutlarından ve enstrümanlar arası mesafeden bahsedilirken bu birim kullanılacaktır.

Bu panelde yer alan gösterge ve kontroller Şekil 3.1'deki gibi daha önce belirtilmiş olan çözünlüğe uygun olarak iki boyutlu birer kutu olarak tanımlanmıştır. Panel üzerinde yer alan toplam 75 adet enstrümana ait detaylı boyut bilgileri Ek A'da sunulmuştur.



Şekil 3.1: Kokpit Enstrümanları ve Yerleşimi

Tanımlanan her enstrümanın dikeyde ve yataydaki orta noktası kullanım yeri olarak varsayılmıştır. Değerlendirmeler esnasındaki mesafe ölçümlerinde bu nokta kullanılacaktır. Yerleştirilecek olan tüm bu kokpit gösterge ve kontrollerinin boyut ve yönelimleri değiştirilmeyecek, ayrıca üst üste konumlandırılmaları engellenecektir. Ayrıca panellerin ve enstrümanların fiziksel yapılarından dolayı mevcut olan kısıtlar göz ardı edilecektir.

3.2. Kontrol Listeleri

Kontrol listeleri uçuş protokollerinin temelidir. Süreç boyunca var olan iniş, kalkış, yaklaşma, alçalma, motor çalıştırma gibi faaliyetlerin neredeyse tamamını kapsar. Kontrol listeleri bu normal durumların dışında; fırlatma prosedürleri, acil iniş, acil kalkış, yakıt sistemi arızaları ve sayısız diğer acil durumda da kullanılmaktadır [28].

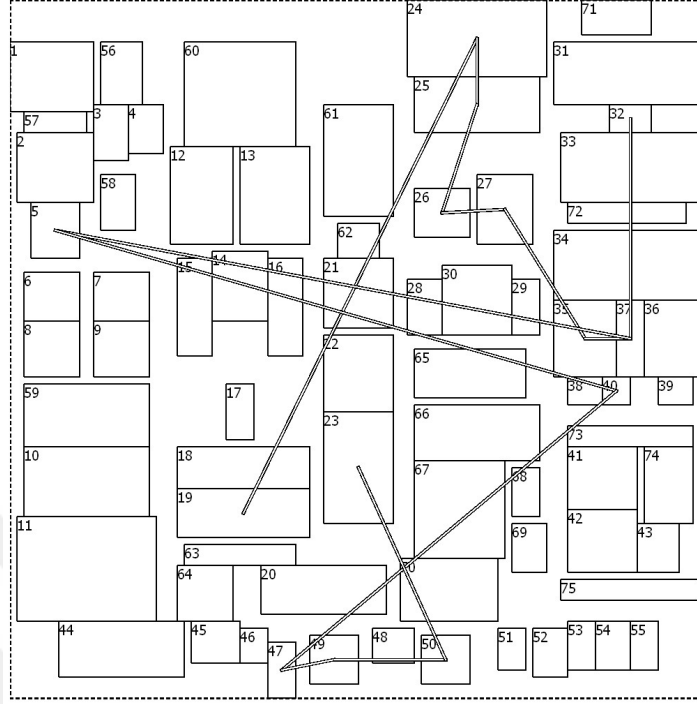
Kokpit gösterge ve kontrollerinin kullanım sırası kontrol listelerine göre belirlenmiş olup, bu çalışmada tanımlanmış olan kokpit enstrümanlarının kontrol akışında bu sıra kullanılacaktır. Dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçaklarında kullanılan kontrol listeleri, birebir aynı olmamakla beraber, genel olarak; uçuş öncesi (pre flight), güç verme (electrical power up), kokpit hazırlama (cockpit preparation), motor çalıştırma (engine start), taksi (taxi), kalkış (takeoff), alçalma (descent), yaklaşma (approach), iniş (landing), kapatma (shutdown), uçuş sonlandırma (terminating flight) gibi akışlardan oluşmaktadır [29]. Çalışmada yerleşimi yapılacak olan panele ait kokpit enstrümanlarını içeren kontrol listesi aşamaları kullanılmıştır. Ayrıca bir acil durum oluştuğunda ilgili durumun ortadan kaldırması için kullanılması gereken kontrol listeleri de bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Ayrıca bu akışların uçuş esnasında bazı durumlarda tekrar kullanılması gerekse de, bu çalışmada bu durum göz ardı edilmiş, tüm akışların eşit sayıda kullanılacağı varsayılmıştır.

Çalışmada kullanılacak olan panelde yer alan enstrümanları içeren kontrol listesi akışları ve bu akışlarda yer alan toplam adım sayısı Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Kontrol listeleri, 12 ayrı akış, toplam 148 enstrüman adım sayısı ve ortalama akış başına düşen 12 adımdan oluşmaktadır.

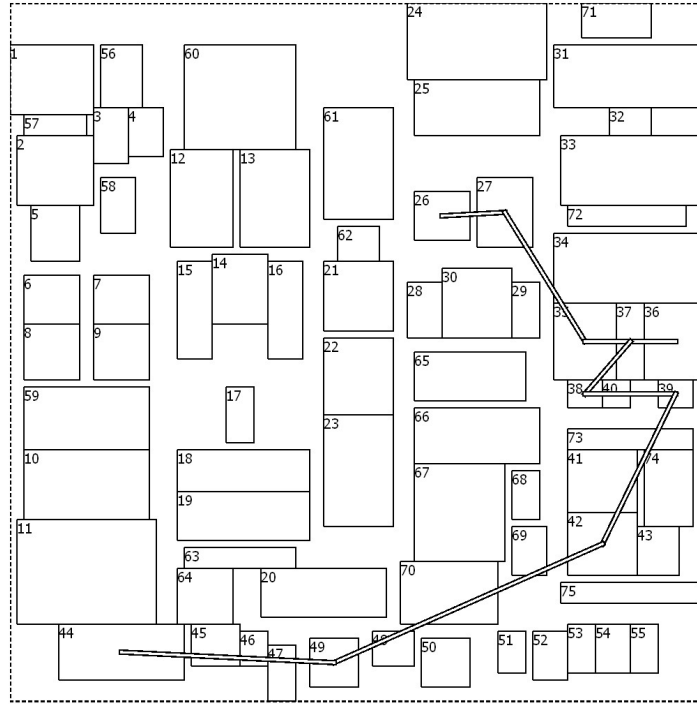
Tablo 3.1: Kontrol Listeleri Enstrüman Adım Sayısı

| Akış | Enstrüman Adım Sayısı |
|--------------------|-----------------------|
| Güç Verme | 6 |
| APU Başlatma | 4 |
| Kokpit Hazırlama | 57 |
| Motor Çalıştırma | 13 |
| Çalıştırma Sonrası | 15 |
| Kalkış Öncesi | 6 |
| Kalkış Sonrası | 5 |
| Alçalma | 10 |
| Yaklaşma | 3 |
| İniş Sonrası | 8 |
| Kapatma | 15 |
| Uçuş Sonlandırma | 6 |
| Toplam | 148 |

Örnek olarak Şekil 3.2’de çalıştırma sonrası Şekil 3.3’de ise alçalma esnasında kullanılacak olan enstrümanların takip sırası mevcut kokpit yerleşimi üzerinde görselleştirilmiştir. Bu görsellerde ilgili akışa göre kullanım esnasında atlamalar görülmektedir.



Şekil 3.2: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı

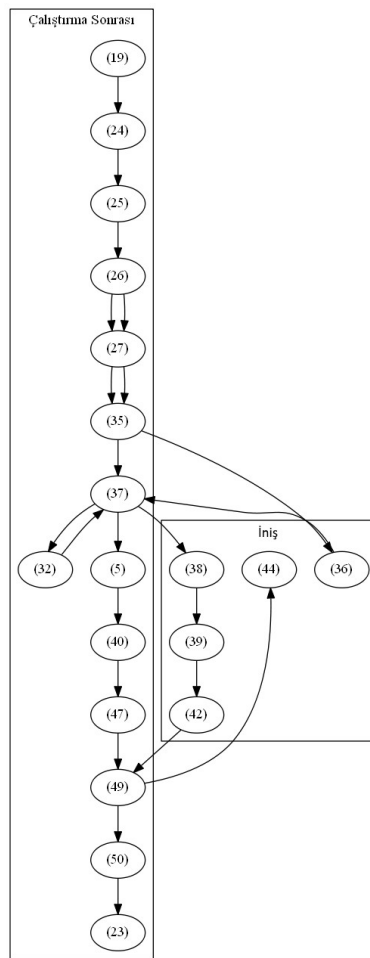


Şekil 3.3: Alçalma Kullanım Akışı

Kokpit gösterge ve kontrollerinin kullanım akışlarını ifade edebilmek, birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlayabilmek için yönlendirilmiş çizge (directed graph) kullanılmıştır. Kokpit enstrümanları birer düğüm (node), kontrol listelerindeki sırası da kenar (edge) olarak ifade edilerek, yönlendirilmiş çizge şeklinde kümeler tanımlanmıştır.

Örnek olarak Şekil 3.4’de çalıştırma sonrası ve alçalma esnasında kontrol listelerine göre kokpit enstrümanlarının kullanım sırası ve birbirleriyle olan ilişkileri çizge ile gösterilmiştir. Bu çizgeden de görülebildiği üzere, kontrol listelerinde listelenen farklı akışlarda ortak enstrümanların bulunması ya da bir kontrol listesi akışında aynı enstrümana birden fazla kez erişilecek olması beklenen bir durumdur.

Bu çizge hazırlanılmasında Graphviz [30] görselleştirme uygulaması ve DOT tanımlama dili (The DOT Language) [31] kullanılmıştır [32]. Tüm enstrümanların kullanım akışını içeren çizge Ek B’de sunulmuştur.



Şekil 3.4: Çalıştırma Sonrası ve Alçalma Kullanım Akışı Çizge Örneği

Bu çalışmada kullanılan enstrümanlara kontrol listelerine göre toplamda kaçar kez erişildiği bilgisine Tablo 3.2’de yer verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği üzere, tüm bu akışlar içerisinde yer almayan kokpit enstrümanları da bulunmaktadır.

Tablo 3.2: Enstrüman Kullanım Sayısı

| Kullanım Sayısı | Enstrüman Sayısı |
|-----------------|------------------|
| 1 | 21 |
| 2 | 16 |
| 3 | 6 |
| 4 | 10 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 8 | 1 |
| 9 | 1 |
| - | 16 |

Tüm kokpit enstrümanlarının, kontrol listelerinin kullanımı sırasında birbiriyle olan sıralı ilişkilerini ve ortak kullanımları daha net görebilmek, tüm aşamalar için oluşturulacak olan yönlendirilmiş çizgeler birleştirilerek tek bir çizge oluşturulmuştur. Oluşturan bu yönlendirilmiş çizge, topolojik sıralama (topological sorting) algoritması ile sıralanıp, neredeyse tüm kokpit enstrümanlarını içeren bir ilişki bağımlılık sırası oluşturulmuştur. Herhangi bir kontrol listesi akışında yer almayan enstrümanlar ise tanımlama sırasına göre bu sıraya eklenmiştir. Kullanım sırası olarak adlandırılacak olan bu tek boyutlu, tüm kokpit enstrümanlarını içeren sıralama önerilen modellerde girdi olarak kullanılmıştır.

3.3. Uçuş Fazları ve Kontrol Listeleri İlişkisi

Havacılıkta kaza ve olay raporlama sistemleri için ortak sınıflandırmalar ve tanımlar geliştirmek, bu sayede ortak güvenlik konularına odaklanma kapasitesini arttırmak amacıyla, The International Civil Aviation Organization (ICAO), The Commercial Aviation Safety Team (CAST) [33] ve The International Air Transport Association (IATA) [34] gibi organizasyonlar, uçuş fazlarını tanımlamayı

hedeflemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan kontrol listeleri, bu aşamaların altında gruplanarak daha anlaşılabilir tanımlamalar yapılması amaçlanmıştır. Şekil 3.5’de bu aşamalar görselleştirilmiştir [35].



Şekil 3.5: Görselleştirilmiş Uçuş Aşamaları

Ayrıca, uçuş esnasında tüm bu aşamaların kritiklik derecesinin aynı olarak değerlendirilmemesi de beklenen bir durumdur. Bu nedenle kontrol listeleri European Aviation Safety Agency (EASA) tarafından tanımlanan düzenlemeler referans alınarak kritik ve kritik olmayan uçuş aşamaları olarak iki başlık altında gruplandırılacaktır [36].

Bu çalışmada kullanılan kontrol listeleri akışları aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

- Kritik
 - Kalkış ve Yükseliş
 - Çalıştırma Sonrası
 - Kalkış Öncesi
 - Kalkış Sonrası
 - Alçalma, Yaklaşma ve İniş
 - Alçalma
 - Yaklaşma
 - İniş Sonrası
- Kritik Olmayan
 - Yerde (Uçuş Öncesi)
 - Güç Verme
 - APU Başlatma
 - Kokpit Hazırlama

- Motor Çalıştırma
- Yerde (Uçuş Sonrası)
 - Kapatma
 - Uçuş Sonlandırma
- Rotada Seyir

Bu çalışmada yer verilen panel, rotada seyir sırasında kullanılmamaktadır. Bu nedenle, bu başlık altında herhangi bir kontrol listesi akışı yer almamaktadır. Yukarıda yapılan bu gruptandırmaya göre enstrüman adım sayılarına ait detaylı bilgi Ek C’de sunulmuştur. Bu gruptama sonrası, kritik uçuş fazlarında yer alan akışlardaki enstrüman adım sayısının, kritik olmayan uçuş fazlarındaki akışlara göre daha dengeli dağıldığı görülmektedir.

3.4. İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli

İlk olarak bu problemi alan odaklı çözmeye yönelik bir model üzerinde çalışılmış ve belirli sayıdaki kutuyu bir alana yerleştirmek için kullanılacak en ideal yöntemlerden biri olduğu için İki Boyutlu Kutulama algoritmaları deneyimlenmiştir [37]. 2010 yılında Jukka Jylanki tarafından İki Boyutlu Kutulama algoritmalarının incelenip karşılaştırıldığı makale [38] ve kaynak kodlar referans alınmış ve algoritma bu bağlamda geliştirilmiştir. Tez kapsamında, bu makalede bahsedilen tüm İki Boyutlu Kutulama algoritmaları ile çalışılmıştır. Ancak makale sonucunda belirtildiği gibi, en iyi sonucun alındığı Maksimum Dikdörtgen (Maximum Rectangle) algoritması yerleşim ve karşılaştırma için seçilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında, kokpit enstrümanlarının yönelimleri değiştirilemeyeceği varsayımı kabul edildiği için kullanılan algoritmada buna yönelik bir güncelleme yapılma ihtiyacı duyulmuştur.

Makalede, bu algoritmaya girdi olarak verilecek olan kutuların alan, en kısa kenar, en uzun kenar gibi kriterlere göre sıralanıp kullanılmasıyla, sonuçta iyileşme görüldüğünden bahsedilmektedir [38]. Ancak tez kapsamında, yerleştirilecek enstrümanları girdi olarak verirken, sadece boyut bazlı sıralamak yerine, kullanım sırasını da dikkate alacak bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, bu gösterge ve kontrollerin her birinin toplam alanına göre büyükten küçüğe doğru yapılan sıralamanın yanında, kontrol listelerine göre yapılan kullanım sıralaması da dikkate alınmıştır. Bu iki sıralama sonucu kendi içlerinde 0 – 100 arası değerlere

aşağıdaki denklem kullanılarak normalleştirilmiştir (Denklem 3.1). Bu formülde ON_x normalleştirilmiş enstrüman sırası değerini, O_x enstrümanın mevcut sırasını, T ise kokpitteki toplam enstrüman sayısını temsil etmektedir.

$$ON_x = (O_x \div T) \times 100 \quad (\text{Denklem 3.1})$$

Ardından bu iki sıralamanın sonuçları kullanılarak tek bir enstrüman sırası değeri hesaplanıp, bu değere göre sıralanan enstrümanlar ağırlıkları değiştirilerek yerleşim sonuçları gözlemlenmiştir. Bu gözlemler çerçevesinde kullanım sıralamasının ağırlığı artırılarak; %80 ağırlıklı kontrol listesi normalleştirilmiş kullanım sıralaması ve %20 ağırlıklı enstrümanların normalleştirilmiş boyut sıralamasına göre oluşturulan yeni sıralama sonuç değeri kullanılarak hazırlanan yerleşim modeli değerlendirilmiştir (Denklem 3.2). Bu denklemde $f(x)$ ağırlıklı sıralama değeri, ON_{x1} normalleştirilmiş kontrol listesi kullanım sırası değeri, ON_{x2} ise normalleştirilmiş boyut sıralaması değeridir.

$$f(x) = ON_{x1} \times 0.80 + ON_{x2} \times 0.20 \quad (\text{Denklem 3.2})$$

Bu algoritmada girdi olarak ihtiyaç duyulan içine yerleştirilecek kutu en ve boy değeri olarak mevcut paneldeki veriler kullanılmıştır. Yerleştirilecek enstrümanlar arasında, dikeyde ve yatayda birer birimlik boşluk bırakılmıştır. Denklem 3.2 sonucuna göre sıralanmış olan kokpit enstrümanları aşağıdaki algoritma kullanılarak yerleştirilmiştir (Algoritma 3.1).

Algoritma 3.1 İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli

Başlat:

$\mathcal{F} = \{(W, H)\}$ olarak tanımla.

Yerleştir:

for each Enstrüman $R = (w, h)$ kullanım sırasına göre **do**

R 'nin yerleşeceği $F_i \in \mathcal{F}$ olacak şekilde en küçük boş dikdörtgeni seç.

R 'yi F_i 'nin sol alt kısmına yerleştir.

B 'yi R 'nin sınırlayıcı kutusu olarak tanımla.

F_i 'yi F' ve F'' olacak şekilde aşağıdaki gibi parçala.

$\mathcal{F} \leftarrow \mathcal{F} \cup \{F', F''\} \setminus \{(F_i)\}$ olarak tanımla.

for each Boş dikdörtgen $F \in \mathcal{F}$ olmak üzere **do**

$F \setminus B$ hesapla ve G_1, \dots, G_4 olarak en fazla dört yeni dikdörtgene böl.

$\mathcal{F} \leftarrow \mathcal{F} \cup \{G_1, \dots, G_4\} \setminus \{F\}$ olarak tanımla.

end for

for each İkili boş dikdörtgenler $F_i F_j \in \mathcal{F}$ olmak üzere **do**

if $F_i F_j$ 'yi içeriyorsa **then**

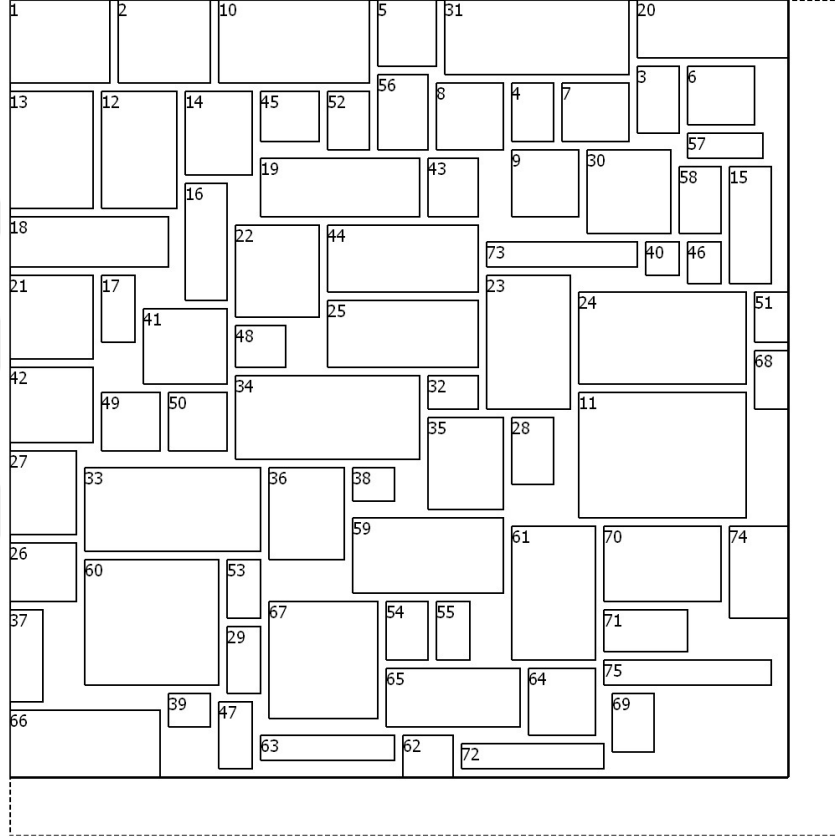
$\mathcal{F} \leftarrow \mathcal{F} \setminus \{F_j\}$ olarak tanımla.

end if

end for

end for

Oluşturulan yeni sıralama sonucu girdi olarak kullanılan Maksimum Dikdörtgen algoritması kullanılan İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli örneği Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Şekilde, mevcut yerleşime ait panel alanı kesik çizgi ile, İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli’ne ait panel alanı ise düz çizgi ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.6: İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli

3.5. Sıralı Yerleşim Modeli

Önerilen bu ikinci modelde kullanım sırası oluşturulmuş kokpit enstrümanlarının sıralı bir şekilde panel üzerine yerleşimi üzerine çalışılmıştır. Enstrümanlar, tek boyutlu bir liste olan kullanım sırası değeri ile satır ve sütunlardan oluşan iki boyutlu bir düzleme yerleştirilecektir.

Yerleşim yapılacak olan panel genişliği karar vericinin isteğine göre ayarlanacaktır. Kullanım sırasına göre enstrümanlar, bu genişlik içinde yer alacak şekilde konumlandırılacak, aksi durumda ise alt satıra geçilecektir. Yerleşim sırasında enstrümanlar arasında yatayda birer birim boşluk bırakılacaktır. Yerleşim yapılan

satırın boyunu o satıra konumlandırılmış olan en yüksek enstrüman belirleyecektir. Enstrümanlar buldukları satıra dikeyde ortalanacaklardır. İki satır arasına dikeyde birer birim boşluk bırakılacaktır. Yerleşime panelin en solundan başlanacak, sağa doğru devam edilecektir. Alt satıra geçildiğinde yerleşime panelin en sağından sağdan sola doğru ters yönde devam edilecektir. Her alt satıra inildiğinde bu işlem ters yönde tekrar edilecektir. Buradaki amaç kullanım sırasında göre enstrümanları yakın konumlandırmaktır. Bu modele ilişkin yerleşim algoritmasına aşağıda yer verilmiştir (Algoritma 3.2). Ayrıca, yatayda sıralı olarak yapılan bu yerleşim dikey eksende de denenmiş ve benzer sonuçlar alınmıştır.

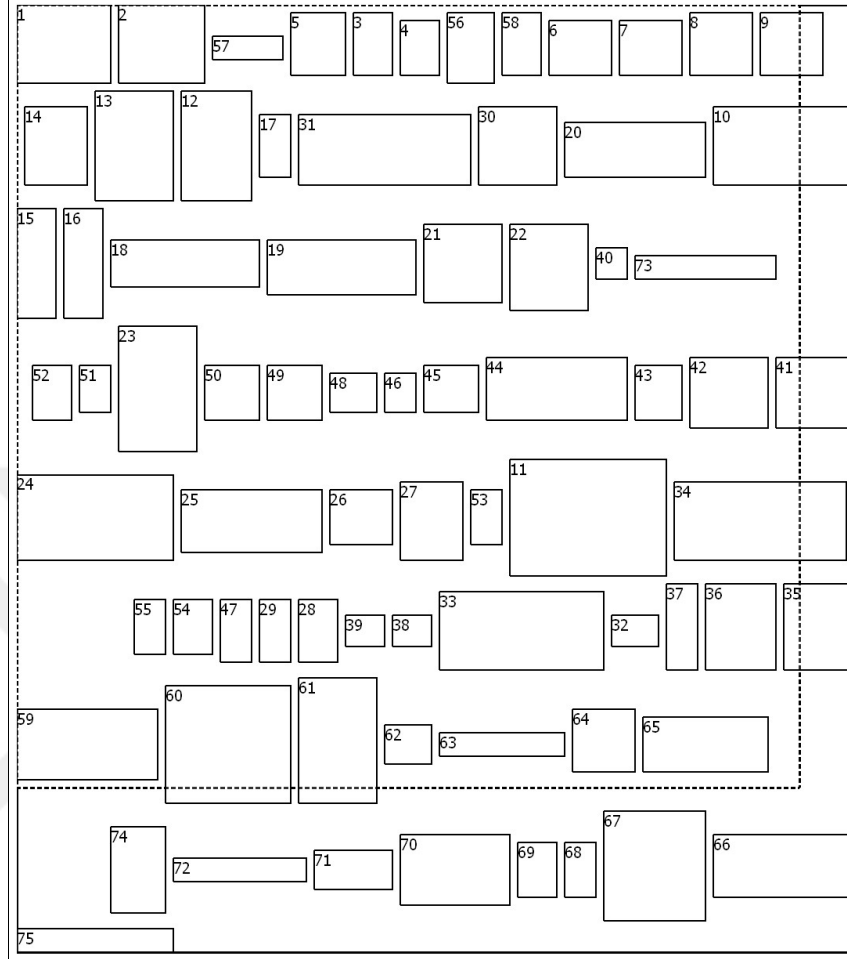
Algoritma 3.2 Sıralı Yerleşim Modeli

```

Başlat:
W panel genişliği olarak tanımla.
c = 0 sütun no olarak ata.
r = 0 satır no olarak ata.
hmax = 0 satırdaki en yüksek enstrüman boyu olarak ata.
leftToRight = true soldan sağa doğru yerleşim olarak ata.
Yerleştir:
for each Enstrüman R = (w, h) kullanım sırasına göre do
  if (c + w) <= W then
    if leftToRight == true then
      R'yi c, r konumuna yerleştir.
      c = (c + w)
      hmax = max(hmax, h)
    else
      R'yi c - w, r konumuna yerleştir.
      c = c - w
      hmax = max(hmax, h)
    end if
  else
    r = (r + hmax)
    hmax = 0
    if leftToRight == true then
      c = W
      R'yi c - w, r konumuna yerleştir.
      c = (c - w)
      hmax = max(hmax, h)
    else
      c = 0
      R'yi c, r konumuna yerleştir.
      c = c + w
      hmax = max(hmax, h)
    end if
    leftToRight = ! leftToRight
  end if
end for

```

Bu algoritma sonucu olarak hazırlanmış olan örnek kokpit yerleşimi örneği Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Şekilde, mevcut yerleşime ait panel alanı kesik çizgi ile, Sıralı Yerleşim Modeli'ne ait panel alanı ise düz çizgi ile ifade edilmiştir.

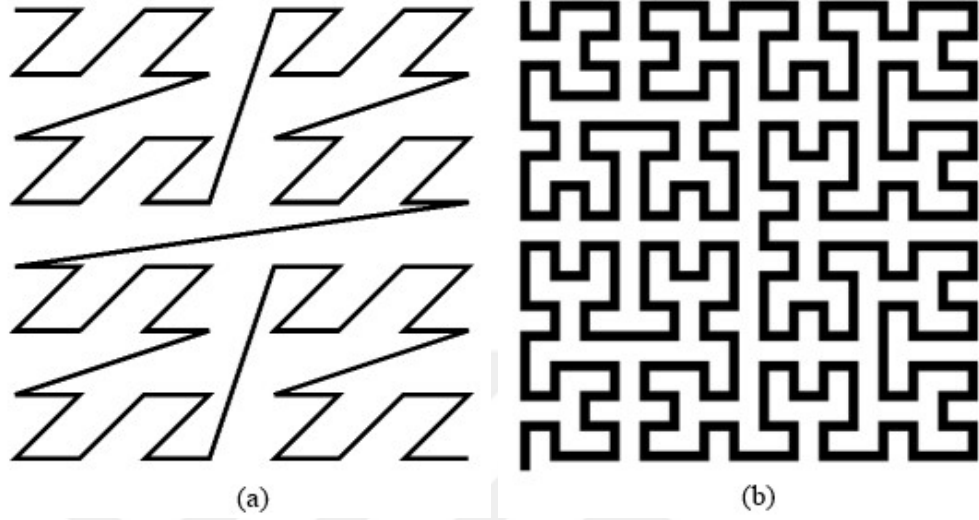


Şekil 3.7: Sıralı Yerleşim Modeli

3.6. Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli

Bu modelde ise kontrol listeleri aracılığı ile oluşturulmuş kokpit enstrümanları kullanım sırası kullanılarak Uzay Doldurma Eğrileri yardımıyla kokpit gösterge ve panellerinin yerleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla özellikle Z Eğrisi ve Hilbert Eğrisi ile yerleşim denenmiştir. Bu iki Uzay Doldurma Eğrisi'nin görselleştirilmiş bir örneklerine Şekil 3.8'de yer verilmiştir [39] [40]. Z Eğrisi, bir satırın son sütununa yerleştirilmiş bir enstrümandan sonra gelen ilk enstrümanın, alt satırın ilk sütununa yerleştirilmesine neden olduğundan dolayı toplam katedilen mesafeyi arttırmıştır ve komşuluk ilişkisine olumsuz yönde etki etmiştir. Bu sebepten dolayı tercih edilmemiş, sıradaki enstrümanın bir önceki enstrümana göre komşu bir konuma yerleşimine olanak sağlayan Hilbert Eğrisi kullanılmıştır [41]. Panel satır ve

sütunlara bölünmüş ve Hilbert Eğrisi ile kullanım sırasına göre enstrümanların yerleştireceği satır ve sütunların tespiti sağlanmıştır (Algoritma 3.3).



Şekil 3.8: Uzay Doldurma Eğrisi Örnekleri (a) Z Eğrisi (b) Hilbert Eğrisi

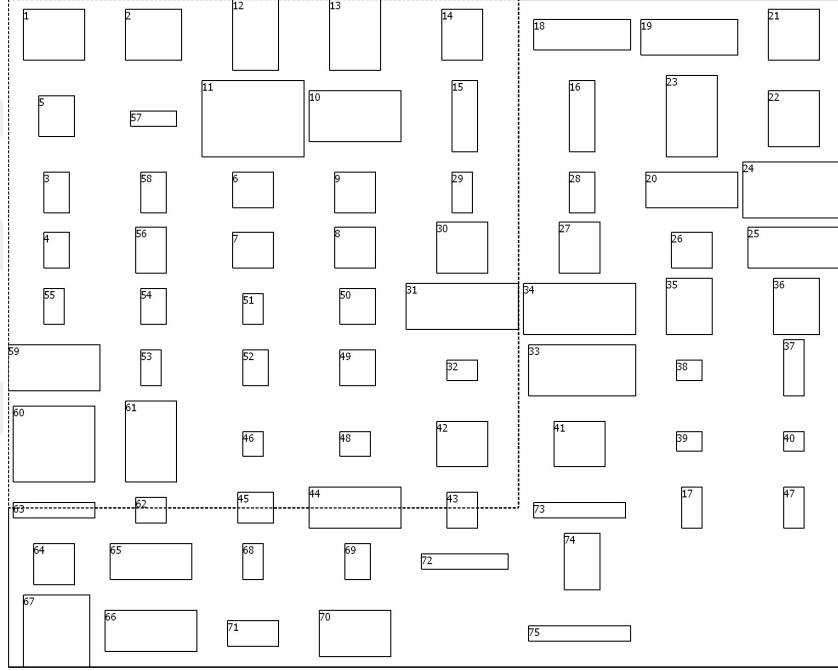
Algoritma 3.3 Hilbert Eğrisi

```

function CURVEORDER2XY( $n, d, *x, *y$ )                                ▷ sırayı(d) iki boyuta(x,y) dönüştür
     $rx, ry, s, t = d$ 
     $*x = 0$ 
     $*y = 0$ 
    for  $s \leftarrow 1$ 'dan  $n$ 'ye do
         $rx = 1 \&(t/2)$ 
         $ry = 1 \&(t^x)$ 
         $curveRotate(s, x, y, rx, ry)$ 
         $*x+ = s * rx$ 
         $*y+ = s * ry$ 
         $t = t/4$ 
         $s = s * 2$ 
    end for
end function
function CURVEROTATE( $n, *x, *y, rx, ry$ )                                ▷ eğriyi döndür
    if  $ry == 0$  then
        if  $rx == 1$  then
             $*x = n - 1 - *x$ 
             $*y = n - 1 - *y$ 
        end if
         $t = *x$ 
         $*x = *y$ 
         $*y = t$ 
    end if
end function

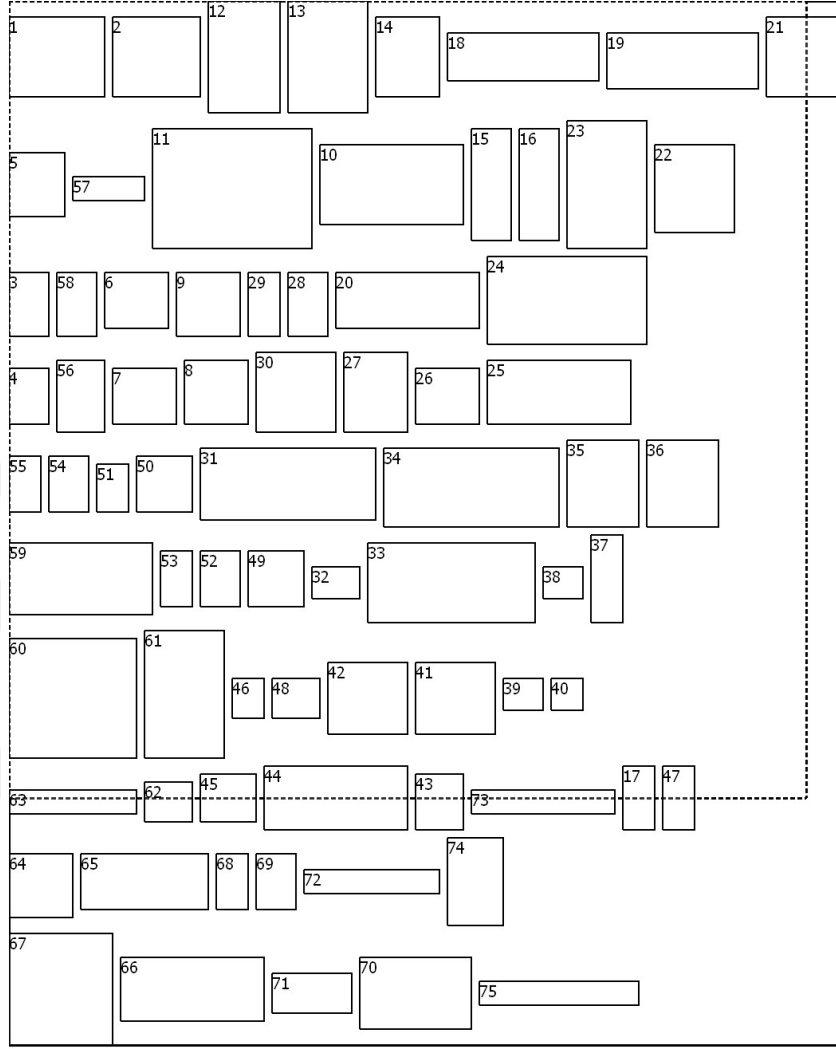
```

Kullanım sırasına göre enstrümanlar Hilbert Eğrisi ile tanımlanan yerlerine yerleştirilmiştir. Bu esnada, Sıralı Yerleşim Modeli'nde olduğu gibi, bir satıra ait olan kokpit enstrümanlarının en yükseği o satırın boyunu belirlemede kullanılmıştır. Ayrıca bir sütuna ait olan kokpit enstrümanlarının da en geniş o sütunun enini belirlemede referans alınmıştır (Şekil 3.9). Şekilde, mevcut yerleşime ait panel alanı kesik çizgi ile, Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli'ne ait panel alanı ise düz çizgi ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.9: Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli (İlk Yerleşim)

Bu model ile yerleştirilen bir enstrüman, bulunduğu sütundaki diğer enstrümanlara göre göreceli olarak daha dar bir enine sahip olmasına rağmen en geniş enstrüman kadar panelde yer işgal ediyor durumuna düşmüştür. Aynı şekilde bulunduğu satırın yüksekliğine bağlı olarak enstrümanın kapladığı alan etkilenmektedir. Bu durumun etkisini azaltmak için bu enstrümanlar arasında oluşan bu boşluğun azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla basit bir şekilde, her satırdaki gösterge ve kontroller, aralarında yatayda birer boşluk olacak şekilde sola doğru tek bir döngü ile taşınmıştır. Bu işlem sonrası oluşan yerleşim Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



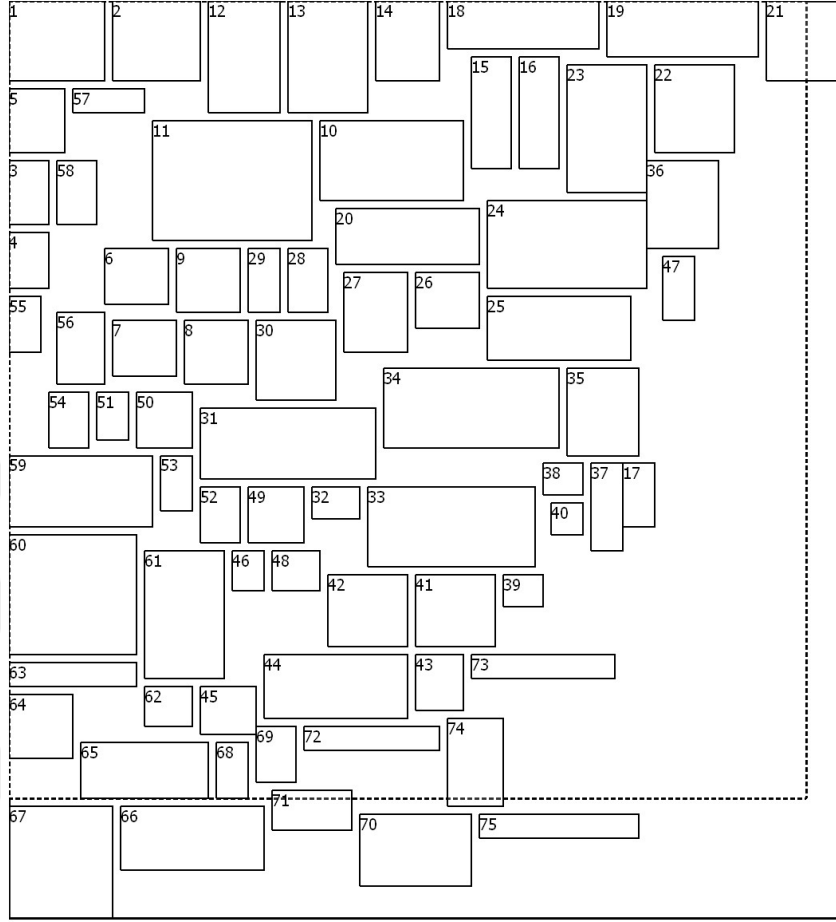
Şekil 3.10: Hilbert Eğrisi Modeli ile Yerleşim (Yatay Kaydırma)

Daha sonra aynı işlem dikeyde uygulanmış, her kokpit enstrümanı yukarı yönde birer boşluk kalacak şekilde taşınmıştır. Bu taşıma işlemlerindeki temel amaç aradaki boşlukları azaltmaktır. Bu modele ilişkin yerleşim algoritmasına aşağıda yer verilmiştir (Algoritma 3.4).

Algoritma 3.4 Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli

Başlat:
hmax satırdaki en yüksek enstrüman boyu olarak tanımla.
wmax sütundaki en geniş enstrüman eni olarak tanımla.
Yerleştir:
for each Enstrüman $R = (w, h)$ ve d kullanım sırası olmak üzere **do**
 $x = 0$ yatayda enstrüman sırası olarak tanımla.
 $y = 0$ dikeyde enstrüman sırası olarak tanımla.
 $c = 0$ sütun no olarak tanımla.
 $r = 0$ satır no olarak tanımla.
 curveOrder2xy(n, d, x, y)
 for $i \leftarrow 0$ 'dan $x'e$ **do**
 $c = c + wmax_i$
 end for
 for $i \leftarrow 0$ 'dan $y'e$ **do**
 $r = r + hmax_i$
 end for
 R 'yi c, r konumuna yerleştir.
end for
Yatayda Taşı:
xmax satırdaki enstrüman sayısı olarak tanımla.
ymax sütundaki enstrüman sayısı olarak tanımla.
for each Enstrüman $R = (w, h)$ ve x yatayda, y dikeyde enstrüman sırası olmak üzere **do**
 for $x \leftarrow 0$ 'dan *xmax'a* **do**
 for $y \leftarrow 0$ 'dan *ymax'a* **do**
 (x, y) sırasındaki enstrüman R 'yi yatayda sola taşı.
 end for
 end for
end for
Dikeyde Taşı:
xmax satırdaki enstrüman sayısı olarak tanımla.
ymax sütundaki enstrüman sayısı olarak tanımla.
for each Enstrüman $R = (w, h)$ ve x yatayda, y dikeyde enstrüman sırası olmak üzere **do**
 for $x \leftarrow 0$ 'dan *xmax'a* **do**
 for $y \leftarrow 0$ 'dan *ymax'a* **do**
 (x, y) sırasındaki enstrüman R 'yi dikeyde yukarı taşı.
 end for
 end for
end for

Bu uygulama sonucu oluşan yerleşimin son hali Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Değerlendirme ve karşılaştırma esnasında yatay ve dikeyde kaydırma yapıp sıkıştırılmış bu model yerleşimi kullanılacaktır.



Şekil 3.11: Hilbert Eğrisi Modeli ile Yerleşim (Yatay ve Dikey Kaydırma)

3.7. Hiperçizge Odaklı Yerleşim

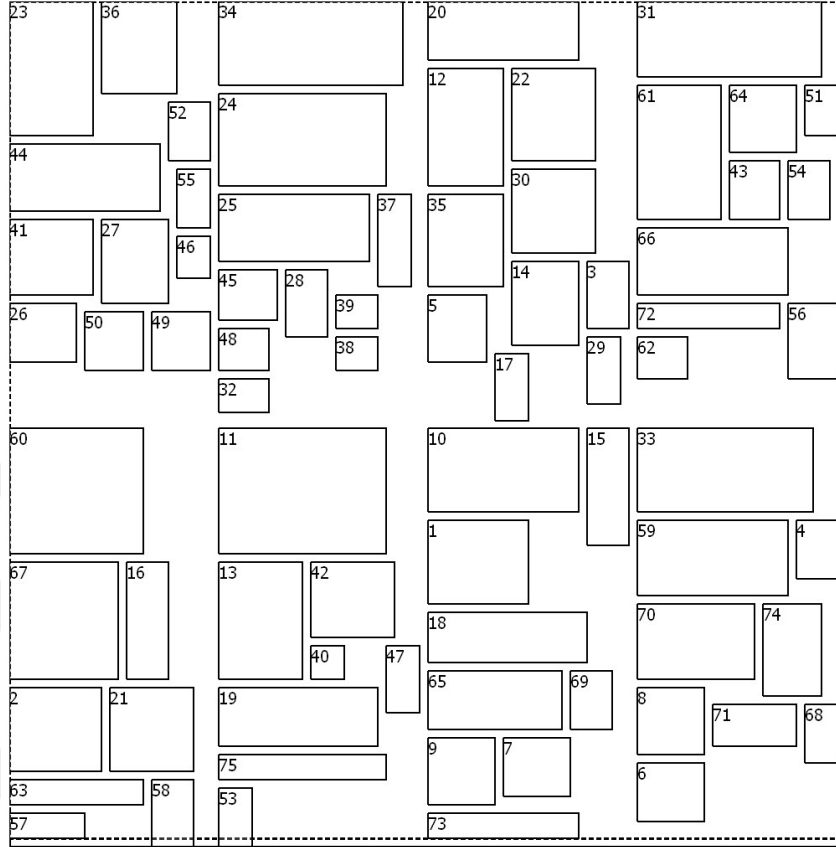
Bu modelde yerleşim probleminin tek seferde çözülmeye çalışılması yerine, parçalara ayrılıp çözülmesi üzerinde durulmuştur. Temel sorun parçaların kabaca eşit olarak bölünmesidir. Bu parçalar içinde kullanım ilişkisinin en fazla, parçalar arasında ise en az olacak şekilde bölütlenmesi için ilişkilerin hiperçizge ile tanımlanması en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [42] [43] [44].

Kokpit enstrümanları birer düğüm (vertex), kontrol listesinde yer alan akışlar da kenar (edge) olarak tanımlanmıştır. Bu akışların ağırlığı eşit olarak varsayılmış, ancak kokpit enstrümanların kapladığı alanlar her bir düğüm için ağırlık (weight) olarak kullanılmıştır. Bu durumda ağırlıklı düğüme sahip bir hiperçizge (hypergraph with weighted vertices) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hiperçizgenin eş bölüklere ayrılabilmesi için PaToH [45] ve Karypis tarafından geliştirilen hMETIS [46]

hiperçizge bölütleme uygulamaları incelenmiştir. Bu çalışmada hMETIS uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulamanın bölütlenme sonuç raporu Ek D’de sunulmuştur.

Bu modelde hiperçizge, kokpit üzerinde konumlandırma yapılmak istenen birbirine eş alt panel sayısı kadar parçaya bölütlenecektir. Ardından her bölük içinde yer alan enstrümanlar daha önce bahsedilen İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli (Algoritma 3.1) ile bu alt panellere yerleştirilecektir. Ancak, hiperçizge tanımlamalarında kontrol listelerinin etkisi zaten dikkate alındığından, İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli’nde enstrümanlar sıralanırken, normalleştirilmiş kontrol listesi kullanım sırası değeri dikkate alınmayıp sadece ON_{x2} ile ifade edilen normalleştirilmiş boyut sırası değeri kullanılacaktır. Enstrümanların bu alt panellere sığmama durumunda, alt panel boyutları genişletilerek tekrar denenecektir.

Modelde bölüt sayısı parametrik olarak varsayılp, farklı değerler denenmiştir. Bu değer tasarım parametresi olarak karar vericinin isteğine göre ayarlanacaktır. Bu çalışmada örnek bölüt sayısı olarak 8 seçilmiştir. Kokpit paneli, dikeyde 4’e, yatayda 2’ye bölünmüş, toplamda 8 eş alt panel oluşturulmuştur. Bu model ile tanımlanan hiperçizge 8 parçaya bölütlenmiş ve bu parçalar alt panellere yerleştirilmiştir. Bu uygulama sonucu oluşan model çıktısı Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekilde, mevcut yerleşime ait panel alanı kesik çizgi ile, Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli’ne ait panel alanı ise düz çizgi ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.12: Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli

3.8. Uygulama Özellikleri ve Test Ortamı

Tez kapsamında, girdi olarak kullanılacak olan tanımlamaların yapılabilmesi, bu tanımların saklanıp yeniden yüklenebilmesi, önerilen modellerin parametrelerinin değiştirip uygulanabilmesi, yerleşim çıktılarının görülebilmesi ve sonuçların değerlendirme kriterlerine göre raporlanıp karşılaştırılabilmesi amacıyla bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamaya ait tanımlama ve model uygulama arayüzleri ekran görüntülerine Ek E’de yer verilmiştir.

Bu kapsamda geliştirilen uygulamaya ait yazılımsal özellikler ve bağımlılıklar aşağıda sıralanmıştır.

- Microsoft Visual Studio 2013
- C++
- QT 5.6.1

Testlerin koşacağı bilgisayarara ait yazılımsal ve donanımsal özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Microsoft Windows 10 Home Edition 64-Bit
- Intel Core i7-4720HQ CPU @ 2.60 GHz
- 16 GB RAM
- NVIDIA GeForce GTX 970M



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu kısımda, mevcut kokpit yerleşimi ile önerilen modeller sonucunda oluşan kokpit yerleşimlerini karşılaştırmak için kullanılan değerlendirme yöntemleri anlatılacaktır. Bu kriterlere göre değerlendirilen modellerin sonuç raporlarına yer verilecektir. Ardından incelenen her model için detaylı çıktılarına ve sonuçlarına değinilecektir.

4.1. Değerlendirme Yöntemleri

Önerilen modeller ve mevcut yerleşim iki temel kriter üzerinden değerlendirilmiştir. İlk ana kriter toplam panel alanı odaklı olup yeni yerleşim modelinin mevcut tasarıma göre boyut ve kullanım verimliliğini ölçmeyi amaçlamaktadır. İkinci ana kriter ise kokpit kullanım sırasında, enstrümanlar arasındaki yakınlık ilişkisini ölçmeye yöneliktir.

4.2. Panel Kullanım Oranı

Bu değerlendirme kriterin kullanılmasındaki temel amaç, önerilen modellerin mevcut yerleşime göre panel kullanımındaki değişimin gözlemlenebilmesidir. Bunun için, önerilen modeller ile yerleştirilmiş yeni panel alanının, mevcut panel alanına bölünmesi ile hesaplanan boyut oranı (Denklem 4.1) ve enstrümanların toplam alanın yeni panel alanına bölünmesi ile hesaplanan kullanım oranı (Denklem 4.2) değerleri kullanılacaktır.

Bu denklemde R_s panel boyut oranı olup, w_n yeni panelin eni, h_n yeni panelin boyu, w_o mevcut tasarımdaki panel eni, h_o ise mevcut tasarımdaki panel boyunu temsil etmektedir. Bu değer 1.00'den büyük olması kokpit panel boyutunda artışı, küçük olması ise azalışı ifade etmektedir.

$$R_s = (w_n \times h_n) \div (w_o \times h_o) \quad (\text{Denklem 4.1})$$

Bu denklemde R_u panel kullanım oranını ifade ederken, n enstrüman sayısı, w_i enstrüman eni, h_i enstrüman boyu, w panel eni, h ise panel boyuna karşılık gelmektedir. Bu değer 1.00'a yaklaşması verimlilik artışı olarak değerlendirilecektir.

$$R_u = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i}{w \times h} \quad (\text{Denklem 4.2})$$

4.3. Enstrüman Yakınlık İlişkisi

İkinci değerlendirme kriteri ise kontrol listelerine göre kullanım akışı takip edildiğinde katedilen mesafedeki değişimini ve enstrümanlar arasındaki komşuluk ilişkisini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede birbirleri ile ilişkisi olan enstrümanların yakınlık durumunun gözlemlenebilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla önce, kontrol listesine göre akışta kullanılan enstrümanlar arasında katedilen mesafe kullanım sırasına göre toplanıp, akıştaki adım sayına bölünerek enstrüman başına katedilen ortama mesafe değeri (Denklem 4.3) ve mevcut kokpit yerleşimine oranla yüzdesel olarak değişimi (Denklem 4.4) hesaplanmıştır.

Kontrol listelerine göre katedilen ve aşağıdaki denklemde D_x ile ifade edilen adım başına düşen mesafeyi hesaplamak için, o kontrol listesinde yer alan her adımdaki m_{ij} ile ifade edilen iki enstrüman arası mesafe değeri toplanacak ve bu değer akıştaki S ile adlandırılan toplam adım sayısına bölünecektir (Denklem 4.3).

$$D_x = \frac{\sum_{i,j} m_{ij}}{S} \quad (\text{Denklem 4.3})$$

Aşağıdaki denklemde R_d ile ifade edilen mevcut model ile karşılaştırma amaçlı kullanılacak olan mesafe oranı değerini hesaplamak için, yeni model için hesaplanan adım başına düşen mesafe değeri (D_{xn}), mevcut tasarımdaki adım başına düşen mesafe değerine (D_{xo}) bölünür (Denklem 4.4). Bu değer 1.00'den büyük olması ilişkili enstrümanlar arasında mesafenin artışı, küçük olması ise mesafenin azalışını ifade etmektedir.

$$R_d = D_{xn} \div D_{xo} \quad (\text{Denklem 4.4})$$

Kontrol listelerine göre mesafe değişim oranı değerinin yanında, ilişkilerin daha net değerlendirmesi amacıyla, enstrümanların komşuluk değerleri de hesaplanarak bir kriter olarak kullanılmıştır. Komşuluk değeri iki enstrümanın orta noktaları arasında çizilen bir doğru ile bu iki enstrüman haricinde kesişen enstrüman sayısı olarak tanımlanmıştır. Bu amaçla kontrol listelerindeki akışa göre N_x olarak ifade edilen komşuluk değeri hesabı için akıştaki sıralı tüm enstrümanların ikili komşuluk (n_{ij}) değeri hesaplanarak toplanacaktır (Denklem 4.5).

$$N_x = \sum_{i,j} n_{ij} \quad \text{(Denklem 4.5)}$$

Aşağıdaki denklemde R_n ile ifade edilen mevcut model ile karşılaştırma amaçlı kullanılacak olan komşuluk ilişkileri değişim oranı değerini hesaplamak için, yeni model için hesaplanan toplam komşuluk değeri (N_{xn}), mevcut tasarımdaki komşuluk değerine (D_{xo}) bölünür (Denklem 4.6). Bu değerin 1.00'den büyük olması ilişkili enstrümanlar arasında komşuluk ilişkisinin zayıfladığını, küçük olması ise bu ilişkinin güçlendiğini göstermektedir.

$$R_n = N_{xn} \div N_{xo} \quad \text{(Denklem 4.6)}$$

4.4. Değerlendirme Sonuçları

Bu kısımda; önce, önerilen modeller için uygulama üzerinde kokpit yerleşiminin yapılması ve değerlendirmesi için harcanan toplam süreye yer verilecek, ardından değerlendirme sonuçları tablo olarak sunulacaktır. Son olarak önerilen her model bu sonuçlara göre incelenip karşılaştırılacaktır.

Önerilen modellerin geliştirilen uygulama ile test ortamında koşturulması ve sonuç raporlarının hazırlanılması için geçen toplam süreye Tablo 4.1'de yer verilmiştir.

Tablo 4.1: Modelin Koşturulması ve Raporlama için Harcanan Süre

| Yerleşim Modeli | Toplam Süre (sn.) |
|-----------------------------|-------------------|
| İki Boyutlu Kutulama ile | 0.625 |
| Sıralı Yerleşim | 0.403 |
| Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 0.316 |
| Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 0.423 |

Yerleşim modellerine göre hesaplanan panel boyut oranı ve panel kullanım oranı değerleri Tablo 4.2’de yer almaktadır.

Tablo 4.2: Boyut ve Kullanım Oranı Karşılaştırması

| Yerleşim Modeli | Panel Boyut Oranı (R_s) | Panel Kullanım Oranı (R_u) |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Mevcut Yerleşim | 1.00 | 0.64 |
| İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim | 0.86 | 0.75 |
| Sıralı Yerleşim | 1.29 | 0.50 |
| Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 1.21 | 0.54 |
| Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 1.00 | 0.64 |

Yerleşim modellerine göre hesaplanan adım başına düşen mesafe değerinin, mevcut yerleşime oranına Tablo 4.3’de gruplanan uçuş aşamaları detayında yer verilmiştir.

Tablo 4.3: Katedilen Mesafe Oranı Karşılaştırması

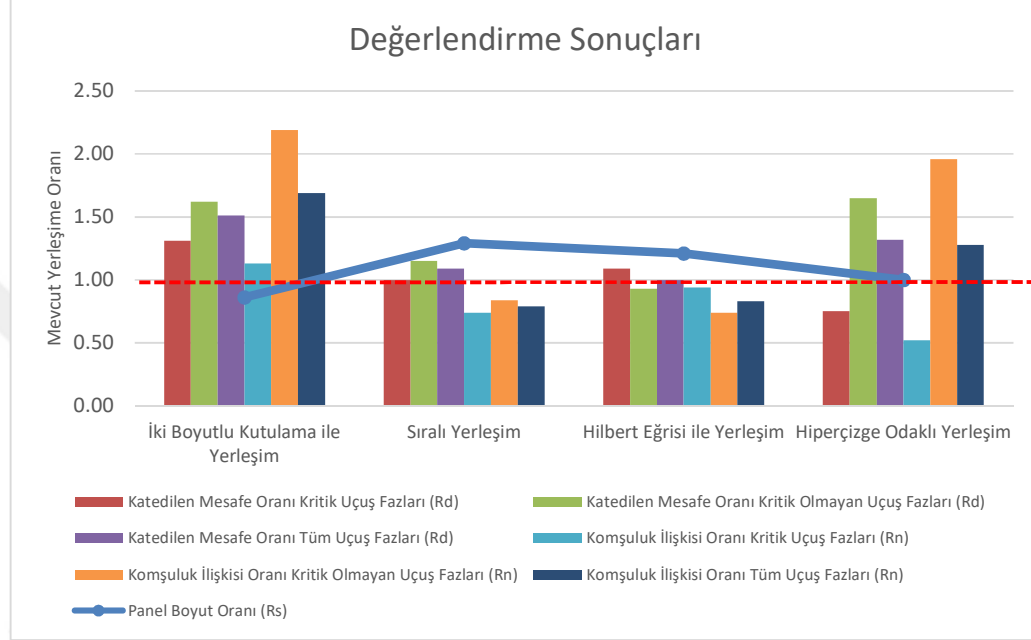
| Yerleşim Modeli | Kritik Uçuş Fazları (R_d) | Kritik Olmayan Uçuş Fazları (R_d) | Tüm Uçuş Fazları (R_d) |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| İki Boyutlu Kutulama ile | 1.31 | 1.62 | 1.51 |
| Sıralı Yerleşim | 1.00 | 1.15 | 1.09 |
| Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 1.09 | 0.93 | 1.00 |
| Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 0.75 | 1.65 | 1.32 |

Yerleşim modellerine göre hesaplanan komşuluk ilişkisi değerinin, mevcut yerleşime oranına Tablo 4.4’de gruplanan uçuş aşamaları detayında yer verilmiştir.

Tablo 4.4: Komşuluk İlişkisi Oranı Karşılaştırması

| Yerleşim Modeli | Kritik Uçuş Fazları (R_n) | Kritik Olmayan Uçuş Fazları (R_n) | Tüm Uçuş Fazları (R_n) |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| İki Boyutlu Kutulama ile | 1.13 | 2.19 | 1.69 |
| Sıralı Yerleşim | 0.74 | 0.84 | 0.79 |
| Hilbert Eğrisi ile Yerleşim | 0.94 | 0.74 | 0.83 |
| Hiperçizge Odaklı Yerleşim | 0.52 | 1.96 | 1.28 |

Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 yer verilen sonuç değerleri Şekil 4.1’de grafik üzerinde sunulmuştur. Komşuluk ilişkileri oranları sütunlar ile panel boyut oranı ise çizgi ile ifade edilmiştir. Mevcut yerleşim değeri kırmızı kesik çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Değerlendirme Sonuçları

Alan odaklı bir yaklaşım olan İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli, her ne kadar kokpit enstrümanlarının yerleşimini toplam panel boyutu açısından verimli bir şekilde konumlandırmış olsa da, benzer bir iyileşmeyi yakınlık ilişkisinde gösterememiştir. Bu örnekte, kokpit panel boyutunda %14’lük bir iyileşme sağlamış ve panel kullanım oranını %75’e çıkarmıştır. Ancak bu algoritma, yerleşim esnasında sıradaki kutunun en ideal yere yerleşimini esas aldığı için, kontrol listeleri kullanım sırasını tam olarak gözetmemekte, bazı akışlarda ufak iyileşmeler gözlemlense de, ilişkili göstere ve kontrollerin birbirine yakın olarak konumlandırmasını sağlamamaktadır. Hem kritik hem de kritik olmayan uçuş fazlarındaki mesafe değişimi ve komşuluk ilişkisi değerlerine bakıldığında bu sonuçlar görülebilir. Çalıştırma sonrası ve alçalma kullanım akışı mevcut panel ile karşılaştırmalı görsellerine (Şekil F.1 ve Şekil F.2) ve yakınlık ilişkisi değerlendirme kriteri detaylı sonuçlarına (Tablo F.1) Ek F’de yer verilmiştir.

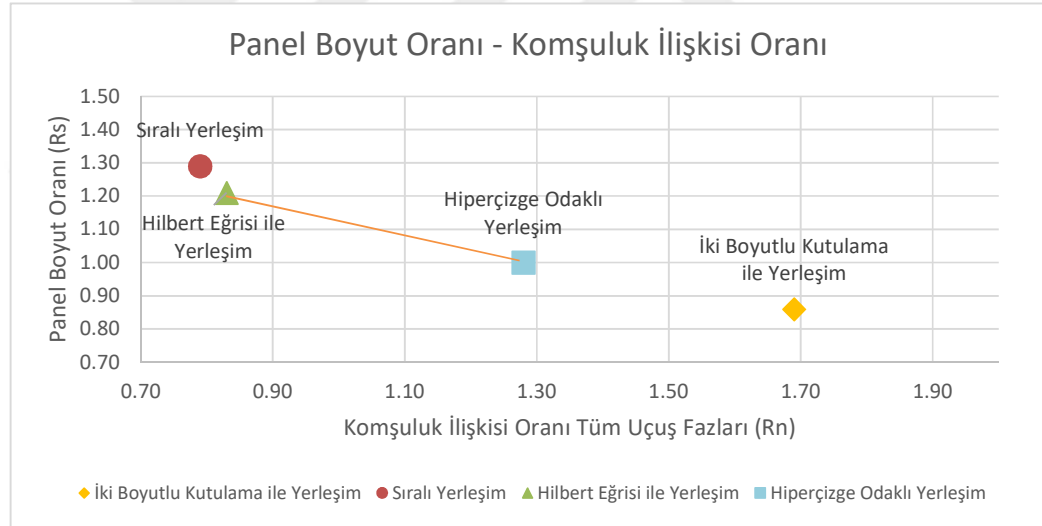
Sıralı Yerleşim Modeli'nde yerleşim esnasında kullanım sırası gözetildiğinden birbiri ile ilişkisi olan enstrümanların yakın yerleşimi sağlanmıştır. Bu örnekte, kontrol listeleri adımlarına göre katedilen mesafe değeri toplamda artmış olsa da, komşuluk ilişkilerinde tamamında iyileşme sağlanmıştır. Özellikle kritik uçuş fazlarında %26'ya yakın bir iyileşme mevcuttur. Ancak yerleşim sırasında dikeyde alan kaybı olup verimli bir yerleşim yapılamadığından, kullanılan panel boyutu mevcut tasarıma göre büyümüş, %29 oranında artmıştır. Bunun da temel sebeplerinden biri, kullanım sırasına göre yerleştirilirken, görece en uzun boya sahip enstrümanın bulunduğu satır yüksekliğini belirlemesi ve dolayısı ile de panel boyunu arttırmasıdır. Panel boyutlarındaki artış da dolaylı yoldan katedilen toplam mesafe değerini de arttırmıştır. Çalıştırma sonrası ve alçalma kullanım akışı mevcut panel ile karşılaştırmalı görsellerine (Şekil G.1 ve Şekil G.2) ve yakınlık ilişkisi değerlendirme kriteri detaylı sonuçlarına (Tablo G.1) Ek G'de yer verilmiştir.

Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli'nde, Sıralı Yerleşim Modeli'nde olduğu gibi, kullanım sırası enstrüman yerleşimini doğrudan etkilediği için, birbiri ile ilişkisi olan enstrümanların yakın yerleşimi kısmen sağlanmıştır. Kontrol listelerine göre toplam katedilen mesafe değerinde dikkat çekici bir değişim olmamakla beraber komşuluk ilişkilerinde iyileşme mevcuttur. Enstrüman boyutlarının, yerleşim sırasına bir etkisi olmadığı için, Sıralı Yerleşim Modeli'nde olduğu gibi kullanılan panel boyutu büyümüş, yaklaşık %21 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Kullanılan panel boyutundaki artışın temel sebebi Sıralı Yerleşim Modeli ile benzeşmektedir. Çalıştırma sonrası ve alçalma kullanım akışı mevcut panel ile karşılaştırmalı görsellerine (Şekil H.1 ve Şekil H.2) ve yakınlık ilişkisi değerlendirme kriteri detaylı sonuçlarına (Tablo H.1) Ek H'de yer verilmiştir.

Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli sonucu ortaya çıkan yerleşimlerde toplam panel boyutunda radikal oranda bir artış olmamış, genellikle mevcut panel boyutları korunmuştur. Bunun temel sebebi, hiperçizge tanımlarında enstrüman boyutlarının ağırlık olarak kullanılması ve buna bağlı olarak bölütleme sonucunda çıkan parçalardaki enstrümanların toplam boyutların, parçalar arasında birbirlerine yakın olmasıdır. Ele alınan örnekte, model sonucu çıkan yerleşim alanı mevcut panel ile birebir aynı olmakta, dolayısı ile panel kullanım oranı da değişmemektedir. Kontrol listelerine göre katedilen toplam mesafe değerinde %32'lik bir artış gözlemlenmiş olsa da kritik uçuş fazlarında hem toplam mesafe hem de komşuluk ilişkilerinde

iyileşme oranları oldukça yüksektir. Kritik uçuş fazlarında, mevcut yerleşime göre komşuluk ilişkisinde %48'lik toplam mesafe değerinde ise %25'lik bir iyileşme görülmüştür. Çalıştırma sonrası ve alçalma kullanım akışı mevcut panel ile karşılaştırmalı görsellerine (Şekil I.1 ve Şekil I.2) ve yakınlık ilişkisi değerlendirme kriteri detaylı sonuçlarına (Tablo I.1) Ek I'da yer verilmiştir.

Bu sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla, panel boyut oranı ve tüm uçuş fazları komşuluk ilişkisi oranının önerilen modellere göre sonuçları Şekil 4.2'deki grafikte sunulmuştur. Bu grafikte dikey ölçüt mevcut yerleşime göre panel boyut oranı değerini, yatay ölçüt ise mevcut yerleşime göre komşuluk ilişkisi oranı değerini vermektedir. Bu iki değerdeki azalışın da iyileşme anlamına gelmesinden dolayı, Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli'nin ve de Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli'nin birer optimal sonuç önerdiği görülmektedir.

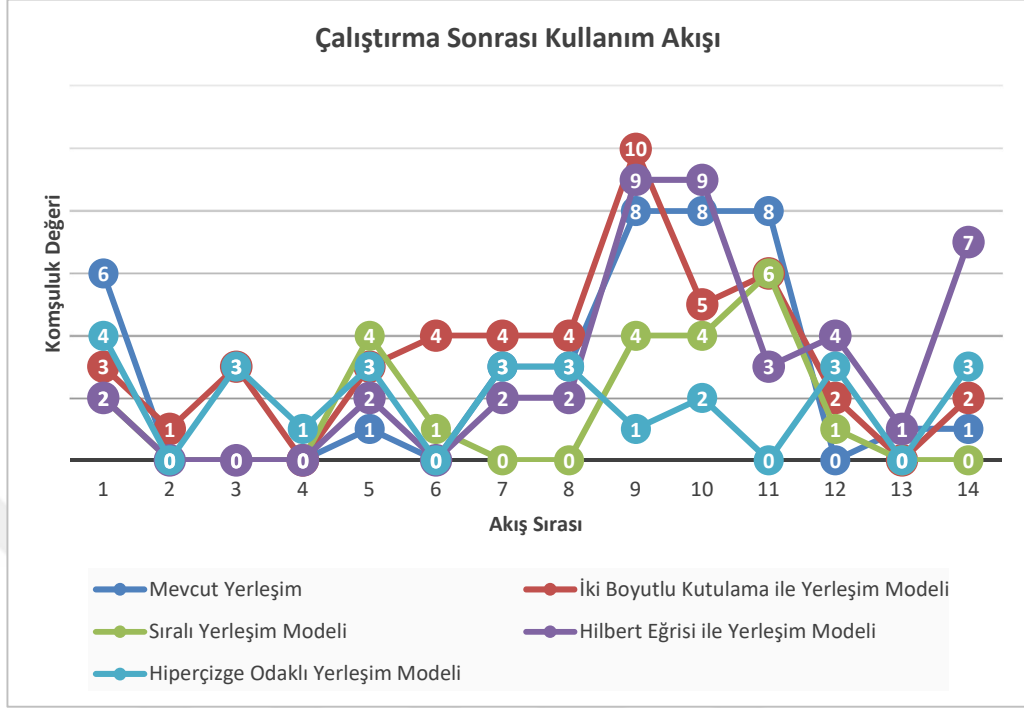


Şekil 4.2: Panel Boyut Oranı – Komşuluk İlişkisi Grafiği

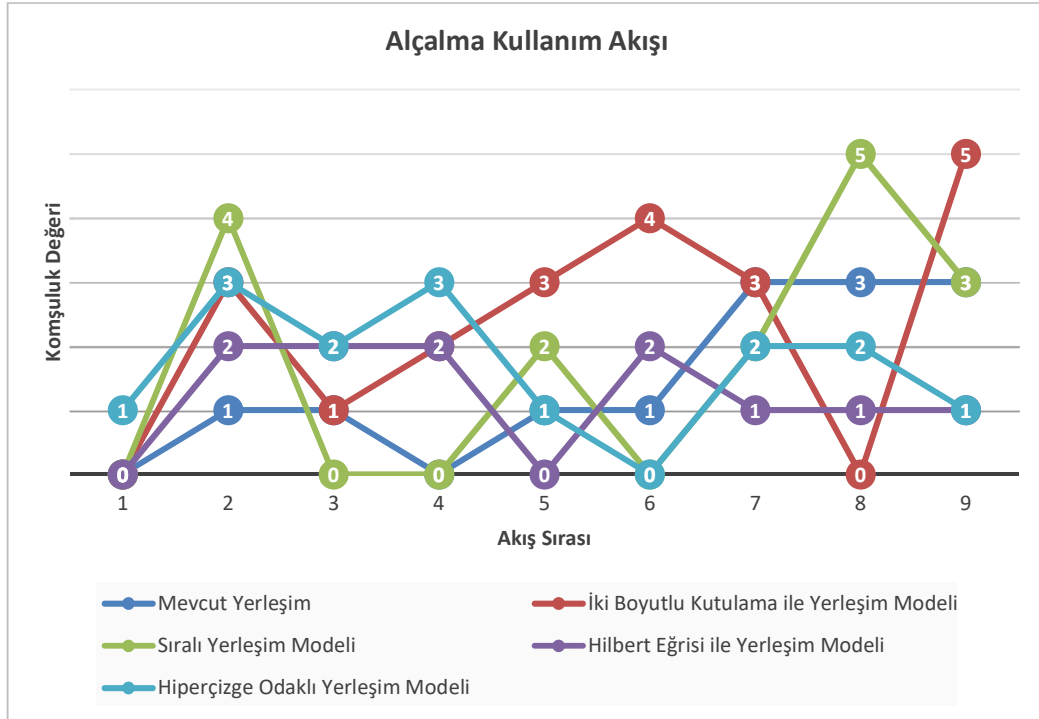
Panel boyutlarındaki değişim ve panel kullanım oranlarına göre Sıralı Yerleşim Modeli ve Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli ile yapılan konumlandırmaların, mevcut kokpit yerleşimine görece olumlu herhangi bir etkisi olmamış, kullanılan kokpit panel alanında artışına neden olmuştur. Ancak İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli ile yapılan yerleşimde kullanılan panel alanında ve dolayısı ile panel kullanım oranında yaklaşık %14'lük kazanç elde edilmiştir. Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli sonuçlarında ise, bu kriterlere göre ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir (Tablo 4.2).

Kontrol listelerine göre katedilen ortalama mesafe değerine göre sadece Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli ile kritik olmayan uçuş fazlarında, Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli ile de kritik uçuş fazlarında iyileşme gözlemlenmiştir (Tablo 4.3). Komşuluk ilişkisine değerine göre değerlendirdiğimizde ise yine İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli hariç diğer tüm modellerde kritik uçuş fazlarında iyileşme gözlemlenmiş, en iyi sonucu da %48’lik bir ilerleme Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli vermiştir (Tablo 4.4). Bunun temel nedeni kritik uçuş fazlarında yer alan akışlardaki enstrüman adım sayılarının kısmen dengeli dağılması ve bu yerleşim sonucunda da bu enstrümanların aynı bolutlerde yer alması, dolayısı ile daha yakın konumlandırılmasıdır. Diğer modellerde ise kullanım sıklığından çok kullanım sırası etkili olmaktadır. Enstrüman adım sayılarını arasındaki farkın fazla olduğu kritik olmayan uçuş aşamaları için boyale bir bölütleme imkanı olmadığından dolayı bu uçuş fazında komşuluk ilişkilerinde neredeyse iki katına yakın bir gerileme mevcuttur. Bununla beraber enstrüman alanlarının ağırlık olarak kullanılarak bölütlenmesi, panel boyut alanında bir artış olmamasının en büyük nedenidir.

Modellerin kullanım sırasına göre komşuluk ilişkilerindeki değişimi karşılaştırmak için komşuluk değeri – akış sırası grafiklerine yer verilmiştir. Bu grafiklerde her adıma ait komşuluk ilişkisi sayısı dikey ekseninde, adım sırası ise yatay ekseninde verilmiş, mevcut yerleşimin ve önerilen modellere göre komşuluk ilişkileri değişimi daha net görülebileceği düşünülmüştür. Örnek olarak, alıştırma sonrası kullanım akışı komşuluk değeri değişimi grafiğine Şekil 4.3’de ve alçalma kullanım akışı komşuluk değeri değişimi grafiğine Şekil 4.4’de yer verilmiştir. Komşuluk ilişkilerinin kritik uçuş aşamalarına göre detaylı olarak değişim grafikleri Ek J’de sunulmuştur.



Şekil 4.3: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı Komşuluk Değeri Karşılaştırılması



Şekil 4.4: Alçalma Kullanım Akışı Komşuluk Değeri Karşılaştırılması

Yer verilen bu örnek grafiklerde ve Ek J'deki kritik fazlara ait grafiklerde, mevcut yerleşim dahil, Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli hariç tüm yerleşimlerde her adıma ait komşuluk ilişkisi değerindeki ani artışlar ve akıştaki düzensizlikler görülebilir. Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli ise komşuluk ilişkilerini ortalama olarak belli bir düzeyde tutmaya olanak sağlamıştır. Kritik olmayan fazlarda Sıralı Yerleşim Modeli ve Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli temelde kullanım sırasını göz önünde bulundurduğu için bazı uçuş aşamalarında mevcut yerleşime göre komşuluk ilişkisini geliştirmiştir. Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli'nin kritik olmayan fazlarda daha kötü sonuç vermesinin en önemli nedeni kokpit enstrümanlarının neredeyse dörtte üçünü içeren bir akışın bu fazda yer alması bölütlenme esnasında bu enstrümanların farklı parçalarda yer almak durumunda olmasıdır. İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli'nin her iki fazda da mevcut olan düzensiz komşuluk ilişkileri yine bu grafiklerden görülebilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir hava taşıtına ait mevcut kokpit yerleşimi ile kontrol listesi odaklı nesnel yaklaşımlar yardımıyla modellenen dört farklı yerleşim önerilip, panel kullanımı ve yakınlık ilişkileri yönünden karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sırasında modellerin tanımlanan kriterlere göre performansları değerlendirilmiştir. İnsan - makine etkileşimi ve kullanım açısından bir kriter tanımlanmamış olup bu yaklaşımı da içeren değerlendirmeler sonraki çalışmalarda yürütülecektir.

Bu çalışma ile, kokpit yerleşiminde kontrol listeleri odaklı bir model yardımıyla, akıştaki komşuluk ilişkilerine ve katedilen mesafe değerlerine göre mevcut yerleşimlere oranla iyileşme olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak önerilen bu modeller arasında, panel kullanımında ve tüm uçuş aşamalarındaki yakınlık ilişkisinde aynı anda iyileşme sağlayan bir yaklaşım mevcut değildir.

İncelenen modellerden, kullanılan toplam panel boyutu değişmeden, iniş, kalkış, alçalma gibi kritik aşamaları içeren kontrol listeleri üzerinden değerlendirilen bir komşuluk ilişkisi ve katedilen mesafe değeri kriterlerine göre, en verimli nesnel yöntem olarak Hiperçizge Odaklı Yerleşim Modeli olduğu gözlemlenmiştir. Enstrüman adım sayıları dengeli dağılmış bir kontrol listesi akışına göre, bu yerleşim modeli, yakınlık ilişkilerinde mevcut yerleşime oranla iyileşme sağlamıştır. Komşuluk ilişkisi kriterinde %48'lik, katedilen mesafe değeri kriterinde ise %25'lik bir iyileşme söz konusudur. Aynı zamanda komşuluk ilişkilerine ikili olarak enstrüman bazında bakıldığında, bu değerlerin belirli bir aralıkta ortalamaya yakın olmasını sağlamış, mevcut yerleşimde ve diğer modellerde olduğu gibi anlık artışların olmasını engellemiştir.

Diğer taraftan, panel boyutlarındaki artış göz ardı edildiğinde ve tüm aşamalarındaki komşuluk ilişkileri dikkate alındığında ise birbirlerine göre oldukça yakın sonuçlar veren Sıralı Yerleşim Modeli ve Hilbert Eğrisi ile Yerleşim

Modeli'nin daha başarılı olduğu görülmüştür. Sıralı Yerleşim Modeli panel alanında olumsuz yönde %29'luk bir artışa neden olurken tüm uçuş aşamalarını içeren komşuluk ilişkisinde %21'lik bir iyileşme söz konusu olmuştur. Benzer bir şekilde, Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli panel alanında olumsuz yönde %21'lik bir artışa neden olurken tüm uçuş aşamalarını içeren komşuluk ilişkisinde %17'lik bir iyileşme mevcuttur. Ek olarak, Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli katedilen mesafe değeri kriterine göre bakıldığında Sıralı Yerleşim Modeli'ne göre bir miktar daha başarılı sonuçlar vermiştir. Yerleşim esnasında kullanım sırasının gözetilmesi bu modellerin yakınlık ilişkilerinde olumlu sonuçlar vermesinin temel nedenidir.

İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli ise sadece panel alanında %14'lük bir iyileşme sağlamış, tüm yakınlık ilişkileri kriterlerinde mevcut yerleşime oranla bir kazanç elde edilememiştir.

Yeni nesil kokpit tasarımlarında mekanik gösterge ve kontrollerden sanal cam kokpit odaklı dijital tasarımlara geçilme eğiliminde olunması [2] ve bu alanda çalışmalara başlanmış olması [47] enstrümanların yerleşiminde esnekliğe ve dinamik bir kokpit tasarımı yapılmasına olanak sağlayacaktır. Dijital bir cam kokpit tasarımında kontrol ve göstergelerin yerleşiminin mekanik alternatiflere göre çok daha hızlı bir şekilde, sadece bir yazılım güncellemesi ile yapılabilmesi de mümkün olacaktır. Böyle bir durumda yerleşimlerin güncellenmesi için harcanması gereken süre ve toplam maliyet en düşük seviyede olacaktır.

Bu çalışmada önerilen modellerin sadece mevcut bir kokpit yerleşiminin iyileşmesi için kullanılabileceği düşünülmemelidir. Kullanım prosedürleri kontrol listeleri ile tanımlanmış tasarım aşamasındaki bir hava aracında, kokpit prototipinin yerleşiminin hazırlanılmasında da bu modellerden faydalanılması mümkündür.

Aynı zamanda bu çalışmada incelenen, nesnel yerleşim yaklaşımları, insan - makine etkileşimine sahip tüm cihaz ve yazılımlara, enstrümanların kullanım ilişkileri tanımlanabildiği sürece uygulanabilir.

Ayrıca bu çalışmada yer verilmeyen arıza durumunda kullanılması gereken kontrol listeleri de sonraki çalışmalara dahil edilerek sonuçlara olan etkisi değerlendirilebilir. Eşit etkiye sahip olduğu varsayılan her bir kontrol listesi akışına farklı ağırlıklar verilmesi de mümkün olup sonraki çalışmalarda bu durum da göz önünde bulundurulacaktır. Bununla birlikte bu çalışmada gösterge ve kontroller arasında herhangi bir ayırım gözetilmemiştir. Kokpit enstrümanları etkileşime geçilen

kontroller ve sadece takip edilen göstergeler olarak iki farklı başlık altında gruplanarak yerleşim modelleri geliştirilebilir.

Kokpit enstrümanlarının İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli ile ve de Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Modeli ile konumlandırılmasına göre alınan ilk sonuçları içeren bir bildiri, Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı'nda (USMOS) sunulmak üzere kabul edilmiştir [48].



KAYNAKLAR

- [1] L. F. E. Coombs, *Control in the sky: the evolution and history of the aircraft cockpit*. 2005.
- [2] A. Batey, "How to design the fighter cockpit of tomorrow," *BBC*, 2015. [Online]. Available: <http://www.bbc.com/future/story/20150106-the-jet-cockpits-of-tomorrow>. [Accessed: 12-Jun-2017].
- [3] The Boeing Company, "Boeing Commercial Airplanes – Orders and Deliveries – 737 Model Summary," *boeing.com*, 31-Aug-2016. [Online]. Available: <http://active.boeing.com/commercial/orders/displaystandardreport.cfm?cboCurrentModel=737&optReportType=AllModels&cboAllModel=737&ViewReportF=View+Report>. [Accessed: 11-Sep-2017].
- [4] "F-16 Fighting Falcon." [Online]. Available: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-16-life.htm>. [Accessed: 11-Sep-2017].
- [5] B. M. Hales and P. J. Pronovost, "The checklist-a tool for error management and performance improvement," *J. Crit. Care*, vol. 21, no. 3, pp. 231–235, 2006.
- [6] A. Degani and E. L. Wiener, "Cockpit Checklists: Concepts, Design, and Use," *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 35, no. 2, pp. 345–359, 1993.
- [7] A. Degani and E. L. Wiener, "Design and Operational Aspects of Flight-Deck Procedures," *Proc. Int. Air Transp. Assoc. Annu. Meet.*, vol. Montreal, 1998.
- [8] R. L. Helmreich, "On error management: lessons from aviation.," *BMJ*, vol. 320, no. 7237, pp. 781–785, 2000.
- [9] Air Safety Institute, "24th Joseph Nall Report: General Aviation Accidents in 2012," pp. 1–56, 2012.
- [10] Boeing, "Statistical summary of commercial jet airplane accidents - Worldwide operations 1959 2011," 2011.
- [11] R. Jones and P. Fitts, "Analysis of factors contributing to 460 'pilot error' experiences in operating aircraft controls," Dayton, OH: Aero Medical Laboratory, Air Material Command, Wright-Patterson Air Force Base, 1947.
- [12] K. Plant, C. Harvey, and N. Stanton, "Flying towards the future: An overview of cockpit technologies," *Ergon.*, no. 520, 2013.
- [13] J. C. Hemingway and G. P. Callas, "Technical Workshop: Advanced Helicopter Cockpit Design," vol. 2351, 1984.

- [14] N. B. Sarter and D. D. Woods, "Pilot Interaction With Cockpit Automation Operational Experiences With the Flight Management System," *Int. J. Aviat. Psychol.*, vol. 2, no. 4, pp. 271–280, Oct. 1992.
- [15] G. Lintern, W. Tyler, and D. A. Talleur, "Functional interface design for the modern aircraft cockpit," *Symp. Abstr.*, 2000.
- [16] M. J. Adams and R. W. Pew, "Situational awareness in the commercial aircraft cockpit: a cognitive perspective," *9th IEEE/AIAA/ANASA Conf. Digit. Avion. Syst.*, pp. 519–524, 1990.
- [17] A. D. Andre, C. D. Wickens, and L. Moorman, "Display formatting techniques for improving situation awareness in the aircraft cockpit," *Int. J. Aviat. Psychol.*, vol. 1, no. 3, pp. 205–218, Jul. 1991.
- [18] L. Wang, W. Xiang, X. He, X. Sun, J. Yu, L. Zhou, and G. Sun, "The virtual evaluation of the ergonomics layout in aircraft cockpit," in *Proceeding 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design: E-Business, Creative Design, Manufacturing - CAID and CD'2009*, 2009, pp. 1438–1442.
- [19] S. Rune, X. Hongjun, and S. Bifeng, "Ergonomic assessment method for cockpit layout of civil aircraft x based on virtual design," *ICAS Int. Counc. Aeronaut. Sci.*, pp. 1–8, 2008.
- [20] Y. Zhang, Y. Sun, and Y. Chen, "A framework for ergonomics design of transport category airplane cockpit," *Procedia Eng.*, vol. 80, p. 573, 2014.
- [21] Y. Zhang and Y. Sun, "Reuse of pilot motions for improving layout design of aircraft cockpit," *J. Comput.*, vol. 8, no. 9, pp. 2269–2276, 2013.
- [22] M. B. Senol, M. Dagdeviren, and M. Kurt, "Hava araci kokpit arayuz degerlendirmesi icin cok kriterli bir yaklasim," vol. 28, no. 4, pp. 685–693, 2013.
- [23] M. Wire and M. D. F. Wong, "IBM Research Report Minimizing Wire Length in Floorplanning," vol. 23695, 2005.
- [24] J. Maßberg and J. Schneider, "Rectangle packing with additional restrictions," *Theor. Comput. Sci.*, vol. 412, no. 50, pp. 6948–6958, Nov. 2011.
- [25] J. Funke, S. Hougardy, and J. Schneider, "An exact algorithm for wirelength optimal placements in VLSI design," *Integr. VLSI J.*, vol. 52, pp. 355–366, 2016.
- [26] W. Barkhuizen, J. Schepers, and J. Coetzee, "Rate of information processing and reaction time of aircraft pilots and non-pilots," *SA J. Ind. Psychol.*, vol. 28, no. 2, pp. 67–76, 2002.
- [27] The Telegraph, "How many planes are there in the world right now?," 2017. [Online]. Available: <http://www.telegraph.co.uk/travel/travel-truths/how-many-planes-are-there-in-the-world/>. [Accessed: 18-Jul-2017].
- [28] D. J. Boorman, "Today's electronic checklists reduce likelihood of crew errors

- and help prevent mishaps.,” *ICAO J.*, vol. 1, pp. 17–22, 2001.
- [29] Aussie Star Flight Simulation, “Boeing 737-800 Checklist.” [Online]. Available: www.aussiestarhops.com. [Accessed: 20-May-2016].
- [30] J. Ellson, E. Gansner, L. Koutsofios, S. C. North, and G. Woodhull, “Graphviz— Open Source Graph Drawing Tools,” Springer, Berlin, Heidelberg, 2002, pp. 483–484.
- [31] E. Koutsoos and S. C. North, “Drawing graphs with dot.”
- [32] “Graphviz | Graphviz - Graph Visualization Software.” [Online]. Available: <http://www.graphviz.org/>. [Accessed: 19-Jul-2017].
- [33] “Phases of Flight.” [Online]. Available: http://www.safeflight.co.uk/phase_of_flight_definitions.htm. [Accessed: 18-Jul-2017].
- [34] IATA, *Safety Report 2014*, no. April. 2015.
- [35] PED and ARC, “A Report from the Portable Electronic Devices (PED) Aviation Rule Making Committee (ARC) to the Federal Aviation Administration (FAA).”
- [36] “What are critical phases of flight? | EASA.” [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/faq/19133>. [Accessed: 06-Jul-2017].
- [37] A. Lodi, “Algorithms for two-dimensional bin packing and assignment problems,” *Doktorarbeit, DEIS, Univ. di Bol.*, 1999.
- [38] J. Jylänki, “A thousand ways to pack the bin—a practical approach to two-dimensional rectangle bin packing,” *Retrieved From Http//Clb. Demon. Fi/Files/ ...*, pp. 1–50, 2010.
- [39] “Z Curve.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Z-order_curve. [Accessed: 13-Aug-2017].
- [40] “Hilbert Curve.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert_curve. [Accessed: 13-Aug-2017].
- [41] G. Breinholt and C. Schierz, “A Recursive Algorithm for the Generation of Space-Filling Curves,” no. November 1946, 2012.
- [42] G. Karypis and V. Kumar, “Multilevel k-way hypergraph partitioning,” *Proc. 1999 Des. Autom. Conf. (Cat. No. 99CH36361)*, vol. 11, no. 3, pp. 343–348, 1999.
- [43] G. Karypis, R. Aggarwal, V. Kumar, and S. Shekhar, “Multilevel hypergraph partitioning: Applications in VLSI domain,” *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 69–79, 1999.
- [44] B. Uçar, U. V. Ç. Atalyürek, and C. Aykanat, “A matrix partitioning interface to PaToH in MATLAB.”

- [45] Umit V. Catalyurek, “PaToH - A Multilevel Hypergraph Partitioning Tool.” [Online]. Available: <http://bmi.osu.edu/umit/software.html#patoh>. [Accessed: 14-Aug-2017].
- [46] “hMETIS - Hypergraph and Circuit Partitioning | Karypis Lab.” [Online]. Available: <http://glaros.dtc.umn.edu/gkhome/metis/hmetis/overview>. [Accessed: 19-Jul-2017].
- [47] L. Bécouarn, J. Dominici, J. Bader, M. Fabbri, M. Pregnotato, K. Sarayedine, D. Cuypers, H. De Smet, A. Alapetite, N. Sgouros, P. Kouros, D. Zammit-Mangion, and M. F. Pace, “ODICIS (One Display for a Cockpit Interactive Solution)-Final public progress report,” 2012.
- [48] K. Kürten and E. Demir, “Kokpit Tasarımında Gösterge Ve Kontrollerin Akış Kontrolü Bazlı Yerleşimi,” in *USMOS 17*, 2017.

EKLER

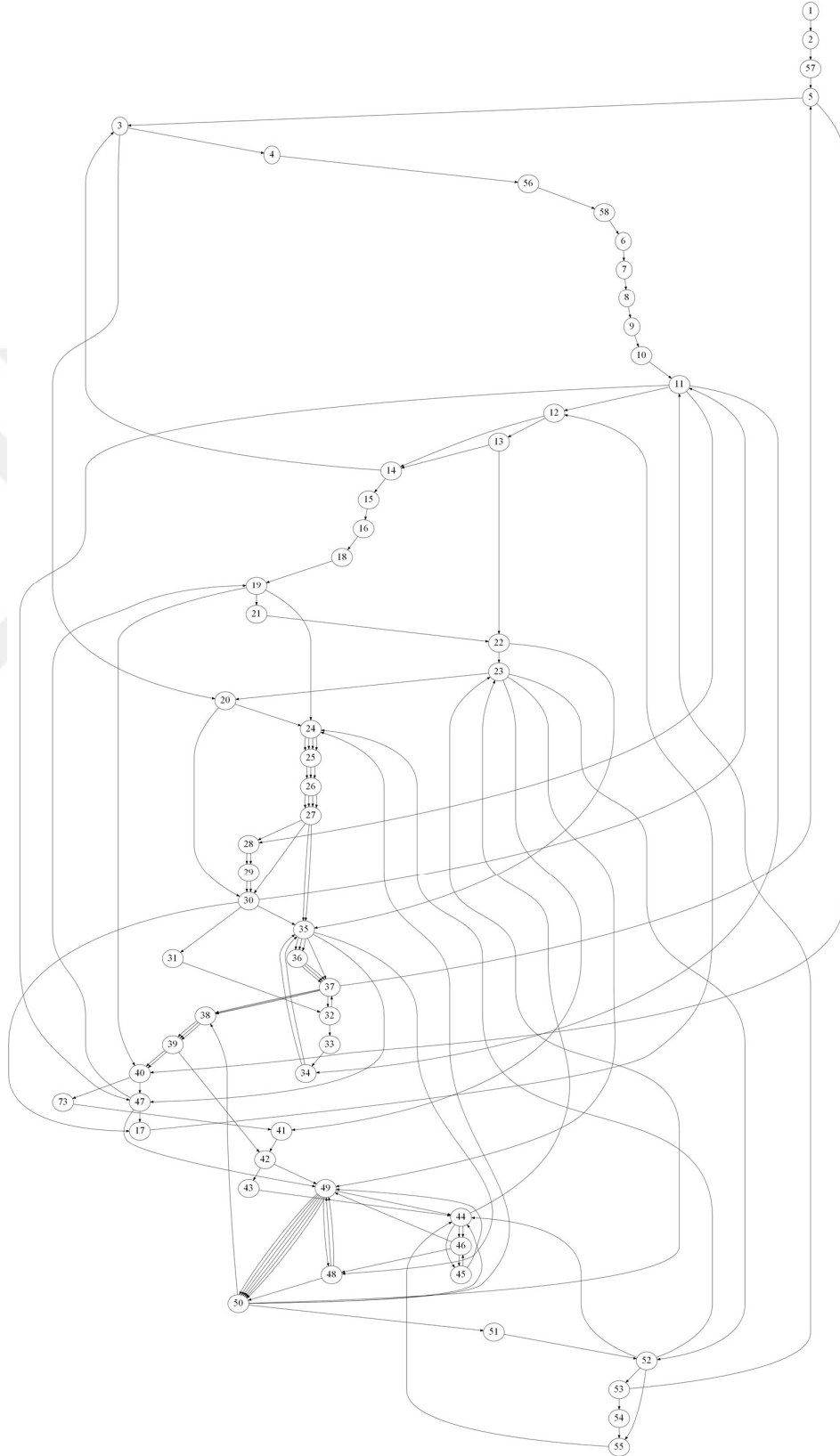
- Ek A** – Kokpit Enstrümanları Boyutları Tablosu
- Ek B** – Kokpit Enstrümanları Yönlendirilmiş Çizgesi
- Ek C** – Uçuş Aşamaları Enstrüman Adım Sayıları Tablosu
- Ek D** – Hiperçizge Bölütleme Raporu
- Ek E** – Uygulama Ekran Görüntüleri
- Ek F** – İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar
- Ek G** – Sıralı Yerleşim Detaylı Sonuçlar
- Ek H** – Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar
- Ek I** – Hiperçizge Odaklı Yerleşim Detaylı Sonuçlar
- Ek J** – Komşuluk İlişkisi Kritik Fazlar Detaylı Grafikleri

Ek A - Enstrüman Boyutları Tablosu

| Enstrüman No | En | Boy | Alan |
|--------------|----|-----|------|
| 1 | 12 | 10 | 120 |
| 2 | 11 | 10 | 110 |
| 3 | 5 | 8 | 40 |
| 4 | 5 | 7 | 35 |
| 5 | 7 | 8 | 56 |
| 6 | 8 | 7 | 56 |
| 7 | 8 | 7 | 56 |
| 8 | 8 | 8 | 64 |
| 9 | 8 | 8 | 64 |
| 10 | 18 | 10 | 180 |
| 11 | 20 | 15 | 300 |
| 12 | 9 | 14 | 126 |
| 13 | 10 | 14 | 140 |
| 14 | 8 | 10 | 80 |
| 15 | 5 | 14 | 70 |
| 16 | 5 | 14 | 70 |
| 17 | 4 | 8 | 32 |
| 18 | 19 | 6 | 114 |
| 19 | 19 | 7 | 133 |
| 20 | 18 | 7 | 126 |
| 21 | 10 | 10 | 100 |
| 22 | 10 | 11 | 110 |
| 23 | 10 | 16 | 160 |
| 24 | 20 | 11 | 220 |
| 25 | 18 | 8 | 144 |
| 26 | 8 | 7 | 56 |
| 27 | 8 | 10 | 80 |
| 28 | 5 | 8 | 40 |
| 29 | 4 | 8 | 32 |
| 30 | 10 | 10 | 100 |
| 31 | 22 | 9 | 198 |
| 32 | 6 | 4 | 24 |
| 33 | 21 | 10 | 210 |
| 34 | 22 | 10 | 220 |
| 35 | 9 | 11 | 99 |
| 36 | 9 | 11 | 99 |
| 37 | 4 | 11 | 44 |
| 38 | 5 | 4 | 20 |
| 39 | 5 | 4 | 20 |
| 40 | 4 | 4 | 16 |
| 41 | 10 | 9 | 90 |

| Enstrüman No | En | Boy | Alan |
|---------------------|-----------|------------|-------------|
| 42 | 10 | 9 | 90 |
| 43 | 6 | 7 | 42 |
| 44 | 18 | 8 | 144 |
| 45 | 7 | 6 | 42 |
| 46 | 4 | 5 | 20 |
| 47 | 4 | 8 | 32 |
| 48 | 6 | 5 | 30 |
| 49 | 7 | 7 | 49 |
| 50 | 7 | 7 | 49 |
| 51 | 4 | 6 | 24 |
| 52 | 5 | 7 | 35 |
| 53 | 4 | 7 | 28 |
| 54 | 5 | 7 | 35 |
| 55 | 4 | 7 | 28 |
| 56 | 6 | 9 | 54 |
| 57 | 9 | 3 | 27 |
| 58 | 5 | 8 | 40 |
| 59 | 18 | 9 | 162 |
| 60 | 16 | 15 | 240 |
| 61 | 10 | 16 | 160 |
| 62 | 6 | 5 | 30 |
| 63 | 16 | 3 | 48 |
| 64 | 8 | 8 | 64 |
| 65 | 16 | 7 | 112 |
| 66 | 18 | 8 | 144 |
| 67 | 13 | 14 | 182 |
| 68 | 4 | 7 | 28 |
| 69 | 5 | 7 | 35 |
| 70 | 14 | 9 | 126 |
| 71 | 10 | 5 | 50 |
| 72 | 17 | 3 | 51 |
| 73 | 18 | 3 | 54 |
| 74 | 7 | 11 | 77 |
| 75 | 20 | 3 | 60 |

Ek B - Kokpit Enstrümanları Yönlendirilmiş Çizgesi



Ek C - Uçuş Aşamaları Enstrüman Adım Sayıları Tablosu

| Durum | Uçuş Aşaması | Kontrol Listesi Akışı | Enstrüman Adım Sayısı |
|----------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Kritik | | | 47 |
| | Kalkış ve Yükseliş | | 26 |
| | | Çalıştırma Sonrası | 15 |
| | | Kalkış Öncesi | 6 |
| | | Kalkış Sonrası | 5 |
| | Alçalma, Yaklaşma ve İniş | | 21 |
| | | Alçalma | 10 |
| | | Yaklaşma | 3 |
| | | İniş Sonrası | 8 |
| Kritik Olmayan | | | 101 |
| | Yerde (Uçuş Öncesi) | | 80 |
| | | Güç Verme | 6 |
| | | APU Başlatma | 4 |
| | | Kokpit Hazırlama | 57 |
| | | Motor Çalıştırma | 13 |
| | Yerde (Uçuş Sonrası) | | 21 |
| | | Kapatma | 15 |
| | | Uçuş Sonlandırma | 6 |
| Toplam | | | 148 |

Ek D - Hiperçizge Bölütleme Raporu (hMETIS)

```
*****
HMETIS 1.5.3 Copyright 1998, Regents of the University of Minnesota

HyperGraph Information -----
Name: hypergraph.hgr, #Vtxs: 75, #Hedges: 13, #Parts: 8, UBfactor: 0.05
Options: HFC, FM, Reconst-False, V-cycles @ End, No Fixed Vertices

Recursive Partitioning... -----

-----
Summary for the 8-way partition:
Hyperedge Cut:          7                (minimize)
Sum of External Degrees: 28              (minimize)
Scaled Cost: 6.63e-005  (minimize)
Absorption:            11.42             (maximize)

Partition Sizes & External Degrees:
 808[ 1]  802[ 1]  805[ 1]  817[ 1]  799[ 6]
 801[ 6]  804[ 6]  810[ 6]

Timing Information -----
Partitioning Time:      16.940sec
I/O Time:               0.001sec
*****
```


Ek E - Uygulama Ekran Görüntüleri

D:/Tez/CockpitDesign/CockpitDesign/Configurations/main_cockpit_test

The screenshot displays a cockpit design application interface. The main workspace is a grid-based layout of cockpit instruments, numbered 1 through 74. The instruments are arranged in a structured manner, with some larger instruments like 60 and 61, and smaller ones like 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74. The right side of the application features a control panel with the following sections:

- Tools:** Includes a '+' button, checkboxes for 'Background', 'Grid', 'Check List Order', 'Instrument Groups', 'Instrument Drawings', and 'Instrument Pixmap'.
- Instruments:** Includes 'Placement', 'Check List', 'Basic', and 'Detail' tabs.
- Cockpit:** Includes 'Save', 'Load', 'Refresh', and 'Reload' buttons.
- Scene:** Includes a checked checkbox for 'Monochrome Background' and an 'Export' button.
- Selected Cells:** Includes a text input field and a 'Clear' button.
- Add Item:** Includes a text input field, a dropdown menu showing '76', and an 'Add' button.
- Item Group:** Includes a dropdown menu showing 'Group 0' and an empty list area.
- Item List:** Includes a list of 12 items: (1) FLT CONTROL switche, (2) SPOILER switches, (3) ALT FLAPS Master swit, (4) ALT FLAPS Position sw, (5) YAW DAMPER switch, (6) VH NAV Transfer switcl, (7) IRS Transfer switch, (8) SOURCE Selector switc, (9) CONTROL PANEL switc, (10) CROSS FEED Selector, (11) FUEL PUMP switches, (12) BATTERY switch. It also includes 'Forward', 'Backward', 'Clone', 'Move', 'Add To Group', and 'Remove From Group' buttons.

Tools

- + Background Instrument Groups
- Grid Instrument Drawings
- Check List Order Instrument Pixmap

Instruments Placement Check List Basic Detail

Check List Traverse Safety Distance: 1

Topological Sort BFS DFS

Basic

ReOrder Rotate

Move Left Move Up

Hilbert Curve

ReOrder Rotate

Move Left Move Up

Inline

Vertical Horizontal

2D Bin Packing

Scene Height: 100 Scene Width: 100

Size: Check List:

MaxRectsBinPack

Hypergraph

Generate

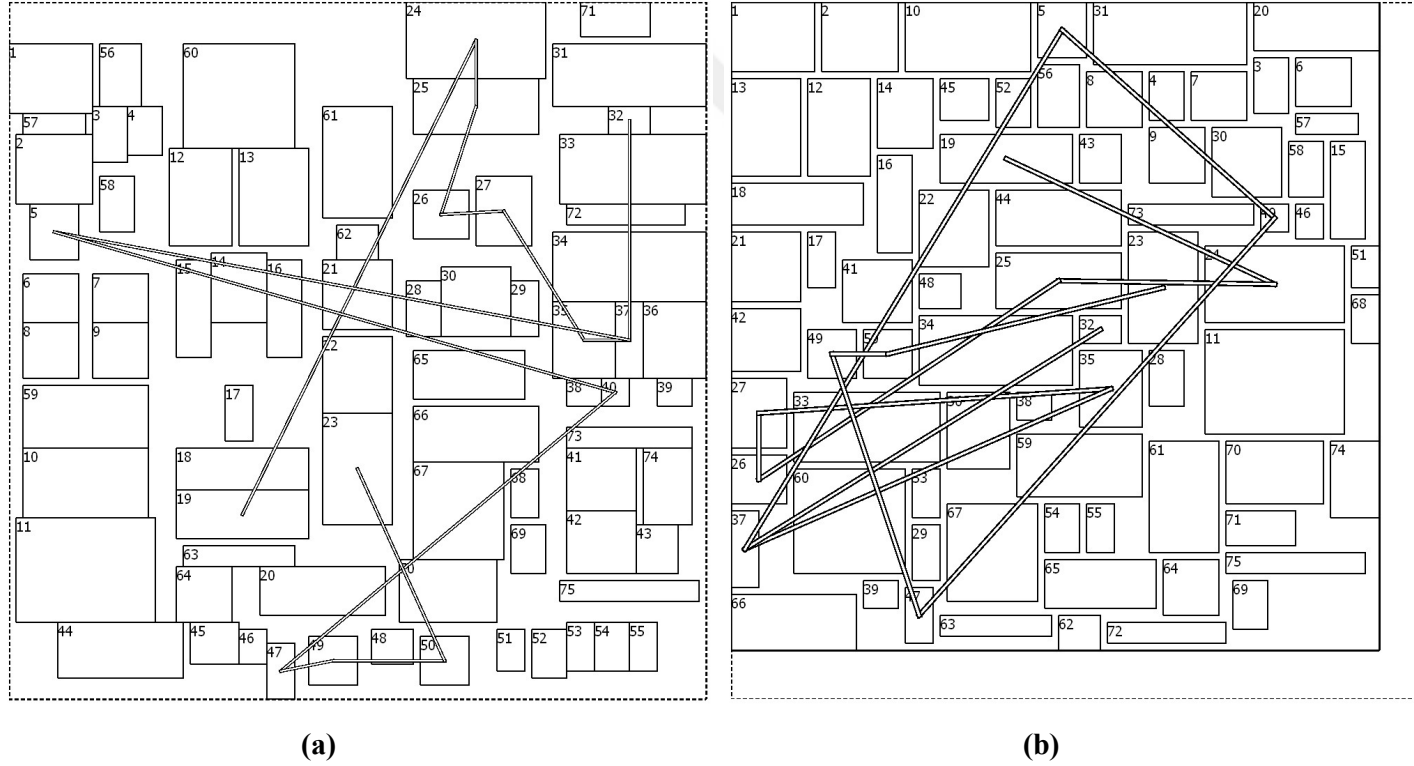
Scene Height: 100 Scene Width: 100

Row Count: 2 Column Count: 4

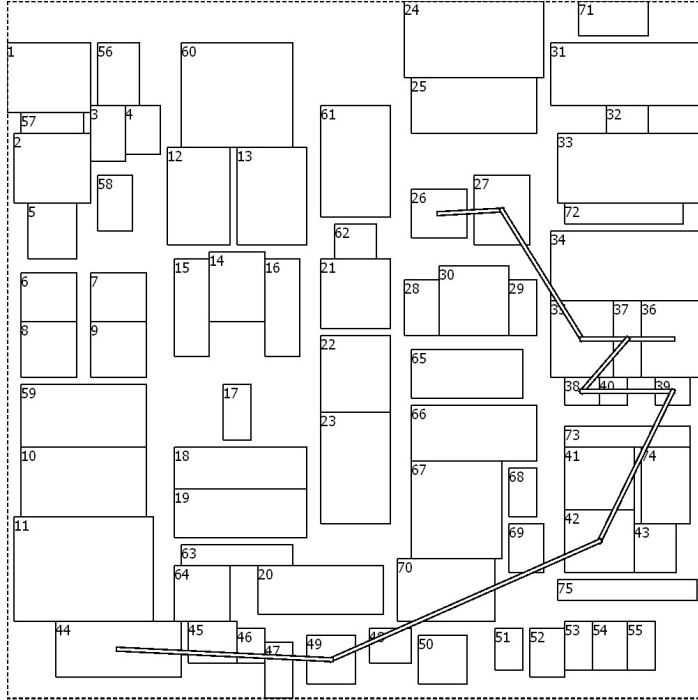
Load Once Test All

Pack

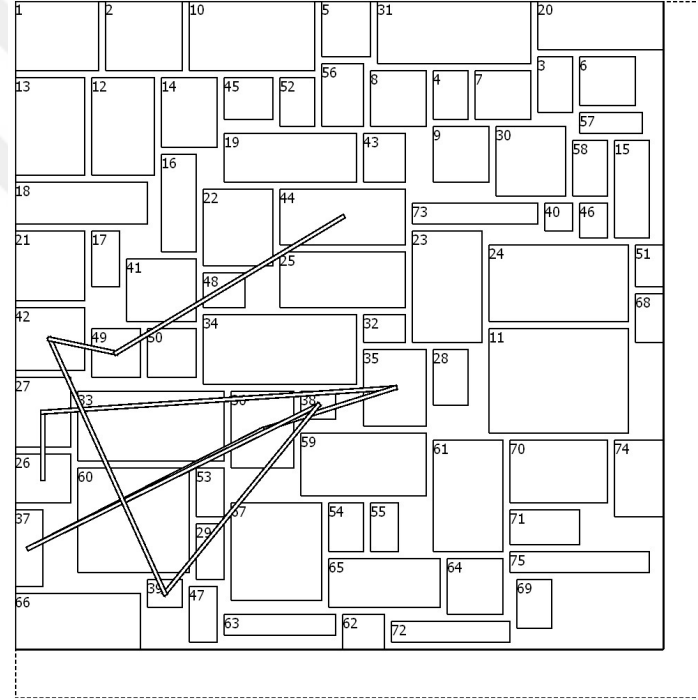
Ek F - İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar



Şekil F.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim



(a)



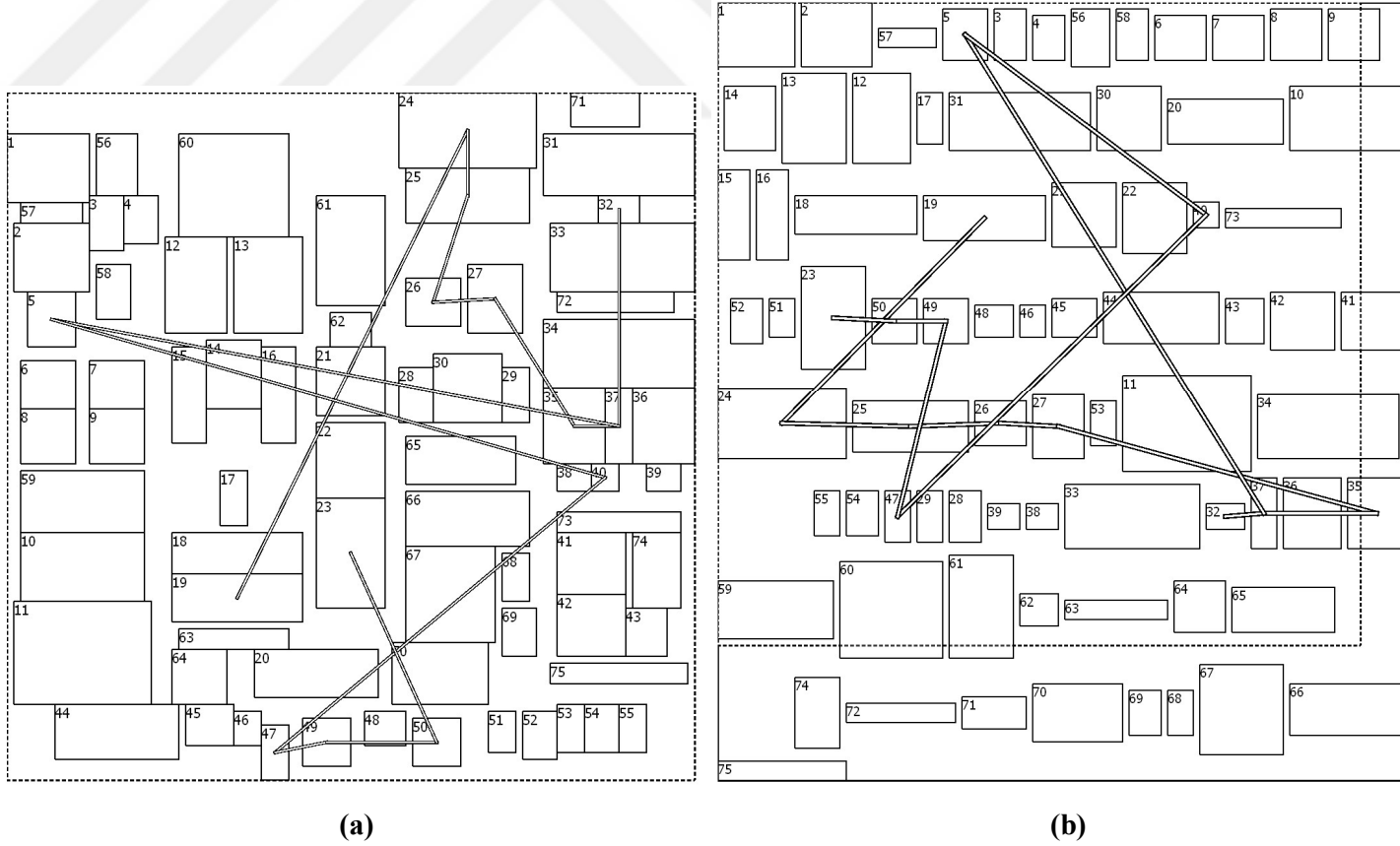
(b)

Şekil F.2: Açalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim

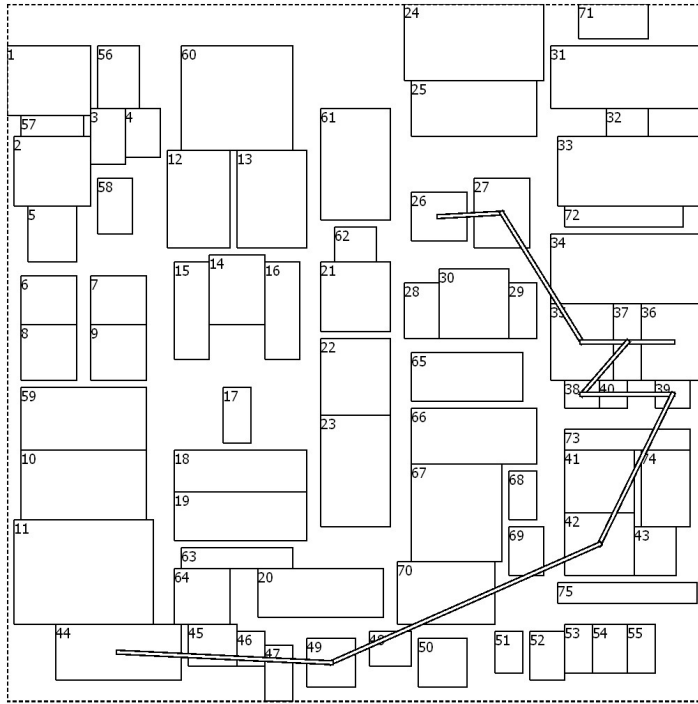
Tablo F.1: İki Boyutlu Kutulama ile Yerleşim Modeli Yakınlık İlişkisi

| | Mesafe Oranı (R_d) | Komşuluk Oranı (R_n) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Kritik | 1.31 | 1.13 |
| Kalkış ve Yükseliş | 1.28 | 1.08 |
| Çalıştırma Sonrası | 1.35 | 1.21 |
| Kalkış Öncesi | 1.64 | 1.20 |
| Kalkış Sonrası | 0.70 | 0.50 |
| Alçalma, Yaklaşma ve İniş | 1.36 | 1.24 |
| Alçalma | 1.69 | 1.62 |
| Yaklaşma | 1.29 | 1.50 |
| İniş Sonrası | 1.11 | 0.94 |
| | | |
| Kritik Olmayan | 1.62 | 2.19 |
| Yerde (Uçuş Öncesi) | 1.78 | 2.60 |
| Güç Verme | 0.79 | 1.00 |
| APU Başlatma | 1.51 | 1.63 |
| Kokpit Hazırlama | 2.27 | 4.03 |
| Motor Çalıştırma | 1.09 | 1.32 |
| Yerde (Uçuş Sonrası) | 1.24 | 1.37 |
| Kapatma | 1.41 | 1.62 |
| Uçuş Sonlandırma | 0.91 | 0.83 |
| | | |
| Toplam | 1.51 | 1.69 |

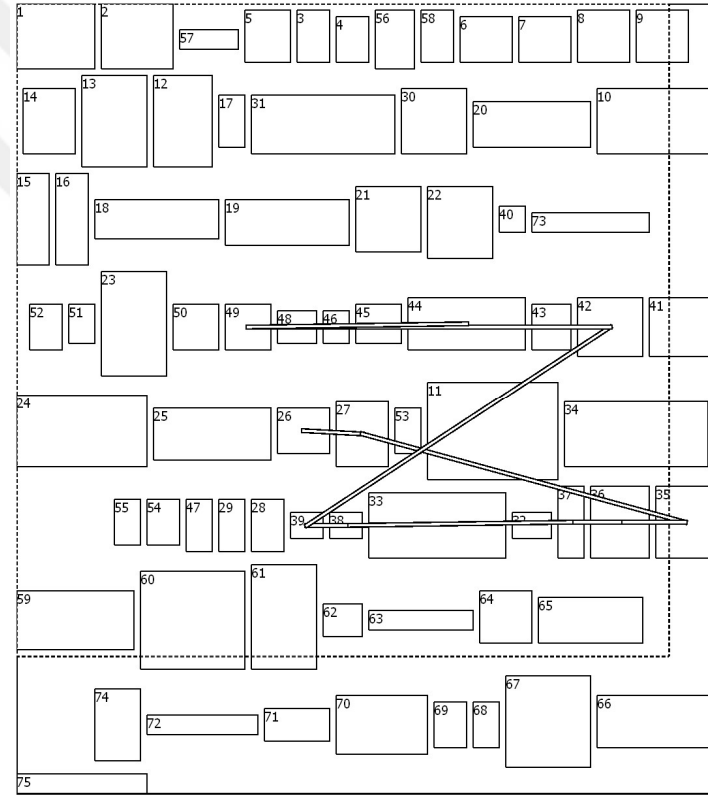
Ek G - Sıralı Yerleşim Detaylı Sonuçlar



Şekil G.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Sıralı Yerleşim



(a)



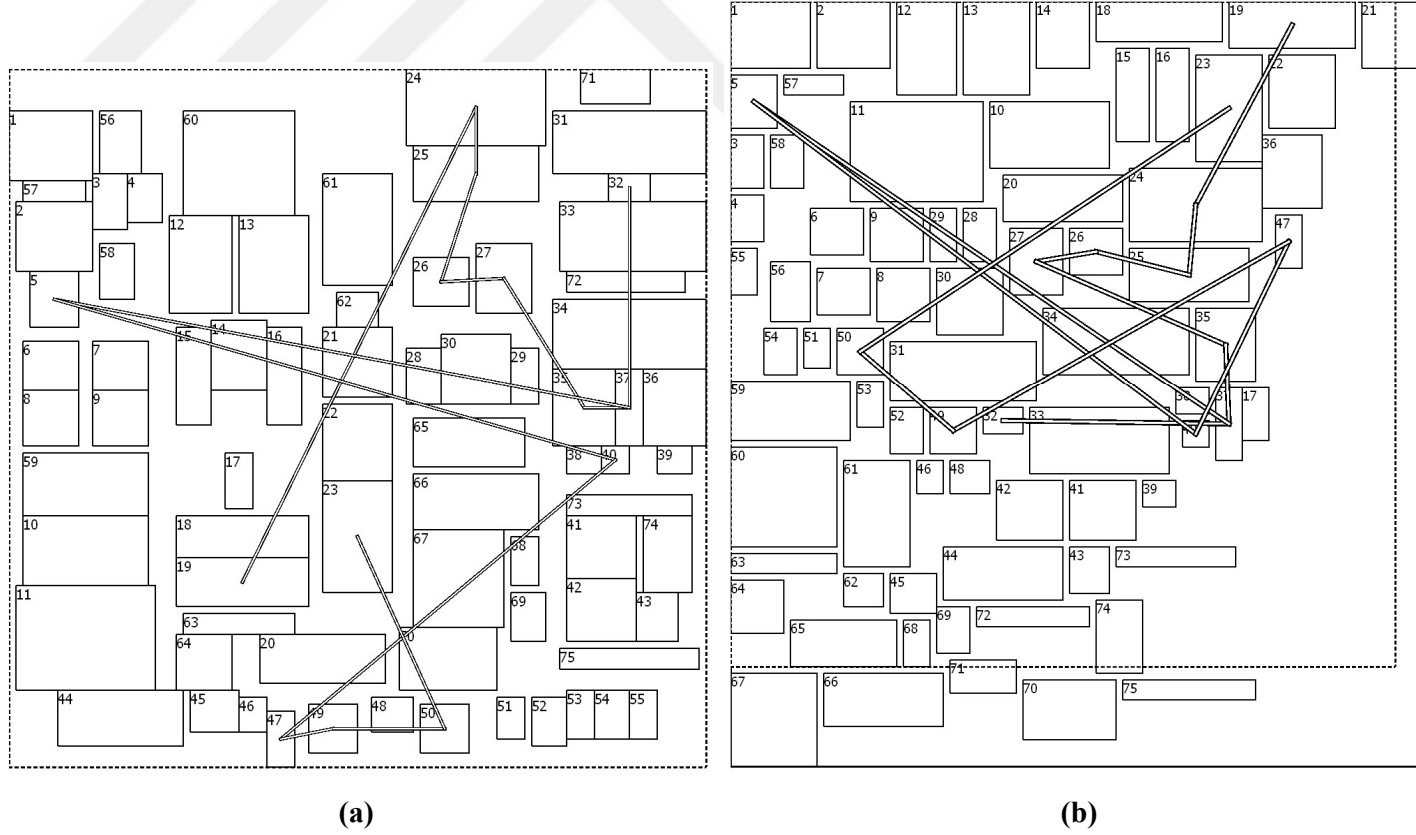
(b)

Şekil G.2: Aılalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Sıralı Yerleşim

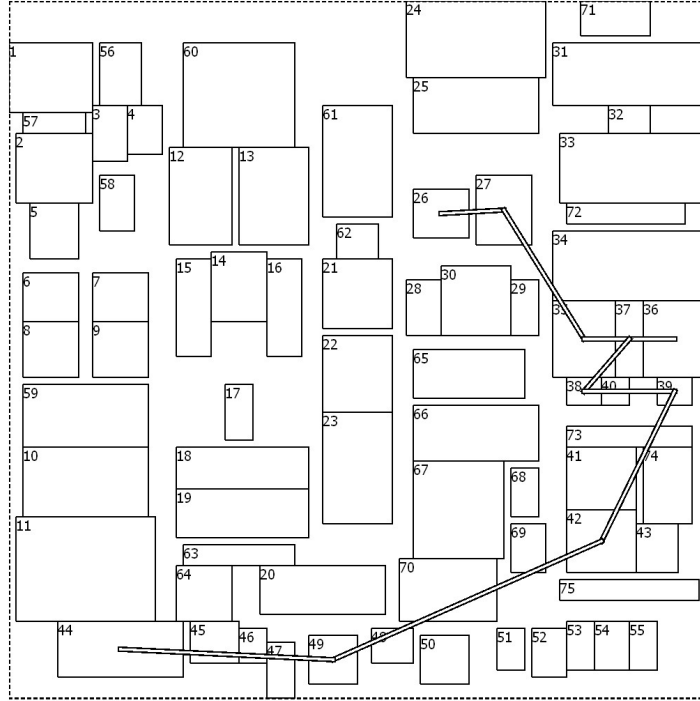
Tablo G.1: Sıralı Yerleşim Yakınlık İlişkisi

| | Mesafe Oranı (R_d) | Komşuluk Oranı (R_n) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Kritik | 1.00 | 0.74 |
| Kalkış ve Yükseliş | 0.97 | 0.68 |
| Çalıştırma Sonrası | 0.86 | 0.56 |
| Kalkış Öncesi | 0.99 | 0.40 |
| Kalkış Sonrası | 1.32 | 1.42 |
| Alçalma, Yaklaşma ve İniş | 1.05 | 0.85 |
| Alçalma | 1.55 | 1.23 |
| Yaklaşma | 0.58 | 0.50 |
| İniş Sonrası | 0.75 | 0.61 |
| | | |
| Kritik Olmayan | 1.15 | 0.84 |
| Yerde (Uçuş Öncesi) | 1.21 | 0.92 |
| Güç Verme | 0.73 | 0.67 |
| APU Başlatma | 1.17 | 1.00 |
| Kokpit Hazırlama | 1.36 | 1.00 |
| Motor Çalıştırma | 1.14 | 0.89 |
| Yerde (Uçuş Sonrası) | 0.98 | 0.68 |
| Kapatma | 0.82 | 0.38 |
| Uçuş Sonlandırma | 1.32 | 1.33 |
| | | |
| Toplam | 1.09 | 0.79 |

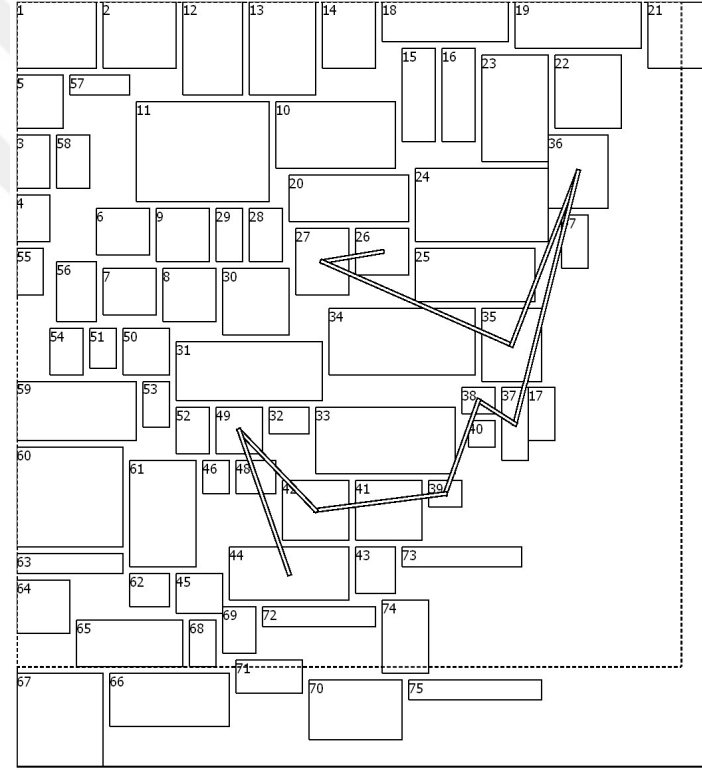
Ek H - Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Detaylı Sonuçlar



Şekil H.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hilbert Eğrisi ile Yerleşim



(a)



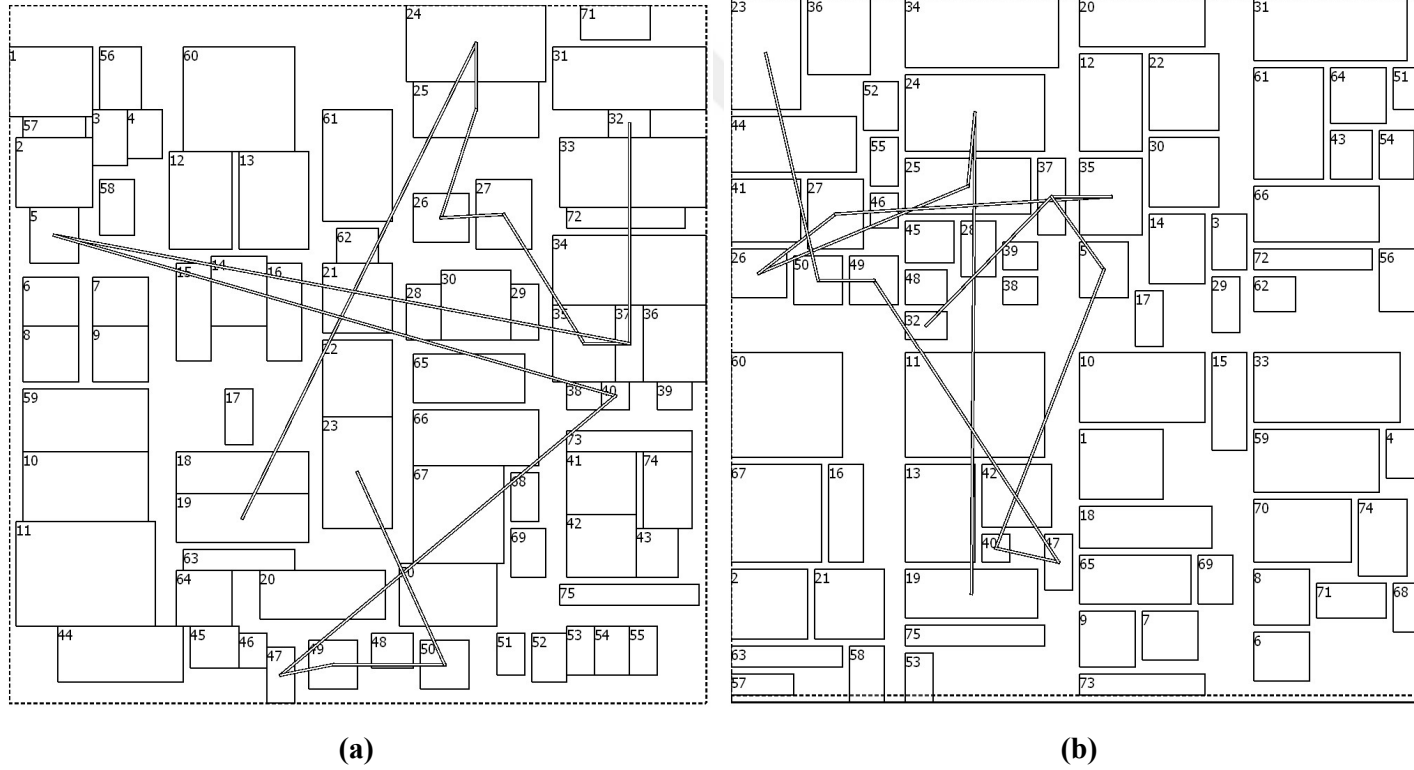
(b)

Şekil H.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hilbert Eğrisi ile Yerleşim

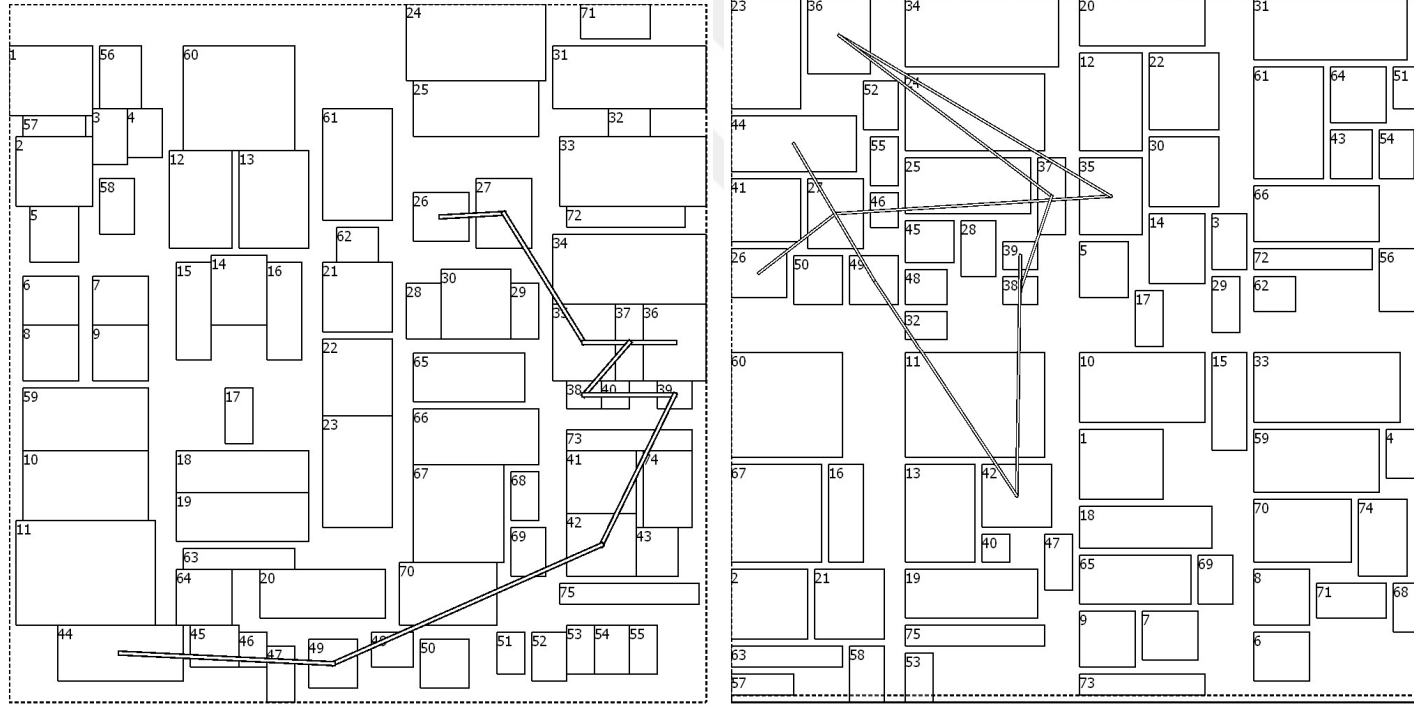
Tablo H.1: Hilbert Eğrisi ile Yerleşim Yakınlık İlişkisi

| | Mesafe Oranı (R_d) | Komşuluk Oranı (R_n) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Kritik | 1.09 | 0.94 |
| Kalkış ve Yükseliş | 1.13 | 1.05 |
| Çalıştırma Sonrası | 1.07 | 1.05 |
| Kalkış Öncesi | 1.03 | 0.87 |
| Kalkış Sonrası | 1.42 | 1.25 |
| Alçalma, Yaklaşma ve İniş | 1.02 | 0.73 |
| Alçalma | 1.11 | 0.85 |
| Yaklaşma | 1.88 | 2.50 |
| İniş Sonrası | 0.78 | 0.44 |
| | | |
| Kritik Olmayan | 0.93 | 0.74 |
| Yerde (Uçuş Öncesi) | 0.92 | 0.63 |
| Güç Verme | 0.93 | 0.92 |
| APU Başlatma | 1.38 | 1.50 |
| Kokpit Hazırlama | 0.89 | 0.39 |
| Motor Çalıştırma | 0.84 | 0.53 |
| Yerde (Uçuş Sonrası) | 0.94 | 0.97 |
| Kapatma | 0.88 | 0.81 |
| Uçuş Sonlandırma | 1.05 | 1.33 |
| | | |
| Toplam | 1.00 | 0.83 |

Ek I - Hiperçizge Odaklı Yerleşim Detaylı Sonuçlar



Şekil I.1: Çalıştırma Sonrası Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hiperçizge Odaklı Yerleşim



(a)

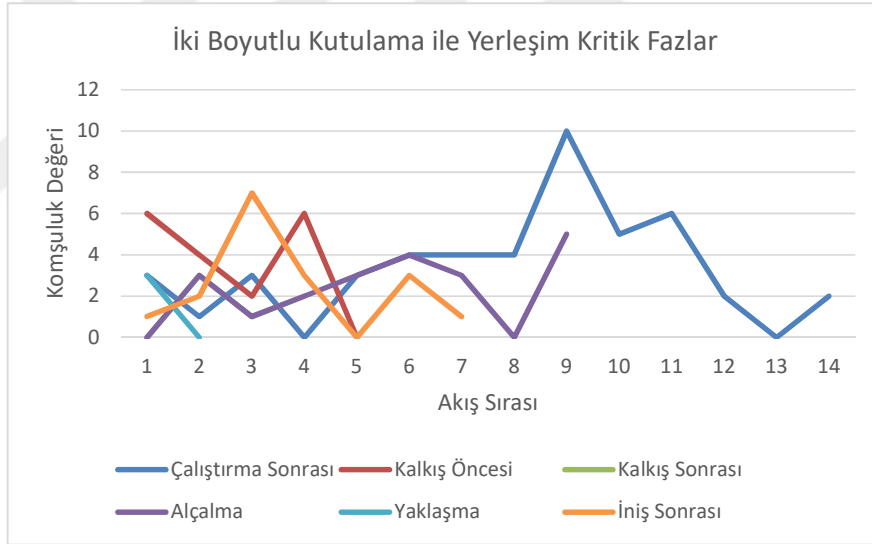
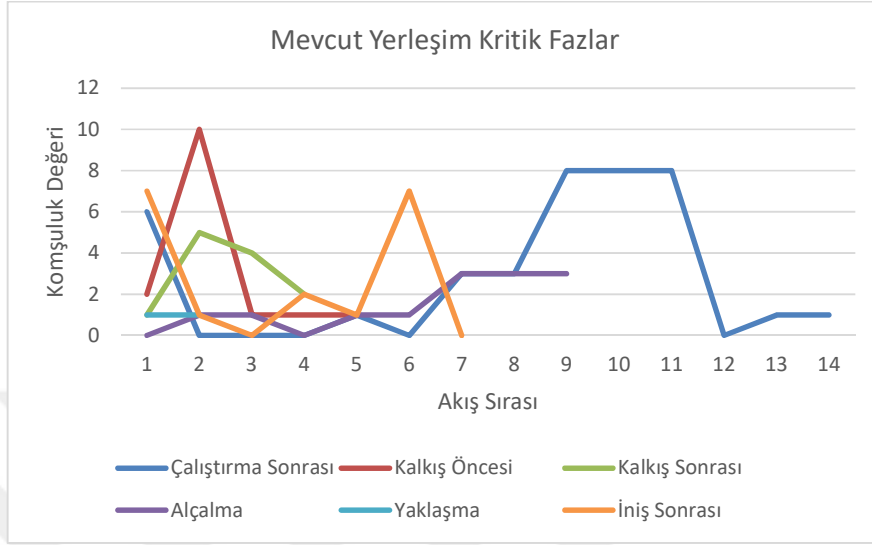
(b)

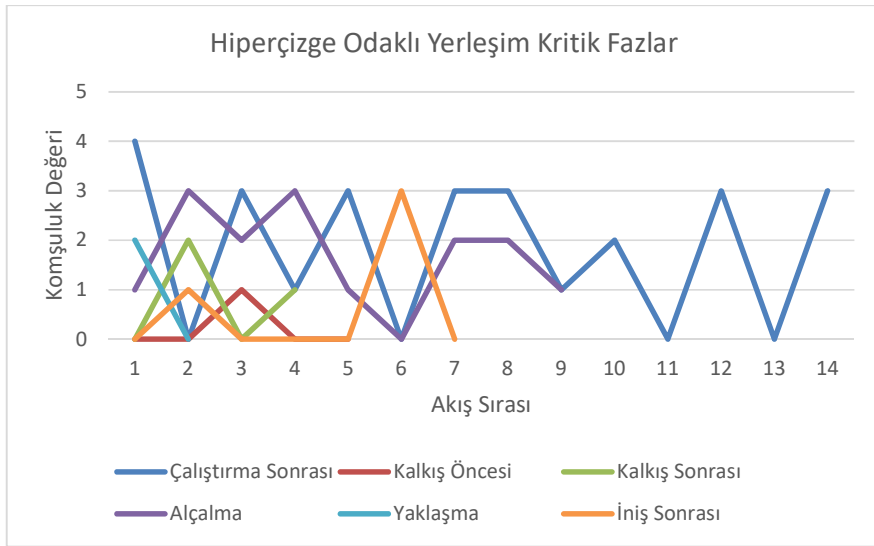
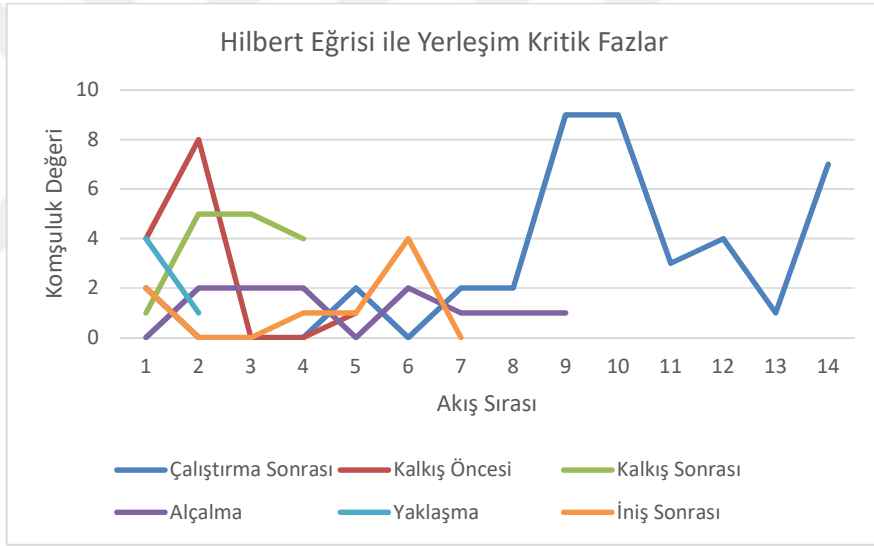
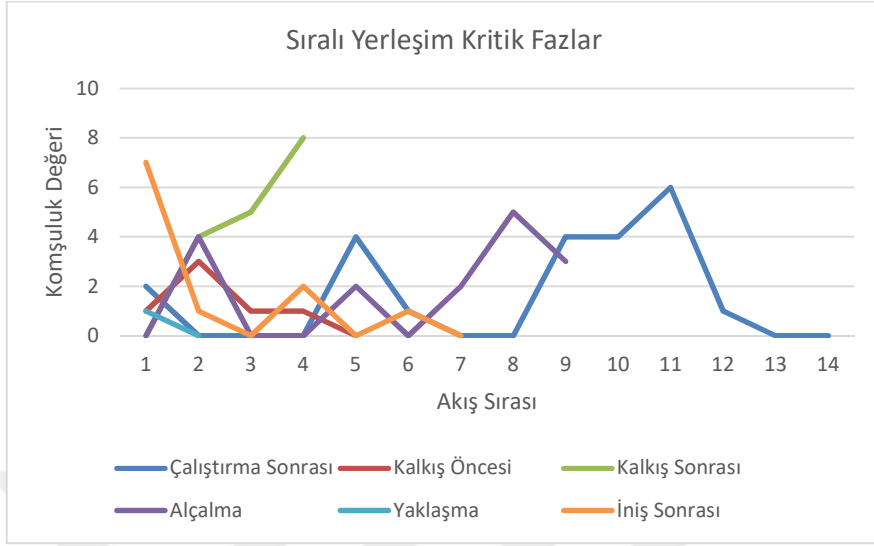
Şekil I.2: Alçalma Kullanım Akışı (a) Mevcut Yerleşim (b) Hiperçizge Odaklı Yerleşim

Tablo I.1: Hiperçizge Odaklı Yerleşim Yakınlık İlişkisi

| | Mesafe Oranı (R_d) | Komşuluk Oranı (R_n) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Kritik | 0.75 | 0.52 |
| Kalkış ve Yükseliş | 0.66 | 0.45 |
| Çalıştırma Sonrası | 0.78 | 0.67 |
| Kalkış Öncesi | 0.41 | 0.07 |
| Kalkış Sonrası | 0.46 | 0.25 |
| Alçalma, Yaklaşma ve İniş | 0.91 | 0.64 |
| Alçalma | 1.48 | 1.15 |
| Yaklaşma | 1.01 | 1.00 |
| İniş Sonrası | 0.45 | 0.22 |
| | | |
| Kritik Olmayan | 1.65 | 1.96 |
| Yerde (Uçuş Öncesi) | 1.89 | 2.47 |
| Güç Verme | 0.54 | 0.50 |
| APU Başlatma | 0.42 | 0.13 |
| Kokpit Hazırlama | 2.78 | 4.56 |
| Motor Çalıştırma | 0.75 | 0.74 |
| Yerde (Uçuş Sonrası) | 1.05 | 0.95 |
| Kapatma | 1.04 | 0.92 |
| Uçuş Sonlandırma | 1.08 | 1.00 |
| | | |
| Toplam | 1.32 | 1.28 |

Ek J - Komşuluk İlişkisi Kritik Fazlar Detaylı Grafikler





ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kıvanç KÜRTEEN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırıkkale – 13.12.1984
Medeni Hali : Bekar
Adres : Çayyolu Mh. 2679. Sk. No: 39A
No: 39A Daire: 17 Çankaya / ANKARA
E-Posta Adresi : kkurten@havelsan.com.tr
Telefon : +90 (533) 139 70 69



EĞİTİM

Lise : Kırıkkale Fen Lisesi (Kırıkkale) - 2002
Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Bilgisayar Mühendisliği (Ankara) - 2007

MESLEKİ DENEYİM

HAVELSAN, Ankara
Yazılım Mühendisi, Ekim 2007 – Devam Ediyor

TÜRK TELEKOM, Ankara
Yazılım Mühendisi, Eylül 2007 – Ekim 2007

YABANCI DİL

İngilizce